



А. Н. Баран

**УЧЁТ, КОНТРОЛЬ
И РЕГУЛИРОВАНИЕ
ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**



Учреждение образования
«Международный государственный экологический
институт имени А. Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета

А. Н. Баран

УЧЕТ, КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Курс лекций

Минск
«ИВЦ Минфина»
2018

УДК 621.311:65(075.8)
ББК 31.15
Б24

Р е ц е н з е н т ы:
доктор технических наук, профессор кафедры
электротехнология БГАТУ *Е. М. Заяц*;
кандидат технических наук, доцент, заместитель директора
Института энергетики НАН Беларуси *Н. Е. Шевчик*

Под редакцией *В. А. Пашинского*

Баран, А. Н.

Б24 Учет, контроль и регулирование энергоресурсов: курс лекций /
А. Н. Баран; под ред. В. А. Пашинского. – Минск : ИВЦ Минфина, 2018. –
227 с.
ISBN 978-985-7205-04-2.

В пособии рассматриваются вопросы измерения и учета энергоресурсов, температуры, давления, массы и расхода энергоносителей, а также состава твердофазных, жидких и газообразных смесей. Освещаются аспекты автоматизированных систем учета и контроля энергоресурсов, правовых основ метрологической службы. Включены тесты, охватывающие весь изучаемый материал, которые помогут закрепить знания по названной дисциплине.

Предназначается студентам специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент», преподавателям, а также всем интересующимся вопросами учета и регулирования энергоресурсов.

УДК 621.311:65(075.8)
ББК 31.15

ISBN 978-985-7205-04-2

© Баран А. Н., 2018
© МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ЛЕКЦИЯ 1. ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ (8 ч).....	6
1.1. История и современные тенденции в метрологии.....	6
1.2. Основные понятия и определения метрологии.....	6
1.3. Классификация измерений.....	8
1.4. Классификация средств измерений и их основные характеристики.....	8
1.5. Обработка результатов измерений.....	11
1.6. Погрешности измерений.....	20
1.7. Характеристики измерительных приборов и требования, предъявляемые к приборам.....	24
1.8. Эталоны, образцовые и рабочие меры, системы единиц измерения.....	25
ЛЕКЦИЯ 2. ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ (4 ч).....	28
2.1. Принципы, классификация первичных преобразователей, области применения.....	28
2.2. Измерение температуры прямыми методами.....	28
2.3. Дистанционное измерение температуры.....	31
2.4. Цифровые приборы измерения температуры.....	38
ЛЕКЦИЯ 3. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ, МАССЫ И РАСХОДА ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ (4 ч).....	40
3.1. Измерение давления.....	40
3.1.1. Жидкостные приборы давления.....	40
3.1.2. Приборы для измерения давления и разности давлений с упругой деформацией чувствительных элементов.....	41
3.1.3. Электрические манометры.....	46
3.2. Измерение массы и объема.....	47
3.3. Измерение расходов и учет жидких энергоносителей.....	52
3.4. Измерение расходов и учет газообразных энергоносителей.....	57
ЛЕКЦИЯ 4. ИЗМЕРЕНИЕ СОСТАВА ТВЕРДОФАЗНЫХ, ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ СМЕСЕЙ (2 ч).....	63
4.1. Принципы определения состава смесей.....	63
4.2. Определение состава твердофазных смесей.....	63
4.3. Определение состава жидких смесей (растворов).....	67
4.4. Определение состава газообразных смесей.....	70
ЛЕКЦИЯ 5. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ИХ ИЗМЕРЕНИЕ И УЧЕТ (4ч).....	82
5.1. Классификация электроизмерительных приборов.....	82
5.2. Измерение токов, напряжений, мощности, частоты.....	84
5.3. Счетчики электрической энергии.....	90
5.3.1. Индукционные счетчики электроэнергии.....	90
5.3.2. Электронные счетчики электроэнергии.....	99
ЛЕКЦИЯ 6. ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (2 ч).....	104
6.1. Принципы действия телеизмерительных систем.....	104
6.2. Классификация телеизмерительных систем.....	110
6.3. Представление информации в информационных системах.....	113
6.4. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.....	121
6.5. Системы передачи данных.....	127
6.6. Системы передачи данных.....	137
6.6.1. Системы передачи данных без обратной связи.....	139
6.6.2. Системы передачи данных с обратной связью.....	139
6.7. Телемеханика.....	140
ЛЕКЦИЯ 7. ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКА ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ (4 ч).....	143
7.1. Теоретические основы автоматики.....	143
7.2. Системы автоматического регулирования (САР).....	143
7.3. Замкнутые и разомкнутые САР, синтез и анализ САР.....	145
7.4. Основные динамические звенья САР и их характеристики.....	148

7.5. Первичные преобразователи (датчики), усилители, элементы сравнения, исполнительные механизмы.....	158
7.6. Структурные, функциональные и принципиальные схемы автоматизации	160
ЛЕКЦИЯ 8. УЧЕТ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ (8 ч).....	165
8.1. Общие требования к приборам и организации учета энергоносителей в промышленности. Основные определения.....	165
8.2. Организация учета энергии	170
8.3. Схемные решения по учету и регулированию горячей воды.....	173
8.4. Учет расхода и регулирование пара и газов	178
8.5. Особенности учета и регулирования энергоресурсов в ЖКХ.....	182
8.6. Хозяйственно-правовые взаимоотношения поставщиков и потребителей энергоресурсов	185
8.7. Ответственность за сохранность и исправность приборов и систем учета энергоресурсов. Методы и системы защиты приборов учета и регулирования от несанкционированного вмешательства.....	194
ЛЕКЦИЯ 9. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ (АСКУЭ) (4 ч)	197
9.1. Цели и задачи АСКУЭ	197
9.2. Состав и структура АСКУЭ	197
9.3. Особенности передачи данных в различных системах АСКУЭ	198
ЛЕКЦИЯ 10. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИБОРОВ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ (8 ч).....	208
10.1. Организация метрологической службы в мире и в Республике Беларусь	208
10.2. Поверка приборов, стандартизация и сертификация товаров и услуг	212
10.3. Организация эксплуатации приборов и систем учета и контроля энергоносителей	213
ЛИТЕРАТУРА	215
ТЕСТЫ.....	216

ВВЕДЕНИЕ

Менеджмент энергоресурсов, как указано в паспорте специальности, невозможен без их измерения, учета и контроля. Только на основе достоверных данных можно принимать правильные управленческие решения и осуществлять обоснованное регулирование ресурсов. Студенты, а в перспективе специалисты, должны знать современные подходы при измерениях, методологию и уметь применять в своей повседневной практической деятельности.

Цель изучения дисциплины – формирование системы знаний и умений по современным методам, приборам и системам учета, контроля и регулирования энергоресурсов при их производстве, распределении, передаче и потреблении, оценке технико-экономической эффективности их применения.

Задачи дисциплины – приобретение навыков:

- по принципам измерения энергетических ресурсов и их параметров (температура, давление, объем, масса, расход);

- по устройству приборов и систем измерения и учета энергетических ресурсов и их параметров;

- по методологическим основам измерения, учета и регулирования энергетических ресурсов, их параметров и основам обработки результатов измерений;

- по организации метрологической службы предприятий, правовым основам ее деятельности, оценке технико-экономической эффективности применения приборов и систем учета, контроля и регулирования энергоресурсов.

В результате усвоения этой дисциплины обучаемый должен **знать**:

- основные понятия и определения теории метрологии;

- основные принципы измерения энергетических ресурсов и их параметров (температура, давление, объем, масса, ток, напряжение, мощность, количество энергии);

- принципы действия устройств, приборов и систем измерения и учета энергетических ресурсов;

- принципы потребления энергоресурсов;

- методологические основы измерений и обработки результатов;

- правовые основы деятельности метрологической службы предприятий;

- основные технические решения и тенденции в развитии диспетчеризации, централизованного управления и регулирования энергоресурсов;

уметь:

- производить измерения параметров энергетических ресурсов и обработку результатов измерений;

- производить расчет и выбор приборов и средств измерений и учета энергоресурсов;

- составлять и реализовывать схемы организации измерения, учета и контроля энергоресурсов;

- производить расчеты по технико-экономической эффективности применения приборов измерения, учета и контроля энергоресурсов;

выполнять:

- практическую работу с современными приборами и системами измерения, учета и контроля энергоресурсов;

- расчет и выбор приборов измерения и учета;

- практическую работу по организации метрологической службы и оценке технико-экономической эффективности применения приборов и систем учета и контроля энергоресурсов.

Материалы пособия соответствуют образовательному стандарту ОСВО 1-43 01 06-2013 и учебному плану специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент».

Курс лекций – результат многолетнего преподавания дисциплины на кафедре энергоэффективных технологий МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. Ее изучение привело к созданию специализированной лаборатории, а также подготовке одноименного практикума, прошедшего опробацию в течение пяти лет. Большое значение при создании данного пособия имеет то, что автор опирался на свою практическую деятельность в качестве главного энергетика, главного инженера строительной организации и главного инженера проектов, опыта взаимодействия с органами Энергонадзора, Энергосбыта, электрических и тепловых сетей, Госстройнадзора, МЧС и других служб.

Книга может быть полезна инженерам-энергетикам предприятий, особенно при сдаче-приемке установок, организации метрологической службы предприятия и обычным потребителям энергоресурсов для формирования общего представления о взаимодействии с поставщиками энергоресурсов.

Автор выражает признательность руководству кафедры и института за поддержку в создании лаборатории и ее материальном оснащении, а также благожелательное отношение к формированию основных принципов дисциплины и их воплощению в практику.

ЛЕКЦИЯ 1. ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ (8 ч)

1.1. История и современные тенденции в метрологии

Метрология (греч. μέτρον – мера, измерительный инструмент и др.-греч. λόγος – мысль, причина) – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности (РМГ 29–99). Предметом метрологии является извлечение количественной информации о свойствах объектов с заданной точностью и достоверностью. Средством метрологии является совокупность измерений и метрологических стандартов, обеспечивающих требуемую точность.

Метрология и стандартизация тесно связаны: метрология служит фундаментом стандартизации, поскольку стандарты обеспечивают качество продукции и услуг, а в итоге – качество и безопасность нашей жизни.

В России указом «О системе Российских мер и весов» (1835 г.) были утверждены эталоны длины и массы – платиновая сажень и платиновый фунт.

В соответствии с международной Метрологической конвенцией, подписанной в 1875 г., Россия получила платиноиридиевые эталоны единицы массы № 12 и 26 и эталоны единицы длины № 11 и 28, которые были доставлены в новое здание Депо образцовых мер и весов. В 1892 г. управляющим Депо был назначен Д. И. Менделеев, который в 1893 г. преобразует Депо в Главную палату мер и весов – одно из первых в мире научно-исследовательских учреждений метрологического профиля.

Метрическая система в России была введена в 1918 г. декретом Совета Народных Комиссаров «О введении Международной метрической системы мер и весов». Дальнейшее развитие метрологии связано с созданием системы и органов служб стандартизации.

Главным научно-практическим центром измерений в республике является Белорусский государственный институт метрологии (<http://belgim.by>). Задачи по обеспечению единства измерений реализуют на местах 15 региональных центров стандартизации, метрологии и сертификации. Работы по обеспечению единства измерений в Республике Беларусь осуществляются на основе Закона «Об обеспечении единства измерений». Решением правительства в Республике введена Метрическая система единиц СИ. Государственный метрологический контроль включает:

- утверждение типа средств измерений;
- поверку средств измерений;
- лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, поверке, продаже и прокату средств измерений.

Метрология состоит из 3 разделов:

1. В теоретическом разделе рассматриваются общие теоретические проблемы (разработка теории и проблем измерений, физических величин, их единиц, методов измерений).
2. В прикладном разделе изучаются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии. В ее ведении находятся все вопросы метрологического обеспечения.
3. В законодательном разделе устанавливаются обязательные технические и юридические требования по применению единиц физической величины, методов и средств измерений.

Цели и задачи метрологии:

создание общей теории измерений;
образование единиц физических величин и систем единиц;
разработка и стандартизация методов и средств измерений, методов определения точности измерений, основ обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений (так называемая «законодательная метрология»);

создание эталонов и образцовых средств измерений, проверка мер и средств измерений. Приоритетной подзадачей данного направления является выработка системы эталонов на основе физических констант.

Объектами изучения метрологии являются системы мер, денежные единицы и счет в историческом аспекте.

1.2. Основные понятия и определения метрологии

В соответствии с ГОСТ 16263 – 70 установлены термины и понятия метрологии, значения которых раскрываются в данном подразделе.

Физическая величина – одно из свойств физического объекта (физической системы или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Значение физической величины – оценка размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Единица физической величины – физическая величина, которой по определению присвоено значение единицы: основные (кг, м, с) и производные (м/с).

Измерение физической величины – нахождение значения физической величины чаще всего опытным путем. Прямое измерение – измерение при котором значение физической величины находится непосредственно опытом. Измерения, которые не показывают непосредственного значения измеряемой величины по показаниям приборов, называются косвенными.

Однократное (многократное) измерение – измерение, выполненное один раз (несколько раз).

Средство измерений – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени. Различают рабочее средство измерений, основное средство измерений, измерительный прибор, шкалу средства измерений, чувствительность средства измерений.

Совокупность измерений – одновременное измерение нескольких одноименных величин в одной или нескольких точках. **Совместные измерения** – это одновременные измерения нескольких разнородных величин. **Абсолютные измерения** – измерения, которые производят непосредственно по шкале измеряющего прибора. **Относительные** – измерения, при которых искомую величину сравнивают с одноименной величиной, играющей роль единицы или принятой за исходную.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения выделяют статические и динамические измерения.

Статические измерения – это измерения, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени (размеры изделия, величины постоянного давления, температуры и др.). **Динамические** – это измерения, в процессе которых измеряемая величина изменяется во времени, например, давление и температура при сжатии газа в цилиндре двигателя.

Принцип измерений – физическое явление или эффект, положенное в основу измерений.

Метод измерений – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. В зависимости от способа определения значений искомых величин различают два основных метода измерений: метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

Метод непосредственной оценки – метод измерения, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия. Примерами таких измерений являются: измерение длины с помощью линейки, размеров деталей микрометром, угломером, давления манометром и т. д.

Метод сравнения с мерой – метод измерения, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Таким образом, измеряемая величина сравнивается с размером блока концевых мер. Существуют несколько разновидностей метода сравнения:

а) метод противопоставления, при котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, позволяющий установить соотношение между этими величинами;

б) дифференциальный метод, при котором измеряемую величину сравнивают с известной величиной, воспроизводимой мерой;

в) нулевой метод, при котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля;

г) при методе совпадений разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, определяют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов.

Погрешность результата измерения – отклонение результата измерений от истинного (действительного) значения измеряемой величины (систематическая, абсолютная, случайная, относительная).

Основные системы величин имеют эталоны, которые разделяются на:

Международные.

Национальные (в Республике Беларусь хранятся в лаборатории мер торгово-промышленной палаты Республики Беларусь и БелГИМе).

На уровне предприятия должны быть заводские эталоны для внутризаводской поверки приборов.

Поверка приборов и средств измерений в Республике Беларусь осуществляется БелГИМ или другими уполномоченными организациями.

1.3. Классификация измерений

Измерение – совокупность операций для определения отношения одной (измеряемой) величины к другой однородной величине, принятой за единицу, хранящуюся в техническом средстве (средстве измерений). Измерения различают по видам.

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно.

Косвенное измерение – определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

Совместные измерения – проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними.

Совокупные измерения – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях.

По методам измерений различают:

метод непосредственной оценки – метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений;

метод сравнения с мерой – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой;

нулевой метод измерений – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля;

метод измерений замещением – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины;

метод измерений дополнением – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению;

дифференциальный метод – метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами.

По условиям, определяющим точность результата метрологические измерения разделяют на:

1. Измерения максимальной точности, достижимой при существующем уровне техники. В этот класс включены все высокоточные измерения, измерения физических констант.

2. Контрольно-поверочные измерения, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать некоторого заданного значения. В этот класс включены измерения, выполняемые лабораториями государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов.

3. Технические измерения, в которых погрешность результата определяется характеристиками средств измерений. Примерами технических измерений являются измерения, выполняемые в процессе производства на промышленных предприятиях.

Измерения по отношению к изменению измеряемой величины делят на статические и динамические.

Статические – это измерения, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени (измерения размеров изделия, величины постоянного давления, температуры и др.).

Динамические – это измерения, в процессе которых измеряемая величина изменяется во времени (измерение давления и температуры при сжатии газа в цилиндре двигателя).

По результатам измерений различают **абсолютное измерение** – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант; **относительное измерение** – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

1.4. Классификация средств измерений и их основные характеристики

ГОСТ 8.009-84 устанавливает номенклатуру нормируемых характеристик средств измерений, которые, независимо от вида измеряемых величин и принципов действия средств измерений, необходимы для обоснованной оценки погрешности измерения, проводимых в конкретных условиях как в статическом, так и в динамическом режимах, а также способы нормирования и формы их представления.

Метрологическая характеристика средств измерений – характеристика одного из свойств измерений, влияющих на результат измерений или его погрешность.

Нормируемые метрологические характеристики – это метрологические характеристики, установленные нормативно-техническими документами.

Действительные метрологические характеристики – это характеристики средств измерений, полученные экспериментально.

Стандарт предусматривает следующую номенклатуру метрологических характеристик: характеристики, предназначенные для определения результата измерений; характеристики погрешностей средств измерений (суммарная погрешность; систематическая и случайная составляющая погрешности; погрешности вследствие гистерезиса); характеристики чувствительности средств измерений к влияющим величинам (функция влияния; характеристики изменения метрологической характеристики под воздействием влияющих величин); динамические характеристики – характеристики динамических средств измерений, отражающих зависимость выходного сигнала от изменяющегося во времени входного сигнала (переходная, импульсная, амплитудно-частотная и фазовая характеристики; частные характеристики – время установления показания прибора, время реакции и т. д.); характеристики свойств средств измерений, влияющих на погрешность из-за взаимодействия средств измерений.

В стандарте для каждой характеристики установлены способы нормирования и формы представления, приведены рекомендации по выбору комплексов метрологических характеристик.

Основными метрологическими характеристиками являются диапазон измерений (или показаний) и различные составляющие погрешности средства измерений.

Для каждого типа средств измерений устанавливают свои метрологические характеристики.

Диапазон показаний – область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями, то есть наименьшим и наибольшим значениями измеряемой величины.

Шкала – это часть устройства, представляющая собой совокупность отметок и проставленных у некоторых из них чисел отсчетов или других символов, соответствующих ряду последовательных значений величины.

Отметка шкалы – это знак (штрих, точка и т. п.) на шкале, соответствующий некоторому отдельному значению измеряемой величины.

Промежуток между двумя соседними отметками шкалы называется делением шкалы.

Цена деления шкалы – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

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

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

Различают абсолютную и относительную чувствительность.

Абсолютная чувствительность определяется по формуле:

$$S = \frac{\Delta l}{\Delta x}.$$

Относительная чувствительность определяется по формуле:

$$S = \frac{\Delta l}{\Delta x / x},$$

где Δl – изменение сигнала на выходе; x – измеряемая величина; Δx – изменение измеряемой величины.

Неизменность во времени метрологических характеристик измерительного прибора определяет его стабильность.

Стабильность средств измерений определяется как наибольшая разность между повторными показаниями измерительного прибора (наибольший разброс показаний) при многократном измерении одной и той же величины при неизменных внешних условиях. Этот показатель является конструктивной характеристикой и отражает качество изготовления прибора.

По виду измеряемой физической величины – температуры, давления, массы, электричества, перемещения, геометрических размеров.

По способу получения отсчета приборы могут быть с непосредственным отсчетом и самозаписью.

По характеру применения приборы делятся на стационарные, переносные и для подвижных установок.

Нормирование метрологических характеристик средств измерений. Под нормированием понимается установление границ на допустимые отклонения реальных метрологических характеристик средств измерений от их номинальных значений. Только посредством нормирования метрологических характеристик можно добиться их взаимозаменяемости и обеспечить единство измерений в государстве. Реальные значения метрологических характеристик определяют при изготовлении средств измерений и затем проверяют периодически во время эксплуатации. Если при этом хотя бы одна из метрологических характеристик выходит за установленные границы, то такое средство измерений либо подвергают регулировке, либо изымают из обращения [1].

Нормы на значения метрологических характеристик устанавливаются стандартами на отдельные виды средств измерения. При этом делается различие между нормальными и рабочими условиями применения средств измерения.

Нормальными считаются такие условия применения средств измерений, при которых влияющие на процесс измерения величины (температура, влажность, частота, напряжение питания, внешние магнитные поля и т. д.), а также неинформативные параметры входных и выходных сигналов находятся в нормальной для данных средств измерений области значений, то есть в такой области, где их влиянием на метрологические характеристики можно пренебречь. Нормальные области значений влияющих величин указываются в стандартах или технических условиях на средства измерений данного вида в форме номиналов с нормированными отклонениями, например, температура должна составлять 20 ± 2 °C, напряжение питания – $220 \text{ В} \pm 10 \%$ или в форме интервалов значений (влажность 30–80 %).

Рабочая область значений влияющих величин шире нормальной области значений. В ее пределах метрологические характеристики существенно зависят от влияющих величин, однако их изменения нормируются стандартами на средства измерений в форме функций влияния или наибольших допустимых изменений. За пределами рабочей области метрологические характеристики принимают неопределенные значения.

Для нормальных условий эксплуатации средств измерений должны нормироваться характеристики суммарной погрешности и ее систематической и случайной составляющих. Суммарная погрешность Δ средств измерений в нормальных условиях эксплуатации называется основной погрешностью и нормируется заданием предела допускаемого значения Δ , то есть того наибольшего значения, при котором средство измерений еще может быть признано годным к применению.

Перечисленные выше метрологические характеристики следует нормировать не только для нормальной, но и для всей рабочей области эксплуатации средств измерений, если их колебания, вызванные изменениями внешних влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала в пределах рабочей области, существенно меньше номинальных значений. В противном случае эти характеристики нормируются только для нормальной области, а в рабочей области нормируются дополнительные погрешности путем задания функций влияния $\Psi(\xi)$ или наибольших допустимых изменений $\Delta I(\xi)$ отдельно для каждого влияющего фактора; в случае необходимости – и для совместного изменения нескольких факторов. Функции влияния нормируются формулой, числом, таблицей или задаются в виде номинальной функции влияния и предела допускаемых отклонений от нее.

Для используемых по отдельности средств измерений, точность которых заведомо превышает требуемую точность измерений, нормируются только пределы Δ_d допускаемого значения суммарной погрешности и наибольшие допустимые изменения метрологических характеристик. Если же точность средств измерений соизмерима с требуемой точностью измерений, то необходимо нормировать отдельно характеристики систематической и случайной погрешности и функции влияния. Только с их помощью можно найти суммарную погрешность в рабочих условиях применения средств измерений.

Динамические характеристики нормируются путем задания номинального дифференциального уравнения или передаточной, переходной, импульсной весовой функции. Одновременно нормируются наибольшие допустимые отклонения динамических характеристик от номинальных.

Класс точности – это обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также рядом других свойств, влияющих на точность осуществляемых с их помощью измерений. Классы точности регламентируются стандартами на отдельные виды средств измерения с использованием метрологических характеристик и способов их нормирования, изложенных в предыдущих главах.

Стандарт не распространяется на средства измерений, для которых предусматриваются отдельные нормы на систематическую и случайные составляющие, а также на средства измерений, для которых норми-

рованы номинальные функции влияния, а измерения проводятся без введения поправок на влияющие величины. Классы точности не устанавливаются и на средства измерений, для которых существенное значение имеет динамическая погрешность.

Для остальных средств измерений обозначение классов точности вводится в зависимости от способов задания пределов допускаемой основной погрешности.

1.5. Обработка результатов измерений

Погрешность измерений – отклонение результатов измерения от истинного значения измеряемой величины.

$$\Delta = x - Q - \text{абсолютная погрешность,}$$

где x – текущее значение измеряемой физической величины (наблюдение); Q – истинное значение искомой величины (обычно принимается равным математическому ожиданию).

$$\delta = \Delta/Q - \text{относительная погрешность.}$$

Точность измерения – величина, характеризующая качество приборов:

$$T = 1/\delta$$

Для характеристики большинства приборов часто используют понятие приведенной погрешности, равной абсолютной погрешности в процентах диапазона шкалы измерений. По приведенной погрешности приборы разделяются на классы точности. Класс точности указан на панели прибора.

Обработка результатов косвенных измерений. Пусть при косвенных измерениях величина Z рассчитывается по экспериментальным данным, полученным по m измерениям величин a_j :

$$Z = F(a_1, a_2, \dots, a_n). \quad (1.5.1)$$

Запишем полный дифференциал функции:

$$dZ = \sum_{j=1}^m \frac{\partial F}{\partial a_j} da_j. \quad (1.5.2)$$

В случае слабой зависимости функции от аргументов ее приращение может быть выражено в виде линейной комбинации $\Delta a_j = \Delta_j$. Согласно (1.5.2) получим:

$$\Delta Z = \sum_{j=1}^m \frac{\partial F}{\partial a_j} \Delta_j. \quad (1.5.3)$$

Каждое слагаемое в (1.5.3) представляет собой частную погрешность результата косвенных измерений.

Производные $\frac{\partial F}{\partial a_j}$ называется коэффициентами влияния соответствующих погрешностей.

Формула (1.5.3) является приближенной, поскольку учитывает только линейную часть приращений функции. В большинстве практических случаев такое приближение оправдано.

Если известны систематические погрешности Δ_j прямых измерений a_j , то формула (1.5.3) позволяет рассчитать систематическую погрешность косвенных измерений.

Если частные производные в (1.5.3) имеют разные знаки, то происходит частичная компенсация систематических погрешностей.

Если формула (1.5.3) используется для вычисления предельной погрешности, то она принимает вид:

$$\pm Z_{\max} = \pm \sum_{j=1}^m \left| \frac{\partial F}{\partial a_j} \right| \Delta_{j\max}. \quad (1.5.4)$$

Рассмотрим, как, используя формулу (1.5.3), можно оценить случайную погрешность косвенных измерений.

Пусть погрешность прямых измерений Δ_j имеет нулевое математическое ожидание $M[\Delta_j] = 0$ и дисперсию σ_j^2 .

Используя, (1.5.3) запишем выражения для математического ожидания и дисперсии погрешности косвенных измерений ΔZ . Математические ожидания отдельных измерений складываются с учетом вклада каждого из них:

$$M[\Delta Z] = \sum_{j=1}^m \frac{\partial F}{\partial a_j} M[\Delta_j] = 0. \quad (1.5.5)$$

Для вычисления дисперсии воспользуемся правилом сложения погрешностей:

$$\sigma^2[\Delta Z] = \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial F}{\partial a_j} \right)^2 \sigma_j^2 + 2 \sum_{k < l}^m R_{kl} \frac{\partial F}{\partial a_k} \frac{\partial F}{\partial a_l} \sigma_k \sigma_l, \quad (1.5.6)$$

где R_{kl} – коэффициент корреляции погрешностей Δ_k, Δ_l .

Если погрешности Δ_j не коррелированы, то

$$\sigma^2[\Delta Z] = \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial F}{\partial a_j} \right)^2 \sigma_j^2. \quad (1.5.7)$$

Обработка результатов прямых измерений. Пусть результаты прямых измерений равны n прямым измерениям равны $y_1, y_2, \dots, y_n$. Предположим, что истинное значение измеряемой величины равно a , тогда $\Delta_i = y_i - a$ погрешность i -го измерения.

Относительно погрешности предполагаются следующие допущения:

Δ_i – случайная величина с нормальным распределением;

математическое ожидание $M(\Delta_i) = 0$ (отсутствует систематическая погрешность);

погрешность Δ_i имеет дисперсию σ^2 , которая не меняется в зависимости от номера измерения, то есть измерение равноточное;

измерения независимы.

При этих допущениях плотность распределения результата измерения y_i запишется в виде:

$$\rho(y_i, a) = \frac{e^{-(y_i - a)^2 / 2\sigma^2}}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}. \quad (1.5.8)$$

В данном случае истинное значение измеряемой величины a входит в формулу (1.5.8) как параметр.

Вследствие независимости отдельных измерений плотность распределения системы величин $y_1, y_2, \dots, y_n$ выражается формулой:

$$\rho(y_1, y_2, \dots, y_n, a) = \prod_{i=1}^n \rho(y_i, a). \quad (1.5.9)$$

С учетом (1.5.9) и независимости $y_1, y_2, \dots, y_n$ их многомерная плотность распределения (1.5.10) представляет собой функцию правдоподобия:

$$L(y_1, y_2, \dots, y_n, a) = \prod_{i=1}^n \rho(y_i, a) = (2\pi)^{-\frac{n}{2}} \sigma^{-n} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (y_i - a)^2 \right]. \quad (1.5.10)$$

Используя функцию правдоподобия (1.5.10) необходимо найти оценку a_0 для измеряемой величины a таким образом, чтобы в (1.5.10) $a = a_0$, выполнялось условие:

$$L(y_1, y_2, \dots, y_n, a) = \max. \quad (1.5.11)$$

Для выполнения (1.5.9) необходимо, чтобы

$$\sum_{i=1}^n (y_i - a)^2 = \min. \quad (1.5.12)$$

По сути условие (1.5.12) является формулировкой критерия наименьших квадратов, то есть для нормального распределения оценки по методу наименьших квадратов и методу максимального правдоподобия погрешности совпадают.

Из (1.5.11) и (1.5.12) можно получить также наилучшую оценку

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \bar{y}. \quad (1.5.13)$$

Важно понимать, что полученная оценка является случайной величиной с нормальным распределением. При этом

$$M(\bar{y}) = a; \quad \sigma^2(\bar{y}) = \frac{\sigma^2}{n}. \quad (1.5.14)$$

Таким образом, получая $\bar{y}$, мы увеличиваем точность измерений, поскольку дисперсия этой величины в n раз меньше дисперсии отдельных измерений. Случайная погрешность при этом уменьшится в $\sqrt{n}$ раз.

Для оценки неопределенности величины a_0 необходимо получить оценку погрешности (дисперсии). Для этого прологарифмируем функцию максимального правдоподобия (1.5.9) и оценку дисперсии найдем из условия

$$\partial \ln L(y_1, y_2, \dots, y_n, a, \sigma^2) / \partial \sigma^2 = 0. \quad (1.5.15)$$

После дифференцирования получим

$$-\frac{n}{2} \cdot \frac{1}{\sigma^2} + \frac{1}{2\sigma^4} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - a)^2 = 0, \quad (1.5.16)$$

а далее, из (1.5.9) – оценку дисперсии σ_0 :

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - a)^2. \quad (1.5.17)$$

Таким образом, мы доказали, что для нормально распределенных данных, среднеквадратичное отклонение является лучшей оценкой дисперсии.

Обработка результатов совместных измерений. При совместных измерениях полученные значения используются для построения зависимостей между измеряемыми величинами. Рассмотрим многофакторный эксперимент, по результатам которого должна быть построена зависимость $y = F(x_1, x_2, \dots, x_m)$.

Предположим далее, что зависимость $F(x_1, x_2, \dots, x_m) = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_m x_m$, то есть параметр состояния есть линейная комбинация из входных факторов. В процессе эксперимента проводятся совместные измерения для нахождения коэффициентов a_j .

В этом случае искомые величины определяются в результате решения системы линейных уравнений:

$$y_i = \sum_{j=1}^m a_j x_{ij}, \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (1.5.18)$$

где a_j – искомые коэффициенты зависимости, которую необходимо определить; y_i, x_{ij} – измеряемые значения величин.

В предположении, что система уравнений (1.5.18) является точной, но значения y_i получены с погрешностями, запишем:

$$l_i = y_i + \Delta_i, \quad (1.5.19)$$

где Δ_i – погрешность измерения y_i , тогда

$$l_i = \sum_{j=1}^m a_j x_{ij} + \Delta_i. \quad (1.5.20)$$

Для решения задачи мы вынуждены использовать значения l_i . При этом, если число измерений l_i больше числа неизвестных в уравнении (1.5.18), то система (1.5.18) не имеет однозначных решений.

Поэтому уравнения системы (1.5.18) иногда называют условными.

Оценим случайную погрешность совместных измерений. Пусть погрешность Δ_i имеет нормальный закон распределения с нулевым математическим ожиданием и дисперсией. Измерения l_i независимы. В этом случае по аналогии с обработкой прямых измерений может быть построена функция максимального правдоподобия:

$$L(l_1, l_2, \dots, l_n) = \prod_{i=1}^n \rho_i(l_i) = (2\pi)^{-\frac{n}{2}} \sigma^{-n} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n \left(l_i - \sum_{j=1}^m a_j x_{ij} \right)^2 \right]. \quad (1.5.21)$$

Для нахождения экстремума функции правдоподобия (1.5.21) воспользуемся уже известной процедурой. Прологарифмируем (1.5.21) и найдем значения, при которых функция достигает экстремума. Условием максимума функции (1.5.21) является

$$\sum_{i=1}^n \left(l_i - \sum_{j=1}^m a_j x_{ij} \right)^2 = \min. \quad (1.5.22)$$

Таким образом, (1.5.22) отвечает требованиям метода наименьших квадратов. Следовательно, при нормальном распределении случайной погрешности оценки по методу максимального правдоподобия и по методу наименьших квадратов совпадают.

Для нахождения оценки $a_j = a_{0j}$, удовлетворяющей (1.5.22), необходимо добиться равенства нулю всех частных производных этой функции по a_j .

Для каждого значения j эта оценка будет находиться из следующего уравнения:

$$\sum_{i=1}^n \left(l_i - \sum_{j=1}^m a_j x_{ij} \right) x_{ij} = 0. \quad (1.5.23)$$

Система уравнений (1.5.23) является линейной относительно a_j и называется системой нормальных уравнений. Число уравнений в системе всегда совпадает с числом a_j .

Система (1.5.23) решается методом определителей

$$a_{0j} = D_j / D,$$

где D – определитель матрицы $x_i x_j$, а определитель D_j получается из определителя D заменой j -го столбца столбцом свободных членов.

Для нахождения оценки дисперсии результатов σ_0 найдем условие максимума после логарифмирования (1.5.21), подставим $a_j = a_{0j}$ (см. (1.5.8–1.5.10)) и получим:

$$\sigma_0 = \sum_{i=1}^n \left(l_i - \sum_{j=1}^m a_{0j} x_{ij} \right)^2$$

Построение функциональной зависимости при однофакторном эксперименте. Пусть при однофакторном эксперименте имеется выборка, описывающая изменения входных параметров, и набор выходных величин (рис. 1.1). Необходимо построить зависимость $y = F(x)$.



Рис. 1.1

Для анализа экспериментальных данных существует много способов поиска этой зависимости аналитическими и численными методами. Мы отметим лишь самые распространенные из них.

Дальнейшая обработка может проводиться при непосредственном численном использовании массива значений (x_i, y_i) .

В случае, когда количество измерений i не слишком велико и разброс значений (x_i, y_i) мал, зависимость $y = F(x)$ может быть построена путем *интерполяции* (аппроксимации) через все экспериментальные точки. В этом случае проводится зависимость $y = F(x)$ через все точки с координатами (x_i, y_i) . Простейший вариант проведения такой зависимости заключается в построении полинома (степенного ряда).

Пусть

$$F(x_0) = y_0, F(x_1) = y_1, \dots, F(x_n) = y_n, \text{ а} \quad (1.5.24)$$

интерполирующая функция $P_n(x) = a_0x^n + a_1x^{n-1} + \dots + a_{n-1}x + a_n$, при этом многочлен $P_n(x)$ имеет $n + 1$ член.

Требую выполнения условия (1.5.24), получим систему из $(n + 1)$ уравнений с $(n + 1)$ неизвестными:

$$\sum_{k=0}^n a_k x^{n-k} = y_i, \quad (1.5.25)$$

где каждому $i = 0, \dots, n$ соответствует свое уравнение.

Вместо решения системы уравнений (1.5.25) на практике используются более удобные и менее трудоемкие способы:

- а) интерполирование многочленом Лагранжа;
- б) интерполирование многочленом Ньютона.

Интерполяционные формулы Ньютона особенно удобны в случае равноотстоящих узлов $x_{i+1} - x_i$ (одинаково для всех i). В случае, если i велико (большое число узлов), интерполяционный многочлен имеет высокую степень и оказывается неудобным для вычислений.

При слишком высокой степени полинома проблемы можно избежать, разбив отрезок интерполяции на несколько частей с построением для каждой из них своего интерполяционного многочлена. Такое интерполирование имеет серьезный недостаток: в точках стыка интерполяционных многочленов оказывается разрывной первая производная. На рис. 1.2 показан простейший способ такой интерполяции экспериментальной зависимости – соединение соседних точек прямыми (многочлен степени $n = 1$).

Если необходимо, чтобы зависимость имела непрерывные производные, пользуются сплайнами.

Сплайн (англ. spline – рейка) – функция, являющаяся алгебраическим многочленом на каждом отрезке $[x_i, x_{i+1}]$ и непрерывная во всей области вместе со своими производными. Чаще всего пользуются сплайнами третьей степени. Соответствующая зависимость показана на рис. 1.2 штрих-пунктиром.

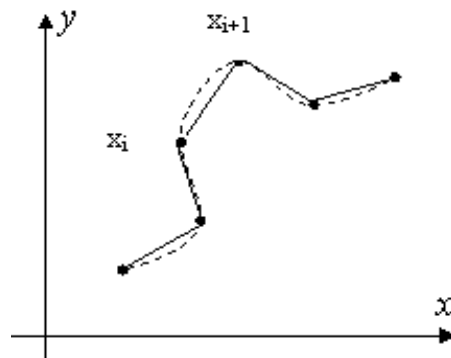


Рис. 1.2

При однофакторном эксперименте, когда имеются результаты многократных измерений со случайной погрешностью, проведение зависимости через все экспериментальные точки бессмысленно. Чаще всего в этом случае для построения функциональной зависимости пользуются методом наименьших квадратов (МНК).

Построение функциональной зависимости при помощи метода наименьших квадратов. Он используется в том случае, когда число точек i (узлов) велико и построение плавной зависимости

$$y = F(x), \quad (1.5.26)$$

проходящей через все точки (x_i, y_i) , невозможно из-за большого разброса значений. Функция (1.5.26) называется уравнением регрессии y на x . Пусть приближенная функция, описывающая $y = F(x)$, зависит от трех параметров $y = F(x, a, b, c)$. Если она не будет проходить через все точки с координатами (x_i, y_i) , то тогда можно найти сумму квадратов разностей

$$\sum_{i=1}^n [y_i - F(x_i, a, b, c)]^2 = \Phi(a, b, c). \quad (1.5.27)$$

Задача сводится к отысканию минимума $\Phi(a, b, c)$, то есть к решению системы уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi}{\partial a} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial b} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial c} = 0. \end{cases} \quad \text{А именно} \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^n [y_i - F(x_i, a, b, c)] \cdot F'_a(x, a, b, c) = 0, \\ \sum_{i=1}^n [y_i - F(x_i, a, b, c)] \cdot F'_b(x, a, b, c) = 0, \\ \sum_{i=1}^n [y_i - F(x_i, a, b, c)] \cdot F'_c(x, a, b, c) = 0. \end{cases} \quad (1.5.28)$$

Решив систему (1.5.28) относительно параметров (a, b, c) , находим конкретный вид искомой функции.

Приближающая (приближенная) функция может иметь любой вид: линейная зависимость, парабола, синусоида и т. д. Чаще всего используются алгебраические многочлены не выше третьего порядка. В большинстве случаев анализируется линейная регрессия, когда

$$y = F(x) = ax + b. \quad (1.5.29)$$

Главная особенность регрессионного анализа состоит в том, что регрессия y на x не соответствует регрессии x на y (рис. 1.3).

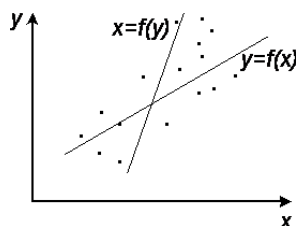


Рис. 1.3

Поясним это свойство регрессионных зависимостей. Пусть формула регрессии имеет вид (1.5.29), приведем ее обратную функцию:

$$x = f(y) = \frac{y}{a} - \frac{b}{a}. \quad (1.5.30)$$

Обратим внимание, что в (1.5.29) свободный член $\frac{b}{a}$ зависит от коэффициента наклона a прямой зависимости (1.5.30). При построении же регрессии прямая проходит приблизительно через середину области, охватывающей экспериментальные точки, и ее наклон определяется отношением разброса значений по осям x и y (пересечение функций $y = f(x)$ и $x = f(y)$ находится в середине области экспериментальных значений). Таким образом, регрессия $x(y)$, построенная по экспериментальным данным, не будет совпадать с (1.5.30) из-за наличия свободного члена.

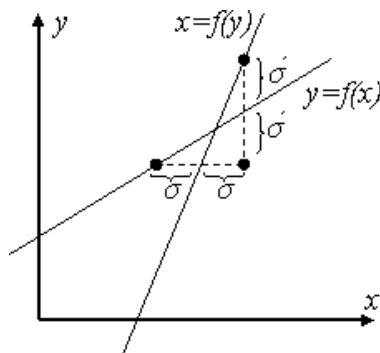


Рис. 1.4

Графически это поясняется на рис. 1.4, где по трем экспериментальным точкам построены регрессии $y(x)$ и $x(y)$, которые не совпадают. Для минимизации СКО трех экспериментальных точек от прямой, зависимость должна проходить через одну из них и в середине между двумя другими точками. Как следует из рис. 1.4, линейные регрессии, построенные из этих соображений, пересекаются в центре области экспериментальных значений и имеют разный наклон.

Быстрые методы построения функциональных зависимостей. Выбор вида функциональной зависимости – задача неформализуемая, поскольку одна и та же экспериментальная зависимость может быть описана разными аналитическими выражениями приблизительно с одинаковой точностью. Например, U-образная кривая может быть описана как параболой, так и куском синусоиды.

Основное требование к математической модели – компактность и удобство использования, потому что чаще всего пользуются алгебраическими многочленами, экспоненциальными и тригонометрическими функциями. Другое требование – интерпретируемость. Например, если экспериментальная зависимость описывает изменение амплитуды затухающих колебаний, то функциональная зависимость может быть построена в виде $\frac{1}{ax}$ или e^{-ax} . В этом случае из знания природы зависимости (теоретической модели затухающих колебаний) будет выбрана экспоненциальная зависимость e^{-ax} .

Погрешность в выборе функциональной зависимости называется погрешностью адекватности модели. Для ее устранения надо рассматривать теоретическую модель описываемого явления или процесса.

На практике используют быстрые методы установления графического вида однофакторных зависимостей. Простейший экспресс-метод статистической обработки – метод контура (рис. 1.5, а, б). Его суть – обведение экспериментальных точек плавными границами. Требование плавности подразумевает, что некоторые точки могут оказаться вне контура (рис. 1.5, а). Метод контура можно использовать тогда, когда разброс экспериментальных точек не слишком велик (рис. 1.5, б). На рис. 1.5, в показано построение экспериментальной зависимости более строгим экспресс-методом – методом медианных центров. Для этого область экспериментальных данных разбивается вертикальными линиями на несколько областей (в данном случае – три области), в каждой из которых находится равное количество экспериментальных точек. Медианными центрами каждой из этих областей по координате x являются точки, справа и слева от которых находится равное количество экспериментальных отсчетов. Найдя таким образом координаты x_i медианных центров, аналогичным образом в каждой области находят их вертикальные координаты y_i , выше и ниже которых находилось бы равное количество точек. Затем по точкам с координатами x_i, y_i строится плавная экспериментальная кривая. Необходимо помнить, что координаты (x_i, y_i) медианных центров не совпадают со средними значениями экспериментальных данных.

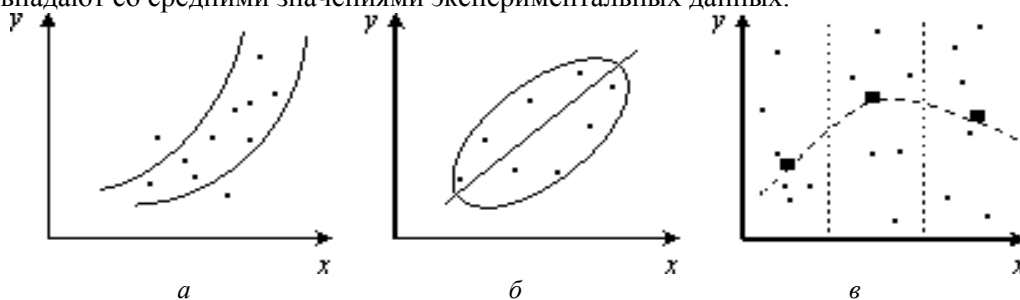


Рис. 1.5

Связь коэффициента линейной регрессии, коэффициента корреляции и относительной погрешности. Пусть по результатам однофакторного эксперимента строится линейная регрессия $y = f(x) = ax + b$, тогда из системы (1.5.31) следует:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}. \quad (1.5.31)$$

С другой стороны, коэффициент корреляции, характеризующий связь между x_i и y_i , по определению

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2)}}. \quad (1.5.32)$$

Сопоставив (1.5.31) и (1.5.32), найдем связь между коэффициентом регрессии a и коэффициентом корреляции R :

$$a = \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_x} \right)^2 R, \quad (1.5.33)$$

где σ_y, σ_x – среднеквадратичные отклонения x_i и y_i .

Таким образом, коэффициент корреляции связан с разбросом значений по осям x, y и определяет возможную степень отклонения линии регрессионной зависимости по наклону. Пусть величина σ_x фиксирована, тогда возможное отклонение по оси y от среднего значения $\bar{y}$ составляет $a\sigma_x + \sigma_\Delta$, где σ_Δ – среднеквадратичное отклонение от линии регрессии (рис. 1.6).

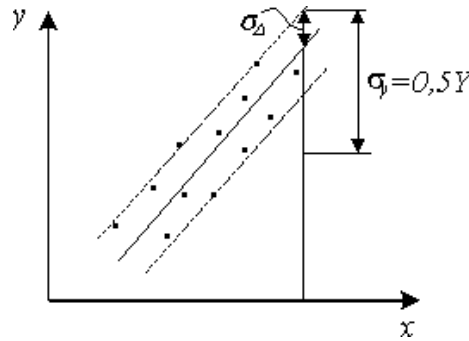


Рис. 1.6

В связи с этим, учитывая (1.5.33), коэффициент корреляции очень часто определяют как

$$R = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_\Delta}{\sigma_y} \right)^2}}, \quad (1.5.33)$$

где σ_Δ – ширина полосы погрешностей по y ; σ_y – разброс значений y который определяется диапазоном изменения величины Y .

Поскольку в практических случаях $\sigma_\Delta \ll Y$, то формулу (1.5.21) с учетом приближенного разложения до первого члена в ряд Тейлора приводят к виду

$$R = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_\Delta}{\sigma_y} \right)^2}} \approx \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_\Delta}{\sigma_y} \right)^2} = \sqrt{1 - (2\gamma)^2}, \quad (1.5.34)$$

где $\gamma = \frac{\sigma_\Delta}{Y}$ – приведенная погрешность.

Таким образом, в большинстве практических случаев связь между коэффициентом корреляции и приведенной погрешностью может быть установлена при помощи простейшей приближенной формулы (1.5.33).

Быстрая оценка коэффициента корреляции исходных данных. Быструю оценку коэффициента корреляции и погрешности исходных данных можно провести также методом медианных центров (рис. 1.7).

Разобьем поле экспериментальных точек вертикальной чертой на две равные по числу точек области (8×8 точек). В левой и правой частях найдем медианные центры. Проведенная через эти медианные центры, обозначенные звездочкой, прямая *a* – регрессия *y* на *x*. Разобьем экспериментальную область на равное количество точек по вертикали горизонтальной чертой. После нахождения соответствующих медианных центров получим прямую *b* – регрессию *x* на *y*. Прямые *a* и *b* совпадут только в том случае, если коэффициент корреляции между *x_i* и *y_i* равен единице, то есть *R* = 1.

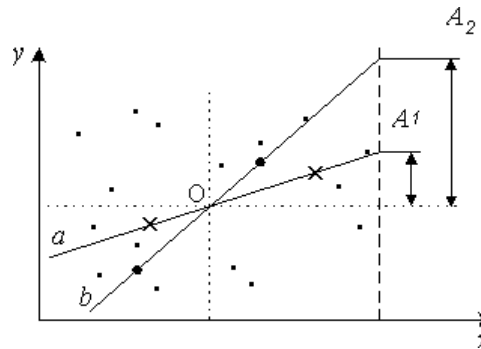


Рис. 1.7

По различию прямых *a* и *b* можно, с учетом (1.5.30), оценить коэффициент корреляции:

$$R = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}}, \quad (1.5.35)$$

где $\frac{A_1}{A_2}$ определяется отношением углов их наклона.

Для быстрой оценки относительной погрешности подставим величину *R* из (1.5.35) в обращенную формулу (1.5.34):

$$\gamma = \frac{\sqrt{1 - R^2}}{2} \quad (1.5.36)$$

Таким образом, быстрая оценка коэффициента корреляции и значения относительной погрешности основывается на том, что прямые *a* и *b* обязательно проходят через точку пересечения границ *O*. При этом, чем выше разброс экспериментальных данных (невывянутая область), тем больше будет угол между прямыми *a* и *b*.

При построении регрессионных зависимостей методом медианных центров, необходимо помнить, что полученные линии регрессии в общем случае отличаются от соответствующих зависимостей, полученных при помощи МНК. Их различия будут уменьшаться при увеличении количества экспериментальных точек, если разброс экспериментальных данных подчиняется нормальному закону распределения.

Упрощенная обработка прямых измерений. Проводим наблюдения: *x₁*, *x₂*, ..., *x_n*. Определяем закон распределения случайной величины, то есть значения наблюдений. Наиболее часто в технических измерениях встречаются нормальное (Гаусовское) распределение, Вейбуловское распределение, прямоугольное распределение. Отметим, что подробно разработана теория обработки данных при нормальном распределении. Если распределение отличается от нормального, то его параметры нормализуются, то есть приводятся к нормальному путем введения масштабирующих коэффициентов. Далее расписана последовательность действий при нормальном законе распределения.

Находим среднее значение (математическое ожидание наступления случайной величины)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{x}_i}{n}. \quad (1.5.37)$$

Находим дисперсию – отклонения случайной величины вокруг ее математического ожидания:

$$D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n^2}}, \quad (1.5.38)$$

где x_i – i -ая случайная величина, $\bar{x}$ – среднее значение, n – количество случайных величин.

Определяем среднеквадратическое отклонение: $\sigma = \sqrt{D}$.

Определяем t – критерий Стьюдента (по таблицам в зависимости от числа наблюдений и требуемой (желаемой) доверительной вероятности).

Находим доверительный интервал $\Delta x = t \cdot \sigma$.

Записываем окончательно результаты измерений в виде: $x = \bar{x} \pm \Delta x$.

В случаях, когда явление не носит детерминированный характер или нет информации о взаимосвязи исследуемых величин, проводится оценка корреляции.

1.6. Погрешности измерений

Погрешность измерения – оценка отклонения измеренного значения величины от ее истинного значения. Погрешность измерения является характеристикой (мерой) точности измерения.

Погрешности, возникающие при измерениях, делятся на систематические и случайные.

Систематические погрешности – это погрешности, соответствующие отклонению измеренного значения от истинного значения физической величины всегда в одну сторону (повышения или занижения). При повторных измерениях погрешность остается прежней. Причины возникновения систематических погрешностей:

- 1) несоответствие средств измерения эталону;
- 2) неправильная установка измерительных приборов (наклон, неуравновешенность);
- 3) несовпадение начальных показателей приборов с нулем и игнорирование поправок, которые в связи с этим возникают;

- 4) несоответствие измеряемого объекта с предположением о его свойствах (наличие пустот и т. д.).

Случайные погрешности – это погрешности, которые непредсказуемым образом меняют свое численное значение. Они вызываются большим числом неконтролируемых причин, влияющих на процесс измерения (неровности на поверхности объекта, дуновение ветра, скачки напряжения и т. д.). Влияние случайных погрешностей может быть уменьшено при многократном повторении опыта.

По форме представления погрешности делятся на абсолютные и относительные.

Абсолютная погрешность – является оценкой абсолютной ошибки измерения. Вычисляется разными способами. Способ вычисления определяется распределением случайной величины (измеряемое значение физической величины и его действительное значение $dX = X_i - X_{cp}$). **Абсолютная погрешность** измеряется в тех же единицах измерения, что и сама величина.

Относительная погрешность – погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к действительному или измеренному значению измеряемой величины. Относительная погрешность является безразмерной величиной либо измеряется в процентах:

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{x_n},$$

где x_n – нормирующее значение, которое зависит от типа шкалы измерительного прибора.

Относительная погрешность является безразмерной величиной либо измеряется в процентах.

Погрешности по причине возникновения:

Инструментальные / приборные погрешности – погрешности, которые определяются погрешностями применяемых средств измерений и вызываются несовершенством принципа действия, неточностью градуировки шкалы, ненаглядностью прибора.

Методические погрешности – погрешности, обусловленные несовершенством метода, а также упрощениями, положенными в основу методики.

Субъективные / операторные / личные погрешности – погрешности, обусловленные степенью внимательности, сосредоточенности, подготовленности и другими качествами оператора.

Внешняя погрешность – определяется несоблюдением требований по условиям измерений.

Погрешность измерений также следует разделить на погрешность средств измерений и погрешность результатов измерений.

Погрешности средств измерений – отклонения метрологических свойств или параметров средств измерений от номинальных, влияющие на погрешности результатов измерений (создающие так называемые инструментальные ошибки измерений).

Погрешность результата измерения – отклонение результата измерения x измерения от действительного (истинного) значения измеряемой величины x_0 , определяемая по формуле $\Delta x = x_{\text{изм}} - x_0$ – погрешность измерения.

В свою очередь погрешности средств измерений можно разделить на инструментальную и методическую погрешности.

Инструментальные и методические погрешности. Методическая погрешность обусловлена несовершенством метода измерений или упрощениями, допущенными при измерениях. Так, она возникает из-за использования приближенных формул при расчете результата или неправильной методики измерений. Выбор ошибочной методики возможен из-за несоответствия (неадекватности) измеряемой физической величины и ее модели.

Причиной **методической погрешности** может быть не учитываемое взаимное влияние объекта измерений и измерительных приборов или недостаточная точность такого учета. Например, методическая погрешность возникает при измерениях падения напряжения на участке цепи с помощью вольтметра, так как из-за шунтирующего действия вольтметра измеряемое напряжение уменьшается. Механизм взаимного влияния может быть изучен, а погрешности рассчитаны и учтены.

Инструментальная погрешность обусловлена несовершенством применяемых средств измерений. Причинами ее возникновения являются неточности, допущенные при изготовлении и регулировке приборов, изменение параметров элементов конструкции и схемы вследствие старения. В высокочувствительных приборах могут сильно проявляться их внутренние шумы.

Статическая и динамическая погрешности. Статическая погрешность измерений – погрешность результата измерений, свойственная условиям статического измерения, то есть при измерении постоянных величин после завершения переходных процессов в элементах приборов и преобразователей.

Динамическая погрешность измерений – погрешность результата измерений, свойственная условиям динамического измерения. Динамическая погрешность появляется при измерении переменных величин и обусловлена инерционными свойствами средств измерений.

Статические и динамические погрешности относятся к погрешностям результата измерений. В большей части приборов статическая и динамическая погрешности оказываются связаны между собой, поскольку соотношение между этими видами погрешностей зависит от характеристик прибора и характерного времени изменения величины. Более подробно соотношение между этими погрешностями рассмотрено в главе 4, где описаны виды регистрирующей аппаратуры.

Систематические и случайные погрешности. Систематическая погрешность измерения – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины. Систематические погрешности являются в общем случае функцией измеряемой величины, влияющих величин (температуры, влажности, напряжения питания и пр.) и времени. В функции измеряемой величины систематические погрешности входят при поверке и аттестации образцовых приборов.

Случайными называют составляющие погрешности измерений, изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Случайные погрешности определяются совместным действием ряда причин: внутренними шумами элементов электронных схем, наводками на входные цепи средств измерений, пульсацией постоянного питающего напряжения, дискретностью счета. Случайные погрешности будут более подробно рассмотрены в следующем параграфе данной главы.

Погрешности адекватности и градуировки. Погрешность градуировки средства измерений – погрешность действительного значения величины, приписанного той или иной отметке шкалы средства измерений в результате градуировки.

Погрешностью адекватности модели называют погрешность при выборе функциональной зависимости. Характерным примером может служить построение линейной зависимости по данным, которые лучше описываются степенным рядом с малыми нелинейными членами.

Погрешность адекватности относится к измерениям для проверки модели. Если зависимость параметра состояния от уровней входного фактора задана при моделировании объекта достаточно точно, то погрешность адекватности оказывается минимальной. Эта погрешность может зависеть от динамического диапазона измерений, например, если однофакторная зависимость $y = f(x)$ задана при моделировании параболой, то в небольшом диапазоне она будет мало отличаться от экспоненциальной зависимости. Если диапазон измерений увеличить, то погрешность адекватности сильно возрастет.

В целом в теории планирования эксперимента погрешность адекватности может иметь большое значение, поскольку в многофакторных экспериментах чаще всего рассматривается линейная зависимость параметров состояния от факторов.

Абсолютная, относительная и приведенная погрешности. Под абсолютной погрешностью понимается алгебраическая разность между номинальным и действительным значениями измеряемой величины. $\Delta x(x), \Delta y(y)$ – абсолютные погрешности (рис. 1.8). Однако в большей степени точность средства измерений характеризует относительная погрешность, то есть выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой или воспроизводимой данным средством измерений величины: $\frac{\Delta x}{x}, \frac{\Delta y}{y}$ – относительные погрешности.

Если диапазон измерения прибора охватывает и нулевое значение измеряемой величины, то относительная погрешность обращается в бесконечность в соответствующей ему точке шкалы. В этом случае пользуются понятием приведенной погрешности, равной отношению абсолютной погрешности измерительного прибора к некоторому нормирующему значению. В качестве нормирующего принимается значение, характерное для данного вида измерительного прибора. Это может быть, например, диапазон измерений, верхний предел измерений, длина шкалы и т. д. $\frac{\Delta x}{X}, \frac{\Delta y}{Y}$ – приведенные погрешности, где X и Y – диапазон изменения величин. Выбор X и Y в каждом конкретном случае разный из-за нижнего предела (чувствительности) прибора.

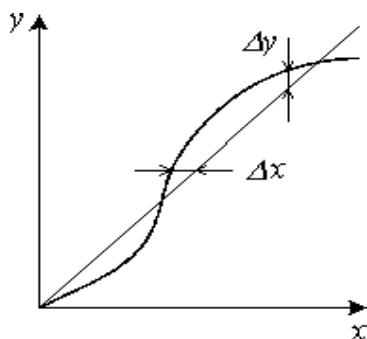


Рис. 1.8

Класс точности прибора – предел (нижний) приведенной погрешности.

Аддитивные и мультипликативные погрешности. Аддитивной погрешностью называется погрешность, постоянная в каждой точке шкалы.

Мультипликативной погрешностью называется погрешность, линейно возрастающая или убывающая с ростом измеряемой величины.

Различать аддитивные и мультипликативные погрешности легче всего по полосе погрешностей (рис. 1.9).

Если абсолютная погрешность не зависит от значения измеряемой величины, то полоса определяется аддитивной погрешностью (рис. 1.9, а). Иногда аддитивную погрешность называют погрешностью нуля.

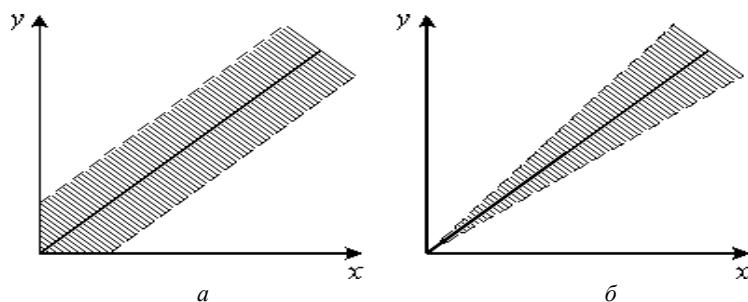


Рис. 1.9

Если постоянной величиной является относительная погрешность, то полоса погрешностей меняется в пределах диапазона измерений и погрешность называется мультипликативной (рис. 1.9, б).

Ярким примером аддитивной погрешности является погрешность квантования (оцифровки).

Класс точности измерений зависит от вида погрешностей. Рассмотрим класс точности измерений y_0 для аддитивной и мультипликативной погрешностей:

– для аддитивной погрешности:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta_0}{X},$$

где X – верхний предел шкалы; Δ_0 – абсолютная аддитивная погрешность;

– для мультипликативной погрешности:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta x(x)}{X},$$

где $\frac{\Delta x}{x} = 1$ – это условие определяет порог чувствительности прибора (измерений).

Абсолютная величина погрешности для обоих типов погрешностей может быть выражена одной формулой:

$$\Delta x = \Delta_0 + \gamma_0 x, \quad (1.6.1)$$

где Δ_0 – аддитивная погрешность; $\gamma_0 x$ – мультипликативная погрешность.

Относительная погрешность с учетом (1.6.1) выражается формулой $\gamma(x) = \frac{\Delta_0}{x} + \gamma_0$ и, при уменьшении измеряемой величины, возрастает до бесконечности. Приведенное значение погрешности $\gamma(x) = \frac{\Delta_0}{x} + \gamma_0 \frac{x}{x}$ возрастает с увеличением измеряемой величины.

Нормирование погрешности средств измерений. Кроме нормирования погрешностей в виде класса точности возникает необходимость нормировать их некоторыми особыми способами. Например, нормирование погрешности цифрового частотомера или моста для измерения сопротивлений. Особенность этих приборов состоит в том, что, кроме нижнего порога чувствительности мосты, для измерения сопротивлений имеют верхний порог, а для цифрового частотомера погрешность зависит не только от измеряемой величины, но и от времени измерений.

Вопрос об измерении частот и временных интервалов будет рассмотрен ниже.

Нормировка при измерении сопротивлений имеет вид:

$$\gamma(x) = \frac{\Delta_0}{x} + \gamma + \frac{x}{\Delta_\omega},$$

где Δ_0, Δ_ω – нижний и верхний пороги измеряемых сопротивлений.

Округление погрешностей обычно осуществляется до десятичного знака, соответствующего погрешности.

Методы исключения систематических погрешностей. В теоретической метрологии принято считать, что систематические погрешности можно обнаружить и исключить из результата измерения

Постоянные систематические погрешности можно обнаружить только путем сравнения результатов измерений с другими, полученными с использованием более точных методов и средств измерения. В ряде случаев систематическую погрешность можно исключить путем устранения источников погрешности до начала измерений (профилактика погрешности), а в процессе измерений – внесением известных поправок в результаты измерений.

Метод замещения предполагает включение в измерение с последующей или предварительной заменой объекта набором устройств с известными (нормализуемыми) параметрами.

Метод компенсации по знаку – включение в измеряемые цепи противоположных по значению и напряжению элементов.

Метод симметричных наблюдений – наблюдение с 2-х сторон.

Метод противопоставления – выполнение измерений с противопоставлением объектов.

Метод рандомизации – (перемешивание, создание беспорядка, хаоса) основан на принципе формального перевода систематических погрешностей в случайные и по предварительной оценке их влияния на конечную погрешность.

Графический – наиболее простой метод, используемый для обнаружения переменной систематической погрешности в ряде результатов наблюдений. При этом методе рекомендуется построить график, на который нанесены результаты наблюдений в той последовательности, в какой они были получены. На графике через точки наблюдений проводят плавную линию, которая выражает тенденцию результата измерения, если она существует.

1.7. Характеристики измерительных приборов и требования, предъявляемые к приборам

Приборы – технические средства для измерения имеющейся нормируемой метрологической характеристики, воспроизводящей и (или) хранящей единицы физической величины, размер которой применяется неизменным в течении известного периода времени.

Приборы различают по *конструктивному исполнению*:

- **меры** – средства измерения, предназначенные для воспроизведения физической величины;
- **измерительные преобразователи** – средства измерения для выработки измерительного сигнала, но не поддающегося непосредственному наблюдению;
- **измерительные установки** – совокупность функционально-объединенных приборов, предназначенных для выработки сигналов измерения информации в удобной форме для оценки человека, расположенных в одном месте.

Характеристики электроизмерительных приборов: тип (система) прибора, а также класс точности, предел измерения и чувствительность прибора. Они воспроизводятся обычно на шкале прибора условными знаками.

Главная предельно допустимая приведенная погрешность прибора обуславливает класс точности этого прибора. Классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Так, приборы класса точности 2,5 имеют допустимую приведенную погрешность 2,5 % и т. д. Приборы класса точности 0,05 наиболее точные.

Сведения о погрешности прибора, как правило, указаны на его шкале, а также в паспорте прибора. Они позволяют осуществить подходящий правильный выбор в зависимости от условий эксплуатации и определенно помогают правильно использовать прибор при выполнении измерений. На шкале прибора имеется ряд других условных обозначений. Степень его защищенности от внешних магнитных полей маркируется римскими цифрами I, II, III, IV: чем она меньше, тем определенно прибор более хорошо защищен от действия внешних магнитных полей. При соответствующих температурах и влажности условия работы прибора обозначаются на шкале буквами: А – норма при температуре окружающего воздуха от +10 до +35 °С и относительной влажности до 80 %; Б – норма при температуре окружающего воздуха от –20 до +50 °С и относительной влажности до 80 %; В – норма при температуре окружающего воздуха от –40 до +60 °С и относительной влажности до 98 %.

На шкале прибора указывают:

- полярность зажимов и род тока;
- значение напряжения, при котором испытана изоляция прибора;
- устойчивость к механическим воздействиям, например, УП – ударопрочные, ОП – обыкновенные, ВП – вибропрочные и т. п.;
- максимально допускаемое значение измеряемой величины, например, $U_{\max} = 1,5U_H$ – устойчивость прибора характеризуется по отношению к перегрузке;
- защищенность корпуса от воздействий внешней среды, например, Пз – пылезащищенный, Бз – брызгозащищенный, Гм – герметический и т. п.;
- марку завода-изготовителя, заводской номер, год выпуска и тип прибора.

Требования, предъявляемые к электроизмерительным приборам. За электроизмерительными приборами должен быть организован систематический контроль, обеспечивающий их исправное состояние и правильность показаний. При эксплуатации, хранении и транспортировке переносных электроизмерительных приборов следует избегать резких толчков и ударов. На всех приборах должны быть нанесены следующие данные: марка завода изготовителя; заводской номер прибора; наименование прибора или сокращенное обозначение измеряемой величины; условное обозначение системы (принцип действия) прибора; верхний и нижний пределы измерения; обозначение нормального положения прибора; назначение всех видов зажимов и знаки полярности у зажимов; номинальное число оборотов рукоятки привода генератора; величина напряжения на зажимах. Перед началом измерительных работ прибор проверяют. Условия, при которых разрешается производить электроизмерительные работы: корпус прибора не имеет механических повреждений и трещин, через которые может проникать внутрь его пыль; стекло должно быть прочно укреплено, не иметь трещин, пузырьков, царапин и других изъянов, мешающих снятию показаний; шкала не покорежена, не отклеилась и не загрязнена (зеркальная полоска, служащая для устранения погрешности в показаниях прибора, не потускнела и не разбита); зажимы должны завинчиваться до конца и резьба должна быть исправной, основания не расшатаны; стрелка не погнута и ее конец по направлению должен

совпадать с направлением отметок шкалы; корректор исправен и допускает регулировку нулевого положения указателя; разбивка шкалы на деления должна быть произведена в соответствии с характером интервалов между числовыми отметками, а также должны быть исправны регулирующие устройства.

1.8. Эталоны, образцовые и рабочие меры, системы единиц измерения

Эталон – средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и хранения единицы физической величины (кратных либо дольных значений единицы этой величины) с целью передачи ее размера другим средствам измерений данной физической величины. Эталон должен обладать взаимосвязанными свойствами: воспроизводимостью, неизменностью и сличаемостью.

Основным является *международный эталон*.

Воспроизводимость – возможность воспроизведения единицы физической величины (на основе ее теоретического определения) с наименьшей погрешностью для существующего уровня развития измерительной техники. Это достигается постоянным исследованием эталона в целях определения систематических погрешностей и их исключения путем введения соответствующих поправок.

Неизменность – свойство эталона удерживать неизменным размер воспроизводимой им единицы в течение длительного интервала времени, при этом все изменения, зависящие от внешних условий, должны быть строго определенными функциями величин, доступных точному измерению.

Сличаемость – возможность обеспечения сличения нижестоящих по поверочной схеме, в первую очередь вторичных эталонов, с наивысшей точностью для существующего уровня развития техники измерения. Это свойство предполагает, что эталоны по своему устройству и действию не вносят каких-либо искажений в результаты сличений и сами не претерпевают изменений при проведении сличения. По своему метрологическому назначению эталоны делятся на первичные, специальные и вторичные.

Первичный эталон обеспечивает воспроизведение и хранение единицы физической величины с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же величины) точностью.

Специальный эталон обеспечивает воспроизведение единицы физической величины в особых условиях, в которых прямая передача размера единицы от первичного эталона с требуемой точностью неосуществима и для этих условий заменяет первичный эталон.

Вторичные эталоны являются частью подчиненных средств хранения единиц и передачи их размеров, создаются и утверждаются в тех случаях, когда это необходимо для организации проверочных работ, а также для обеспечения сохранности и наименьшего износа государственного эталона. Один из самых распространенных образцовых средств измерений – мера.

Мера – это средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью: гиря – 1 кг, плоскопараллельная концевая мера 50 мм, конденсатор постоянной емкости, штриховая мера длины. Система единиц измерений – совокупность единиц измерений, охватывающая все или только некоторые области измерений (механические, электрические и т. д.). В системе единиц только основные единицы устанавливаются произвольно, остальные единицы, являющиеся производными, находятся в зависимости от основных единиц в соответствии с физическими законами. Основные единицы в Международной системе СИ приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Наименование величины	Единица измерения	Сокращенное обозначение
Длина	Метр	м
Масса	Килограмм	кг
Время	Секунда	с
Сила тока	Ампер	А
Температура	градус Кельвина	К

Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь (далее – Госреестр) ведется с 1993 года.

Ведение Госреестра осуществляется в целях реализации положений закона Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений» (№ 163-З, www.pravo.by) на основании Постановления Госстандарта от 6 марта 2007 г. № 13 «Об утверждении Положения о Государственном реестре средств измерений Республики Беларусь».

В Госреестре содержится информация о типах средств измерений (далее – СИ) и государственных стандартных образцах (далее – ГСО), допущенных к применению на территории Республики Беларусь.

Госреестр состоит из трех разделов:

Раздел 1 «Средства измерений, допущенные к применению на территории Республики Беларусь».

Раздел 2 «Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов».

Раздел 3 «Средства измерений, применяемые в составе технологического оборудования для производства алкогольной, пищевой спиртосодержащей продукции и этилового спирта».

Госреестр ведется в целях:

- обеспечения государственного учета утвержденных типов СИ, в том числе СИ, применяемых в составе технологического оборудования для производства алкогольной, пищевой спиртосодержащей продукции и этилового спирта, и ГСО, допущенных к применению на территории Республики Беларусь;
- информационного обеспечения государственных органов, юридических лиц и индивидуальных предпринимателей о типах (модификациях, исполнениях) СИ и ГСО, включенных в Госреестр;
- создания централизованной информационно-поисковой базы данных.

Внесение типов СИ и ГСО в Госреестр осуществляется по рекомендации научно-технической комиссии по метрологии Госстандарта Председателем Госстандарта после проведения одной из следующих процедур:

- государственных испытаний средств измерений с целью утверждения типа средства измерений (согласно СТБ 8001-93);
- экспертизы материалов государственных испытаний с целью признания результатов государственных испытаний и утверждения типа средств измерений, проведенных в других государствах, в соответствии с международными соглашениями и правилами межгосударственной стандартизации (согласно ПМГ 06-2001);
- государственных испытаний (метрологической аттестации) стандартных образцов состава и свойств веществ (материалов) с целью утверждения типа (согласно СТБ 8005-2000);
- экспертизы с целью присоединения к признанию утверждения типа межгосударственных стандартных образцов или стандартных образцов Евро-азиатского сотрудничества государственных метрологических учреждений (КОOMET) и разрешения их использования в качестве ГСО.

На утвержденный тип СИ и ГСО выдается сертификат об утверждении типа установленной формы, а на само СИ и ГСО или их эксплуатационные документы наносится знак утверждения типа средств измерений.



Каждому утвержденному типу СИ и ГСО присваивается регистрационный номер Госреестра, который указывается в сертификате об утверждении типа, а также описании типа, являющимся неотъемлемой частью сертификата об утверждении типа.

Структура регистрационного номера Госреестра для СИ (рис. 1.10).

Структура регистрационного номера Госреестра для ГСО (рис. 1.11).

Сведения о типах СИ и ГСО, включенных в Госреестр либо исключенных из него, а также о внесенных в Госреестр изменениях хранятся в электронном виде в информационно-поисковой базе данных «Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь». Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь включен в качестве информационного ресурса в Государственный регистр информационных ресурсов Республики Беларусь (Свидетельство № 0900400057 от 10 сентября 2004 г.).



Рис. 1.10

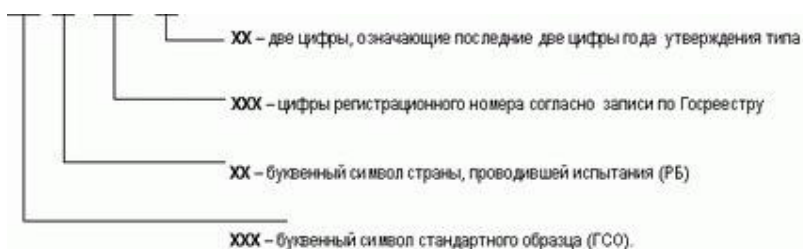


Рис. 1.11

ЛЕКЦИЯ 2. ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ (4 ч)

2.1 Принципы, классификация первичных преобразователей, области применения

Температура – это среднестатистическая характеристика внутренней энергии тел.

Температура является важным параметром, определяющим не только протекание технологического процесса, но и свойства вещества. Для измерения температуры в системе единиц СИ принята температурная шкала с единицей температуры Кельвин (К). Начальной точкой этой шкалы является абсолютный нуль (0 К). Для технологических измерений часто применяют температурную шкалу с единицей температуры градус Цельсия (°С).

Принципы измерения температур:

– *параметрический* принцип основан на изменении параметров первичных преобразователей, то есть датчиков;

– *генераторный* принцип основан на свойствах первичных преобразователей генерировать энергию при изменении температуры.

Первичные преобразователи для измерения температуры:

- термометры расширения, основанные на свойстве температурного расширения жидких и твердых тел;
- термометры газовые и жидкостные манометрические;
- термометры конденсационные;
- электрические термометры (термопары);
- термометры сопротивления;
- оптические монохроматические пирометры;
- оптические цветковые пирометры;
- радиационные пирометры.

Техника для измерения температуры называется *термометрами* (если речь идет о невысоких температурах), или *пирометрами* (пиро – огонь, метр – измеряю), если речь идет о температурах пламени или плазмы. Производные тепловые величины также измеряются специфическими приборами.

В зависимости от принципов измерения термометры разделяют на два класса. *Традиционный* и наиболее массовый вид термометров – *контактные термометры* (необходим тепловой контакт между датчиком термометра и средой, температура которой измеряется). Вторую группу составляют *бесконтактные термометры*, для измерения которыми нет необходимости в тепловом контакте среды и прибора, а достаточно измерений собственного теплового или оптического излучения (их еще называют радиометрами).

Контактные приборы и методы по принципу их действия разделяют на:

а) термометры контактные волюметрические, в которых измеряется изменение объема жидкости или газа с изменением температуры;

б) термометры dilatометрические, в которых о температуре судят по удлинению различных материалов при изменении температуры. В ряде случаев датчиком служит пластинка, изготовленная из двух металлов с разными температурными коэффициентами расширения и изгибающаяся при нагревании или охлаждении;

в) термопары, представляющие из себя два разнородных, спаянных по концам проводника. При наличии разности температур спаев в термопаре возникает электрический ток, который и служит мерой изменения температуры. Температура измеряется по термоЭДС или по величине силы тока термопары;

г) термосопротивления – термометры, принципом действия которых является измерения сопротивления проводника с изменением температуры.

Физическая сущность методов неконтактной термометрии основана на хорошо известном факте, что все тела, температура которых отличается от абсолютного нуля, излучают тепловую энергию. При этом регистрируется либо полная энергия излучения (радиометры), либо спектральное распределение теплового излучения (тепловизоры), либо яркость собственного излучения объектов (пирометры).

2.2. Измерение температуры прямыми методами

Измерение температуры прямыми методами основано на непосредственном контакте измерительного преобразователя температуры с исследуемым объектом, в результате чего добиваются состояния теплового равновесия преобразователя и объекта. Этому способу присущи свои недостатки. Температурное поле объекта искажается при введении в него термоприемника. Температура преобразователя всегда отличается от

истинной температуры объекта. Верхний предел измерения температуры ограничен свойствами материалов, из которых изготовлены температурные датчики. Кроме того, ряд задач измерения температуры в недоступных вращающихся с большой скоростью объектах не может быть решен контактным способом.

Жидкостные термометры. Принцип действия стеклянных жидкостных термометров основан на тепловом расширении жидкостей. При изменении температуры изменяется объем термометрической жидкости, при этом изменяется положение уровня жидкости в капилляре, по которому отсчитывается значение температуры. Жидкостные термометры изготавливаются из различных марок стекла и наполняются термометрическими жидкостями или ртутью. Большим преимуществом последней является то, что она не смачивает стекло и легко может быть получена химически чистой.

По способу применения термометры рассчитаны либо на частичное погружение в контролируемую среду (неполное погружение), либо на погружение до считываемой температуры (полное погружение).

Спиртовой термометр. Термометр спиртовой относится к термометрам расширения и является подвидом жидкостного термометра. Принцип действия термометра спиртового основан на изменении объема жидкостей и твердых тел при измерении температуры. Таким образом, в данном термометре используется способность жидкости, заключенной в стеклянную колбочку, к расширению и сжатию. Обычно стеклянная капиллярная трубочка заканчивается шаровидным расширением, которое служит резервуаром для жидкости. Этиловый спирт применяют в термометрах, предназначенных для измерения низких температур.

Жидкостные электроконтактные термометры. Некоторые из этих термометров (ТС-11, ТМ-4, ТМ-6) применяют для регулирования, сигнализации и поддержания температуры в пределах от -30 до $+300$ °С. В качестве термометрической жидкости может выступать только ртуть, по причине ее электропроводимости. Замыкание или размыкание контакта происходит вследствие касания ртутного столбика с подвижным контактом. Эти термометры имеют два контакта – один неподвижный (11), который соединен с ртутью в нижней части термометра и один подвижный (10), который исполнен из тонкой вольфрамовой нити. В верхней части термометра расположена дополнительная шкала (4), с помощью которой задается температура замыкания (размыкания). Под дополнительной шкалой расположена основная (6). Эти два контакта соединены с внешней цепью с помощью зажимов (1). При нагревании нижней части термометра (8), ртуть от нижнего неподвижного контакта будет двигаться к верхнему подвижному соединяя контакты, в результате чего происходит переключение внешней электрической цепи.

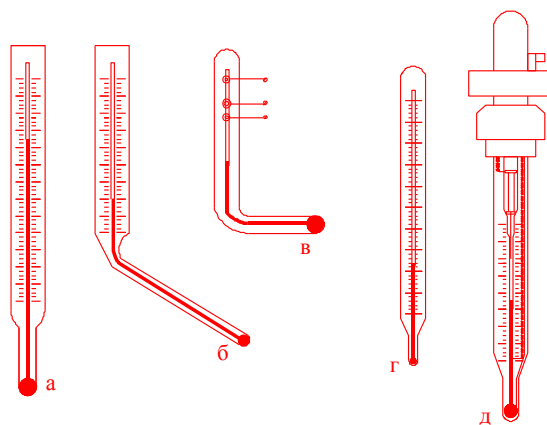


Рис. 2.1. Жидкостные стеклянные термометры расширения:

а, б – технические с вложенной шкалой прямой и угловой;

в – электротерморегулятор палочный двухконтактный угловой; г – лабораторный химический с вложенной шкалой;

д – электротерморегулятор (электроконтактный термометр) с магнитной регулировкой контакта

Деформационные термометры. Устройство терморегулирующее дилатометрическое электрическое ТУДЭ ТУ 25-7323.001-88 предназначено для регулирования температуры жидких и газообразных сред в системах автоматического контроля и регулирования при статическом давлении до 6,4 МПа (64 кг/см^2). Диапазон регулирования температур ($-60 \dots +500$) °С.

Принцип действия ТУДЭ основан на пропорциональной разности приращения длин чувствительной трубки и стержня изменению температуры регулируемой среды. Полученное приращение преобразуется в мгновенно возникающее действие контактного механизма, с помощью которого размыкаются (закрыва-

ются) контакты. ТУДЭ состоит из следующих основных узлов: dilatометрического элемента, контактного устройства, узла настройки задания. Dilatометрический элемент следует полностью погружать в регулируемую среду.

Термоэлектрический термометр. Термоэлектрическим термометром называют термопару, снабженную защитной арматурой. Принцип работы термопары состоит в следующем. Если составить замкнутую цепь из двух разнородных проводников и нагреть один ее спай, то в цепи возникнет электрический ток. Замкнутая электрическая цепь (рис. 2.2, а), состоящая из двух разнородных проводников – термоэлектродов А и В, образует термоэлемент (термопару). Спай, погружаемый в измеряемую среду, называется рабочим или горячим спаем термопары; второй спай носит название свободного или холодного.

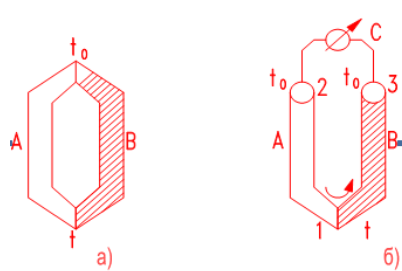
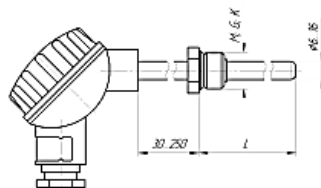


Рис. 2.2. Схемы термоэлектрических цепей: а – цепь, состоящая из двух разнородных проводников; б – схема включения третьего проводника в цепь термопары.

Конструктивно термопара представляет собой две проволоки из разнородных металлов, нагреваемые концы которых скручиваются, а затем свариваются или спаиваются.

Термопреобразователи сопротивления. Термопреобразователи предназначены для измерения температуры в диапазоне $-70...600^{\circ}\text{C}$ различных сред (пар, газ, вода, сыпучие материалы, химические реагенты), не агрессивных к материалу защитной арматуры датчика.



Б.7 ТСП/ТСМ-01-07

Габаритные размеры ТС типа ТСП/ТСМ-02

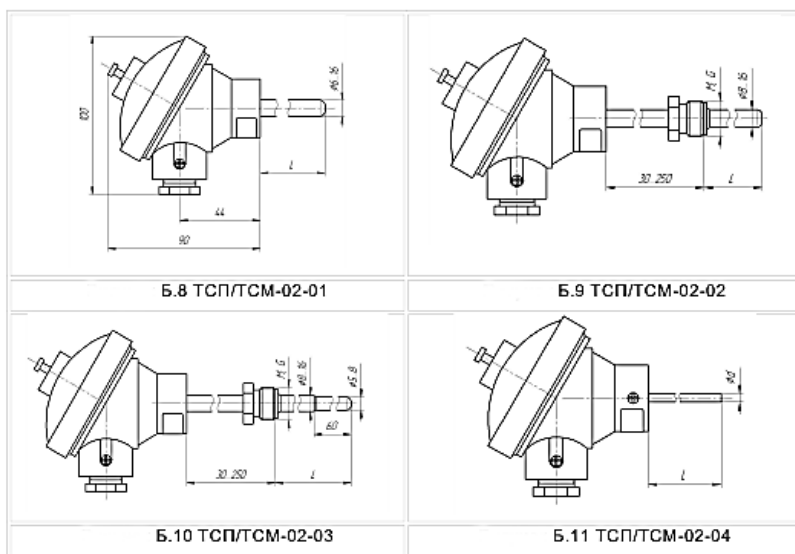


Рис. 2.3 (Б.7–Б.11). Термопреобразователи)

Принцип действия термопреобразователей сопротивления (терморезисторов) основан на изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников в зависимости от температуры. Материал, из которого изготавливается такой датчик, должен обладать высоким температурным коэффициентом сопротивления, по возможности линейной зависимостью сопротивления от температуры, хорошей воспроизводимостью свойств и инертностью к воздействиям окружающей среды. Платиновые терморезисторы обладают высокой стабильностью и воспроизводимостью характеристик. Их недостатками являются высокая стоимость и нелинейность функции преобразования. Поэтому они используются для точных измерений температур в соответствующем диапазоне. Широкое распространение на практике получили медные термопреобразователи сопротивления (например, ТСМ-1199). Недостатком меди является небольшое ее удельное сопротивление и легкая окисляемость при высоких температурах, вследствие чего конечный предел применения медных термометров сопротивления ограничивается температурой 1800 °С.

Манометрические термометры предназначены для дистанционного измерения температуры газов (воздуха, аммиака, углекислого газа, сероводорода, метана и др.), паров жидкостей. К преимуществам манометрических термометров, по сравнению с аналогичными преобразователями другого принципа действия, относят возможность дистанционного измерения параметров без использования источников дополнительной энергии; простоту конструкции и большую надежность при эксплуатации; равномерность шкалы; взрывобезопасность; отсутствие чувствительности к внешним электромагнитным полям.

Манометрические термометры (рис. 2.4) состоят из герметично замкнутой термосистемы и показывающего или записывающего устройства. В зависимости от заполнителя термосистемы манометрические термометры изготовляют трех видов: газовые – с азотом; жидкостные – с полиметилсилоксановыми жидкостями; конденсационные (парожидкостные) – с ацетоном, метилом, хлоридом фреона. Термосистема прибора, заполненная рабочим веществом, состоит из термобаллона 1, погружаемого в измеряемую среду, манометрической трубчатой пружины 2, воздействующей посредством тяги 3 на указательную стрелку 4, и капилляра 5, соединяющего пружину с термобаллоном.

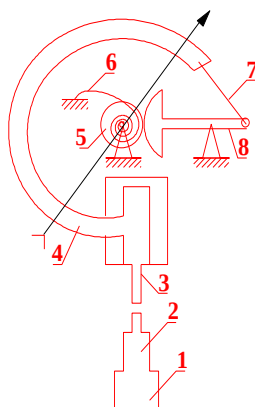


Рис. 2.4. Схема устройства манометрического термометра: 1 – термобаллон; 2 – хвостовик; 3 – капилляр; 4 – манометрическая трубка (пружина); 5 – зубчатое колесо, соединенное со стрелкой; 6 – спиральная пружина, служащая для устранения люфта в зубчатом зацеплении; 7 – тяга; 8 – зубчатый сектор

Газовые манометрические термометры применяются для измерения температур в интервале от –200 до 600 °С. В качестве наполнителя используется гелий (при низких температурах), азот (при средних температурах) или аргон (при высоких температурах).

Изменение температуры окружающего воздуха влияет на расширение рабочего вещества в капилляре и манометрической пружине, что вызывает изменение давления в термосистеме и соответствующее изменение показаний термометра. Для уменьшения этого влияния уменьшают отношение внутреннего объема пружины и капилляра к объему термобаллона, для чего увеличивают длину термобаллона и его диаметр.

Область применения: электрические отопительные котлы, водонагреватели, термостаты, масляные трансформаторы, сауны, управление температурными режимами нагревательных элементов промышленных и бытовых установок (термопластавтоматы, пресса для изготовления РТИ и пластмассы и т. п.).

2.3. Дистанционное измерение температуры

Средства измерения температуры, основанные на регистрации собственного теплового излучения тел без контакта с ним, называются дистанционными. При этом регистрируется либо полная энергия излучения

(радиометры), либо спектральное распределение теплового излучения (тепловизоры), либо яркость собственного излучения объектов (пирометры).

Инфракрасный термометр – прибор для бесконтактного измерения температуры. Принцип действия инфракрасного термометра основан на измерении абсолютного значения излучаемой энергии одной волны в инфракрасном спектре. На сегодня это относительно недорогой бесконтактный метод измерения температуры. Данные устройства могут наводиться на объект с любой дистанции и ограничены лишь диаметром измеряемого пятна и прозрачностью окружающей среды.

Инфракрасные термометры, используют принцип детектора инфракрасного излучения. Интенсивность и спектр излучения зависит от температуры тела. Измеряя характеристики излучения тела, пирометр косвенно определяет температуру его поверхности.

По области применения инфракрасные термометры классифицируют на 2 типа: стационарные и переносные (портативные).

Пирометром называют прибор, который измеряет температуру по тепловому электромагнитному излучению и предоставляет информацию в форме, удобной для пользователя. Принцип действия инфракрасного пирометра основан на измерении абсолютного значения амплитуды электромагнитного излучения от объекта в инфракрасной части спектра и последующем преобразовании измеренного значения в температуру. Тепловой луч, сфокусированный оптической системой, падает на датчик (первичный пирометрический преобразователь), в результате на выходе образуется электрический сигнал, пропорциональный значению температуры объекта измерения. Этот сигнал проходит через электронный преобразователь (вторичный пирометрический преобразователь), попадает в измерительно-счетное устройство и обрабатывается в нем. Результат отображается на дисплее (индикация у современных пирометров, как правило, цифровая).

Чтобы получить точное значение температуры объекта, пользователю нужно лишь включить прибор, навести его на объект измерения и нажать на кнопку. Измерения можно проводить практически на любом расстоянии, дальность действия современных пирометров ограничивается только площадью измеряемого пятна и прозрачностью среды.



Рис. 2.5. Внешний вид пирометра UTB2305B

Инфракрасные дистанционные термометры моделей UT2305B с лазерным целеуказателем определяют температуру различных поверхностей по величине инфракрасного излучения. Термометр имеет низкое потребление энергии и может получать питание как от встроенной батареи, так и от внешнего источника через USB – разъем. Кроме того, данная модель позволяет сохранять измеренные значения в памяти прибора, а также передавать данную информацию на компьютер.

Тепловизоры основаны на том, что все тела, температура которых превышает температуру абсолютного нуля, излучают электромагнитное тепловое излучение в соответствии с законом Планка. Спектральная плотность мощности излучения (функция Планка) имеет максимум, длина волны которого на шкале длин волн зависит от температуры. Положение максимума в спектре излучения сдвигается с повышением температуры в сторону меньших длин волн (закон смещения Вина). Тела, нагретые до температур окружающего нас мира ($-50..+50$ градусов Цельсия) имеют максимум излучения в среднем инфракрасном диапазоне (длина волны $7..14$ мкм). Для технических целей интересен также диапазон температур до сотен градусов, излучающий в диапазоне $3..7$ мкм. Температуры около тысячи градусов и выше не требуют тепловизоров для наблюдения, их тепловое свечение видно невооруженным глазом. При контроле температуры сложных процессов, характеризующихся неравномерным нагревом, нестационарно-

стью и неоднородностью коэффициента теплового излучения, тепловизоры эффективнее пирометров, поскольку анализ получаемой термограммы или температурного поля осуществляется мощной зрительной системой человека.

Исторически первые тепловизионные датчики для получения изображений были электронно-вакуумными. Наибольшее развитие получила разновидность на основе видиконов с пироэлектрической мишенью. В этих устройствах электронный луч сканировал поверхность мишени. Ток луча зависел от внутреннего фотоэффекта материала мишени под действием инфракрасного излучения. Такие приборы назывались пирикон или пировидикон. Существовали также другие типы сканирующих электронно-вакуумных трубок, чувствительных к тепловому спектру инфракрасного излучения, например, термикон и фильтерскан. В настоящее время на смену электронно-вакуумным приборам пришли твердотельные. Первые твердотельные датчики были одноэлементными, поэтому для получения двумерного изображения их оснащали электромеханической оптической разверткой. Такие тепловизоры называются сканирующими. В них система из движущихся зеркал последовательно проецирует на датчик излучение от каждой точки наблюдаемого пространства. Датчик может быть одноэлементным, линейкой чувствительных элементов или небольшой матрицей. Для увеличения чувствительности и снижения инерционности датчики сканирующих тепловизоров охлаждают до криогенных температур. Лучшие охлаждаемые датчики способны реагировать на единичные фотоны и имеют время реакции менее микросекунды.

Современные тепловизоры, как правило, строятся на основе специальных матричных датчиков температуры – болометров. Они представляют собой матрицу миниатюрных тонкопленочных терморезисторов. Инфракрасное излучение, собранное и сфокусированное на матрице объективом тепловизора, нагревает элементы матрицы в соответствии с распределением температуры наблюдаемого объекта. Пространственное разрешение коммерчески доступных болометрических матриц достигает 1280×720 точек. Коммерческие болометры обычно делают неохлаждаемыми для уменьшения цены и размеров оборудования.

Температурное разрешение современных тепловизоров достигает сотых долей градуса Цельсия.

Различают наблюдательные и измерительные тепловизоры. Наблюдательные тепловизоры показывают только градиенты температур объекта. Измерительные тепловизоры позволяют измерить значение температуры заданной точки объекта с точностью до коэффициента излучения материала объекта. Измерительные тепловизоры требуют периодической калибровки, для чего зачастую снабжены встроенным устройством для калибровки матрицы, обычно в виде шторки, температура которой точно измеряется. Шторка периодически надвигается на матрицу, давая возможность откалибровать матрицу по температуре шторки. Поскольку обычное оптическое стекло непрозрачно в среднем ИК-диапазоне, оптику тепловизоров делают из специальных материалов. Чаще всего это германий, но он дорог, поэтому иногда используют халькогенидное стекло, селенид цинка или даже полиэтилен. В лабораторных целях оптику также можно делать из некоторых солей, например, поваренной соли, также прозрачной в требуемом диапазоне длин волн.

С развитием полупроводниковой техники и появлением фотодиодных ячеек ПЗС, позволяющих хранить принятый световой сигнал, стало возможным создание современных тепловизоров на основе матрицы ПЗС датчиков. Данный принцип построения изображений позволил создать портативные устройства, с высокой скоростью обработки информации, которые позволяют вести контроль за изменением температур в режиме реального времени.

Наиболее перспективным направлением развития современных тепловизоров является применение технологии неохлаждаемых болометров, основанной на сверхточном определении изменения сопротивления тонких пластинок, под действием теплового излучения всего спектрального диапазона. Данная технология активно применяется во всем мире для создания тепловизоров нового поколения, отвечающих самым высоким требованиям по мобильности и безопасности использования. Температурное разрешение современных тепловизоров достигает сотых долей градуса Цельсия.

В тепловизионной технике используют разные участки спектра. При измерении невысоких температур регистрируют тепловое излучение в спектральном участке 8–14 мкм и иногда в области 3–5 мкм. Для измерения температур, превышающих 700 °С, применяют высокотемпературные тепловизоры, использующие матрицы на основе Si или InGaAs, которые чувствительны в ближней инфракрасной области спектра, где коэффициент теплового излучения металлов ϵ гораздо больше, чем в области 8–14 мкм. При необходимости измерения истинной температуры используют тепловизоры, регистрирующие тепловое излучение в трех участках спектра.

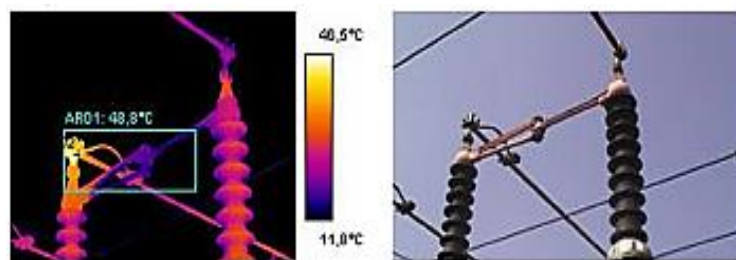


Рис. 2.6. Изображения изолятора высоковольтной линии электропередачи в инфракрасном и видимом диапазоне

Современные тепловизоры нашли широкое применение как на крупных промышленных предприятиях, где необходим тщательный контроль за тепловым состоянием объектов, так и в небольших организациях, занимающихся поиском неисправностей сетей различного назначения. Так, сканирование тепловизором может безошибочно показать место ненадежных контактов в системах электрооборудования.

Это хорошо видно на рис. 2.7. Изображение выявляет избыточную температуру в фазе, расположенной слева. Рабочая температура, измеренная на двух 'холодных' фазах, равна $+66^{\circ}\text{C}$. Неисправная фаза показывает температуру $+127^{\circ}\text{C}$, что требует немедленного вмешательства.



Рис. 2.7. ИК-изображение контактов в системе электрооборудования

Особенно широкое применение тепловизоры получили в строительстве при оценке теплоизоляционных свойств конструкций. Так, с помощью тепловизора можно определить области наибольших теплопотерь в строящемся доме и сделать вывод о качестве применяемых строительных материалов и утеплителей (рис 2.8).

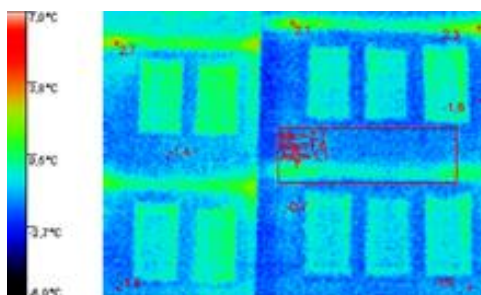


Рис. 2.8. Тепловизионный снимок для оценки потерь теплоты

Инфракрасная (ИК) камера (тепловизор) измеряет и представляет в виде изображений испускаемое объектом инфракрасное излучение. Тот факт, что излучение является функцией температуры поверхности объекта, позволяет камере рассчитать и отобразить такую температуру.

Однако измеряемое камерой излучение зависит не только от температуры объекта, но и от излучательной способности объекта. Излучение также исходит от окружающей среды и отражается объектом. Кроме того, на излучение объекта и на отраженное излучение будет также оказывать воздействие поглощение в атмосфере.

Поэтому для точного измерения температуры надо компенсировать эффекты нескольких различных источников излучения. Это осуществляется камерой в реальном времени автоматически. Для этого в камеру вводятся следующие параметры:

- коэффициент излучения объекта;
- видимая отраженная температура;
- расстояние между объектом и камерой;
- относительная влажность;
- температура окружающего воздуха.

Самым важным параметром, который следует правильно ввести, является коэффициент излучения, который становится мерой излучения, испускаемого объектом, по сравнению с излучением абсолютно черного тела при такой же температуре.

Обычно материалы объектов и обработанные поверхности имеют коэффициент излучения в диапазоне, приблизительно, от 0,1 до 0,95. Хорошо отполированная (зеркальная) поверхность имеет значение менее 0,1, тогда как окисленная или покрашенная поверхность – намного более высокий коэффициент излучения.

Масляная краска, вне зависимости от цвета в видимом спектре, имеет в инфракрасном диапазоне коэффициент излучения свыше 0,9. Кожа человека имеет коэффициент излучения от 0,97 до 0,98.

Неокисленные металлы представляют собой крайний случай идеальной непрозрачности и высокой отражающей способности, которая не меняется существенно с изменением длины волны. Следовательно, коэффициент излучения металлов является низким – только повышаясь с ростом температуры. Коэффициент излучения неметаллов обычно является высоким и понижается с ростом температуры.

Ниже приведено устройство тепловизора FLIR SISTEMS, который состоит из камеры, блока питания, коннекторов и носителей информации (рис. 2.9–2.12).

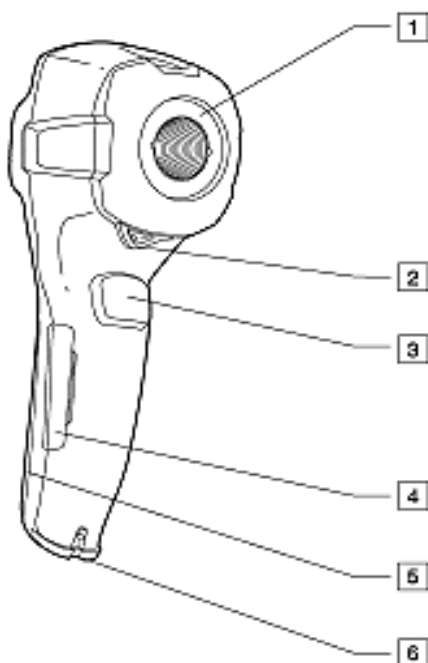


Рис. 2.9. Детали камеры: 1– Инфракрасный объектив. 2 – Рычаг для открытия и закрытия крышки объектива. 3 – Пусковая кнопка для сохранения изображений. 4 – Крышка разъемов и слота для карты памяти miniSD. 5 – Крышка аккумуляторного отсека. 6 – Точка крепления ручного ремня

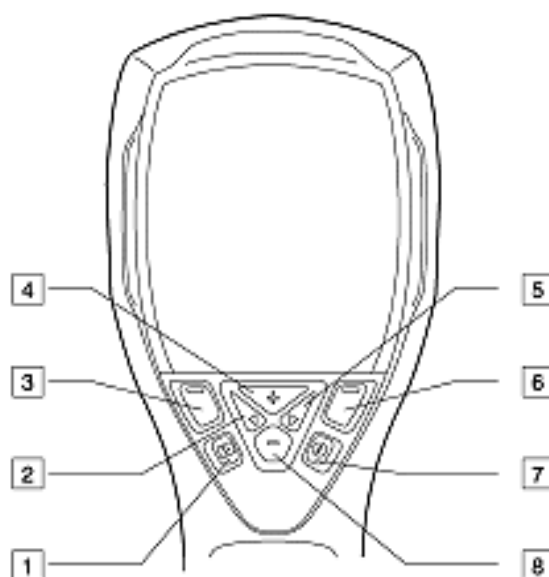


Рис. 2.10. Детали камеры

51	<i>Кнопка Архив.</i> Функция: нажать для открытия архива изображений
22	<i>Кнопка со стрелкой влево</i> (на навигационной панели). Функции: • нажать для перемещения влево в меню, подменю и диалоговых окнах; • нажать для перемещения по архиву изображений
33	<i>Левая кнопка выбора.</i> Данная кнопка является контекстно-зависимой; текущая функция отображается над кнопкой на экране
44	<i>Кнопка +</i> (на навигационной панели). Функции: • нажать для перемещения вверх в меню, подменю и диалоговых окнах; • нажать для отображения архива изображений (после нажатия кнопки Архив); • нажать для увеличения/изменения значения
55	<i>Кнопка со стрелкой вправо</i> (на навигационной панели). Функции: • нажать для перемещения вправо в меню, подменю и диалоговых окнах; • нажать для перемещения по архиву изображений
66	<i>Правая кнопка выбора.</i> Данная кнопка является контекстно-зависимой; текущая функция отображается над кнопкой на экране
77	<i>Кнопка On/Off</i> (вкл./выкл.). Функции: • нажать для включения камеры; • нажать и удерживать более одной секунды для выключения камеры
88	<i>Кнопка –</i> (на навигационной панели). Функции: • нажать для перемещения вниз в меню, подменю и диалоговых окнах; • нажать для уменьшения/изменения значения

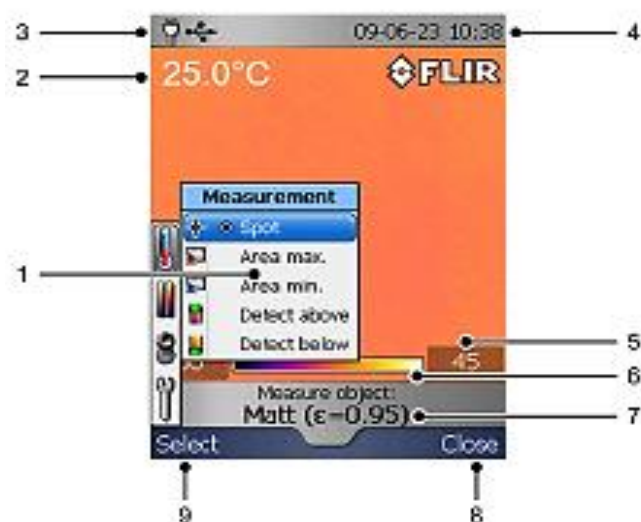


Рис. 2.11. Элементы дисплея

1	Система меню						
2	Результат измерения						
3	Индикатор питания						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Значок</th><th>Значение</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td><td>Один из следующих: - камера работает от аккумулятора; - аккумулятор заряжается (показывается изображение заполняемого аккумулятора) </td></tr> <tr> <td></td><td>Аккумулятор полностью заряжен, и камера работает от источника питания</td></tr> </tbody> </table>	Значок	Значение		Один из следующих: - камера работает от аккумулятора; - аккумулятор заряжается (показывается изображение заполняемого аккумулятора)		Аккумулятор полностью заряжен, и камера работает от источника питания
Значок	Значение						
	Один из следующих: - камера работает от аккумулятора; - аккумулятор заряжается (показывается изображение заполняемого аккумулятора)						
	Аккумулятор полностью заряжен, и камера работает от источника питания						
4	Дата и время						
5	Значение ограничения шкалы температуры						
6	Шкала температуры						
7	Установленные на текущий момент коэффициент излучения или свойства материалов						
8	Текущая функция правой кнопки выбора						
9	Текущая функция левой кнопки выбора						

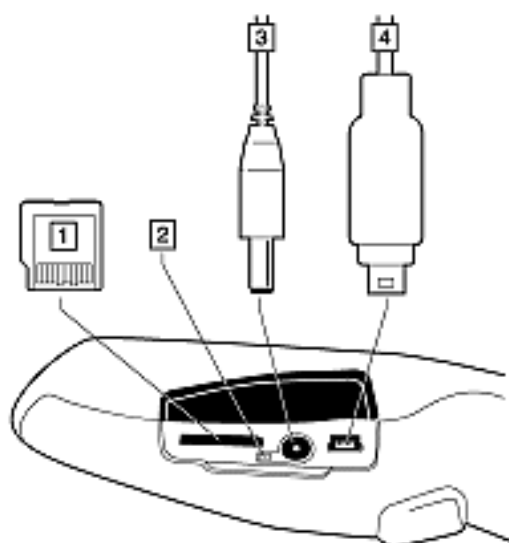


Рис. 2.12. Коннекторы и носители информации

11	Карта памяти miniSD Не рекомендуется сохранять более 5000 изображений на карте памяти miniSD. Несмотря на то, что емкость карты памяти составляет более 5000 изображений, сохранение большего числа изображений значительно замедляет управление файлами на карте памяти miniSD. <i>Примечание.</i> На карте памяти miniSD отсутствует верхний предел объема памяти
2	Индикатор зарядки аккумулятора: • нет сигнала: источник питания отсоединен; • оранжевый сигнал: аккумулятор заряжается; • зеленый сигнал: аккумулятор заряжен
3	Шнур питания
4	Кабель USB с разъемом USB Mini B

Тепловизоры применяются вооруженными силами в качестве приборов ночного видения для обнаружения теплоконтрастных целей (живой силы и техники) в любое время суток, несмотря на применяемые противником обычные средства оптической маскировки в видимом диапазоне (камуфляж). Тепловизор стал важным элементом прицельных комплексов ударной армейской авиации и бронетехники. Применяются и тепловизионные прицелы для ручного стрелкового оружия, хотя в силу высокой цены широкого распространения они пока не получили.

2.4. Цифровые приборы измерения температуры

Достоинством цифровых термометров является то, что они обладают малыми размерами, широким диапазоном измеряемой температуры в зависимости от используемых внешних датчиков температуры. Внешние датчики температуры могут быть как термопары различных типов, так и термометры сопротивления, иметь различные формы и области применения. Термометры цифровые представляют собой высокоточные, высокоскоростные приборы. В основе цифрового термометра лежит аналого-цифровой преобразователь, работающий по принципу модуляции. Параметры термометра в смысле погрешности измерений всецело определяются датчиками. Цифровые термометры могут применяться в бытовых целях и для контроля технологических процессов в строительстве, в том числе дорожном, а также в строительной индустрии, сельском хозяйстве, деревообрабатывающей, пищевой и других отраслях промышленности. Цифровые термометры обладают памятью измерений и могут обеспечивать несколько режимов наблюдения.

Цифровой термометр состоит из:

- теплового чувствительного элемента (обычно это – терморезистор, через который протекает ток);
- АЦП (аналого-цифровой преобразователь, призванный полученный от терморезистора аналоговый сигнал, в данном случае определенную величину тока, преобразовать в цифровой сигнал);
- дисплея;
- схем устройств ввода-вывода сигналов для взаимодействия с другими устройствами;
- элемент питания.

Термометр готов к работе сразу после включения питания. Диапазон измерения температуры большинства цифровых термометров, как правило, от -60 до $+100$ °C (для промышленных нужд используются термометры со значительно расширенным диапазоном измерений), точность измерения $0,010$ C – определяется только качеством. Рабочая температура корпуса прибора $15...25$ °C. Термометр питается от встроенной батареи и потребляет ток не более 2 мА. Чувствительным элементом прибора служит температурный датчик, принцип действия которого основан на свойстве некоторых материалов изменять свое электрическое сопротивление при изменении температуры. В качестве датчика температуры пригоден практически любой кремниевый диод, предпочтение рекомендуется отдавать приборам с наименьшими габаритами.

Принцип действия такого термометра основан на выполнении следующей последовательности действий:

- преобразование сопротивления в напряжение при помощи источника тока;
- преобразование напряжения в код при помощи встроенного в контроллер аналого-цифрового преобразователя (АЦП);
- подача полученного кода в микроконтроллер (МК), где полученная информация обрабатывается и передается на устройство индикации.

Термометры контактные цифровые ТК-5.01 предназначены для измерения температуры жидких, сыпучих сред путем непосредственного контакта зонда с объектом измерения.

Термометры контактные цифровые состоят из электронного блока и несменного погружаемого зонда. В качестве термочувствительного элемента в зонде используются преобразователи термоэлектрические (ТП) с НСХ. Условия эксплуатации:

- температура окружающей среды $-20 \dots +50$ °С;
- относительная влажность не более 80 % при $T = 35$ °С;
- атмосферное давление: 86–106 кПа, *функциональные возможности*:
 - измерение температуры с ценой единицы младшего разряда 1 °С;
 - индикация пониженного напряжения питания.

Программируемый измеритель-регулятор МТ2-141. Приборы МТ2141 – это одноканальные измерители с одним цифровым четырехразрядным индикатором и одним или двумя выходными устройствами (обычно это одно или два электромеханических реле). По своему функциональному назначению приборы серии МТ2 были задуманы и разработаны как универсальные, общепромышленного применения, то есть они могут быть использованы в составе различных измерительных систем и при создании систем автоматического контроля и регулирования различными техническими объектами и технологическими процессами в промышленности и сельском хозяйстве.

Цифровой измеритель температуры и влажности. Позволяет измерять температуру и влажность воздуха в широком диапазоне измерений. К прибору подключают цифровой датчик влажности, обеспечивающий измерение относительной влажности и температуры воздуха. В зависимости от модификации прибора, датчик влажности может подсоединяться через разъем или закреплен стационарно.

Цифровой датчик влажности/температуры содержит: датчик температуры, датчик влажности воздуха, узел первичной обработки информации (УПО). Прибор имеет последовательный порт RS-232 для подключения к персональному компьютеру для последующей обработки полученных данных. Прибор позволяет запомнить последние измеренные значения. Информация от датчика влажности/температуры через коммутационное устройство передается на специализированный контроллер. Питание прибора осуществляется от гальванических элементов питания. Напряжение от элементов питания стабилизируется при помощи стабилизатора напряжения. Существенные преимущества: повышенное быстродействие, улучшенные эксплуатационные характеристики, высокоточный платиновый датчик температуры, малое энергопотребление, доступная цена.

ЛЕКЦИЯ 3. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ, МАССЫ И РАСХОДА ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ (4 ч)

3.1. Измерение давления

Давление определяется в виде энергии вещества (жидкость или газ), отнесенной к единице объема, и является, наряду с температурой, основным параметром его физического состояния. Воздействие давления вещества на внешний объект проявляется в виде силы F , действующей на единицу площади S , то есть $P = F / S$.

В СИ за единицу давления принят Паскаль (Па). Паскаль – давление силы в один Ньютон на площадь в один квадратный метр ($\text{Па} = 1 \text{ Н/м}^2$). Широко применяют кратные единицы кПа и МПа.

При измерениях различают абсолютное, вакуумметрическое и избыточное давления. Под абсолютным давлением понимается полное давление, которое равно сумме атмосферного и избыточного $P_{\text{абс}} = P + P_{\text{атм}}$. Вакуумметрическое давление ниже атмосферного $P_{\text{В}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}$.

Приборы давления в зависимости от измеряемой величины разделяют на манометры (для измерения избыточного или абсолютного давления), барометры (для измерения атмосферного давления), вакуумметры (для измерения вакуумметрического давления).

По принципу действия чувствительного элемента приборы для измерения давления разделяют на жидкостные, деформационные, грузопоршневые и электрические. В качестве образцовых, по которым осуществляется поверка рабочих приборов, применяют грузопоршневые манометры.

3.1.1. Жидкостные приборы давления

U-образный манометр, чашечный (однотрубный) манометр, микроманометры с наклонной измерительной трубкой (при измерениях малых давлений), разновидностью однотрубных манометров являются поплавковые дифманометры (в широком сосуде дифманометра, куда подается большее давление, находится поплавок, который перемещается, следуя за изменением уровня рабочей жидкости), грузопоршневые манометры (измеряемое давление в них уравнивается силой тяжести поршня с грузами), барометры.

Жидкостные приборы применяются для измерения всех видов давления. Жидкостные барометры, как и другие жидкостные приборы, основаны на принципе сообщающихся сосудов и применяются в двух основных вариантах: чашечные и сифонные (рис. 3.1).

Жидкостной барометр – стеклянная трубка с запаянным одним концом. В качестве жидкости обычно применяется ртуть. Давление столба ртути в трубке уравнивается атмосферным давлением. При изменении атмосферного давления измеряется высота ртутного столба, которая служит мерой давления.

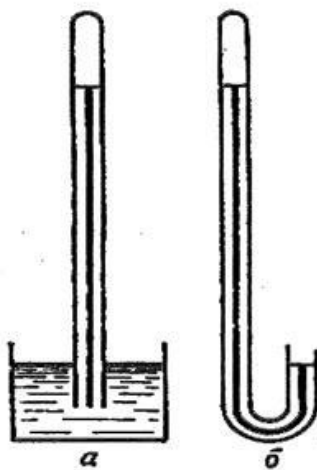


Рис. 3.1. Жидкостные барометры: а – чашечный; б – сифонный

Жидкостные манометры представляют собой приборы различных видов и конструктивных вариантов. По типу применяемой жидкости манометры данного вида делятся на пьезометры и ртутные манометры. В пьезометрах в качестве рабочей жидкости используется та же жидкость, давление которой измеряется. В свою очередь, каждая из групп делится на две подгруппы: на обычные приборы для измерения давления в жидкости и приборы для измерения разности давлений – дифференциальные манометры.

Принцип действия грузопоршневых манометров основан на уравнивании измеряемого давления калиброванным грузом, действующим на поршень. Они применяются для измерения давления до 10^3 МПа, а также для градуировки и поверки манометров других типов. Устройство грузопоршневого манометра показано на рис. 3.2. Манометр имеет грузовую и поршневую части. Грузовая часть состоит из колонки 1, в центральной части которой имеется полированный цилиндрический канал, в который вставляется поршень 2. Поршень в верхней части имеет тарелку 3, на которую накладываются контрольные грузы 4. Канал колонки сообщается с горизонтальным каналом 5, который соединен со штуцерами 6 и 7, бачком с рабочей жидкостью 8 и прессовой частью манометра. Прессовая часть состоит из цилиндра 9 с поршнем 10, шток которого выполнен в виде винта со штурвалом 11. Вентили 12–15 служат для перекрытия соответствующих каналов. Полость системы заполнена рабочей жидкостью (трансформаторным маслом).

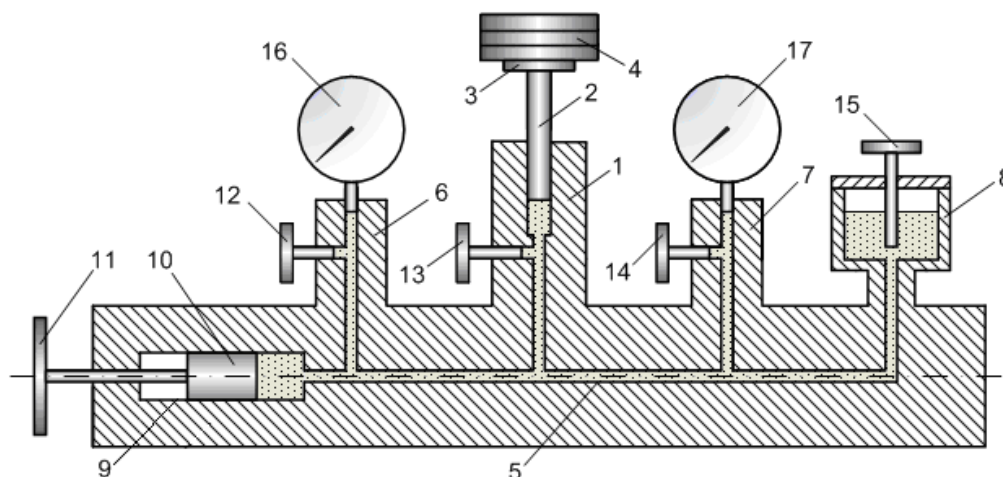


Рис. 3.2. Схема грузопоршневого манометра

В штуцер 6 устанавливают поверяемый манометр 16. Давление в системе изменяют, перемещая поршень 10 с помощью штурвала 11 (при этом вентиль 15 закрыт).

На поршень 2, свободно перемещающийся в канале колонки 1, действуют две противодействующие силы: сила, создаваемая давлением жидкости, а также сила тяжести поршня и грузов. При равенстве этих сил поршень уравнивается и поднимается на определенную высоту. При равновесии поршня давление

$$P = \frac{G}{S}, \quad (3.1)$$

где G – вес поршня и грузов; S – площадь поперечного сечения поршня.

Площадь поперечного сечения поршня обычно равна 1 см^2 , поэтому создаваемое давление равно весу поршня и груза. Вес поршня с тарелкой равен 1 кг . Вес отдельных грузов указывается на них. Возможно также подключения образцового манометра 17.

3.1.2. Приборы для измерения давления и разности давлений с упругой деформацией чувствительных элементов

Приборы для измерения давления, основанные на упругой деформации чувствительных элементов под действием измеряемой величины, широко применяют в диапазоне от 50 Па до 1000 МПа . Деформация или сила, пропорциональная давлению, преобразуется в показания прибора или в изменения выходного сигнала. Такие приборы изготовляют в виде тягомеров, напорометров, манометров и вакуумметров.

В качестве упругих чувствительных элементов приборов для измерения давления применяют мембраны (мембранные коробки), сильфоны (тонкостенная трубка с кольцевыми гофрами на боковой поверхности).

Пружинные манометры изготовливают в виде показывающих приборов, а также с устройствами для дистанционной передачи показаний, регистрации и сигнализации.

В качестве чувствительного элемента в пружинных манометрах используют трубчатые одновитковые и многovitковые пружины, гармониковые (сильфонные), коробчатые и плоские мембраны. На рис. 3.3. показаны некоторые схемы измерительных механизмов пружинных манометров.

В обычной конструкции данного вида манометра с одновитковой пружиной измерительный механизм смонтирован на жестком литом основании. В основание впаяна пустотелая пружина овального сечения, изготовленная из латуни или стали. Давление во внутреннюю полость пружины подводится через ниппель, составляющий одно целое с основанием. Ниппель имеет наружную резьбу для соединения прибора с линией, подводящей измеряемое давление.

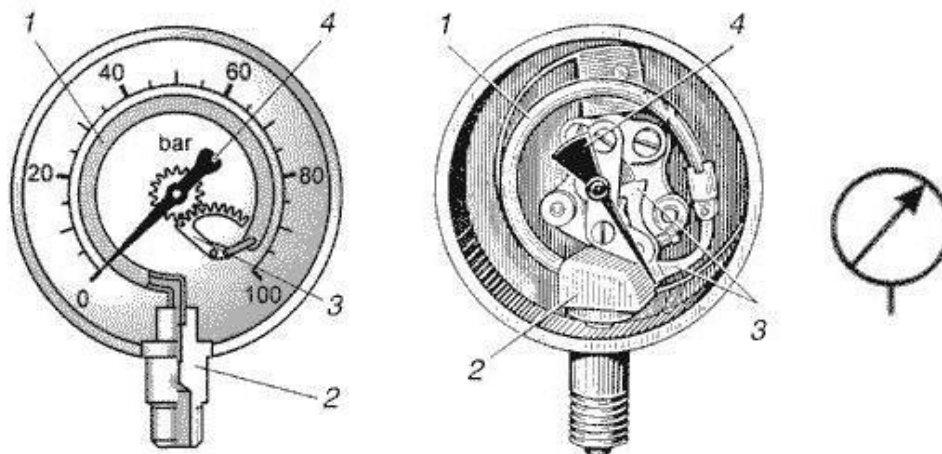


Рис. 3.3. Пружинный манометр

На основании закреплены передаточный механизм со стрелкой и корпус манометра, имеющий круглую форму. В корпус вложена шкала в форме циферблата и поверх шкалы надета застекленная крышка.

Давление измеряемой среды воздействует на внутреннюю поверхность трубчатой пружины, при этом пружина распрямляется. Свободный конец пружины перемещается и через тягу увлекает за собой зубчатый сектор, который в свою очередь поворачивает малую шестерню (триб) со стрелкой указателя. По шкале отсчитывают измеряемое давление.

Жесткость пружины подбирают в соответствии с максимальным давлением, на которое рассчитан данный манометр. Перемещение свободного конца при одном и том же давлении тем больше, чем меньше жесткость пружины. Чтобы пружина не теряла свою форму при длительной работе, перемещение свободного конца при максимальном давлении не должно превышать 5–6 мм. В результате этого ограничения рабочий ход конца пружины очень мал и приходится применять передаточный механизм с большим повышающим коэффициентом передачи. При полном рабочем ходе пружины стрелка манометра должна совершить поворот от нулевой до максимальной отметок шкалы на угол 270–300°.

Точную регулировку передаточного механизма под требуемые пределы давления выполняют путем изменения длины тяги и длины плеча зубчатого сектора.

Приборы с *дистанционной передачей показаний* используют для изменения тех или иных электрических свойств вещества (электрического сопротивления проводников, электрической емкости, возникновения электрических зарядов на поверхности кристаллических минералов и др.) под действием измеряемого давления. К таким приборам относятся манганиновые манометры сопротивления, пьезоэлектрические манометры с применением кристаллов кварца, турмалина или сегнетовой соли, емкостные манометры, ионизационные манометры и др.

Манометры с трубчатой пружиной. Трубчатые пружины представляют собой кругообразно согнутые трубки с овальным поперечным сечением. Давление измеряемой среды воздействует на внутреннюю сторону этой трубки, в результате чего овальное поперечное сечение принимает почти круглую форму. В результате искривления пружинной трубки возникают напряжения в кольцах трубки, которые разгибают пружину.

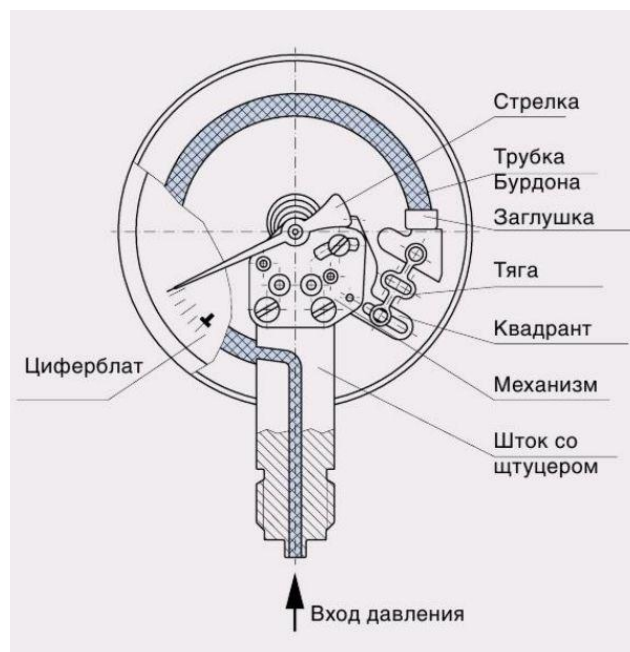


Рис. 3.4. Манометр с трубкой Бурдона

Незажатый конец пружины выполняет движение, пропорциональное величине давления. Движение передается посредством стрелочного механизма на шкалу. Для измерений давления до 60 или 100 кгс/см² применяются, как правило, согнутые с углом витка около 270°, кругообразные пружины. Для измерений давления с более высокими значениями используются пружины с несколькими лежащими друг над другом витками и одинаковым витковым диаметром (винтовая пружина) или со спиралеобразными витками, лежащими в одной плоскости (плоская спиральная пружина).

Манометры с пластинчатой пружиной. Пластинчатые пружины представляют собой тонкие гофрированные мембраны кругообразной формы, которые зажимаются или привариваются по краю между двумя фланцами и вступают в соприкосновение с измеряемой средой только с одной стороны.

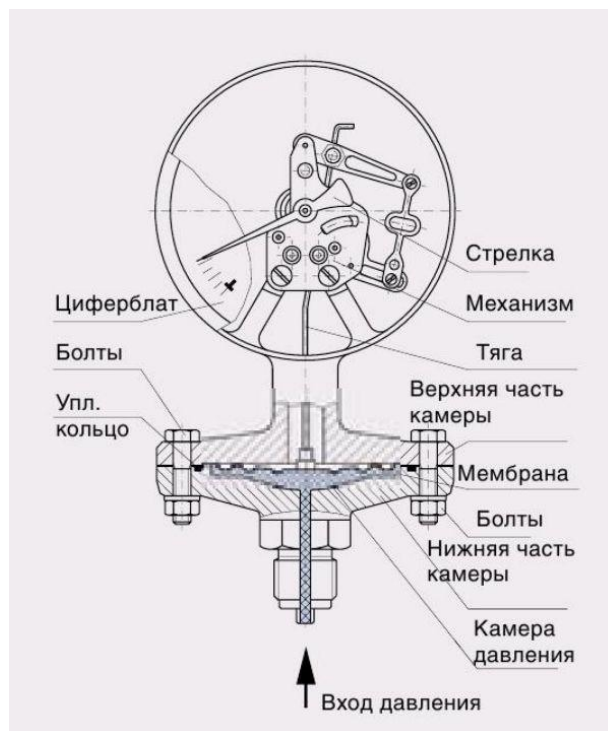


Рис. 3.5. Манометр с пластинчатой пружиной

Вызванный в результате такого соприкосновения прогиб пропорционален величине давления. Движение передается посредством стрелочного механизма на шкалу. Пластинчатые пружины обладают сравнительно высоким перестановочным усилием. В результате кольцеобразного крепления пластинчатые пружины менее восприимчивы к вибрациям по сравнению с трубчатыми пружинами, однако погрешность показаний при изменениях температуры у них больше. Благодаря опорам для мембран достигается повышенная стойкость к перегрузкам. Покрытия или фольга, наносимые на поверхность пластинчатых пружин, обеспечивают защиту от коррозионных измеряемых сред. Широкие соединительные отверстия или открытые соединительные фланцы, а также возможности по промывке делают пластинчатые пружины, пригодными при работе с высоковязкими, загрязненными или кристаллизующимися веществами.

Манометры с коробчатой пружиной. Давление измеряемой среды воздействует на внутреннюю сторону коробки, состоящей из двух кругообразных, гофрированных, герметично прилегающих друг к другу мембран. Возникающее под давлением поступательное движение пропорционально величине давления. Движение передается на шкалу с помощью стрелочного механизма. Манометры с коробчатой пружиной особенно пригодны для измерений давления газообразных сред. Защита от перегрузки возможна только в определенных границах. Для повышения чувствительности в манометре может устанавливаться ряд коробчатых пружин («пакет» коробчатых пружин).

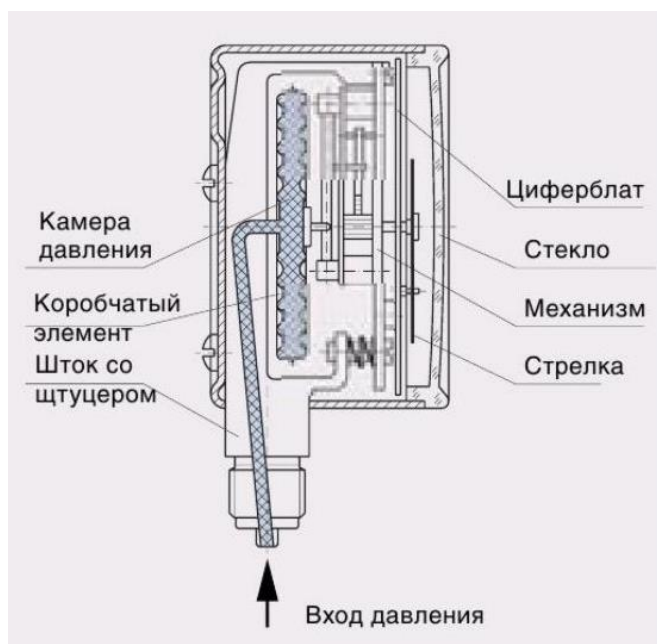


Рис. 3.6. Манометр с коробчатой пружиной

Баровакуумметры – манометры абсолютного давления. Данные приборы используются для измерений давления независимо от колебаний атмосферного давления окружающей среды. В соответствии с различными сферами применения и диапазонами показаний, манометры для измерений абсолютного давления изготавливаются согласно принципам измерений и формам чувствительных элементов, которые применяются в манометрах для измерения относительного давления. Давление измеряемой среды определяется по отношению к базовому давлению, которое равняется абсолютному давлению с величиной 0 (= абсолютный вакуум). Это означает, что на стороне измерительного элемента, не соприкасающейся с измеряемой средой, должно присутствовать базовое давление. Присутствие базового давления при использовании соответствующей формы пружин достигается посредством вакуумирования и герметизации соответствующей измерительной камеры или облегающего корпуса. Передача движения измерительного элемента и индикация давления осуществляются аналогично выше описанным манометрам относительного давления.

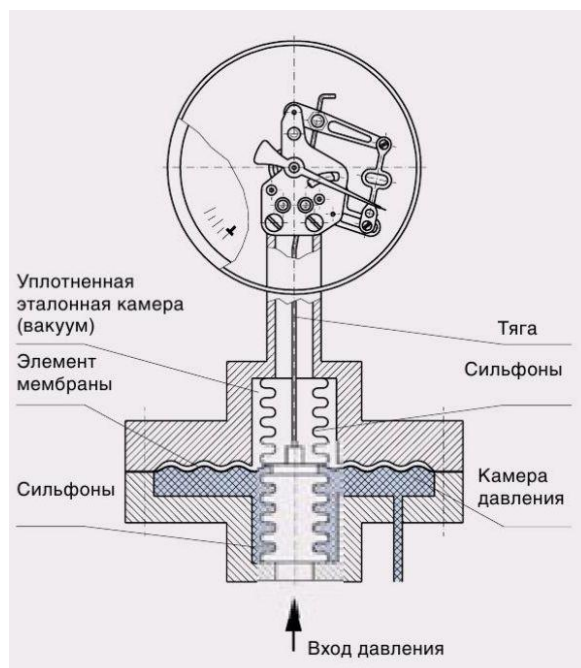


Рис. 3.7. Манометр абсолютного давления

Дифференциальные манометры применяются для измерений разницы между двумя отдельными давлениями. Базовым давлением является то, которое присутствует на стороне, взятой за эталонную. В качестве чувствительных элементов используются пружины тех же форм, что и в манометрах относительного давления. Как правило, чувствительные элементы подвергаются воздействию давления с обеих сторон. Установленная таким образом разность давлений передается с помощью стрелочного механизма непосредственно на шкалу. Если измеряемые давления одинаковы, измеряемый элемент остается неподвижным и показания прибора отсутствуют. Измерение низких разностных давлений возможно даже при высоком статическом давлении. Защита от высоких перегрузок обеспечивается благодаря пластинчатым чувствительным элементам. При выборе манометра следует учитывать допустимое статическое (рабочее) давление, а также максимально допустимую перегрузку со стороны «+» и «-». Для преобразования деформации чувствительного элемента в показания стрелки используются принципы, аналогичные принципам действия манометров избыточного давления.

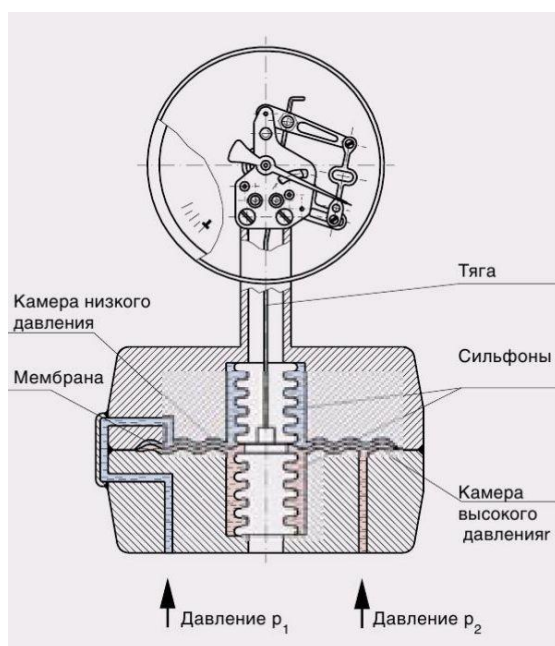


Рис. 3.8. Манометр дифференциального давления

3.1.3. Электрические манометры

Электрические манометры предназначены для прямого или косвенного преобразования давления в электрический параметр, функционально связанный с давлением. К ним относятся манометры сопротивления, пьезоэлектрические, емкостные, ионизационные и радиоизотопные манометры.

Действие **манометров** сопротивления основано на зависимости электрического сопротивления проводника от измеряемого давления. Применяются для измерения высоких и сверхвысоких давлений. В качестве чувствительного элемента используется катушка из манганиновой проволоки, сопротивление которой можно измерять с помощью уравновешенного моста.

Действие пьезоэлектрических манометров основано на зависимости электрического заряда пьезоэлемента от измеряемого давления. Под действием механической силы на поверхности некоторых кристаллов возникают заряды $q = kF$, зависящие от приложенной силы $F = k \cdot P$, когда заряд q подается на вход электронного усилителя и затем на отсчетное устройство. Манометры этого типа применяются для измерения давления в системах с быстропротекающими процессами. Класс точности 1,5; 2,0.

Принцип действия **датчиков** Метран основан на использовании пьезорезистивного эффекта в гетеропитаксиальной пленке кремния, выращенной на поверхности монокристаллической пластины из искусственного сапфира. При деформации чувствительного элемента под действием давления или перепада давления изменяется электрическое сопротивление кремниевых резисторов мостовой схемы на поверхности этого чувствительного элемента. Электронное устройство **датчика** преобразует электрический сигнал от тензопреобразователя в стандартный токовый сигнал (0–5 мА, 0–20 мА, 4–20 мА) или в цифровой сигнал. Также получили распространение проволоочные и фольговые тензорезисторы.

Преобразователи давления типа «Сапфир» (рис. 3.9) обеспечивают непрерывное преобразование значение измеряемого параметра (давления избыточного, абсолютного, разрежения, разности давлений нейтральных и агрессивных сред) в унифицированный токовый сигнал для дистанционной передачи (0–5 мА, 0–20 мА и др.).

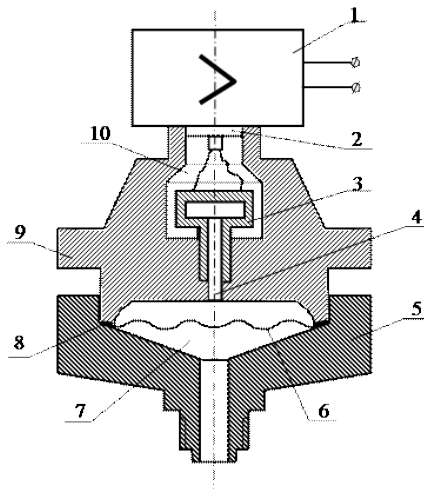


Рис. 3.9. Преобразователь давления типа «Сапфир»

Мембранный тензопреобразователь 3 размещен внутри основания 9 (рис. 3.9). Внутренняя полость 4 тензопреобразователя заполнена кремнийорганической жидкостью и отделена от измеряемой среды металлической гофрированной мембраной 6, приваренной по наружному контуру к основанию 9. Полость 10 сообщена с окружающей атмосферой.

Измеряемое давление подается в камеру 7 фланца 5, который уплотнен прокладкой 8. Измеряемое давление воздействует на мембрану 6 и через жидкость воздействует на мембрану тензопреобразователя, вызывая ее прогиб и изменение сопротивления тензорезисторов. Электрический сигнал от тензопреобразователя передается из измерительного блока 1 по проводам через гермовывод 2.

Преобразователи Сапфир-22ДА моделей 2050 и 2060, предназначенные для измерения абсолютного давления, отличаются тем, что полость 10 вакуумирована и герметизирована.

Преобразователи Сапфир-22ДД моделей 2410, 2420, 2430, 2434, 2440 и 2444 (рис. 3.10), предназначенные для измерения разности давлений, отличаются тем, что в них используется тензопреобразователь мем-

бранно-рычажного типа, который размещен внутри основания в замкнутой полости, заполненной кремнийорганической жидкостью, и отделен от измеряемой среды двумя металлическими гофрированными мембранами. Мембраны соединены между собой центральным штоком, перемещение которого передается рычагу тензопреобразователя, что вызывает деформацию тензопреобразователя. Чувствительным элементом тензопреобразователя является пластина из монокристаллического сапфира (разновидность корунда – Al_2O_3) с кремниевыми пленочными тензорезисторами (структура КНС – кремний на сапфире).

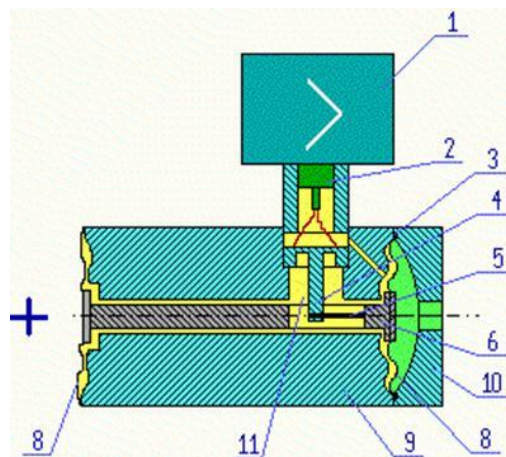


Рис. 3.10. Преобразователь Сапфир-22ДД

Электрический сигнал от тензопреобразователя передается из измерительного блока в электронное устройство 1 по проводам через гермоввод 2. Измерительный блок выдерживает без разрушения воздействие односторонней перегрузки рабочим избыточным давлением. Это обеспечивается тем, что при такой перегрузке одна из мембран 8 ложится на профилированную поверхность основания 9.

В емкостных манометрах измеряемое давление воздействует на мембрану, являющуюся подвижным электродом емкостного преобразовательного элемента. При перемещении мембраны изменяется емкость преобразователя, включенного в мост переменного тока. **Манометры** этого типа применяются для измерения давления в системах с быстропротекающими процессами.

Ионизационные вакуумметры с накаливаемым катодом измеряют давление по количеству ионизированных молекул, поступающих на коллектор и создающих ток, зависящий от давления газа. В радиоизотопных **манометрах** при измерении очень низкого вакуума для ионизации молекул используют α -излучение, обладающее наивысшей ионизационной способностью. В качестве излучателя используют изотопы радия, тория, полония, протактиния и др.

3.2. Измерение массы и объема

Весы – устройство или прибор для определения массы тел (взвешивания) по действующему на них весу, приближенно считая его равным силе тяжести. Вес тела может быть определен как через сравнение с весом эталонной массы (как в рычажных весах), так и через измерение этой силы через другие физические величины.

Классификация по принципу действия. По тому, на каких физических законах основано взвешивание, весы можно разделить на рычажные (основаны на принципе рычага), пружинные (основаны на законе Гука, например, ручные пружинные весы), электротензометрические (основаны на изменении электрического сопротивления, применяются для больших грузов, например, вагонов), гидростатические (основаны на действии архимедовой силы, применяются для измерения плотностей тел), гидравлические.

Весы можно подразделить на следующие группы: по области применения (эксплуатационному назначению): вагонные; вагонеточные; автомобильные; монорельсовые; крановые; товарные; для взвешивания скота; элеваторные; для взвешивания молока; багажные; торговые; медицинские; почтовые.

По точности взвешивания: среднего класса точности; обычного класса точности.

По способу установки на месте эксплуатации: встроенные; врезные; напольные; настольные; передвижные; подвесные; стационарные.

По виду уравновешивающего устройства: электромеханические (электронные); механические.

Все весы построены по принципу измерения силы воздействия на весы при нагружении. В электронных весах сила воздействует на первичный преобразователь (датчик). Датчик состоит из упругих элементов и спирали, которая преобразовывает деформацию в электрические сигналы.

Отмечают несколько типов преобразователей:

Струнный (вибросчастотный). Сила, воздействующая на упругий элемент при помещении предмета на весовую платформу, передается прикрепленной к элементу металлической струне, изменяя частоту ее колебаний. Измеряется эта частота. Датчики такого вида применяются в весах довольно редко, поскольку точность показаний зависит от условий окружающей среды. Для обеспечения правильных показаний необходимо поддерживать влажность воздуха, температуру, атмосферное давление, уровень внешних вибраций в узких пределах.

Пьезокварцевый. Производится измерение частоты кварцевого кристалла, прикрепленного к упругим элементам. Приложенная сила приводит кристалл в движение. Датчики такого вида также не нашли широкого применения в современных весовых технологиях, так как параметры кристалла зависимы от условий окружающей среды.

Тензометрический. Тензометрический датчик состоит из упругого элемента и тензорезисторов, прикрепленных к нему. Когда груз помещается на весы, упругий элемент деформируется. Эта деформация воспринимается тензорезисторами, которые в ответ на нее меняют свое сопротивление. В цепи это изменение преобразуется в изменение напряжения, пропорционально силе, приложенной к элементу.

Весы – устройство для измерения тела и массы (рис. 3.11). Действие весов основано на использовании гравитационных, гидростатических, электростатических и электродинамических эффектов.



Рис. 3.11. Весы рычажные

Автомобильные – весы для взвешивания безрельсового транспорта, приспособленные для наезда (рис. 3.12).



Рис. 3.12. Весы автомобильные

Аналитические – дают возможность взвешивать с точностью от 0,0001 г. (рис. 3.13).



Рис. 3.13. Весы аналитические

Багажные – весы для взвешивания багажа и ручной клади авиапассажиров (рис. 3.14).



Рис. 3.14. Весы багажные

Бункерные – весы, грузоприемное устройство которых выполнено в виде одного или нескольких бункеров или резервуаров (рис. 3.15).



Рис. 3.15. Весы бункерные

Вагонные – весы для взвешивания единиц подвижного состава (встроенные в рельсовый путь).

Для взвешивания скота – используются в сельскохозяйственных и мясоперерабатывающих предприятиях для определения веса животных.

Для взвешивания людей – представляют собой весы медицинского и бытового использования с целью определения веса человека.

Для взвешивания молока – бункерные весы для взвешивания молока и других жидкостей на молокозаводах и фермах.

Врезные – весы, установленные на фундаменте таким образом, что их платформа находится на уровне пола того помещения, в котором они вмонтированы.

Встроенные – весы, вмонтированные в зависимости от условий эксплуатации и взвешиваемого груза, в машины, приборы, транспортные устройства

Ковшовые – весы, грузоприемное устройство которых выполнено в виде опрокидывающегося ковша.

Конвейерные – весы, грузоприемное устройство которых выполнено в виде конвейера (транспортера).

Крановые – встроенные или подвесные весы для взвешивания грузов, транспортируемых краном (рис. 3.16).



Рис. 3.16. Весы крановые

Лабораторные – весы, предназначенные для статического измерения массы в лабораториях различных предприятий и организаций.



Рис. 3.17. Весы лабораторные

Медицинские – весы для взвешивания новорожденных, грудных детей и пациентов в медицинских учреждениях.

Напольные – весы, габариты и возможности которых позволяют производить взвешивание на полу.

Настольные – весы, габариты и возможности которых позволяют производить взвешивание на столе.

Подвесные – конструктивно весы представляют собой единый блок с цифровым индикатором (рис. 3.18), силоизмерительным датчиком и автономным источником питания (аккумулятором).



Рис. 3.18. Весы подвесные

Порционные – данные весы подразделяются на: порционные, порционно-счетные, порционно-лабораторные.

Почтовые – предназначены для взвешивания почтового отправления, как правило, определяют тариф и подытоживают результат.

Передвижные – весы, имеющие возможность быть перемещенными с одного места в другое без нарушения целостности и изменения своих функциональных возможностей (рис. 3.19).



Рис. 3.19. Весы передвижные

Платформенные – весы, грузоприемное устройство.

Товарные – это весы, как правило, с максимальным пределом взвешивания от 60 кг до 2 тонн.

Торговые – весы торговые предназначены для взвешивания, фасовки и определения стоимости товара на предприятиях торговли и общественного питания.

Электромеханические – у этих весов взвешивание происходит с помощью рычажной системы с серьгами и призмами (как у механических весов) и с помощью электронного устройства считывания показаний результатов измерений (как у электронных весов).

Электронные – принцип действия электронных весов сводится к измерению силы, возникающей при нагружении платформы.

Ювелирные – весы, обеспечивающие необходимую точность для взвешивания драгоценных металлов, ювелирных и бытовых изделий из драгоценных металлов и драгоценных камней, промпродуктов, полупродуктов, лома и отходов (рис. 3.20).

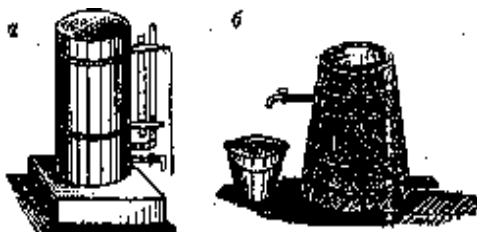


Рис. 3.20. Ксилометр – прибор для измерения объема тел неправильной формы по объему вытесненной ими воды: а – с переменным уровнем воды; б – с постоянным уровнем воды

Механокардиограф – прибор для косвенного определения ударного и минутного объема сердца по результатам измерения комплекса механических и временных показателей сердечной деятельности.

Микроколориметр – прибор для измерения концентрации веществ в небольших объемах окрашенных растворов по их светопоглощению (рис. 3.21).



Рис. 3.21. Микроколориметр

Плетизмограф – прибор для измерения изменения объема конечности при разном кровенаполнении (рис. 3.22).

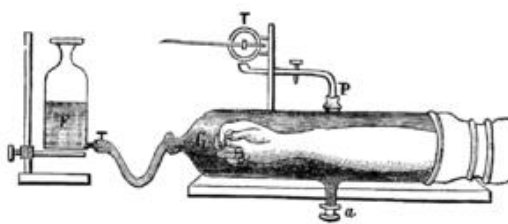


Рис. 3.22. Плетизмограф

Спирометр – прибор для измерения объема легких (рис. 3.23).



Рис. 3.23. Спирометр

Электроплетизмограф – прибор для регистрации изменений кровенаполнения органа или участка тела по сопутствующим изменениям его объема путем непрерывного измерения емкости электрического конденсатора, образованного двумя металлическими электродами и исследуемым органом.

Мензурка – прибор для измерения объема тела неправильной формы (рис. 3.24, а).

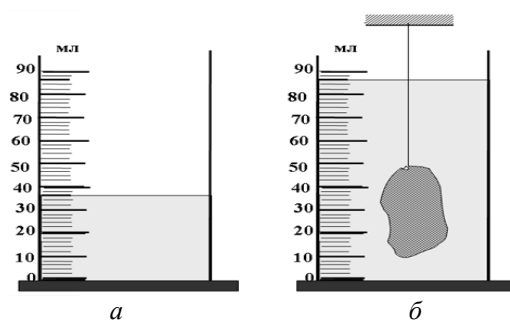


Рис. 3.24. Мензурка (а), отливной стакан (б)

Отливной стакан – при погружении тела в отливной стакан с водой, вода выливается. Объем этой воды равен объему погруженного тела (рис. 3.24, б).

3.3. Измерение расходов и учет жидких энергоносителей

Объемный расход жидкостей чаще всего выражают в метрах кубических в час или в литрах в секунду, а газов в метрах кубических в час при нормальных условиях – температуре 20 °С и давлении 760 мм рт. ст. Единицами массового расхода являются килограмм в час, тонна в час.

Прибор, измеряющий расход вещества, называется **расходомером**, а массу или объем вещества – счетчиком количества или просто счетчиком (ГОСТ 15528–86). Прибор, который одновременно измеряет расход и количество вещества, называется **расходомером со счетчиком**. Устройство, непосредственно воспринимающее измеряемый расход (например, диафрагма, сопло, напорная трубка) и преобразующее его в другую величину (например, в перепад давления), которая удобна для измерения, называется преобразователем расхода.

Существующие расходомеры и счетчики количества можно условно разделить на приведенные ниже группы:

А. Приборы, основанные на гидродинамических методах: 1) переменного перепада давления; 2) переменного уровня; 3) обтекания; 4) вихревые; 5) парциальные.

Б. Приборы с непрерывно движущимся телом: 1) тахометрические, 2) силовые (в том числе вибрационные); 3) с автоколеблющимся телом.

В. Приборы, основанные на различных физических явлениях.

Г. Приборы, основанные на особых методах: 1) меточные; 2) корреляционные; 3) концентрационные.

Из числа приборов *группы А* следует отметить широко распространенные расходомеры переменного перепада давления с сужающими устройствами и сравнительно новые, но весьма перспективные вихревые расходомеры.

В *группу Б* входят многочисленные турбинные, шариковые и камерные (роторные, с овальными шестернями и др.) счетчики количества и частично расходомеры. Приборы силовые и с автоколеблющимся телом пока еще имеют ограниченное применение.

Из приборов *группы В* наибольшее распространение получили электромагнитные. Реже встречаются тепловые и акустические приборы. Расходомеры оптические, ядерно-магнитные и ионизационные применяются сравнительно редко.

Меточные и концентрационные расходомеры, относящиеся к *группе Г*, служат для разовых измерений, например, при проверке промышленных расходомеров на месте их установки. Корреляционные приборы перспективны для измерения расхода двухфазных веществ.

Тахометрическими называют расходомеры и счетчики, принцип работы которых основан на использовании зависимости скорости движения тела (вращательного, колебательного и др.), помещенного в поток воды, от ее расхода. Наибольшее применение для измерения расходов холодной и горячей воды получили счетчики с вращением крыльчатки или турбинки. На рис. 3.25, а показана принципиальная схема крыльчатого водомера, а на рис. 3.25, б – его внешний вид.

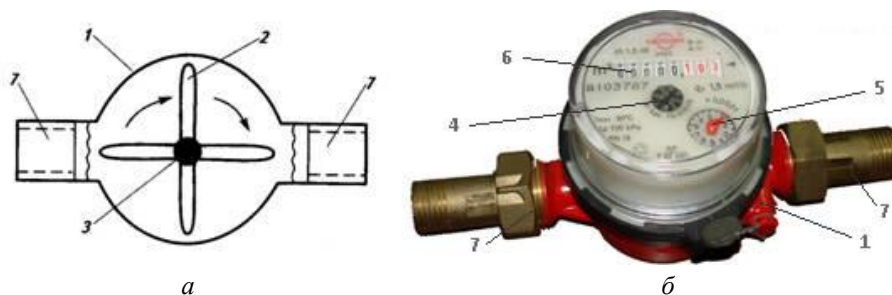


Рис. 3.25. Крыльчатый счетчик расхода воды: а – принципиальная схема; б – внешний вид:
1 – корпус; 2 – крыльчатка; 3 – магнитная муфта; 4 – счетный механизм; 5 – стрелочные индикаторы;
6 – цифровые индикаторы расхода воды; 7 – патрубки с резьбой для присоединения к трубопроводам

Принцип действия счетчика заключается в том, что проходящий по корпусу 1 расход воды G_w вызывает вращение крыльчатки 2. Крутящий момент крыльчатки 2 зависит от расхода воды через корпус 1 и передается посредством магнитной муфты 3 на счетный механизм 4, снабженный стрелочными индикаторами 5 и цифровым показателем расхода 6. Трубопроводы присоединяются на муфтах к патрубкам с резьбой 7.

Положительными достоинствами тахометрических счетчиков воды являются простота конструкции и сравнительно малая стоимость. В условиях эксплуатации они показывают достаточную точность измерений при обеспечении необходимой чистоты измеряемых потоков жидкости. Расходомеры по принципу вращения крыльчатки или турбины нашли широкое применение и при измерении расходов газа.

Варианты установки:



Рис. 3.26. Н – горизонтальная; V1, V2 – вертикальная

Счетчики воды крыльчатые марки «Струмень-Гран» типа СВХ-15, СВГ-15 приведены на рис. 3.27.



Рис. 3.27. Счетчики воды крыльчатые марки «Струмень-Гран» типа СВГ-15 (а), СВХ-15 (б)

Номинальный расход воды $Q_n = 1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Номинальный диаметр $D = 15 \text{ мм}$.

Температура: холодной воды – до 40°C , горячей воды – до 90°C .

Максимальное давление $P = 1,6 \text{ Мпа}$.

Межпроверочный интервал – 5 лет.

Счетчики воды «Струмень-Гран» предназначены для коммерческого учета расхода холодной и горячей воды.

Счетчики воды «Струмень-Гран» имеют следующие исполнения:

- СВХ-15П, СВГ-15П – корпус выполнен из композиционных материалов;
- СВХ-15И, СВГ-15И – с герконовым датчиком для дистанционного съема информации;
- СВХ-15М, СВГ-15М – с защитой от действия статического магнитного поля напряженностью не более 400 кА/м.

Корпус счетчиков воды изготовлен из латуни с качественной обработкой поверхности. Детали счетчиков, соприкасающиеся с водой, изготовлены из материалов, не снижающих качества воды и стойких к ее воздействию. Конструкция механизма крыльчатки обеспечивает работоспособность счетчика при измерении объема воды с большим количеством механических примесей.

Счетчики воды «Струмень-Гран» рекомендуются для установки в жилых и производственных помещениях, офисах, коттеджах и других объектах коммунального хозяйства.

Ультразвуковые счетчики и расходомеры используют принцип измерения скорости распространения звуковых колебаний в движущемся потоке в зависимости от скорости потока жидкости. На рис. 3.28 показан разрез ультразвукового расходомера.

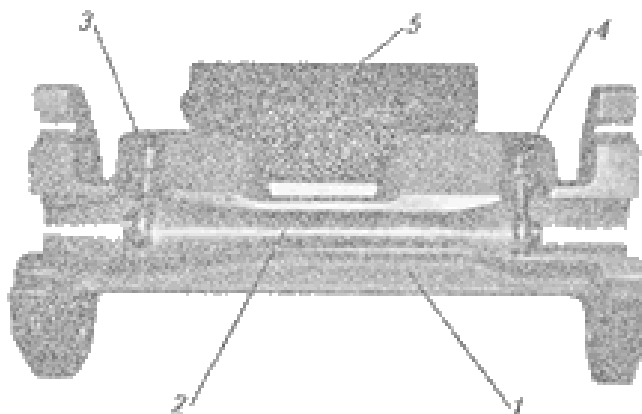


Рис. 3.28. Конструктивная схема ультразвукового расходомера: 1 – корпус с присоединительными фланцами;

2 – сужение сечения для потока в средней части корпуса; 3 – первое отверстие в корпусе, где размещается источник(излучатель) ультразвука по течению потока жидкости;

4 – второе отверстие в корпусе, где размещается источник(излучатель) ультразвука против течения потока;

5 – устройство, генерирующее ультразвук и регистрирующее расход жидкости

В корпусе 1 по обе стороны участка сужения потока 2 имеются отверстия, в которые вставлены датчики 3 и 4 ультразвуковых колебаний. Датчик 3 направляет звуковые волны по потоку, а датчик 4 направляет звуковые волны против движения потока жидкости. Эти же датчики (излучатели) являются и приемниками ультразвука. Разность времени прохождения ультразвуковых волн от датчиков 3 и 4 зависит от расхода жидкости по суженному участку 2 корпуса 1 измеряется и передается на регистрирующее устройство 5. На рис. 3.29 показаны части теплосчетчика ТСК7 с ультразвуковым водосчетчиком 2WR фирмы «Теплоком».

К фланцам корпуса 1 присоединяются трубопроводы сети теплоснабжения. На корпусе 1 крепится устройство 2, выполняющее роль звукового генератора и регистратора измеряемого расхода в сети теплоснабжения горячей воды. Термометры сопротивления устанавливают в подающий и обратный трубопроводы для измерения температуры воды $T_{\text{вг1}}$ и $T_{\text{вг2}}$. Ультразвуковой расходомер и термометры сопротивления 3 соединяются проводами с вычислителем 4, который имеет автономное электропитание (на батарейках). Это создает полную энергонезависимость теплосчетчика, надежность и безопасность в работе.



Рис. 3.29. Части теплосчетчика с ультразвуковым водосчетчиком: 1 – корпус ультразвукового водосчетчика с фланцами для присоединения к трубопроводам сети теплоснабжения; 2 – устройство генерации ультразвука и регистрации расхода жидкости; 3 – термодатчики сопротивления; 4 – вычислитель с автономным электропитанием от батарей

Ультразвуковые расходомеры нашли широкое применение для измерений расходов воды без нарушения герметичности трубопроводов – контактный метод снятия замеров на поверхности трубопроводов с толщиной стенки до 25 мм и диаметрами от 10 до 300 мм. На рис. 3.30 представлены габариты переносного ультразвукового контактного измерителя расходов.

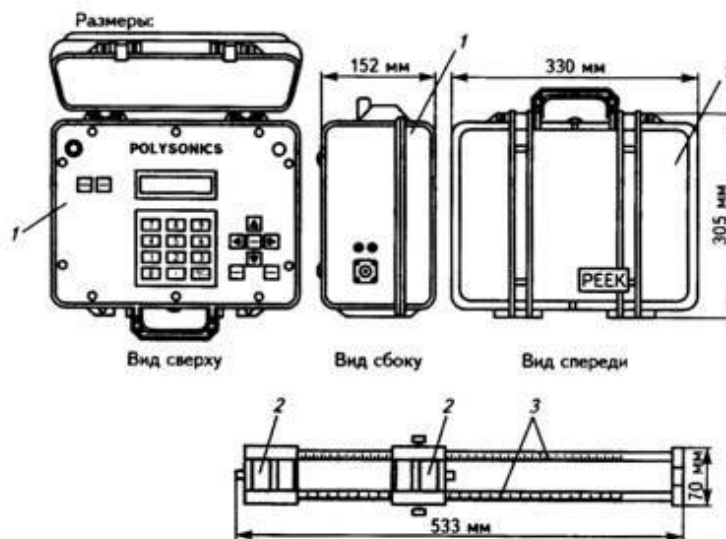


Рис. 3.30. Переносной ультразвуковой расходомер: 1 – кейс с измерительными и показывающими приборами, батареями электропитания; 2 – измеряющие контакты, устанавливаемые на поверхности трубопровода; 3 – рейка с направляющими для перемещения контактов 2

Измерительные и показывающие приборы, автономное энергопитание располагаются в кейсе 1, а на трубу накладываются контакты 2, располагаемые на рейке 3. Контакты 2 могут перемещаться по направляющим рейки 3 и закрепляться в требуемом месте замеров на поверхности трубопровода. В комплекте прибора имеется два соединительных кабеля длиной 5 м каждый. Возможные скорости воды в измеряемых трубопроводах от 0 до 15 м/с. Температуры измеряемой жидкости от -40°C до $+150^{\circ}\text{C}$.

Электромагнитные счетчики и расходомеры Принцип измерения расхода жидкости в электромагнитных счетчиках заключается в следующем: трубопровод 1 с движущейся в нем токопроводящей жидкостью (например, водой) помещается в магнитное поле, создаваемое постоянными или переменными магнитами 2. Перемещаемая по трубопроводу 1 жидкость играет роль проводника, перемещающегося в магнитном поле, создаваемом магнитом 2. В жидкости как в проводнике возбуждается электрический ток, величина которого пропорциональна средней скорости потока, а следовательно, и расходу измеряемой жидкости. Возбуждаемый в потоке жидкости электрический ток воспринимается электродами 3 и по соединительным проводам 4 передается на регистрирующее устройство 5.

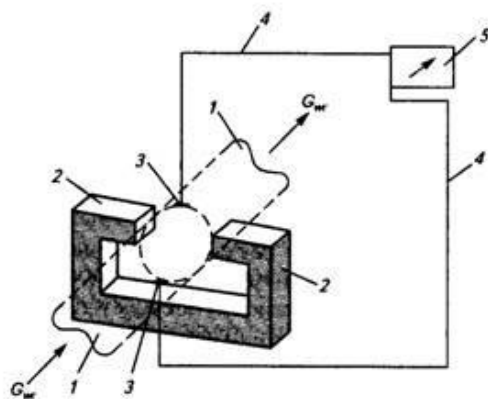


Рис. 3.31. Принципиальная схема электромагнитного метода измерения расходов воды:
 1 – трубопровод, по которому проходит поток токопроводящей жидкости (воды); 2 – электромагнит;
 3 – электроды на поверхности трубы; 4 – соединительные провода от электродов к регистрирующему устройству; 5 – регистрирующее устройство расхода воды

Расходомер предназначен для измерения объемного расхода и объема электропроводных жидкостей, питьевой воды, жидких пищевых продуктов (далее жидкостей); массового расхода и массы воды; контроля расхода жидкостей в системах автоматического регулирования объектов промышленного назначения.

Расходомер может использоваться в составе теплосчетчиков для коммерческого учета количества теплоты и теплоносителя, потребляемой жилыми и общественными зданиями, промышленными предприятиями.

Расходомер РСМ-05.03С осуществляет автоматическое измерение:

- среднего объемного расхода (м³/ч);
- среднего массового расхода (т/ч);
- температуры потока (°С);
- времени наработки (ч);
- суммарного объема жидкости, протекшего за время наработки (м³);
- суммарной массы жидкости, протекшей за время наработки (т).

Принцип действия расходомера основан на явлении электромагнитной индукции (рис.3.32).

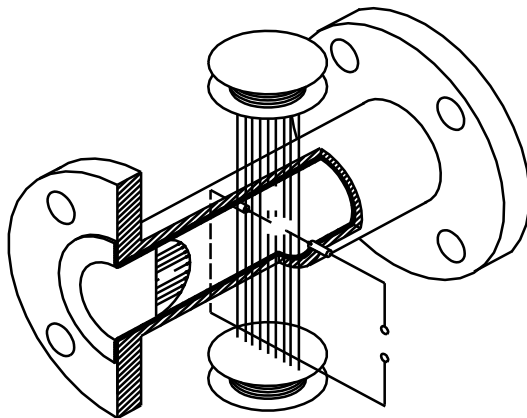


Рис. 3.32. Принцип действия и устройство ППР

При движении электропроводной жидкости в магнитном поле, создаваемом электромагнитной системой ППР, между электродами возникает ЭДС (E):

$$E = B \cdot v \cdot D, \quad 3.1$$

где B – индукция магнитного поля, создаваемого электромагнитной системой ППР; v – средняя скорость потока жидкости; D – расстояние между электродами.

Для данного типоразмера расходомера B и D являются постоянными величинами, поэтому ЭДС E зависит только от средней скорости потока жидкости. Наводимая ЭДС передается в АЦПУ, а затем в процессор, где вычисляется объемный расход жидкости.

АЦПУ функционально состоит из блоков аналоговой и цифровой обработки сигнала и блока питания.

Первичный преобразователь расхода (ППР) представляет собой отрезок трубопровода из немагнитного материала, внутренняя поверхность которого футерована диэлектриком (фторопластом). В диаметрально противоположных стенках трубопровода установлены два электрода, контактирующие с измеряемой средой и предназначенные для съема ЭДС индукции (E). Благодаря такой конструкции ППР расходомер вносит минимальное гидравлическое сопротивление в поток жидкости. Магнитная система ППР состоит из двух последовательно включенных катушек возбуждения и магнитопровода. ЭДС индукции усиливается в блоке аналоговой обработки АЦПУ, преобразуется в цифровую форму и поступает затем в блок цифровой обработки сигнала. Блок аналоговой обработки сигнала также формирует ток, поступающий на катушки возбуждения магнитной системы ППР.

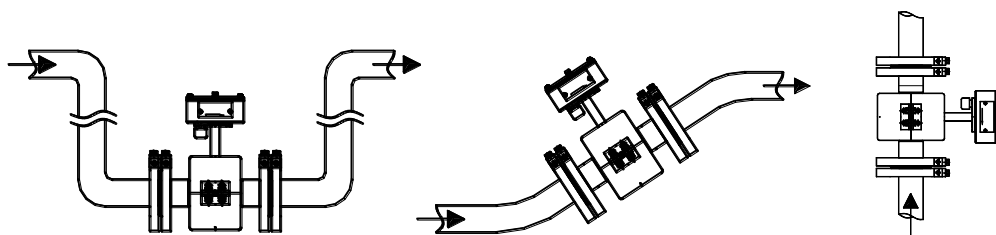


Рис. 3.33. Виды монтажа ППР

Измерение температуры жидкости (t) осуществляется путем измерения падения напряжения на ТС (u) при протекании через него тока, задаваемого источником тока ППМ. Измеренное напряжение поступает в блок аналоговой обработки ППМ и далее после преобразования его в цифровую форму также поступает в блок цифровой обработки сигнала.

Измеренные и преобразованные значения выводятся на устройство индикации. Значения объемного расхода или температуры жидкости также передаются и в блок аналоговой обработки сигнала, где осуществляется преобразование одного из этих параметров в унифицированный сигнал постоянного тока. Преобразование объемного расхода и объема жидкости в импульсный сигнал, а также формирование посылок последовательных интерфейсов RS 232C и RS 485 осуществляется в блоке цифровой обработки сигнала.

3.4. Измерение расходов и учет газообразных энергоносителей

Расход – это количество вещества, протекающее через данное сечение в единицу времени. Прибор, измеряющий расход вещества, называется **расходомером**, а массу или объем вещества – счетчиком количества или просто счетчиком (ГОСТ 15528–86). Прибор, который одновременно измеряет расход и количество вещества, называется **расходомером со счетчиком**. Устройство, непосредственно воспринимающее измеряемый расход (например, диафрагма, сопло, напорная трубка) и преобразующее его в другую величину (например, в перепад давления), которая удобна для измерения, называется **преобразователем расхода**.

Счетчик газа (газосчетчик) – *прибор учета*, предназначенный для измерения объема проходящего по газопроводу газа за единицу времени. Чаще всего объем газа измеряют в кубических метрах (m^3). Газовый счетчик, как правило, выполняет сразу две функции: ведет учет энергоресурсов и стимулирует их экономию. В зависимости от принципа действия выделяют пять основных видов счетчиков газа: *турбинные, ротационные, вихревые, ультразвуковые и мембранные*.

Турбинные счетчики представляют собой сложный дорогостоящий механизм, выполненный в виде трубы, в которой расположена винтовая турбинка, как правило, с небольшим перекрытием одной лопатки другой. В проточной части корпуса расположены обтекатели, перекрывающие большую часть сечения трубопровода, чем обеспечивается дополнительное выравнивание эпюры скоростей потока и увеличение скорости течения газа. Кроме того, происходит формирование турбулентного режима течения газа, что гарантирует линейность характеристики счетчика газа в большом диапазоне. Высота турбинки, как правило, не превышает 25–30 % радиуса. На входе в счетчик в ряде конструкций предусмотрен дополнительный струевыпрямитель, выполненный или в виде прямых лопаток, или в виде «толстого» диска с отверстиями разного диаметра. Установка сетки на входе турбинного счетчика, как правило, не применяется, потому что ее засорение уменьшает площадь проходного сечения трубопровода и, соответственно, увеличивает скорость течения потока, что приводит к росту показаний счетчика. Преобразование значений скорости вращения турбинки в значения количества прошедшего газа осуществляется путем передачи первых показаний через магнитную муфту на счетный механизм, в котором посредством подбора пар

шестеренок (во время градуировки) обеспечивается линейная связь между скоростью вращения турбинки и объемом прошедшего газа. Также указанное выше значение можно получить, используя для индикации скорости магнито-индукционный преобразователь. В результате силового взаимодействия лопастей турбинки с потоком газа ей передается заключенная в потоке энергия, вследствие чего турбинка вращается с угловой скоростью, пропорциональной скорости потока газа. Эта угловая скорость посредством магнито-индукционного генератора преобразуется в электрический сигнал переменного тока, частота которого пропорциональна угловой скорости турбинки и, следовательно, измеряемому расходу. Внешний вид турбинного газосчетчика и принципиальная схема электромагнитного преобразователя приведены на рис. 3.34.

Магнитный поток, создаваемый постоянным двухполюсным магнитом (2), замыкается через катушку (4) с сердечником (3), выполненным из электротехнической стали, и магнитопроводящие полости турбинки (1).

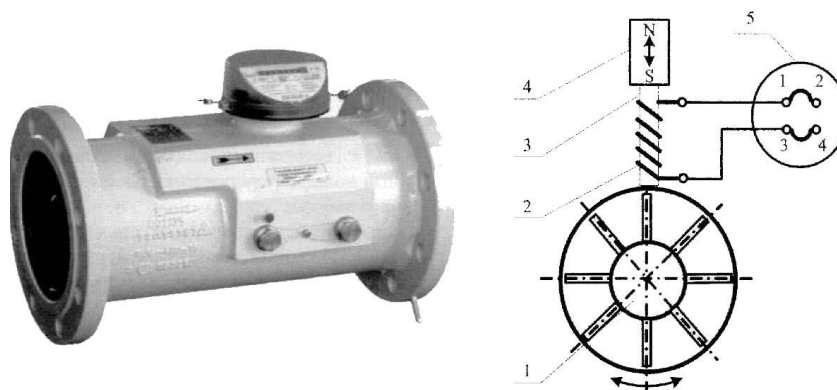


Рис. 3.34. Турбинный газосчетчик типа TRZ и принципиальная схема работы электромагнитного преобразователя: 1 – турбинка; 2 – электромагнит; 3 – сердечник; 4 – катушка; 5 – электронный блок

При вращении турбинки, вследствие периодического изменения зазора между сердечником катушки и лопастями турбинки, происходит пульсация магнитного потока, вызывающая наведение ЭДС в катушке магнитоиндукционного генератора.

Частота наведенной ЭДС в обмотках катушки (f) определяется частотой изменения проводимости магнитной цепи:

$$f = zn, \quad 3.2$$

где n – число оборотов турбинки (об/с); z – коэффициент, обозначающий число полных изменений проводимости магнитной цепи за один оборот турбинки (имп/об).

Частота этой ЭДС пропорциональна угловой скорости вращения турбинки и определяет объемный расход газа.

Градуировочная характеристика преобразователя определяется зависимостью частоты выходного сигнала от объема проходящего через преобразователь газа.

В идеальном случае скорость вращения турбинки (частота выходного сигнала) линейно связана с измеряемым расходом. Градуировочная характеристика, выраженная через градуировочный коэффициент B , имеет вид:

$$f = BQ, \quad 3.3$$

где Q – измеряемый расход (л/с); f – частота выходного сигнала (Гц); B – градуировочный коэффициент (имп/м³).

В реальных условиях на турбинку оказывают тормозящие воздействия силы трения газа, электромагнитные поля и т. п. Это приводит к тому, что вращение турбинки начинается только при таком расходе, когда вращающий момент на турбинке становится больше сил сопротивления, поэтому реальная характеристика имеет зону чувствительности и через начало координат не проходит.

При таком методе преобразование сигнала осуществляется в электронном блоке, как и вычисление объема прошедшего газа. Применение электронного блока упрощает вопрос расширения диапазона измерения счетчика (для счетчика с механическим счетным механизмом 1:20 или 1:30), так как нелинейность характеристики счетчика, проявляющаяся на малых расходах, легко устраняется кусочно-линейной аппроксимацией характеристики (до 1:50), чего в счетчике с механической счетной головкой сделать нельзя.

По степени автоматизации процесса измерений и обработки результатов турбинные счетчики выпускаются в следующих вариантах комплектации:

- для отдельных измерений переменных контролируемых параметров – с произвольно выбранными средствами обработки результатов измерений (счетными устройствами ручного действия, микрокалькуляторами и др.);
- для полуавтоматических измерений переменных контролируемых параметров – с вычислительными устройствами обработки результатов измерений и устройствами с ручным вводом значений условно-постоянных параметров или ручной коррекцией результатов измерений и вычислений;
- для автоматических измерений всех контролируемых параметров – с вычислительными устройствами обработки результатов измерений

В связи с высокой стоимостью турбинные газосчетчики применяются на крупных промышленных предприятиях, нужды которых требуют потребления большого количества газа, а также на участках газовой магистрали с высоким давлением. Современные турбинные счетчики близки к мини-компьютеру, который способен не только осуществлять подсчет расхода газа, но и анализировать данные и передавать их через модем.

Ротационные счетчики. В связи с расширением номенклатуры оборудования возникла необходимость в измерительных приборах, которые обладали бы сравнительно большой пропускной способностью и значительным диапазоном измерений при сравнительно небольших габаритных размерах. Этим условиям удовлетворяют ротационные газовые счетчики, которые имеют следующие преимущества:

- отсутствие потребности в электроэнергии;
- долговечность;
- возможность контроля исправности работы по перепаду давления на счетчике во время его работы;
- любое направление газа через счетчик;
- большой диапазон измеряемых расходов (до 1:160) и малая погрешность при измерении переменных потоков;
- отсутствие требований о наличии прямых участков перед и за счетчиком;
- нечувствительность к кратковременным перегрузкам.

Ротационные счетчики широко применяют в коммунальном хозяйстве, особенно в отопительных котельных, а также на небольших и средних предприятиях.

Ротационный (роторный) счетчик – камерный счетчик газа, в котором в качестве преобразовательного элемента применяются восьмиобразные роторы (рис. 3.35).

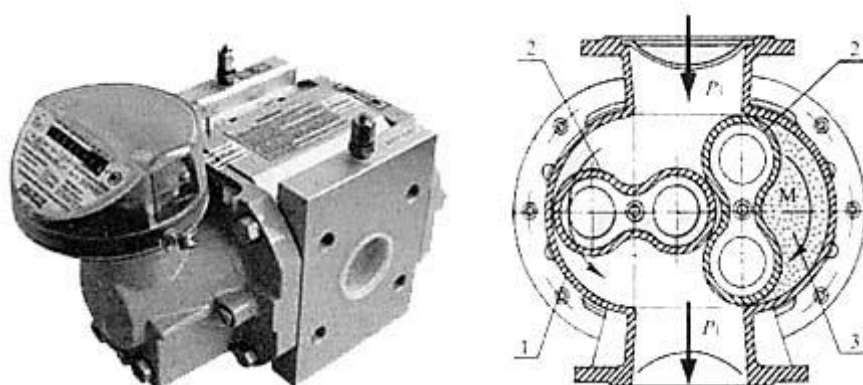


Рис. 3.35. Ротационный счетчик типа РГ и принципиальная схема работы

Ротационный газовый счетчик типа РГ состоит из корпуса (1), внутри которого вращаются два одинаковых восьмиобразных ротора (2) передаточного и счетного механизмов, связанных с одним из роторов. Роторы приводятся во вращение под действием разности давлений газа, поступающего через верхний входной патрубок и выходящего через нижний выходной патрубок. При вращении роторы обкатываются своими боковыми поверхностями. Синхронизация вращения роторов достигается с помощью двух пар одинаковых зубчатых колес, укрепленных на обоих концах роторов в торцевых коробках вне пределов измерительной камеры. От одного из валов вращение передается счетному механизму, который и показывает объемное количество прошедшего через прибор газа. Для уменьшения трения и износа шестерни роторов постоянно смазываются маслом, залитым в торцевые коробки.

Объем газа (3), вытесненный за пол-оборота одного ротора, равен объему, ограниченному внутренней поверхностью корпуса и боковой поверхностью ротора, занимающего вертикальное положение. За полный оборот роторов вытесняются четыре таких объема.

При изготовлении ротационных счетчиков особое внимание обращается на легкость хода роторов и уменьшение неучитываемых утечек газа через счетчик.

Легкость хода является качественным показателем малого трения в механизме, а следовательно, и малой потери давления в газосчетчике.

Уменьшение утечек газа достигается тщательной обработкой и взаимной подгонкой внутренней поверхности корпуса и трущихся поверхностей роторов. Зазор между корпусом и прямоугольными площадками, расположенными на концах наибольших диаметров роторов, колеблется от 0,04 до 0,10 мм в зависимости от типа счетчика. При изготовлении счетчиков особое внимание уделяется статической балансировке.

Погрешность счетчиков составляет $\pm 2-3\%$, а потеря напора не превышает 343–392 Па. Большая номенклатура этих приборов выпускается на расходы от 40 до 40000 м³/ч

Вихревые расходомеры (счетчики) газа. Вихревыми называются расходомеры, основанные на зависимости от расхода частоты колебаний давления, возникающих в потоке в процессе вихреобразования или колебания струи, либо после обтекания потоком препятствия определенной формы, установленного в трубопроводе, либо в результате специального закручивания потока.

Свое название вихревые расходомеры получили от явления срыва вихрей (*принцип вихревой дорожки Кармана*), возникающих при обтекании потоком жидкости или газа препятствия, обычно в виде усеченной трапециевидальной призмы (рис. 3.36).



Рис. 3.36. Вихревые счетчики типа ВИР и принципиальная схема работы

Эти завихрения вызывают местное понижение давления, колебания которого детектируются сенсором и преобразуются в электрические импульсы. Частота образования вихрей прямо пропорциональна скорости потока. В качестве константы этой пропорциональной зависимости используется К-фактор:

$$\text{К-фактор} = \text{импульсы} / \text{объем (дм}^3\text{)}$$

В рамках рабочего диапазона прибора К-фактор зависит только от геометрии прибора. Он не зависит от типа измеряемой среды, будь то пар или газ. Первичный измеряемый сигнал является частотным сигналом и линейной функцией расхода.

При производстве газосчетчика К-фактор определяется однократно на заводе-изготовителе при калибровке и не подвержен какому-либо дрейфу или смещению нулевой точки.

Прибор не имеет подвижных частей и не требует какого-либо обслуживания.

К достоинствам вихревых расходомеров следует отнести:

- отсутствие подвижных частей;
- независимость показаний от давления и температуры;
- большой диапазон измерений – до 1:50 с верхним пределом измерения расхода, до 5000 м³/ч;
- частотный измерительный сигнал на выходе;
- возможность получения универсальной градуировки;
- отсутствие необходимости обслуживания;

К недостаткам вихревых расходомеров относятся значительные потери давления (до 30–50 кПа) и ограничения возможностей их применения: они не пригодны при малых скоростях потока среды, для измерения расхода загрязненных и агрессивных сред.

Ультразвуковые газовые счетчики основаны на преобразовании доплеровской разности частот отражений ультразвука от движущихся неоднородностей потока, линейно зависящей от скорости движения последнего. Они относятся к время-импульсным ультразвуковым расходомерам. Работа основана на измерении разности времен прохождения зондирующих импульсов ультразвуковых колебаний между четными и нечетными пьезоэлектрическими датчиками (ДПЭ) по направлению хода потока рабочей среды в измерительном газопроводе (первичном преобразователе) и против него по V-, W- образному или по линейному пути (рис. 3.37).

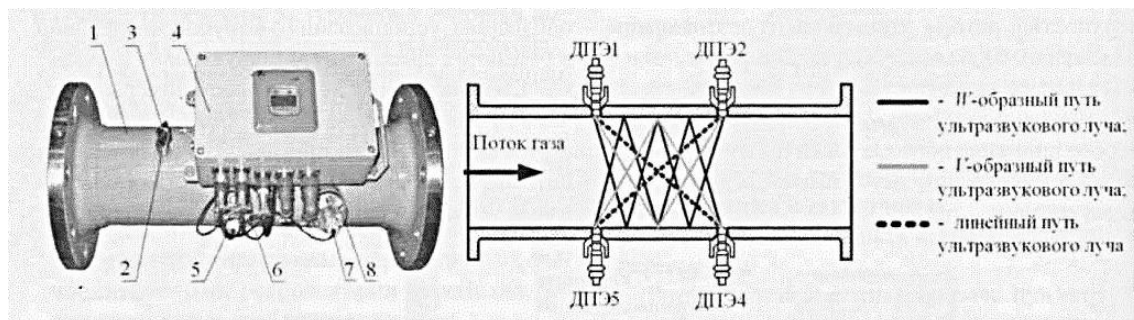


Рис. 3.37. Ультразвуковой газовый счетчик «ГиперФлоу-УС» и принципиальная схема работы:
1 — фланцевый измерительный участок; 2 — бобышка для установки датчика давления; 3 — магнитный ключ;
4 — блок электронный; 5, 7 — датчики пьезоэлектрические;
6, 8 — бобышки для установки датчиков пьезоэлектрических

Возбуждение и прием зондирующих импульсов производится пьезоэлектрическими датчиками (ДПЭ1-ДПЭ4), устанавливаемыми на измерительный трубопровод. Попеременная коммутация режимов «прием — передача» пар датчиков обеспечивается электронным блоком.

Газовые счетчики данного типа обладают следующими преимуществами:

- высокая точностью измерения расхода в динамическом диапазоне измерения, 1:200;
- основная относительная погрешность около 0,5 %;
- возможность проведения измерений при постоянном или реверсивном направлении потока диагностируемой среды;
- простота установки за счет их врезки перпендикулярно оси измерительного трубопровода;
- обеспечение вывода измеренных, вычисленных и заархивированных значений на индикатор расходомера и на внешние устройства;
- время непрерывной работы от встроенного автономного источника питания — 1 год;
- межповерочный интервал — 2 года.

Мембранные (диафрагменные, камерные) газовые счетчики основаны на том, что при помощи различных подвижных преобразовательных элементов газ разделяют на доли объема, а затем производят их циклическое суммирование. Мембранные газовые счетчики, как правило, состоят из корпуса, измерительного механизма, кривошипно-рычажного механизма, связывающего подвижные части диафрагм (мембран) с верхними клапанами газораспределительного устройства, седла клапана (нижняя часть распределительного устройства) и счетного механизма. В зависимости от конструкции и объемов газа измерительный механизм может состоять из двух или четырех камер. Внешний вид и принципиальная схема работы мембранного счетчика показаны на рис.3.38. Счетчик работает следующим образом (показано два цикла из четырех):

а) измеряемый поток газа через входной патрубок поступает в верхнюю полость корпуса и далее через открытый клапан в камеру 2. Увеличение объема газа в камере 2 вызывает перемещение диафрагмы и вытеснение газа из камеры 1 на выход из щели седла клапана и далее в выходной патрубок счетчика. После приближения рычага диафрагмы к стенке камеры 1 диафрагма останавливается в результате переключения клапанных групп. Подвижная часть клапана камер 1 и 2 полностью перекрывает седла клапанов этих камер, отключая этот камерный блок;

б) клапан камер 3 и 4 открывает вход газа из верхней полости корпуса счетчика в камеру 3, наполняет ее, что вызывает перемещение диафрагмы и вытеснение газа из камеры 4 в выходной патрубок через щели в седле клапана. После приближения рычага диафрагмы к стенке камеры 4 диафрагма останавливается в результате отключения клапанного блока камер 3, 4. Процесс повторяется периодически. Счетный механизм подсчитывает число ходов диафрагм (или число циклов работы измерительного механизма) (n).

За каждый цикл вытесняется объем газа $V_{\text{ц}}$, равный сумме объемов камер 1, 2, 3, 4. Один полный оборот выходной оси измерительного механизма соответствует 16 циклам.

Мембранные счетчики отличаются большим диапазоном измерения до 1:100, но рассчитаны для работы при низком давлении газа (как правило, не более 0,05 МПа). Мембранные счетчики в основном предназначены для измерения расхода газа в ЖКХ.

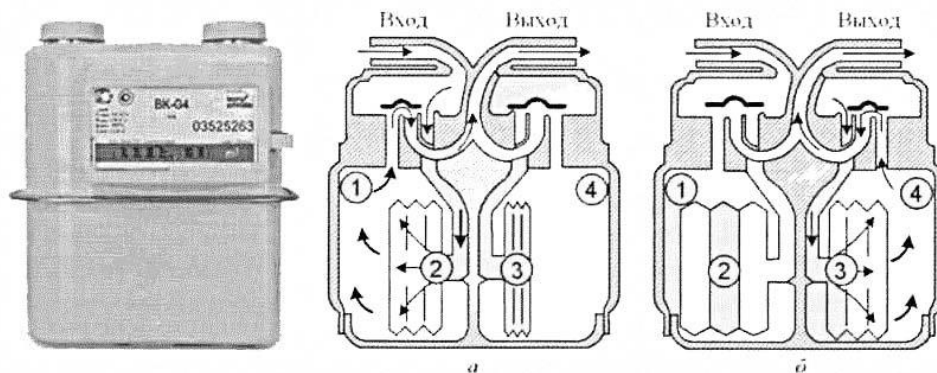


Рис. 3.38. Мембранный газосчетчик типа ВК и принципиальная схема работы

Если работа турбинных и ротационных счетчиков газа сопровождается шумом, связанным с вращением подвижных элементов, то мембранные счетчики работают бесшумно. Они не требуют смазки во время эксплуатации, в то время как турбинные счетчики нужно смазывать раз в квартал. Однако при больших расходах (более 25 м³/ч) необходимы счетчики больших размеров.

ЛЕКЦИЯ 4. ИЗМЕРЕНИЕ СОСТАВА ТВЕРДОФАЗНЫХ, ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ СМЕСЕЙ (2 ч)

4.1. Принципы определения состава смесей

Определение химического состава веществ осуществляется двумя способами: 1) химическим анализом; 2) применением специализированных приборов (р-Н-метров, газоанализаторов, спектрофотометров и т. п.).

р-Н-метры, ионометры – приборы, контролирующие концентрацию (состав жидкости) с помощью ионоселективных электродов. Принципиальная схема устройства приведена на рис. 4.1.

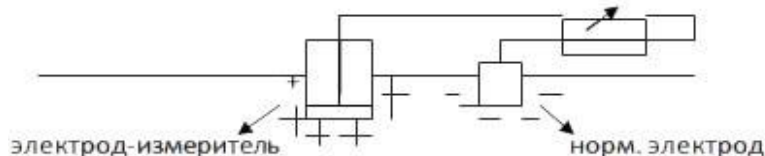


Рис. 4.1. Принципиальная схема ионометра

При погружении ионоселективного электрода в исследуемую жидкость на границе «жидкость – электрод» возникает двойной слой. Ионы определяемого вещества (например, H^+) накапливаются на поверхности. В электроде накапливаются ионы противоположного знака. Возникает ЭДС двойного слоя, которая передается на измерительный прибор.

Спектрофотометры – устройства, предназначенные для определения состава по их спектрам (излучения или поглощения). Принципиальная схема спектрофотометра излучения приведена на рис. 4.2.

Вещество разогревается и анализируется спектр его излучения.

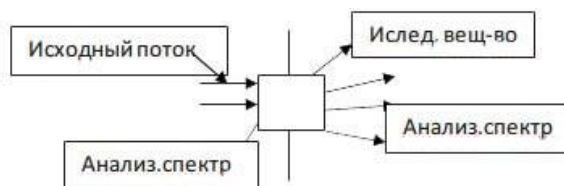


Рис. 4.2. Принципиальная схема спектрофотометра

Принципиальная схема газоанализатора приведена на рис. 4.3.

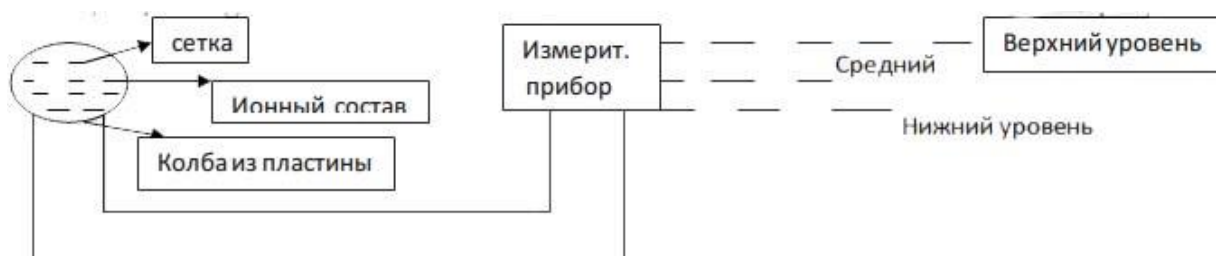


Рис. 4.3. Принципиальная схема газоанализатора

Для определения химического состава с целью контроля предельный уровней существуют **индикаторы** (приборные, красящие бумажки, полоски, пленки и т. д.).

4.2. Определение состава твердофазных смесей

Важнейшими характеристиками твердофазных смесей, в том числе энергоресурсов (уголь, древесина, торф и т. д.), являются их влажность (влагосодержание), удельный вес (масса), содержание химических элементов и соединений, особенно углерода, азота и кислорода. Определение состава таких смесей может проводится как с нативными материалами, так и с их растворами или продуктами сжигания (зола, газы). Определение проводится как химическими методами, так и прямыми методами с использованием специальных приборов (влагомеров, спектрометров, массспектрометров и т. д.).

Влагомер – прибор, измеряющий абсолютное содержание влаги в процентном отношении ко всей массе газа или твердого материала (в том числе сыпучего), часто отождествляемый с прибором измерения влажности воздуха гигрометром, который является одним из видов влагомеров.

Влагомеры необходимы при проведении проверки качества сырья и материалов во время входного контроля сырья и готовой продукции на предприятиях экструзии, строительной области и многих областей промышленности. Контроль и регистрация влажности окружающего воздуха во время процесса печати является неотъемлемым техническим требованием для уменьшения производственного брака и повышения качества печатной продукции за счет увеличения адгезии красочного слоя к материалу. В приборах измерения влажности используются несколько методов измерения влажности материалов и газов:

Весовой метод – способ измерения влажности твердых материалов и газов. В основе лежит метод взвешивания образца исследуемого материала с последующей сушкой. Зная вес образца до и после проведения сушки, можно вычислить влажность материала в процентном соотношении. Для измерения влажности газов в камеру, изолированную от атмосферы, помещается предварительно взвешенный гигроскопический материал и туда закачивается исследуемый газ. Взвесив увлажненный гигроскопический материал, который принял в себя влагу из воздуха, также вычисляют процентное содержание влаги в воздухе.

Волосной метод – в его основе лежит свойство волоса (гигроскопического материала) изменять свою длину от степени увлажнения. Изменения длины волоса пропорционально изменениям влажности воздуха. В современном виде для измерения влажности воздуха применяют различные полимерные гигроскопические материалы, заменяющие волос. Влагомер, работающий на таком принципе, называется гигрометром. Данный метод применим только для измерения влажности газов в самом распространенном варианте окружающего воздуха.

Психрометрический метод – способ измерения температур двух термометров, один из которых обернут хлопчатобумажной тканью, смоченной в воде. Влага из ткани испаряется с разной интенсивностью в зависимости от влажности воздуха, расходуя на это тепло, поэтому этот термометр всегда будет показывать более низкую температуру, чем сухой. По специальной таблице разницы температур двух градусников можно узнать влажность окружающего воздуха. Прибор, в основе которого лежит этот принцип, называется психрометр, а его показания более точны, чем у гигрометра.

Химический метод. Исследуемый образец обрабатывается специальным реагентом, который вступает в реакцию только с водой. Измеряя количество выделяемого газа или жидкости, можно вычислить влажность материала.

Оптический метод – основан на принципе измерения оптической плотности материала, которая зависит от степени насыщенности его водой. Подходит для газов и твердых материалов.

Кондуктометрический метод – основан измерении электрического сопротивление материала, которое изменяется в зависимости от содержания в нем влаги.

Диэлькометрический метод – основан на измерении диэлектрической проницаемости исследуемого материала. Можно получить достоверную информацию о ее процентном содержании в материале, так как диэлектрическая проницаемость воды выше, чем у других материалов.



Рис 4.4. Примеры приборов для измерения влажности

Спектрометр (лат. *spectrum* от лат. *spectare* – смотреть и метр от др.-греч. μέτρον – мера, измеритель) – оптический прибор, используемый в спектроскопических исследованиях для накопления спектра, его количественной обработки и последующего анализа с помощью различных аналитических методов. Анализируемый спектр получается путем регистрации флуоресценции после воздействия на исследуемое вещество каким-либо излучением (рентгеновским или лазерным излучением, искровым воздействием и др.). Обычно измеряемыми величинами являются интенсивность и энергия (длина волны, частота) излучения, но могут регистрироваться и другие характеристики, например, поляризационное состояние. Термин «спектрометр» применяется к приборам, работающим в широком диапазоне длин волн: от гамма-до инфракрасного диапазона.

Для регистрации спектра могут использоваться полупроводниковые детекторы, сцинтилляционные счетчики, либо детекторы на базе ПЗС-линейки или ПЗС-матрицы. Спектрометры могут различаться по спектральному диапазону, спектральной чувствительности, оптической схеме. При интерпретации спектров в большинстве случаев производится сравнение полученного спектра со спектром вещества известного состава. Ранние спектроскопы представляли собой простые призмы с градуировкой, обозначающей длины волн света, в современных приборах они вытеснены дифракционной решеткой.

Различают следующие типы спектрометров:

- рентгенофлуоресцентный спектрометр;
- искровой оптико-эмиссионный спектрометр;
- лазерный спектрометр;
- ИК-спектрометр;
- спектрометр индуктивно-связанной плазмы;
- атомно-абсорбционный спектрометр;
- изображающий спектрометр;
- спектрогониометр.

Рентгенофлуоресцентный спектрометр – прибор, используемый для определения элементного состава вещества при помощи рентгенофлуоресцентного анализа (РФА).

Метод основан на сборе и анализе спектра, полученного после возбуждения характеристического рентгеновского излучения, которое возникает при переходе атома из возбужденного в основное состояние (закон Мозли). Атомы разных элементов испускают фотоны со строго определенными энергиями, измерив которые можно определить качественный элементный состав. Для измерения количества элемента регистрируется интенсивность излучения с определенной энергией.

Обязательными элементами рентгенофлуоресцентных спектрометров являются источник возбуждения характеристического рентгеновского излучения (космические аппараты вместо него могут использовать солнечные вспышки в качестве возбудителя рентгеновского излучения; на Земле это невозможно, так как рентгеновское излучение Солнца полностью поглощается атмосферой) и анализатор этого излучения. Современные приборы обязательно снабжаются программным обеспечением для определения количественного элементного состава пробы.

Для возбуждения атомов исследуемой пробы могут использоваться:

- рентгеновская трубка, испускающая жесткое (с высокой энергией) рентгеновское излучение;
- изотопы некоторых элементов (например: Fe-55, Cd-109, Cm-244, Am-241);
- электроны.

При регистрации полученного спектра могут применяться:

- кристаллы-анализаторы (монокристаллы некоторых веществ) вместе с детектором (пропорциональный, сцинтилляционный, полупроводниковый);

- энергодисперсионные детекторы (различают фотоны по энергиям).

Наилучшим разрешением детектора на данный момент является разрешение в 123 эВ с наилучшей скоростью подсчета $3 \cdot 10^5$ импульсов в секунду. Все приборы классифицируются по принципам возбуждения/регистрации спектров. Спектрометры с кристаллами-анализаторами, как правило, имеют гораздо более высокое разрешение и дороже приборов с энергодисперсионными детекторами.

По способу использования различают лабораторные, стационарные и переносные портативные спектрометры. Последние отличаются быстротой получения результатов, легкостью, удобством, возможностью полевых исследований, но уступают лабораторным и стационарным приборам в чувствительности и точности. В отличие от портативных приборов, специализирующихся на узком круге задач (определение состава сталей, сплавов, руд, горных пород, почв, RoHS анализ и т. п.), стационарные установки универ-

сальны. Это связано с тем, что для надежного количественного анализа требуется набор эталонных образцов для каждого элемента, что неосуществимо при работе с портативными установками.

Для улучшения результатов при определении легких элементов с порядковыми номерами меньше 20 (натрия, магния, алюминия, кремния, фосфора, серы) используется вакуумная откачка воздуха либо продувка камеры гелием. Это вызвано необходимостью избежать поглощения воздухом рентгеновских квантов с малой энергией, испускаемых легкими элементами. При регистрации тяжелых элементов (с порядковыми номерами более 56) возникает другая сложность – разные элементы имеют мало различающуюся энергию фотонов, что вынуждает применять более дорогие детекторы с высоким разрешением по энергии. Возбуждение электронами используется при элементном анализе в растровых и просвечивающих электронных микроскопах.

Задачей количественного анализа является определение концентраций или количества химических веществ, входящих в состав анализируемых объектов. Химические методы количественного анализа, также как и качественного, основаны на проведении химических реакций между изучаемым образцом и реактивом. По количеству затраченных реактивов или по количеству полученных продуктов реакции рассчитывают состав анализируемого образца. Обычно в химических методах аналитический сигнал, возникающий в результате реакции, наблюдают визуально. Различают гравиметрический и титриметрический методы количественного анализа. В *гравиметрическом методе* определяемую составную часть анализируемого вещества изолируют либо в чистом виде, либо в виде соединения определенного состава, которое затем взвешивают. Гравиметрия является простым и точным, но очень трудоемким и продолжительным методом анализа. Более широко используется *метод объемного (титриметрического)*. Его сущность состоит в том, что к исследуемому раствору неизвестной концентрации (анализируемый или титруемый раствор) небольшими порциями добавляют раствор известной концентрации (стандартный раствор, рабочий раствор или титрант) до тех пор, пока тем или иным способом не будет установлено, что затраченное количество реагента эквивалентно количеству определяемого вещества. Эта операция называется титрованием. Методы титриметрического анализа классифицируют в зависимости от характера химической реакции, лежащей в их основе, и по способу проведения анализа. В титриметрии используют следующие основные типы химических реакций: кислотно-основные (реакции с переносом протона); окислительно-восстановительные (реакции с переносом электрона); реакции осаждения и комплексообразования. В соответствии с этим различают четыре основных титриметрических метода:

- кислотно-основного титрования (нейтрализации);
- окислительно-восстановительного титрования;
- осаждения;
- комплексно-метрического титрования.

По способу проведения анализа различают прямое, обратное и заместительное титрование. При прямом титровании к раствору определяемого вещества непосредственно добавляют титрант. При работе по этому методу для определения концентрации щелочи необходим раствор кислоты; для определения концентрации восстановителя – раствор окислителя и т. д. При обратном титровании вещество сначала реагирует с точно известным количеством некоторого компонента, взятого в избытке. Не вступивший в реакцию избыток реагента титруют соответствующим стандартным раствором, и по результатам титрования определяется количество реагента, прореагировавшего с анализируемым веществом. В заместительном титровании проводят реакцию определяемого вещества с некоторым реагентом, взятым в неконтролируемом избытке, и затем титруют продукт реакции стандартным раствором, который «заместил» анализируемое вещество.

В основе титриметрического (объемного) анализа лежит закон эквивалентов и все расчеты производят с применением этого закона. Вещества взаимодействуют друг с другом в количествах, пропорциональных их эквивалентам:

$$n_{\text{экв}}(A) = n_{\text{экв}}(B).$$

Эквивалент – это реальная или условная частица вещества (X), которая может присоединять, замещать, высвобождать один ион водорода в кислотноосновных реакциях; или быть эквивалентна одному электрону в окислительно-восстановительных реакциях, или – единице заряда в обменных реакциях между солями. *Молярной массой* эквивалента (эквивалентной массой) вещества $\mathcal{E}(X)$ называют массу одного эквивалента этого вещества (измеряется в г/моль). Для элементов в соединении она рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E} = A/B,$$

где A – атомная масса элемента; B – его валентность в соединении. Для соединений используется для расчета общая:

$$Э(X) = M(X)/|z|,$$

где $M(X)$ – молярная масса соединения; z – эквивалентное число, которое рассчитывается на основании стехиометрии соединения и определяется как суммарный заряд положительных или отрицательных частиц (реальных или условных).

Например: для соединения P_2O_5 $z = |2(+5)| = 10$ или $z = |5(-2)| = 10$,

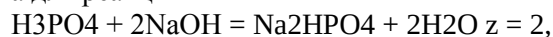
$$Э(P_2O_5) = M(P_2O_5)/10.$$

Эквивалентное число определяется также на основании стехиометрии реакции. Например, для кислотно-основной реакции:



$$Э(H_3PO_4) = M(H_3PO_4)/1,$$

а для реакции



$$Э(H_3PO_4) = M(H_3PO_4)/2.$$

В окислительно-восстановительной полуреакции: $MnO_4^- + 8H^+ + 5e = Mn^{2+} + 4H_2O \quad z = 5$, $Э(KMnO_4) = M(KMnO_4)/5$.

4.3. Определение состава жидких смесей (растворов)

Анализаторы жидкостей – приборы, измеряющие содержание (концентрацию) одного или нескольких компонентов в жидких средах. Ими часто называют также приборы для определения свойств жидкостей (вискозиметры, плотномеры и др.). Различают лабораторные и промышленные (для контроля химико-технологических процессов), стационарные, передвижные и переносные, непрерывного и циклического действия и т. д. Метрологическая надежность анализаторов обеспечивается комплексом проверок при их изготовлении и эксплуатации, базирующемся на использовании образцовых средств – исходных веществ и средств их аттестации, стандартных образцов и средств их приготовления, а также градуировочно-проверочных смесей высшей точности и образцовых приборов с повышенными точностными характеристиками. Лабораторные анализаторы отличаются от промышленных универсальностью, возможностью решения большого числа аналитических задач. В каждом конкретном случае определение состава жидкостей лабораторными приборами осуществляется с использованием соответствующих методик анализа и индивидуальных градуировок.

При исследовании сложных смесей на основе комбинированных методов анализа часто используют сочетания разных приборов, различающихся принципом действия (например, хроматомасспектрометры). Современные анализаторы жидкостей, как правило, автоматизированы, имеют микрокомпьютерное управление и обработку результатов измерений, снабжены сервисными устройствами (например, для предварит. подготовки пробы), расширяющими область применения и эксплуатационные возможности приборов. Ниже рассмотрены наиболее распространенные в химии и смежных областях приборы, которые могут быть изготовлены как в лаборатории, так и в промышленном исполнении.

Оптические анализаторы жидкостей. Действие их основано на взаимосвязи параметров (интенсивность, диапазон длин волн) электромагнитного излучения с составом исследуемой жидкости. При прохождении излучения через жидкость его интенсивность ослабляется из-за поглощения (абсорбции), отражения и рассеяния. В дисперсионных анализаторах жидкостей используют излучение одной длины волны, полученное с помощью монохроматоров (призмы, дифракционной решетки); в недисперсионных приборах используют излучение, спектр которого состоит из набора длин волн. Различают анализаторы жидкостей, работающие в следующих областях спектра электромагнитного излучения: УФ ($\lambda < 0,5$ мкм), видимой ($\lambda = 0,4-0,72$ мкм), ближней и средней ИК ($\lambda = 0,72-20$ мкм), длинноволновой ($\lambda > 20$ мкм). Абсорбционные анализаторы жидкостей предназначены для определения изменения интенсивности излучения, прошедшего через анализируемую жидкость и поглощенного ею.

Конструктивно распространены одно- и двулучевые приборы. В последних сравниваются интенсивности световых потоков, прошедших через исследуемую и эталонную жидкости. С помощью этих приборов определяют содержание, например, в воде полициклических ароматических углеводородов (предел обнаружения в УФ области спектра $10^{-3}-10^{-4}$ %), растворенного сахара (0–0,005 % в видимой области), воды в метаноле (диапазон 0–0,5 % в ИК-области). В атомно-абсорбционных анализаторах жидкостей измеряют изменение оптической плотности атомного пара при поглощении атомами определяемого элемента светового излучения в диапазоне 0,3–0,8 мкм. Область применения: элементный анализ разных веществ, биологических жидкостей, электролитов, природных и сточных вод и т. д. Число определяемых

элементов достигает почти 70, предел обнаружения 10^{-4} – 10^{-8} % (см. Атомно-абсорбционный анализ). В атомно-эмиссионных анализаторах жидкостей элементный состав жидкостей устанавливают по атомным спектрам испускания. Число определяемых элементов превышает 40, предел обнаружения 10^{-4} – 10^{-6} % (Спектральный анализ). Люминесцентные анализаторы жидкостей служат для измерения интенсивности свечения (спектральных линий) жидкости, обусловленного воздействием света (фотолюминесценция) и химических реакций (химилюминесценция). С помощью этих приборов определяют различные элементы в растворах, например, РЗЭ (предел обнаружения 10^{-3} – 10^{-7} М), а также содержание в воде, например, ОЗ (1 мг/л), полициклических ароматических углеводородов (10^{-8} – 10^{-9} %), хлорсодержащих ароматических соединений и пестицидов (10^{-5} – 10^{-6} %) и др. (Люминесцентный анализ).

Действие флуоресцентных анализаторов жидкостей основано на измерении интенсивности и времени жизни флуоресценции жидкости или ее компонентов; рабочий диапазон длин волн обычно 0,2–1,2 мкм. Разновидность этих приборов – атомно-флуоресцентные, в которых мерой концентрации служит интенсивность флуоресцентного излучения атомов определяемого элемента, предварительно возбужденных светом (например, в видимой области спектра). Преимущественная *область применения* – элементный анализ смазочных масел; контроль качества пищевых продуктов; биохимические, микробиологические, цитологические, иммунохимические и геохимические исследования. Число определяемых элементов – свыше 60, предел обнаружения 10^{-8} – 10^{-9} %, в рефрактометрических анализаторах жидкостей измеряют показатель преломления (коэффициент рефракции) жидкости в видимой области спектра. *Области применения*: анализ многокомпонентных смесей (например, определение концентрации соли в морской воде; предел обнаружения до $5 \cdot 10^{-5}$ мг/мл); контроль качества промышленной продукции (например, измерение жирности молока и сливочного масла в пищевых производствах) и др. Действие поляризационных анализаторов жидкостей основано на измерении угла вращения плоскости поляризации монохроматического света, прошедшего через растворы оптически активных веществ. *Области применения*: сахариметрия (например, определение глюкозы), анализ масел (например, эфирных), кислот (например, винной), водных растворов спиртов (например, борнеола); предел обнаружения $2 \cdot 10^{-4}$ %.

Работа магнитооптических анализаторов жидкостей основана на изменении оптических свойств жидкости под действием магнитного поля, на использовании так называемых магнитооптических эффектов. К ним относятся вращение плоскости поляризации света (эффект Фарадея), термомагнитооптический (эффект Фарадея при повышенной температуре), возникновение двойного лучепреломления (эффект Коттона–Мутона) и др. Распространенная область применения – определение концентраций бензола и его гомологов в технологических жидкостях.

Электрохимические анализаторы объединяют группу приборов, в которых значения выходных сигналов (ЭДС, сила тока и др.), пропорциональных концентрациям контролируемых компонентов, определяются электрохимическими явлениями. Последние происходят в электродных системах, погруженных в жидкости. Каждая система включает два и более электродов, электролит и внешнюю электрическую цепь. *Действие кондуктометрических анализаторов* основано на измерении электрической проводимости электролитов. *Области применения*: определение концентраций кислот, солей и оснований, минеральных веществ, растворенных, например, в сахарном соке; контроль состава воды для питания энергетических установок и т. д.; предел обнаружения 10^{-4} М. К этим приборам близки диэлькометрические, с помощью которых регистрируют зависимость диэлектрической проницаемости от состава жидкости; эффективная *область использования* – анализ воды и органических веществ. Действие потенциометрических анализаторов основано на определении зависимости между равновесным электродным потенциалом (ЭДС системы) и термодинамической активностью определяемого иона. *Области применения*: измерение рН растворов, анализ нефти, сточных вод (определение содержания Cl_2 и др.), аминокислот в белках (например, L-глутаминовой кислоты с пределом обнаружения $5 \cdot 10^{-4}$ М) и т. д.

Вольтамперометрические анализаторы предназначены для определения зависимости силы тока от поляризации напряжения при электролизе растворов или расплавов. *Область применения* – определение в широком диапазоне концентраций различных веществ, например, фенолосодержащих стабилизаторов в полимерах (предел обнаружения $5 \cdot 10^{-7}$ М). Разновидность вольтамперометрических жидкостных анализаторов – полярографические, используемые, например, для количественного определения микроэлементов, NaClO и H_2O_2 в отбеливающих растворах, при исследовании белков, аминокислот, нуклеиновых кислот, ферментов и т. д.; предел обнаружения 10^{-8} – 10^{-9} М. В кулонометрических единицах измеряют количество электричества, израсходованного при электролизе. *Область применения* ограничена в основном микроэлементным анализом, а также анализом углеводов и др.; предел обнаружения 10^{-8} – 10^{-9} М.

Тепловые анализаторы основаны на зависимости состава жидкости от изменения ее тепловых свойств или протекающих в ней тепловых явлений. С помощью термохимических (калориметрических)

анализаторов измеряют тепловой эффект химических реакций, одним из реагентов которых является определяемый компонент; эти приборы применяют, например, для количественного анализа кислот (HCl , HF , HNO_3 , H_2SO_4) и оснований (NaOH , KOH). В основе работы термогравиметрических анализаторов лежит изменение массы пробы жидкости при нагревании ее с постоянной скоростью, термокондуктометрических – определение теплопроводности жидкости, дистилляционных – измерение ее температуры или степени перегонки; используют для определения молярной массы органического вещества при исследованиях иммунохимических реакций, измерения осмотического давления растворов и др. Диапазоны измерений 0–100 %.

Хроматографические анализаторы основаны на различной сорбционной способности компонентов, входящих в состав анализируемой жидкости. Последняя фракционируется в этих приборах, и затем разделенные компоненты детектируются посредством оптических, электро- и термехимических и др. методов. *Области применения:* анализ белков, антибиотиков, витаминов, углеводов, спиртов, нуклеиновых кислот, нефти; определение содержания металлов в жидких средах, бензола и толуола в сточных водах и т. д.

Магнитные анализаторы основаны на измерении электромагнитной энергии при ее резонансном поглощении атомами и молекулами анализируемой жидкости, обладающей магнитными свойствами (например, магнитной проницаемостью). Наиболее распространены магнитно-резонансные анализаторы – ЭПР- и ЯМР-приборы. *Область их применения* ограничена анализом спиртов, кислот и свободных радикалов с пределом обнаружения 10^{-8} моль.

Радиоизотопные анализаторы основаны преимущественно на измерении интенсивности поглощения или испускания (функция состава) ионизирующего излучения радиоактивным изотопом компонента анализируемой жидкости. *Области применения:* биохимия, медицина и др. Пределы обнаружения от 0,1–1 до 10^{-15} %.

Масс-спектрометрические анализаторы основаны на разделении ионов по их массам в магнитном или электрическом полях; предназначены для качественного либо количественного анализа состава жидких сред. *Области применения:* анализ галоген- и серосодержащих соединений, углеводов, спиртов, альдегидов, кетонов, эфиров и др.; предел обнаружения 10^{-4} %.



Рис 4.5. Рентгено-флуоресцентный спектрометр SPECTROSCAN

Спектрометр (рис. 4.5.) позволяет определять содержание любого химического элемента в диапазоне от 11Na до 92U в твердых, жидких и порошкообразных материалах.



Рис 4.6. Иономер универсальный ЭКОТЕСТ-2000

Иономер (рН-метр, иономер, БПК-метр) применяется для анализа питьевых, природных, сточных вод, почв, кормов, продовольственного сырья, продуктов питания и напитков (рис. 4.6).



Рис 4.7. Кондуктометр PORTLAB 202

Кондуктометр предназначен для измерения проводимости, солесодержания и температуры (рис. 4.7).



Рис 4.8. pH-метр PORTLAB pH-102

PORTLAB pH-102 предназначен для измерения pH, окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и температуры в растворах, питьевой воде, пищевой продукции и сырье (рис. 4.8).



Рис 4.9. Сканирующий спектрофотометр PORTLAB 501

Сканирующий спектрофотометр предназначен для измерения коэффициента пропускания и оптической плотности твердых и жидких материалов.

4.4. Определение состава газообразных смесей

Для производственных целей определения состава газообразных смесей широко применяются газоанализаторы. Они бывают стационарные и портативные (переносные).

Искатель утечек горючих газов ИГ-10 – прибор переносной, непрерывного действия, с автономным электропитанием, принудительной подачей контролируемой среды, неселективный, со световой, звуковой сигнализацией, взрывозащищенный для работы в атмосферном воздухе, предназначен для определения мест утечек природного и сжиженного газов из подземных газопроводов непосредственно с поверхности грунта или дорожного покрытия над газопроводом, а также для обнаружения неплотностей швов, фланцев и сварных соединений наружных газопроводов и газовой арматуры.

Вид климатического исполнения прибора – УХЛ3.1 по ГОСТ 15150-69.

По устойчивости к механическим воздействиям прибор имеет исполнение № 2 по ГОСТ 12997-84 и выдерживают вибрацию с частотой от 10 до 55 Гц и амплитудой 0,35 мм.

Степень защиты, обеспечиваемая оболочкой, IP51 по ГОСТ 14254-96.

Прибор может по заказу комплектоваться пробоотборником. Пробоотборник выпускается в двух исполнениях (для отбора проб с поверхности земли и для отбора проб из атмосферы и обследования оборудования). Необходимый вид пробоотборника указывается при заказе прибора, возможен одновременный заказ двух видов пробоотборников.

Диапазон контроля горючих газов (при проверке по объемной доле метана в воздухе) от 0,001 до 100 %, время прогрева не более 3 мин, время срабатывания звуковой сигнализации, в случае превышения установленного порога объемной долей метана в воздухе в месте контроля, не более 3 с.

Электрическое питание прибора осуществляется от четырех встроенных аккумуляторов типоразмера «С» с номинальным напряжением 1,2 В. Напряжение питания прибора в пределах 4,8 В. Ток потребления не более 0,25 А. Результаты контроля отображаются на жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ) – прибора в виде линейной шкалы (строки символов переменной длины). В зависимости от фактического состояния отображается также: превышение заданного порога сигнализации (звуковой сигнал, включение подсветки ЖКИ); наличие неисправностей в приборе (звуковой сигнал, индикация на ЖКИ); недостаточное напряжение питания (звуковой сигнал, индикация на ЖКИ). Прибор обеспечивает принудительную подачу проб воздуха к своему чувствительному элементу горючего газа при помощи встроенного микрокомпрессора. Наличие потока воздуха в газовом тракте прибора отображается индикатором потока на пе-

редней панели прибора. Прибор представляет собой металлический прямоугольный корпус со скругленными углами, снабженный наплечным ремнем для переноски. Внешний вид прибора (без ремня) показан на рис. 4.4.

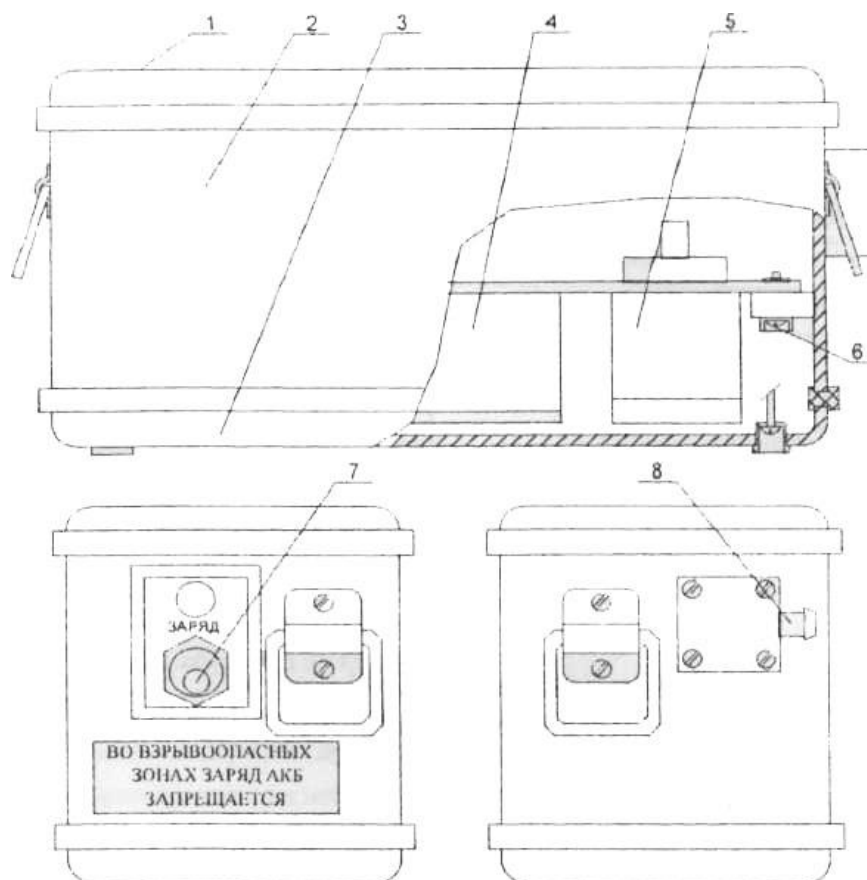


Рис. 4.4. Внешний вид прибора: 1 – панель управления; 2 – корпус; 3 – съемная нижняя крышка; 4 – отсек аккумуляторов; 5 – камера измерительная; 6 – место пломбирования; 7 – гнездо подключения сетевого адаптера и индикатор процесса зарядки аккумуляторов; 8 – штуцер подключения трубки прободоотборника

Конструктивно прибор состоит из панели управления 1, корпуса 2, скрепленных между собой винтами и образующих корпус прибора, а также съемной нижней крышки 3. На боковой стенке корпуса расположен штуцер 8 для подключения трубки подачи контролируемой смеси от прободоотборника. На другой боковой стенке корпуса расположено гнездо 7 подключения сетевого адаптера для зарядки аккумуляторов и световой индикатор процесса зарядки. Один из винтов, скрепляющих корпус, опломбирован (место пломбирования 6 находится под съемной нижней крышкой 3). При снятии нижней крышки имеется возможность доступа к блоку аккумуляторов 4 и к измерительной камере 5 (внутри которой находится чувствительный элемент горючего газа) для их обслуживания или замены при необходимости. Под штуцером 8 имеется фильтрующий элемент, защищающий встроенный микрокомпрессор от засорения частицами пыли из проб воздуха и от последующей остановки. На стенке корпуса расположен штуцер 8 для подключения трубки подачи контролируемой смеси от прободоотборника. На другой боковой стенке корпуса расположено гнездо 7 подключения сетевого адаптера для зарядки аккумуляторов и световой индикатор процесса зарядки. Один из винтов, скрепляющих корпус, опломбирован (место пломбирования 6 находится под съемной нижней крышкой 3). При снятии нижней крышки имеется возможность доступа к блоку аккумуляторов 4 и к измерительной камере 5 (внутри которой находится чувствительный элемент горючего газа) для их обслуживания или замены при необходимости.

Внутри корпуса расположен микрокомпрессор для побуждения движения контролируемой смеси через прибор, а также измерительная камера с датчиком концентрации горючего газа, электронная плата обработки и блок аккумуляторов (с платой искрозащиты).

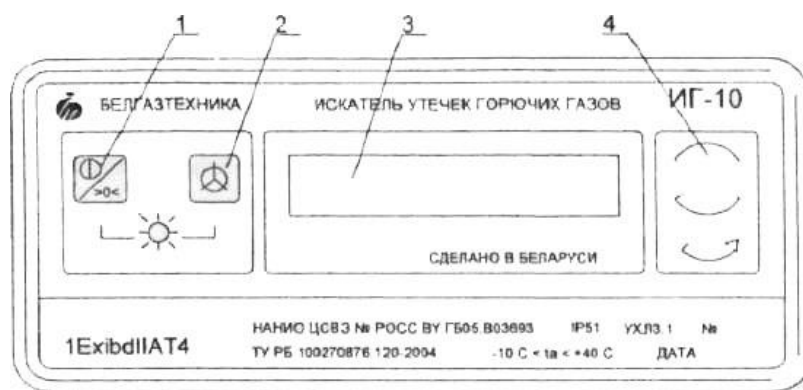


Рис. 4.5. Панель управления прибора: 1 – кнопка «ВКЛ-О-ВЫКЛ»; 2 – кнопка «РЕЖИМ»; 3 – ЖКИ, 4 – индикатор наличия потока воздуха

На передней панели прибора (рис. 4.2) размещены следующие органы управления и индикации:

- кнопка «ВКЛ-О-ВЫКЛ» 1;
- кнопка «РЕЖИМ» 2 для переключения поддиапазонов работы прибора;
- индикатор жидкокристаллический (ЖКИ) 3;
- индикатор наличия потока воздуха в газовом тракте прибора 4.

Пробоотборник для забора проб с поверхности грунта (рис. 4.3) конструктивно состоит из вантуза 1, трубки 3, трубки гибкой 4 (для подачи воздуха в измерительный блок) и ручки трости 5 для удобства отбора проб. В нижней части пробоотборника имеется встроенный воздушный фильтр 2.

Пробоотборник 2 для забора проб с оборудования и из атмосферного воздуха имеет упрощенную конструкцию (трубка 3 с ручкой 5 и гибкой трубкой 4).

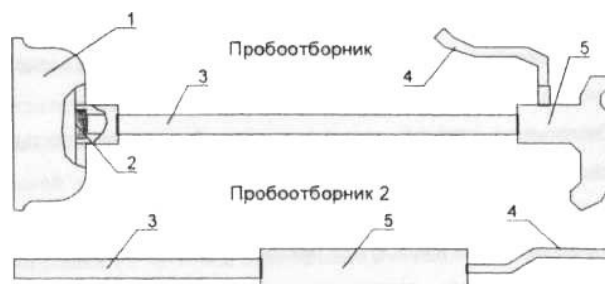


Рис. 4.6. Пробоотборники: 1 – вантуз; 2 – фильтр; 3 – трубка; 4 – трубка гибкая; 5 – ручка

Принцип работы прибора при контроле загазованности помещений или контроле герметичности подземных и наружных газопроводов и оборудования основан на изменении сопротивления чувствительного слоя датчика при появлении в контролируемой среде горючих газов или паров. Прибор не является селективным и реагирует (с разной степенью чувствительности) на присутствие в воздухе различных горючих примесей.

При поступлении в измерительную камеру включенного прибора (через пробоотборник под воздействием встроенного в блок электронный микрокомпрессора) пробы воздуха, в которой присутствуют горючие газы, происходит изменение сопротивления датчика. Изменение сопротивления датчика преобразуется в электрический сигнал, который обрабатывается и регистрируется в управляющем прибором микроконтроллере. Наличие газа в пробе будет отображено изменением длины линейной шкалы на ЖКИ.

При увеличении или уменьшении концентрации газа в воздухе пробы показания шкалы соответственно увеличиваются или уменьшаются. При показаниях выше установленного значения для привлечения внимания оператора автоматически включается звуковой сигнал и включается подсветка ЖКИ. Во время работы с прибором при необходимости может быть принудительно выполнена установка ЖКИ «О» для компенсации колебаний параметров чувствительного элемента горючего газа или для выполнения относительных измерений при поиске утечек на фоне имеющейся общей загазованности.

Имеется три режима работы прибора («Очень малые утечки», «Небольшие утечки», «Полный диапазон»), различающиеся диапазоном контроля. Если во время работы в текущем режиме показания увеличиваются до конца шкалы, автоматически производится переключение на режим работы с более широким

диапазоном контроля. При помощи кнопки 2 «РЕЖИМ» чувствительность прибора и диапазон контролируемых концентраций могут быть изменены принудительно. Особенности режимов:

1. «Очень малые утечки» – режим с наивысшей чувствительностью, но с наиболее узким диапазоном контролируемых концентраций.

2. «Небольшие утечки» – режим с более широким диапазоном контролируемых концентраций, но с меньшей, чем в предыдущем режиме, чувствительностью.

3. «Полный диапазон» – режим с нелинейной шкалой, позволяющий в пределах одной шкалы отобразить весь диапазон концентраций газа от 0 до 100 %. В этом режиме чувствительность прибора понижается с увеличением концентрации горючего газа в воздухе. Особенностью этого режима является наличие самопроизвольных колебаний показаний в начале шкалы, вследствие чего не рекомендуется его использовать для малых уровней загазованности. При показаниях в этом режиме менее 5 делений шкалы и при потребности контролировать низкие уровни загазованности рекомендуется для обеспечения удобства работы переключить прибор в режим «Очень малые утечки».

В приборе имеется автоматическая сигнализация и индикация о неисправности (обрыве или замыкании) чувствительного элемента и о разряде аккумуляторов.

При необходимости может быть включена или выключена подсветка ЖКИ.

Приборы имеют уровень взрывозащиты «Взрывобезопасный» (I) для взрывозащищенного оборудования группы II, подгруппы (IIa) температурного класса T4 (135 °C) по ГОСТ 30852.0/ГОСТ Р 51330.0, маркировку взрывозащиты «IExHxIIAT4» и предназначены для применения во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок, согласно ПУЭ, ГОСТ 30852.9/ГОСТ Р 51330.9 и другим документам, регламентирующим применение электрооборудования во взрывоопасных зонах.

Прибор комплектуется для зарядки аккумуляторов сетевым адаптером невзрывозащищенного исполнения. Около гнезда для подключения адаптера к прибору нанесена надпись «Во взрывоопасных зонах заряд АКБ запрещается».

При обследовании газопроводов отсасывание воздуха производится при грунтовом покрытии – над газопроводом, при асфальтовом покрытии – вдоль бордюрного камня, при обследовании колодцев – по периметру крышек колодцев. Утечки из подземных газопроводов обычно имеют небольшую концентрацию газа у поверхности земли, поэтому рекомендуется начинать обследование при максимальной чувствительности прибора (режим «Очень малые утечки»).

Перед началом работы и периодически в процессе работы заново устанавливать показания по шкале на ЖКИ в «О» нажатием на кнопку «ВКЛ-О-ВЫКЛ» панели управления прибора при поднятом от поверхности земли пробоотборнике.

Прижать вантуз пробоотборника к поверхности земли, изолируя поверхность под вантузом от окружающего атмосферного воздуха. При наличии утечки газа через 10–40 с (в зависимости от интенсивности утечки) показания по шкале на ЖКИ увеличатся. При увеличении более установленного значения включится звуковая индикация для привлечения внимания.

Измеритель концентрации газов переносной комбинированный Комби – МК взрывозащищенный, предназначен для измерения концентрации различных горючих газов и паров во взрывоопасных зонах классов В-1, В-1а, В-1б, В-1г, согласно гл. 7.3 ПУЭ, а также для измерения концентрации кислорода в атмосферном воздухе. Прибор предназначен для работы в диапазоне температур от минус 10 до плюс 40 °C и относительной влажности не более 98 % при температуре 25 °C. Климатическое исполнение прибора – УХЛ категории 3.1 по ГОСТ 15150–69.

По устойчивости к механическим воздействиям прибор имеет ударопрочное исполнение № 1 по ГОСТ 12997–84 и выдерживает вибрацию с частотой до 55 Гц и амплитудой 0,15 мм.

Прибор состоит из блока выносных датчиков (содержащего датчик горючего газа и датчик кислорода) и электронного блока, представляющего собой электронную плату, объединенную в корпусе с блоком аккумуляторных батарей. Корпус имеет степень защиты от внешних воздействий не ниже IP51, блок выносных датчиков – не ниже IP50 по ГОСТ 14254–96.

Подача контролируемой газовой смеси на датчики – диффузионная.

Результаты измерений, отображаемые на жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ), представлены в виде объемной доли соответствующего вида газа в воздухе, выраженной в процентах. Индикация – цифровая 3-разрядная десятичная с ценой младшего разряда 0,1 % для кислорода и 0,01 % для горючего газа.

Погрешность показаний прибора по концентрации горючих газов и паров нормируется при нормальной концентрации кислорода в воздухе (объемная доля 21 %). Прибор может быть откалиброван для двух видов горючих газов одновременно, с возможностью измерения концентрации одного из них (на выбор)

и перехода к измерению концентрации второго без перекалибровки. Концентрация кислорода измеряется постоянно. Прибор обеспечивает непрерывную световую и звуковую сигнализацию при концентрации горючего газа выше запрограммированного порога и при концентрации кислорода ниже запрограммированного порога, а также прерывистую световую и звуковую сигнализацию при снижении напряжения на шине питания прибора до 4,5 В. Пороги включения сигнализации могут программироваться пользователем, при изготовлении прибора задаются соответствующими 20 % НКПР для горючих газов и равными 18 % объемной доли для кислорода. Электропитание прибора осуществляется от батареи аккумуляторов с номинальным напряжением 6 В. Измеритель выполнен в виде переносного прибора во взрывобезопасном исполнении, с автономным питанием от аккумуляторных батарей и выносным датчиком горючего газа и кислорода.

Порядок функционирования прибора определяется алгоритмом, заложенным в программное обеспечение микро-ЭВМ, входящей в составе прибора и управляющей его работой. Прибор может быть откалиброван одновременно для двух видов горючих газов. Одновременно измеряется концентрация кислорода и одного (на выбор) из видов горючих газов без необходимости перекалибровки. Внешний вид прибора показан на рис. 4.7. Конструктивно прибор состоит из корпуса с электронными платами 1, передней панели 2 и блока питания 3, скрепленных между собой винтами, а также блока выносных датчиков 4 и технологического пульта управления 5.

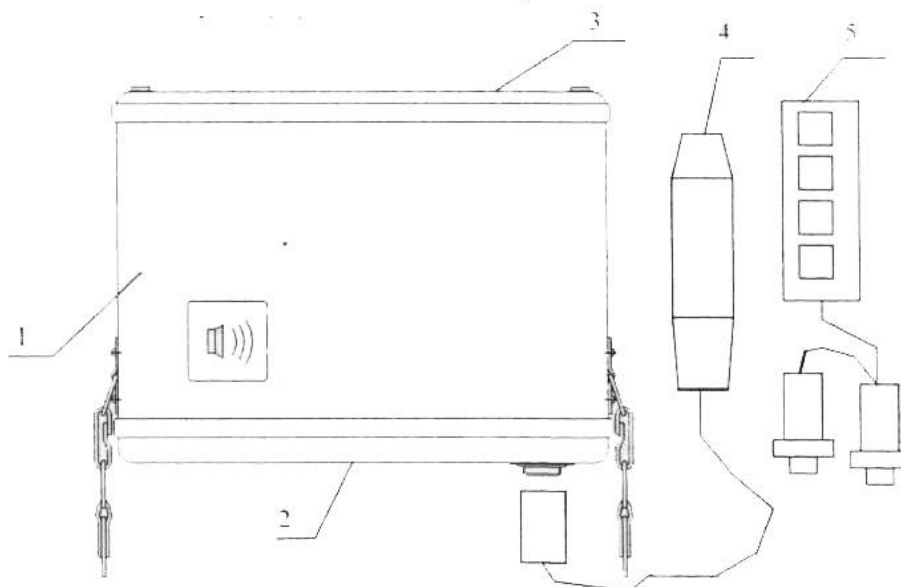


Рис. 4.7. Прибор технологического пульта управления: 1 – корпус; 2 – передняя панель; 3 – блок питания; 4 – блок выносных датчиков; 5 – технологический пульт управления

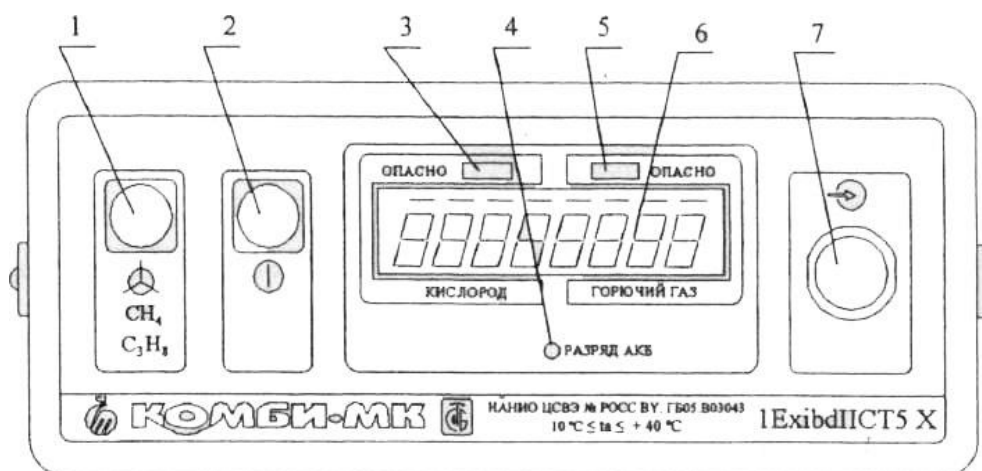


Рис. 4.8. Панель прибора: 1 – кнопка ВЫБОР; 2 – кнопка ПИТАНИЕ; 3,4,5 – светодиодные индикаторы; 6 – цифровой ЖК-индикатор; 7 – соединитель для подключения блока датчиков и технологического пульта

Устройство и принцип работы прибора ИГ-9 (рис. 4.9). Конструктивно прибор состоит из корпуса, верхней и нижней крышек, выполненных из алюминиевого сплава с содержанием магния менее 6 %. Корпус, верхняя и нижняя крышки, скрепленные между собой винтами, образуют оболочку прибора. На верхней крышке закреплен полупроводниковый датчик горючих газов. Внутри корпуса находится блок питания, на котором расположена электронная плата обработки и индикации. Блок питания представляет собой пластмассовую оболочку, внутри которой расположены аккумуляторная батарея из четырех последовательно соединенных аккумуляторов типоразмера 4/5А и блок искрозащиты. Блок питания обеспечивает работу электронной схемы прибора от искробезопасной электрической цепи. На нижней крышке находятся розетка для подключения сетевого адаптера для зарядки блока питания и светодиод ЗАРЯД для индикации процесса заряда блока питания. На лицевой панели индикатора расположены:

- условное обозначение прибора ИГ-9 и маркировка взрывозащиты;
- трехразрядный цифровой индикатор, предназначенный для отображения концентрации газа;
- две кнопки для включения / выключения прибора и выбора режима работы;
- светодиод красного цвета для световой сигнализации;
- предупредительная надпись ВО ВЗРЫВООПАСНОЙ ЗОНЕ ЗАРЯД АКБ ЗАПРЕЩАЕТСЯ!

Принцип работы прибора основан на регистрации изменения сопротивления чувствительного элемента термокаталитического датчика при воздействии на него горючего газа.

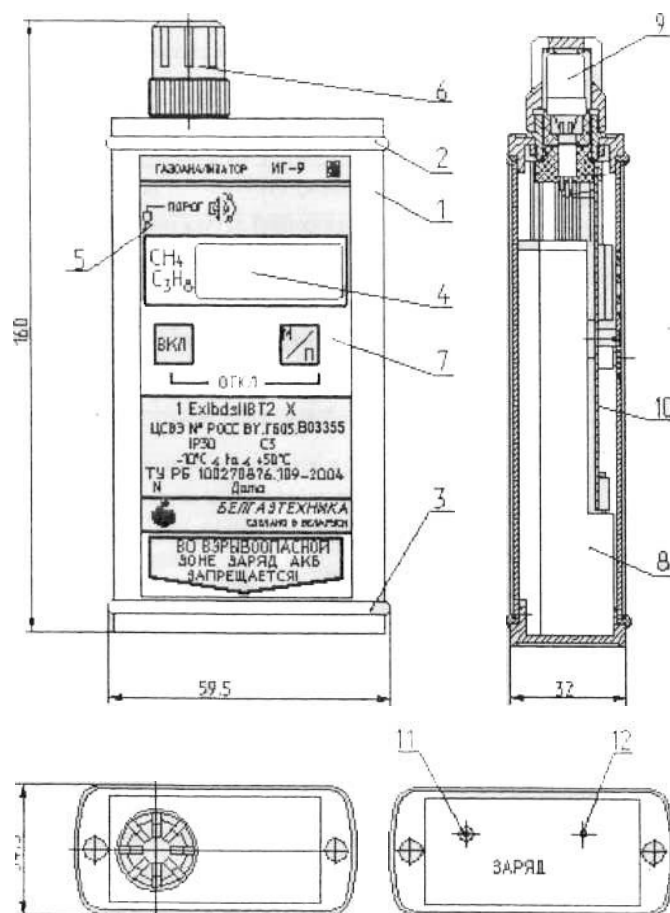


Рис. 4.9. Внешний вид газоанализатора: 1 – корпус; 2 – верхняя крышка; 3 – нижняя крышка; 4 – индикатор; 5 – светодиод «ПОРОГ»; 6 – защитный колпачок датчика; 7 – кнопка; 8 – блок питания; 9 – датчик газа; 10 – плата обработки; 11 – разъем для заряда аккумуляторной батареи; 12 – светодиод индикации процесса заряда

Структурная схема прибора представлена на рис. 4.10.

Основным узлом прибора является процессор, который принимает входные сигналы с датчика газа и кнопок управления, обрабатывает их и выводит результат измерения на индикатор. В состав процессора, кроме основных блоков, входят порты ввода/вывода, тактовый генератор, АЦП с источниками опорного напряжения, ОЗУ, блоки сброса, контроля напряжения питания, широтно-импульсной модуляции, ПЗУ с управляющей программой и др.

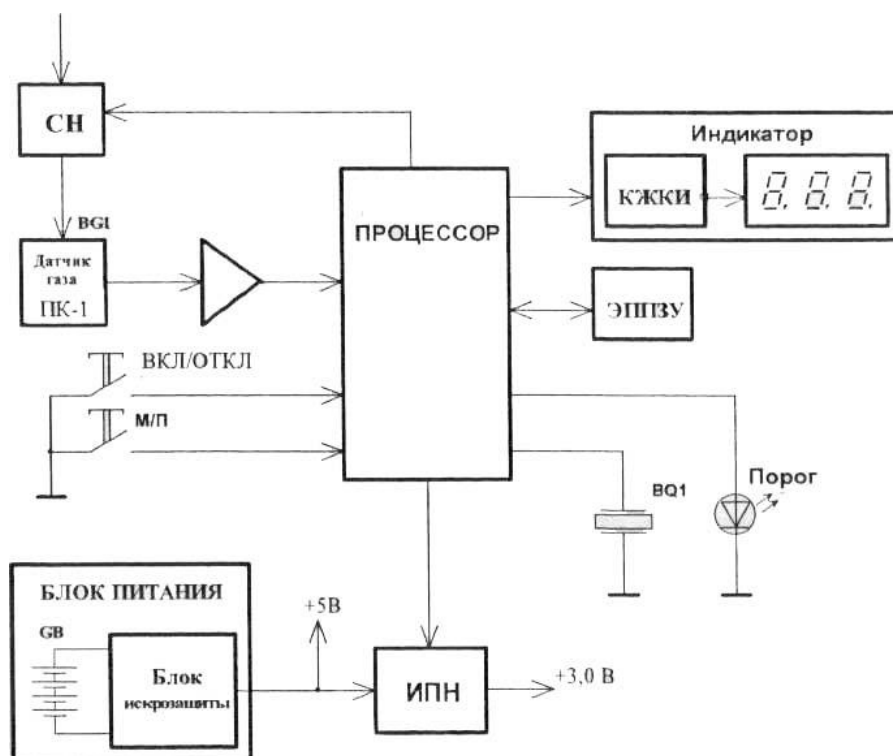


Рис. 4.10. Структурная схема газоанализатора: СН – стабилизатор напряжения;
ИПН – импульсный преобразователь напряжения;
ЭППЗУ – электрически перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство

Датчик газа ВГ1 представляет собой два последовательно соединенных резистора из платиновой проволоки, на один из которых (чувствительный элемент) нанесен катализатор. Датчик разогрет до температуры 400 °С. При воздействии газовой смеси сопротивление чувствительного элемента датчика увеличивается, а напряжение средней точки уменьшается.

Данное изменение напряжения является полезным сигналом. Оно усиливается усилителем и подается на аналого-цифровой преобразователь процессора.

Питание датчика осуществляется стабилизированным напряжением +2,4 В, поступающим со стабилизатора напряжения СН. В свою очередь напряжение на СН с целью экономного расходования накопленной энергии аккумуляторной батареи подается с импульсного преобразователя напряжения ИПН. Это позволяет также значительно снизить ток короткого замыкания.

Обработанный сигнал выводится в виде уровня концентрации газа, выраженного в объемных долях горючего газа в воздухе, на трехразрядный жидкокристаллический индикатор.

В случае необходимости выводится дополнительная информация о разряде батареи, обрыве датчика, высокой концентрации газа.

Звуковая сигнализация обеспечивается с помощью пьезокерамического звонка ВQ1. В зависимости от причины она может быть прерывистой – при превышении установленного уровня (порога) концентрации газа, непрерывной – в случае высокой концентрации газа, обрыва датчика, кратковременной – при разряде батареи.

Световая сигнализация обеспечивается с помощью светодиода красного свечения и бывает прерывистой или непрерывной.

Хранение констант калибровки прибора обеспечивает электрически перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство ЭППЗУ.

Питание прибора осуществляется от блока питания, включающего аккумуляторную батарею из 4-х аккумуляторов с полным напряжением (4,5–5,6) В и плату искрозащиты. Для получения взрывозащиты вида «искробезопасная электрическая цепь» используется ограничение тока, потребляемого от батареи с помощью блока искрозащиты. Конструктивно блок искрозащиты выполнен в виде платы и размещен в пластмассовом корпусе с заливкой компаундом. В этом же корпусе расположена аккумуляторная батарея с обеспечением степени защиты оболочки не ниже IP54 в соответствии с требованиями данного вида взрывозащиты.

Вся схема прибора представляет искробезопасную электрическую цепь с ограничением суммарной величины реактивных элементов.

При понижении напряжения питания до +4,5 В и менее в процессоре срабатывает схема контроля напряжения, происходит выключение текущего режима работы, а на индикаторе ЖКИ появляется динамическая индикация разряда аккумуляторной батареи в виде мигающего знака батареи, сопровождаемая короткими звуковыми сигналами. Через некоторое время происходит автоматическое выключение прибора.

Управление прибором обеспечивается с помощью двух кнопок: ВКЛ/ОТКЛ и М/П.

Схема электрическая принципиальная блока питания приведена на рис. 4.11.

Токоограничивающими элементами являются переходы «сток–исток» полевых транзисторов VTi3, VTi4, включенных последовательно в цепь питания «О В». При нормальных условиях работы транзисторы VTi3, VTi4 открыты плюсовым напряжением аккумуляторов, подаваемым на затворы через резисторы Ri6, Ri7. При увеличении тока в цепи нагрузки сверх предусмотренной величины падение напряжения на резисторе Ri1 увеличивается настолько, что отпираются транзисторы VTi1, VTi2 и вызывают понижение напряжения на затворах VTi3, VTi4. Транзисторы VTi3, VTi4 подзапираются, вследствие чего ток в цепи ограничивается. Транзисторы VTi3, VTi4 включены последовательно, а VTi1, VTi2 – параллельно (для повышения надежности, дублирование схемы). Конденсаторы Ci1, Ci2 предназначены для ускорения запираания VTi3, VTi4 (уменьшения времени срабатывания защиты). Резисторы Ri8 – Ri11, включенные параллельно переходам «сток–исток» транзисторов VTi3, VTi4, обеспечивают в режиме короткого замыкания мощность, рассеиваемую на этих транзисторах, не более 2/3 от максимально допустимой. Блок искрозащиты расположен в отдельном отсеке блока питания и затит кремнийорганическим компаундом. Допускается замена компаундами: Гирлен 1С или компаунд ЭЗК-6. Минимальная высота заливки над выступающими токоведущими частями 2 мм. В заливке недопустимы трещины, раковины, воздушные пузыри и отслоения от залитых деталей и корпуса.

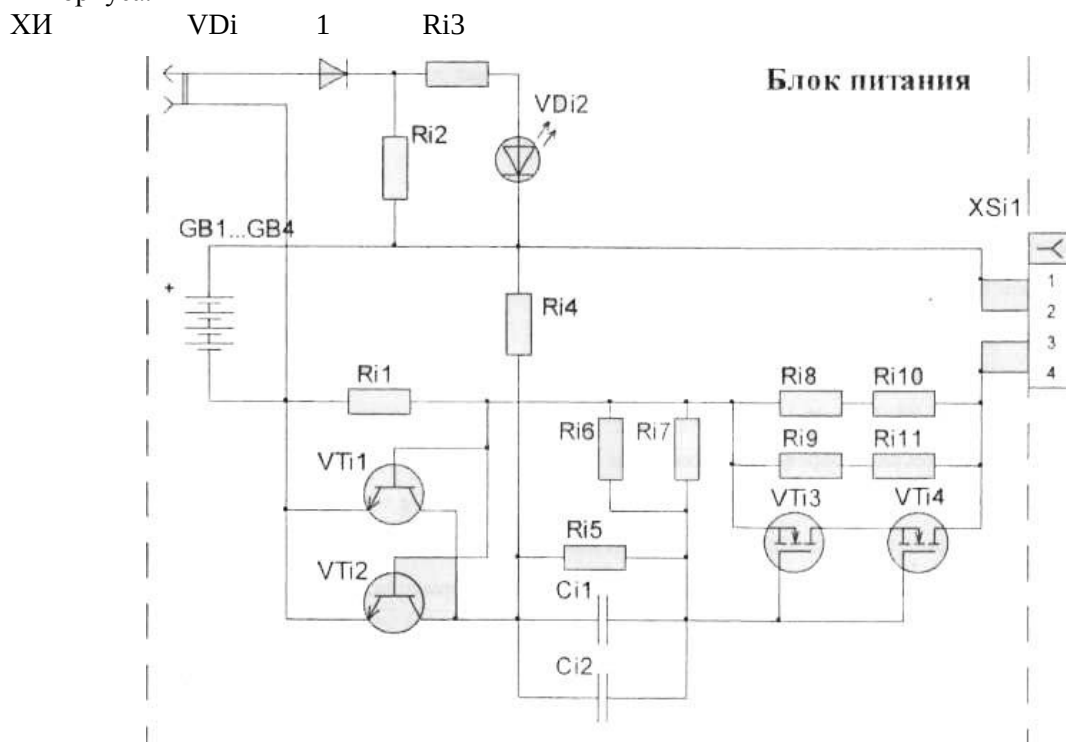


Рис. 4.11. Схема электрическая принципиальная блока питания

Аккумуляторная батарея, состоящая из четырех последовательно соединенных аккумуляторов, размещена в отдельном отсеке корпуса блока питания. Конструкция аккумуляторной батареи выполнена таким образом, что исключена возможность замыкания между соседними аккумуляторами.

Крышки и корпус блока питания изготовлены из ударопрочного полистирола УПС -825-Т-Г-25 ТУ6-05-1901-81 с минимальной толщиной стенок 2 мм, имеют низкую опасность механических повреждений, согласно ГОСТ Р 51330.0-99 (рис. 4.12). Блок питания находится внутри оболочки прибора, изготовленной из алюминиевого сплава с содержанием магния менее 6 % и имеющей низкую опасность механических повреждений согласно ГОСТ Р 51330.0-99.

На корпусе блока питания нанесена следующая информация:

- U_0 : 6,0 В;
- I_0 : 0,25 А;
- P_0 : 1,5 Вт;
- C_i : 200 мкФ;
- L_i : 0,15 мГн;
- 4 х 4/5А.

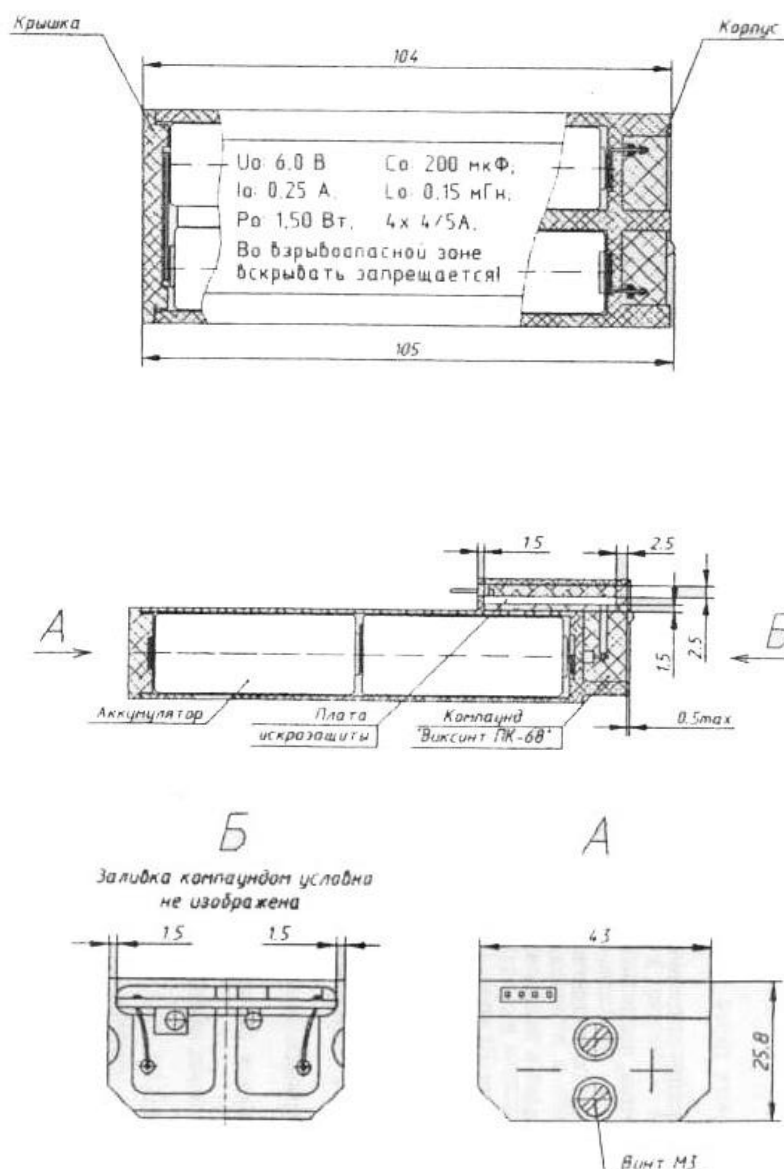


Рис. 4.12. Общий вид блока питания

Датчик горючих газов прибора (преобразователь каталитический ПК-1) имеет вид взрывозащиты «Взрывонепроницаемая оболочка» по ГОСТ Р 51330.1-99 (рис. 4.13). Чувствительный элемент датчика, нагретый до 450 °С, заключен во взрывонепроницаемую оболочку, выполненную из спеченного титанового порошка. Оболочка каталитического датчика выдерживает давление взрыва и исключает его передачу в окружающую среду. Максимальная пора в спеченном материале 70 мкм. Длина клеевого соединения колпачка и корпуса не менее 6 мм.

Температура наружной поверхности оболочки датчика газа не превышает допустимую по ГОСТ Р 51330.0-99 для температурного класса Т6 (85 °С) и не менее чем на 20 °С ниже рабочей температуры примененных клеев и заливочных компаундов. Крепление датчика к разъему со стороны выводов осуществляется через эластичное кольцо, с другой стороны, с помощью защитного колпачка, обеспечивающего низкую опасность механических повреждений согласно ГОСТ Р 51330.0-99.

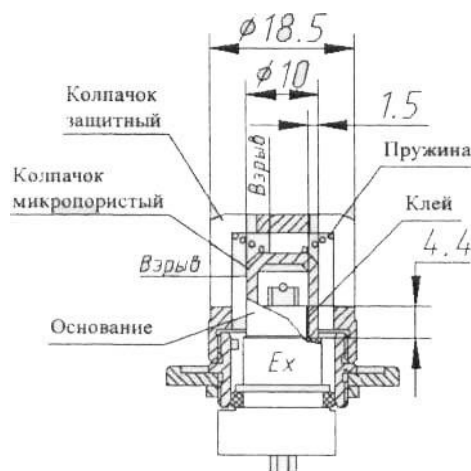


Рис. 4.13. Средства взрывозащиты чувствительного элемента для преобразователя каталитического ПК-1

К эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту прибора допускается специально обученный персонал, ознакомившийся с руководством по эксплуатации и прошедший проверку знаний по правилам технической безопасности в области газоснабжения республики Беларусь и правилам безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

Категорически запрещается:

- а) допускать применение прибора во взрывоопасных зонах без маркировки взрывозащиты;
- б) допускать к применению прибор, у которого:
 - отсутствует пломба или клеймо;
 - просрочен срок поверки;
 - имеются повреждения корпуса или защитного колпачка датчика;
 - показания цифрового индикатора при отсутствии загазованности выходят за пределы по метану – более чем на 0,15 % и по пропану – на 0,10 %.
- в) производить работы по регулировке и ремонту индикатора в условиях загазованности;
- г) производить зарядку блока питания во взрывоопасных зонах.

Прибор относится (в соответствии с ГОСТ 12.2.007.0-75) к приборам класса защиты III, не имеющих во внутренних и внешних цепях напряжений более 42В.

Перед началом работы, в случае необходимости, зарядить аккумуляторную батарею прибора в следующей последовательности:

- убедиться в том, что прибор находится в выключенном состоянии;
- подключить к разъему ЗАРЯД зарядное устройство, входящее в комплект поставки;
- включить зарядное устройство в сеть переменного тока 220 В, при этом должен загореться светодиод, сигнализирующий о процессе зарядки;
- заряжать аккумуляторную батарею блока питания в течение 16 часов.

Проверить осмотром вне взрывоопасной зоны:

- наличие маркировки взрывозащиты;
- целостность защитного колпачка датчика газа и корпуса прибора;
- целостность светодиодного и жидкокристаллического индикаторов;
- надежность крепления винтами верхней и нижней крышек и их пломбировку.

Эксплуатация газоанализатора с поврежденными деталями, элементами и нарушенной пломбировкой запрещается.

Проверить функционирование прибора в атмосфере чистого воздуха в следующей последовательности: включить прибор нажатием кнопки ВКЛ;

на индикаторе должно кратковременно появиться сообщение «ВКЛ», которое предупреждает о загрузке калибровочных данных по текущему газу, а затем прибор должен перейти в режим измерения по метану с отображением на индикаторе значения концентрации объемной доли измеряемого газа, выраженный в %, например, «МЕТАН 0,25 % об. доли»;

прогреть датчик газа в течение 2 мин;

убедиться, что показания прибора при измерении метана находятся в пределах от 0 до 0,15 % об. доли;

перейти в режим измерения пропана нажатием кнопки М/П;

на индикаторе должно кратковременно появиться сообщение «—», а затем «ПРОПАН 0,00 % об. доли»;

убедиться, что показания индикатора при измерении пропана находятся в пределах от 0 до 0,10 % об. доли;

выключить прибор одновременным нажатием обеих кнопок; индикатор прибора должен погаснуть и прибор готов к работе.

Произвести подстройку нуля и перепрограммирование порогов срабатывания сигнализации при необходимости (например, когда начальные показания прибора не укладываются в заданные пределы или требуются другие пороги срабатывания сигнализации) в атмосфере чистого воздуха в следующей последовательности:

- включить прибор и дать ему прогреться (не менее 10 мин);

- нажать кнопку ВКЛ и удерживать ее в нажатом состоянии (около 8 с) до появления на индикаторе трех цифр, например, «590», являющимися результатом аналого-цифрового преобразования (АЦП) сигнала датчика, – прибор находится в режиме подстройки;

- после достижения стабильности показаний (отклонение ± 1 младшего разряда) нажать кнопку ВКЛ; должно появиться и исчезнуть сообщение «-0-» и раздаться короткий звук, подтверждающий окончание операции;

- если необходимости в подстройке нуля нет, перейти к выполнению следующего абзаца;

- нажать кнопку М/П; на индикаторе должно появиться текущее значение порога срабатывания по метану в виде «МЕТАН 1,50» и должен загореться светодиод ПОРОГ;

- произвести с помощью кнопки М/П путем ее кратковременных нажатий коррекцию порога, при этом изменение значения порога происходит с дискретностью 0,10 в диапазоне от 0,10 до 2,50 %;

- запомнить текущее значение порога по метану нажатием кнопки ВКЛ, при этом автоматически происходит переход к установке порога по пропану;

- на индикаторе должно появиться сообщение в виде «ПРОПАН 0,50» и должен гореть светодиод ПОРОГ;

- произвести с помощью кнопки М/П коррекцию порога, при этом изменение значения порога происходит с дискретностью 0,10 в диапазоне от 0,10 до 1,00 %;

- запомнить текущее значение порога по пропану нажатием кнопки ВКЛ, при этом прибор должен автоматически перейти в режим измерения по метану.

Прибор имеет два основных режима работы:

- режим измерения концентрации метана;

- режим измерения концентрации пропана.

Общий алгоритм работы прибора, характерный для обоих режимов.

После включения прибора и прогрева датчика результаты измерений, выраженные в объемных долях горючего газа в воздухе, выводятся на жидкокристаллический индикатор в виде трехзначного десятичного числа.

При превышении уровня концентрации газа установленного порога включаются прерывистые звуковая и световая сигнализации. Световая сигнализация реализована в виде мигающего светодиода.

При дальнейшем нарастании концентрации газа и достижении верхнего предела диапазона показаний измеряемого газа сигнализация (как звуковая, так и световая) становится непрерывной. Чтобы защитить датчик от разрушения в среде взрывоопасной смеси, происходит его выключение с индикацией уровня предельных показаний. Для выхода из данного состояния нужно выключить прибор одновременным нажатием обеих кнопок.

В случае обрыва любого провода датчика или его элемента автоматически включаются непрерывные звуковая и световая сигнализации с выводом на индикатор сообщения об обрыве (ОБР).

При снижении напряжения питания ниже допустимого при разряде аккумуляторной батареи на индикаторе исчезают результаты измерений, прерывисто высвечивается символ элемента питания (-||-) и издаются короткие звуковые импульсы. По истечении нескольких десятков секунд происходит самовыключение прибора с целью прекращения дальнейшего разряда автономного источника питания.

Работа в режиме измерения концентрации метана.

Включить прибор, нажав кнопку ВКЛ. После погасания на индикаторе сообщения «—» должно появиться текущее значение результатов измерения по метану в виде «МЕТАН 0,20 % об. доли».

Прогреть датчик газа в течение 2 мин. После окончания прогрева в атмосфере чистого воздуха на индикаторе должны быть показания не более 0,15 %. В случае необходимости произвести подстройку нуля в соответствии с 6.4 настоящего руководства.

Считывать текущие показания индикатора, выраженные в объемных долях горючего газа (метана) в воздухе, перемещая датчик прибора в загазованной среде.

При достижении уровня концентрации газа установленного порога появляется прерывистая сигнализация (звуковая и световая). Световая сигнализация обеспечивается в виде мигания светодиода «ПОРОГ».

При достижении уровня концентрации, равном или более верхнего значения показаний, сигнализация становится непрерывной. На индикаторе появляется сообщение «> МЕТАН 3,50 % об. доли», а датчик газа отключается с целью защиты его от выхода из строя. Для выхода из данного состояния выключить прибор.

При появлении на индикаторе мигающего знака элемента питания (-||-) вместе со звуковой сигнализацией в виде коротких импульсов необходимо выключить прибор и произвести зарядку аккумуляторной батареи в соответствии с 6.1.

При появлении на индикаторе сообщения «ОБР», сопровождаемого непрерывной звуковой и световой сигнализацией и являющегося признаком неисправности цепей датчика, прибор выключить и отправить в ремонт.

Выключить прибор после окончания работы путем одновременного нажатия обоих кнопок.

Работа в режиме измерения концентрации пропана.

Включить прибор, нажав кнопку ВКЛ; после погасания на индикаторе сообщения «—» должно появиться текущее значение результатов измерения по метану.

Нажать кнопку М/П. Прибор перейдет в режим измерения по пропану, на индикаторе будет сообщение в виде «ПРОПАН 0,05 % об. доли».

Дальнейшая работа в данном режиме аналогична работе в режиме измерения по метану, за исключением появления сообщения на индикаторе «> ПРОПАН 1,50 % об. доли» при высокой концентрации для защиты датчика газа.

К особым условиям эксплуатации, обозначенным знаком «X» в маркировке взрывозащиты, относятся:

– предохранение защитного колпачка датчика и блока аккумуляторов, имеющих низкую степень механических повреждений, от падений и ударов;

– зарядка аккумуляторов вне взрывоопасных зон входящим в комплект поставки зарядным устройством.

Оберегать съемный датчик газа от попадания капель воды, легковоспламеняющихся жидкостей, масел и других веществ, так как это приводит к снижению проницаемости пористого колпачка каталитического датчика и потере чувствительности прибора.

ЛЕКЦИЯ 5. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ИХ ИЗМЕРЕНИЕ И УЧЕТ (4ч)

5.1. Классификация электроизмерительных приборов

Контроль над соблюдением энергоснабжающими организациями и потребителями электрической энергии требований ГОСТ 13109-97 должны осуществлять органы надзора и аккредитованные в установленном порядке испытательные лаборатории по качеству электрической энергии.

Электроизмерительные приборы – класс устройств, применяемых для измерения различных электрических величин. Наиболее существенным признаком для классификации электроизмерительной аппаратуры является измеряемая или воспроизводимая физическая величина, в соответствии с этим приборы подразделяются на ряд видов: *амперметры* – для измерения силы электрического тока; *вольтметры* – для измерения электрического напряжения; *омметры* – для измерения электрического сопротивления; *мультиметры* (иначе тестеры, авометры) – комбинированные приборы; *частотомеры* – для измерения частоты колебаний электрического тока; *ваттметры* и *варметры* – для измерения мощности электрического тока; *электрические счетчики* – для измерения потребленной электроэнергии

Электроизмерительные приборы различаются по следующим признакам:

- 1) по роду измеряемой величины;
- 2) по роду тока;
- 3) по степени точности;
- 4) по принципу действия;
- 5) по способу получения отсчета;
- 6) по характеру применения.

Кроме этих признаков, электроизмерительные приборы можно также отличать по:

- 1) способу установки;
- 2) способу защиты от внешних магнитных или электрических полей;
- 3) выносливости в отношении перегрузок;
- 4) пригодности к применению при различных температурах;
- 5) габаритным размерам и другим признакам.

По роду тока приборы делятся на приборы постоянного тока, приборы переменного тока и приборы постоянного и переменного тока. *По степени точности* приборы делятся на семь классов – 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 4. Цифры указывают значение допустимой приведенной погрешности в процентах.

По принципу действия приборы подразделяются на магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические (ферродинамические), индукционные, тепловые, вибрационные, термоэлектрические, детекторные и др.

По способу получения отсчета приборы могут быть с непосредственным отсчетом и самозаписью.

По характеру применения приборы делятся на стационарные, переносные и для подвижных установок.

При измерении величин параметров электрической энергии применяют аналоговые и цифровые приборы. Аналоговые приборы исторически разработаны намного раньше цифровых и пока широко применяются в практике. Первый прибор для измерения «электрической силы» был разработан в 40-х годах XVIII в. Г. В. Рихманом, совместно с М. В. Ломоносовым, занимавшимся изучением атмосферного электричества.

Аналоговые приборы имеют отсчетные приспособления, состоящие из шкалы и указателя; подвижной части, связанной с указателем; успокоителя и противодействующих механизмов, хотя возможно применение приборов и без них. В настоящее время применяют аналоговые приборы следующих основных типов: электромагнитные, электродинамические, магнитоэлектрические с подвижной рамкой или подвижным магнитом, ферродинамические, индукционные, электростатические и вибрационные. Приборы, основанные на гальванических и тепловых эффектах электрического тока не получили широкого распространения, хотя и применялись для измерений, особенно учета электрической энергии. Тип измерительной системы указывается на лицевой стороне прибора (табл. 5.1).

Кроме того на лицевой части прибора наносится обозначение единицы измеряемой величины или его название (например, «Амперметр»), обозначение класса прибора, условное обозначение рабочего положения прибора, если это положение имеет значение («←» – для горизонтального положения, «⌞» – для вертикального положения, «α» – для расположения под углом α; условное обозначение защищенности от магнитных или электрических полей; условное обозначение испытательного напряжения изоляции

измерительной цепи по отношению к корпусу в виде пятиконечной звезды, внутри которой указано испытательное напряжение в киловольтах; год выпуска и заводской номер; номер ГОСТа; условное обозначение рода тока и числа фаз. У цифровых приборов все эти данные могут наноситься на тыльной стороне прибора или проявляться при его включении.

Таблица 5.1

Условные обозначения на шкалах электроизмерительных приборов

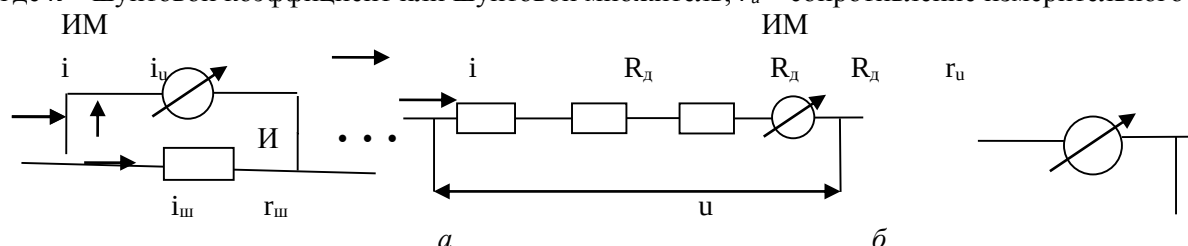
Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой		Горизонтальное положение шкалы	
Магнитоэлектрический прибор с подвижным магнитом		Вертикальное положение шкалы	
Электромагнитный прибор		Наклонное положение шкалы под определенным углом к горизонту, например 60°	
Электродинамический прибор		Класс точности при нормировании погрешности в процентах от диапазона измерения	2
Ферродинамический прибор		Класс точности при нормировании погрешности в процентах от длины шкалы	
Индукционный прибор		Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ	
Магнитоиндукционный прибор		Нормальное (номинальное) значение частоты	500 Гц
Электростатический прибор		Измерение постоянного тока	—
Термоэлектрический прибор с изолированным преобразователем и магнитоэлектрическим измерительным механизмом		Измерение переменного тока	~
Выпрямительный прибор с магнитоэлектрическим измерительным механизмом			
Защита от внешних магнитных полей			
Защита от внешних электростатических полей			

Критериями качества приборов являются такие важнейшие эксплуатационные характеристики, как погрешность, собственное потребление энергии (мощности), время успокоения.

При практических измерениях диапазон измеряемых величин может колебаться в значительных пределах. При больших величинах токов и напряжений прямое их включение потребовало бы проводников реагирующих рамок большого сечения, что в свою очередь создало бы значительные нагрузки на механическую часть приборов. Для избежания этих проблем и расширения диапазонов измеряемых величин применяют шунты, добавочные сопротивления, трансформаторы тока и напряжения. Шунты представляют собой сопротивления, включаемые параллельно с измерительным механизмом в цепь измеряемого тока (рис. 5.1, а). Если необходимо увеличить диапазон измерения измерительного механизма (амперметра) в n раз, то сопротивление шунта на основании соотношений $I_u r_u = I_{ш} r_{ш}$ и $I_{ш} = I - I_u$ будет следующим:

$$r_{ш} = \frac{r_u}{n - 1},$$

где n – шунтовой коэффициент или шунтовой множитель; r_u – сопротивление измерительного прибора.



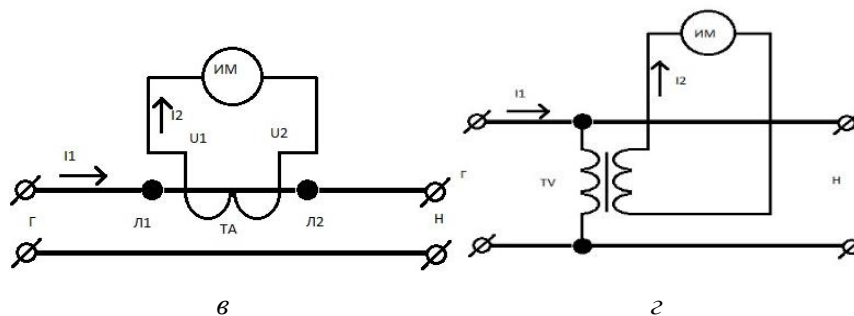


Рис. 5.1. Схемы включения измерительных приборов (ИМ) с помощью шунтов (а), добавочных сопротивлений (б), трансформаторов тока (в) и трансформаторов напряжения (г); ИМ – измерительный механизм; i – измеряемый ток; u – измеряемое напряжение; w_1 – количество витков первичной обмотки; w_2 – количество витков вторичной обмотки; i_u – ток измерительного механизма; u_u – напряжение измерительного механизма; r_u – сопротивление шунта; R_d – добавочное сопротивление; r_u – сопротивление измерительного прибора

Если необходимо увеличить диапазон измерения вольтметра в m раз, то применяют добавочные сопротивления R_d (рис. 5.1, б). Общую величину добавочного сопротивления можно определить по формуле

$$r_d = r_u(m + 1)$$

В цепях переменного тока расширение диапазона измеряемых величин достигается применением трансформаторов тока (рис. 5.1, в) и трансформаторов напряжения (рис. 5.1, г). Применение трансформаторов тока и особенно напряжения позволяет обезопасить измерения, т. к. электрические цепи (первичные и вторичные) гальванически не связаны и можно применять измерительные механизмы с менее качественной изоляцией. У измерительного трансформатора тока первичная обмотка (Л1 и Л2) включается в измеряемую цепь последовательно, у трансформаторов напряжения – параллельно. Коэффициенты увеличения диапазона (коэффициент трансформации) равны:

$$\begin{aligned} \text{для трансформаторов тока} \quad R_I &= \frac{I_1}{I_2}; \\ \text{для трансформаторов напряжения} \quad R_U &= \frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{w_2}{w_1}. \end{aligned}$$

Если строго оценивать работу трансформаторов тока и особенно напряжения, то изменения первичных параметров не всегда строго совпадают с изменениями вторичных. Эти различия обусловлены нелинейными характеристиками сердечников трансформаторов и неточностью передачи фазы, поскольку происходит сдвиг фаз между первичной и вторичной обмоткой из-за индуктивности обмоток. Погрешности возрастают при отклонении параметров от номинальных, особенно при нижних пределах, и преобладании реактивной нагрузки. В современных измерительных трансформаторах при коммерческом учете погрешность не должна превышать 0,5, а при больших токах – 0,2.

Цифровые измерительные приборы используют те же принципы включения, что и аналоговые. Для преобразования аналогового сигнала в цифровой в цепь включается АЦП (аналогово-цифровой преобразователь) и усилитель, сигнал с которого подается на процессор, а затем – на дисплей. Структурная схема цифрового измерительного прибора приведена на (рис. 5.2.).



Рис. 5.2. Структурная схема цифрового измерительного прибора

5.2. Измерение токов, напряжений, мощности, частоты

Электрическая энергия, являясь одной из наиболее удобных в использовании видов энергии, получила широкое распространение в быту и промышленном производстве. Для учета и контроля электрической

энергии используется великое множество разнообразных приборов, измеряющих те или иные характеристики (параметры) электрической энергии. Наиболее частыми или основными параметрами электрической энергии являются сила тока, частота тока, величина напряжения, мощность электрической цепи или генератора. В основном ток бывает постоянным и переменным, который в свою очередь разделяется на ток промышленной частоты (50 Гц), низкочастотный, средне- и высокочастотный.

В цепях постоянного тока существуют определенные зависимости между силой тока в цепи и напряжением, которое подводится к данной цепи:

$$I = \frac{U}{R},$$

где I – сила тока (А); U – напряжение (В); R – омическое сопротивление цепи (Ом).

Мощность, потребляемая электрической цепью постоянного тока, Вт:

$$P = I^2 R, \quad U = I^2 R.$$

Энергия, потребленная электрической цепью постоянного тока, Вт*с, Дж:

$$W = Pt = UI t = I^2 R t,$$

где t – время протекания электрического тока в цепи (с).

В цепях переменного тока, в связи с изменяющейся по времени величиной напряжения, изменяется величина тока.

Для характеристики переменного тока и напряжения вводятся понятия мгновенных значений, максимальных (амплитуд) значений, действующих значений напряжения и тока:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_1), \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}},$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_2), \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}},$$

где u, i – мгновенные значения напряжения и тока; U_m, I_m – максимальные (амплитудные) значения напряжения и тока; ω – угловая частота изменений напряжения и тока, рад⁻¹; t – время измерений (с); φ – начальная фаза сдвига напряжения и тока, град; U, I – действующие значения напряжения и тока.

Величины мощности и энергии также определяются с учетом частотных характеристик напряжения и тока. Однако, в отличие от измерений на постоянном токе, различают активную, реактивную и полную мощность и энергию. Это обусловлено особенностями прохождения переменного электрического тока по цепям, содержащим различные элементы. Для идеальных активных цепей, содержащих только активные сопротивления R , величина мощности определяется:

$$P = ui = U_m \sin(\omega t + \varphi) I_m \sin(\omega t + \varphi) =$$

$$= U_m I_m \cdot \sin^2(\omega t + \varphi) = U_m I_m \cos \varphi - U_m I_m \cos(2\omega t + 2\varphi),$$

а энергия (активная)

$$W = \int_0^t P dt = \frac{U_m I_m}{2} \cos \varphi t,$$

где φ – угол сдвига векторами тока и напряжения.

В цепях, имеющих реактивные элементы L, C , задачи измерений затрудняются. Для учета энергии введены понятия общей или полной энергии, активной и реактивной энергии. Активная энергия сопряжена с преобразованиями электрической энергии в другие виды (тепловую, световую, механическую) и ее часто называют полезной. Реактивная энергия сопряжена с созданием электромагнитных и электростатических полей, например, в электрических машинах и конденсаторах. Без реактивной энергии невозможно обеспечение целого ряда процессов, она не является абсолютно бесполезной, однако непосредственно в процессах преобразования не используется. Для цепей однофазного тока в комплексном виде

$$I = R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C};$$

$$P = UI \cos \varphi; \quad Q = UI \sin \varphi; \quad S = UI,$$

где U, I – комплексные значения напряжения и тока; R, L, C – соответственно активное сопротивление (Ом), индуктивность (Гн) и емкость (Ф) элементов электрической цепи.

В трехфазных цепях переменного тока, в зависимости от соединений потребителей или генерирующих источников, различают соединение в «звезду» (Y), «звезду» с нулем (YN) или треугольником (Δ).

При измерениях важно учитывать схемы соединений и применяемые в расчетах величины.

Для симметричной трехфазной системы:

$$u_a = U_m \sin \omega t, \quad u_b = U_m \sin(\omega t - 120^\circ), \quad u_c = U_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

$$U_L = \sqrt{3}U_\Phi.$$

Линейные токи для соединения «звездой»:

$$I_A = I_B = I_C = U_{A\Phi} / z_A = U_{B\Phi} / z_B = U_{C\Phi} / z_C.$$

Они не равны фазным токам.

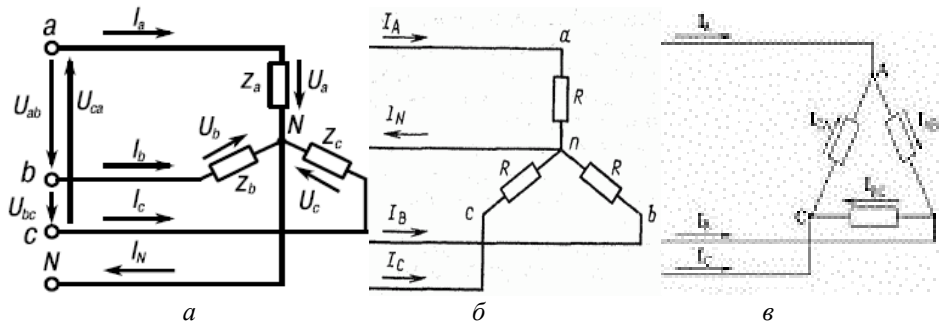


Рис. 5.3. Схемы соединений потребителей: а – звезда с нулем; б – звезда; в – треугольник.

Для соединения «треугольником»

$$I_A = I_B = I_C = U_{A\Phi} / [z_L + z_0 / s], \quad I_\Phi = I_L / \sqrt{3}, \quad U_L = U_\Phi.$$

Для обоих случаев соединений активная мощность генератора:

$$P_\Gamma = 3U_\Phi I_\Phi \cos \varphi_\Gamma = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi_\Gamma.$$

Реактивная мощность генератора:

$$Q_\Gamma = 3U_\Phi I_\Phi \sin \varphi_\Gamma = \sqrt{3}U_L I_L \sin \varphi_\Gamma.$$

Активная мощность нагрузки при соединении:

– «звездой»

$$P_H = 3U_\Phi I_\Phi \cos \varphi_H = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi_H,$$

реактивная мощность нагрузки

$$Q_H = 3U_\Phi I_\Phi \sin \varphi_H = \sqrt{3}U_L I_L \sin \varphi_H,$$

– при соединении «треугольником»

$$P_H = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi_H,$$

$$Q_H = \sqrt{3}U_L I_L \sin \varphi_H.$$

Полная мощность:

генератора $S_\Gamma = 3U_\Phi I_\Phi = \sqrt{3}U_L I_L,$

нагрузки $S_H = 3U_\Phi I_\Phi = \sqrt{3}U_L I_L.$

При несимметричной нагрузке в расчетах применяют метод симметричных составляющих и приводят систему к симметричной.

При несинусоидальных токах и напряжениях, имеющих периодический характер, выполняют разложение в тригонометрический ряд Эйлера–Фурье и дальнейшие расчеты выполняют по выше приведенным методикам для каждой из частот с последующим суммированием всех составляющих. Необходимо учитывать, что гармоники, кратные трем при расчетах отсутствуют, поскольку образуются короткозамкнутые контуры и отсутствует (в расчетах) напряжение на зажимах генератора.

Для измерения силы тока применяют амперметры. Амперметр включается в электрическую цепь последовательно с тем элементом цепи, силу тока в котором необходимо измерить. Напряжение в электрических цепях измеряют вольтметром. Вольтметр подключается параллельно участку цепи, на котором будет измеряться напряжение. Для определения работы или мощности тока можно использовать специальный измерительный прибор – ваттметр. При отсутствии ваттметра пользуются одновременным подключением двух измерительных приборов к нужному участку цепи: амперметра и вольтметра.

В цепях постоянного тока существуют определенные зависимости между силой тока в цепи и напряжением, которое к данной цепи подводится,

$$I = \frac{U}{R},$$

где I – сила тока (А); U – напряжение (В); R – сопротивление цепи (Ом).

Мощность, потребляемая электрической цепью постоянного тока (Вт):

$$IP = IU = I^2 R.$$

Энергия, потребленная электрической цепью постоянного тока (Вт*с, Дж)

$$W = Pt = UIt = I^2 t,$$

где t – время протекания электрического тока в цепи (с).

Величины мощности и энергии также определяются с учетом частотных характеристик напряжения и тока. Однако, в отличие от измерений на постоянном токе, различают активную, реактивную и полную мощность и энергию. Это обусловлено особенностями прохождения переменного электрического тока по цепям, содержащим различные элементы.

В цепях, имеющих реактивные элементы L , C , задачи измерений затрудняются. Для учета энергии введены понятия общей или полной энергии, активной и реактивной энергии. Активная энергия сопряжена с преобразованиями электрической энергии в другие виды (тепловую, световую, механическую) и ее часто называют полезной; реактивная энергия сопряжена с созданием электромагнитных и электростатических полей, например, в электрических машинах и конденсаторах. Без реактивной энергии невозможно обеспечение целого ряда процессов, она не является абсолютно бесполезной, однако непосредственно в процессах преобразования не используется.

При измерении величин параметров электрической энергии применяют аналоговые и цифровые приборы. Аналоговые приборы исторически разработаны намного раньше цифровых и пока широко применяются в практике.

Измерение тока. Для измерения тока в цепи амперметр или миллиамперметр включают в электрическую цепь последовательно с приемником электрической энергии.

Для того чтобы включение амперметра не оказывало влияния на работу электрических установок, и он не создавал больших потерь энергии, амперметры выполняют с малым внутренним сопротивлением. Поэтому практически сопротивление его можно считать равным нулю и пренебрегать вызываемым им падением напряжения. Амперметр можно включать в цепь только последовательно с нагрузкой. Если амперметр подключить непосредственно к источнику 1, то через катушку прибора пойдет очень большой ток (сопротивление амперметра мало) и она сгорит.

Измерение напряжения. Для измерения напряжения U , действующего между какими-либо двумя точками электрической цепи, вольтметр присоединяют к этим точкам, то есть параллельно источнику 1 электрической энергии или приемнику. Для того чтобы включение вольтметра не оказывало влияния на работу электрических установок, и он не создавал больших потерь энергии, вольтметры выполняют с большим сопротивлением. Поэтому практически можно пренебрегать проходящим по вольтметру током.

Мощность в цепи трехфазного тока может быть измерена с помощью одного, двух и трех ваттметров. Метод одного прибора применяют в трехфазной симметричной системе. Активная мощность всей системы равна утроенной мощности потребления по одной из фаз (рис. 5.4).

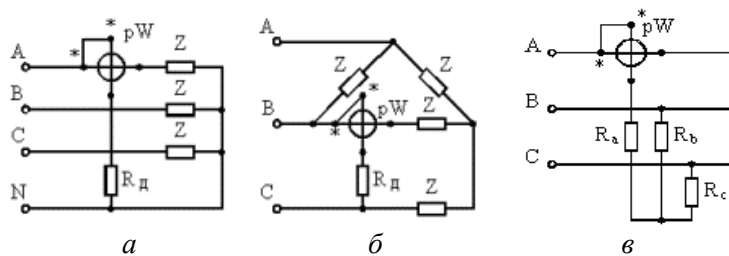


Рис. 5.4. Схема измерений активной мощности для симметричной системы

Если система симметрична (3 фазы загружены одинаково) то можно использовать один ватметр (3 фазная сеть) (рис. 5.4, а).

Если нагрузка соединена звездой с недоступной нулевой точкой или треугольником, то можно применить схему с искусственной нулевой точкой (рис. 5.4, б–в). В этом случае сопротивления должны быть равны:

$$R_{вт} + R_a = R_b = R_c.$$

Для **измерения реактивной мощности** применяют схему на рис. 5.5, а. Полная реактивная мощность определяется умножением показания ваттметра на корень из трех:

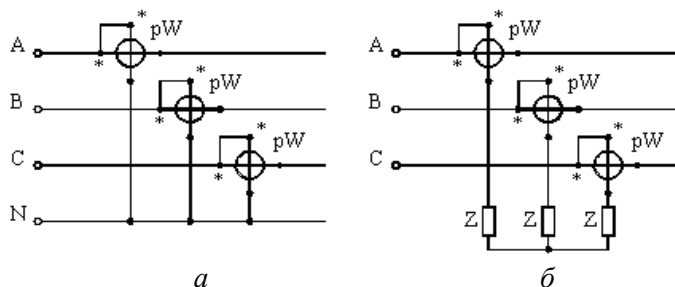


Рис. 5.5. Схема измерений активной мощности для несимметричной системы (а) и с искусственной нулевой точкой (б)

Если нагрузка несимметрична, то тогда применяют метод 3х ваттметров (**активная мощность**) (рис. 5.5, б–в).

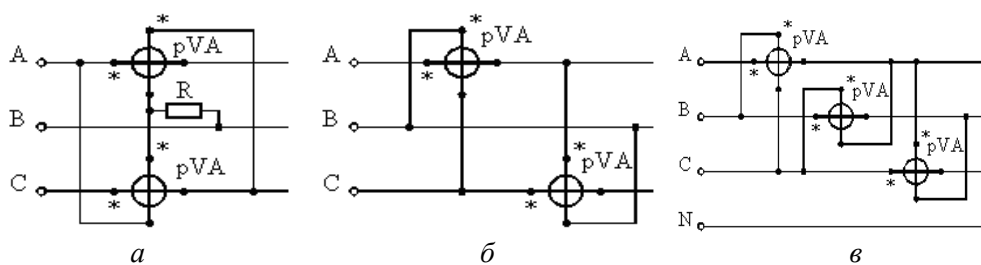


Рис. 5.6. Схемы измерения реактивной мощности

При неравномерной загрузке фаз **реактивная мощность** может быть измерена по схеме для несимметричных систем (рис. 5.6).

Для расширения диапазонов измерений применяют трансформаторы тока и трансформаторы напряжения (рис. 5.7).

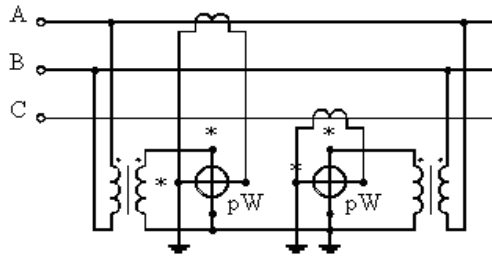


Рис 5.7. Схемы включения ваттметров через измерительные трансформаторы

Для измерения коэффициента мощности $\cos \varphi$ лучше всего иметь специальные приборы, предназначенные для непосредственного его измерения – фазометры.

Фазометр – электроизмерительный прибор, предназначенный для измерения углов сдвига фаз между двумя, периодически изменяющимися электрическими колебаниями.

Если таких приборов нет, то измерять $\cos \varphi$ можно косвенным методом. Например, в однофазной сети $\cos \varphi$ можно определить по показаниям амперметра, вольтметра и ваттметра:

$$\cos \varphi = P/(U \times I),$$

где P , U , I – показания приборов.

В цепи трехфазного тока:

$$\cos \varphi = P_w/(\sqrt{3} \times U_{\text{л}} \times I_{\text{л}}),$$

где P_w – мощность всей системы; $U_{\text{л}}$, $I_{\text{л}}$ – линейные напряжение и ток, измеренные вольтметром и амперметром.

В симметричной трехфазной цепи значение $\cos \varphi$ можно определить из показаний двух ваттметров P_{w1} и P_{w2} по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P_{w1} + P_{w2}}{2\sqrt{P_{w1}^2 + P_{w2}^2 - P_{w1}P_{w2}}}.$$

Общая относительная погрешность рассмотренных методов равна сумме относительных погрешностей каждого прибора, поэтому точность косвенных методов невелика.

Численное значение $\cos \varphi$ зависит от характера нагрузки. Если нагрузкой являются лампы накаливания и нагревательные приборы, то $\cos \varphi = 1$, но если нагрузка содержит еще и асинхронные электродвигатели, то $\cos \varphi < 1$. При изменении нагрузки электродвигателя его $\cos \varphi$ существенно изменяется (от 0,1 на холостом ходу до 0,86–0,87 при номинальной нагрузке), изменяется и $\cos \varphi$ сетей.

Поэтому на практике в электрических сетях определяют так называемый средневзвешенный коэффициент мощности за какое-то определенное время, допустим, за сутки или месяц. Для этого в конце рассматриваемого периода снимают показания счетчиков активной и реактивной энергии W_a и W_r и определяют средневзвешенное значение коэффициента мощности по формуле:

$$\cos \varphi \text{ ср. взв} = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}}.$$

Это значение средневзвешенного коэффициента мощности желательно иметь в электрических сетях равным 0,92–0,95.

Измерить непосредственно фазовый сдвиг между напряжением и током нагрузки можно при помощи специальных измерительных приборов – фазометров.

Наибольшее распространение получили фазометры электродинамической системы, в которых неподвижная катушка включена последовательно с нагрузкой, а подвижные катушки – параллельно нагрузке. В результате ток одной из них отстает от напряжения на угол β_1 . Для этого последовательно с катушкой включена активно-индуктивная нагрузка, а ток другой опережает напряжение на некоторый угол β_2 , для чего включена активно-емкостная нагрузка, причем $\beta_1 + \beta_2 = 90^\circ$.

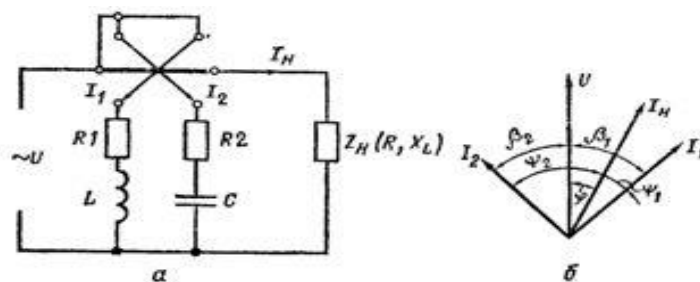


Рис. 5.8. Схема включения фазометра (а) и векторная диаграмма напряжений и токов (б)

Угол отклонения стрелки такого прибора зависит только от значения $\cos \varphi$.

Для измерения фазового сдвига между двумя напряжениями часто применяют цифровые фазометры. В цифровых фазометрах прямого преобразования для измерения фазового сдвига его преобразуют в интервал времени и измеряют последний. Исследуемые напряжения подают на два входа прибора, на цифровом отсчетном устройстве прибора снимают показания числа импульсов, поступающих на счетчик прибора за один период исследуемых напряжений, которое соответствует фазовому сдвигу в градусах (или в долях градуса).

5.3. Счетчики электрической энергии

5.3.1. Индукционные счетчики электроэнергии

Счетчик электрической энергии (электрический счетчик) – прибор для измерения расхода электроэнергии переменного или постоянного тока (обычно в кВт·ч или А·ч).

Индукционные (механические) счетчики электроэнергии постоянно вытесняются с рынка электронными счетчиками из-за их недостатков: отсутствие дистанционного автоматического снятия показаний, одностарифность, погрешности учета, плохая защита от краж электроэнергии, дороговизна, а также низкая функциональность, неудобства в установке и эксплуатации по сравнению с современными электронными приборами.

Индукционный счетчик – устройство для измерений электрических величин в цепях переменного тока. В отличие от электроизмерительных приборов других систем, индукционный прибор можно применять в цепях переменного тока одной определенной частоты; незначительные ее изменения приводят к большим погрешностям показаний. Конструктивно индукционный прибор состоит из магнитной системы, подвижной части и постоянного магнита. Магнитная система содержит 2 электромагнита с сердечниками сложной формы, на которых размещают обмотки с параллельным и последовательным включением в цепь нагрузки; подвижная часть – тонкий алюминиевый или латунный диск, помещаемый в поле магнитной системы; постоянный магнит создает тормозной момент. Индукционный прибор нечувствителен к влиянию внешних магнитных полей и обладают значительной перегрузочной способностью.

Принцип действия индукционных приборов основан на механическом взаимодействии переменных магнитных потоков с токами, индуцированными в подвижной части прибора. В счетчике один из потоков создается электромагнитом, обмотка которого включена на напряжение сети (в которой измеряется электроэнергия). Этот поток пересекает подвижный алюминиевый диск и индуцирует в нем вихревые токи, замыкающиеся вокруг следа полюса электромагнита напряжения. Второй поток создается электромагнитом, обмотка которого включена последовательно в цепь тока. Этот поток наводит в диске также вихревые токи, замыкающиеся вокруг следа полюса своего электромагнита. Взаимодействие потока электромагнита напряжения с наведенными токами в диске потоком токового электромагнита с наведенными токами в том же диске потоком электромагнита напряжения, с другой стороны, вызывают электромагнитные силы, направленные по хорде диска и создающие вращающий момент. Такие счетчики называются двухпоточными.

Число оборотов диска за то или иное время пропорционально полной электроэнергии, полученной за это время потребителем. Число оборотов диска считает механический счетчик, который показывает электроэнергию в киловатт-часах. Приборы такого типа широко применяются в качестве бытовых счетчиков электроэнергии. Их погрешность, как правило, составляет 0,5 %; они отличаются большим сроком службы при любых допустимых уровнях тока.

Электрические счетчики применяют для измерения электрической энергии в цепях переменного и постоянного тока и для измерения количества электричества в цепях постоянного тока. Счетчики явля-

ются интегрирующими приборами, поскольку измеряют энергию или количество электричества за некоторый промежуток времени с нарастающим итогом. В счетчиках переменного тока применяют индукционный измерительный механизм, а в цепях постоянного тока – электродинамический.

Электромеханический счетчик индукционного типа – один из наиболее распространенных приборов.

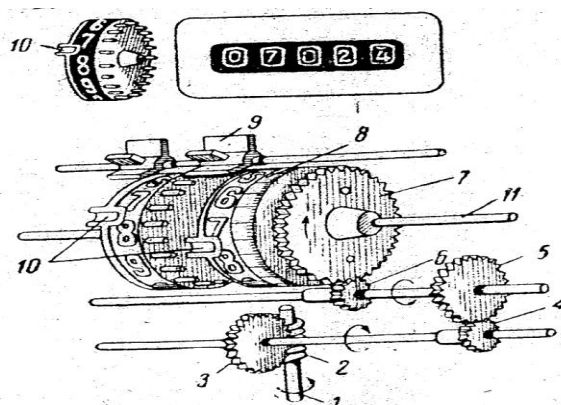


Рис. 5.9. Электрический счетчик

Они имеют неограниченный угол поворота поворотной части, каждый поворот которого пропорционален измеряемой энергии. Для учета счетчик снабжен роликовым счетным механизмом. Роликовый счетный механизм (рис. 5.9) состоит из пяти роликов, на которых нанесены цифры от 0 до 9. Вращение оси 1 подвижной части счетчика через червячную передачу 2 и серию шестерней 3–7 передается первому ролику 8, жестко связанному с осью 11. Остальные ролики находятся на этой оси свободно. Когда ролик 8 сделает полный оборот, следующий за ним ролик, с помощью фасонного зуба 9 и трубки 10, повернется на 0,1 оборота, третий ролик сделает 0,1 оборота при полном обороте второго ролика и т. д. Единице измеряемой величины, регистрируемой счетным механизмом, соответствует определенное число оборотов подвижной части счетчика. Это число A называют передаточным числом и указывается на щитке счетчика. Величина, обратная передаточному числу, то есть число единиц измеряемой величины, зарегистрированных счетным механизмом за один оборот подвижной части счетчика, называется номинальной постоянной C_n .

Это число для счетчика энергии обычно выражается в ватт-секундах за один оборот:

$$C_n = \frac{1}{A} \left[\frac{\text{киловатт} - \text{час}}{\text{оборот}} \right] = \frac{1000 \cdot 3600}{A} \cdot \left[\frac{\text{ватт} - \text{секунда}}{\text{оборот}} \right]$$

Величины A и C_n зависят от конструкции счетного механизма и остаются для данного счетчика неизменными. Кроме номинальной постоянной счетчика энергии, существует действительная постоянная C , под которой понимается количество энергии, действительно израсходованной в цепи за один оборот подвижной части счетчика. Эта энергия измеряется образцовыми приборами, например, ваттметром и секундомером.

Действительная постоянная, в отличие от номинальной постоянной зависит от режима работы счетчика и от внешних условий, например, температуры. Зная постоянные C_n и C счетчика, можно определить его погрешность. Если зарегистрированная счетчиком энергия $W' = C_n N$, действительная энергия $W = C N$ (N – число оборотов подвижной части счетчика), то относительная погрешность β счетчика равна

$$\beta = \frac{W' - W}{W} \cdot 100 = \frac{C_n - C}{C} \cdot 100 \%$$

Постоянные и погрешность счетчика количества электричества определяются аналогичным способом, только вместо энергии в соответствующие выражения войдет количество электричества.

Индукционный измерительный механизм состоит из одного, или нескольких неподвижных электромагнитов и подвижной части, изготовленной обычно в виде алюминиевого диска.

Переменные магнитные потоки, направленные перпендикулярно плоскости диска, пронизывая последний, индуцируют в нем вихревые токи. Взаимодействие потоков с токами в диске вызывает перемещение подвижной части.

Индукционные измерительные механизмы по устройству делятся на несколько типов. По числу потоков, пересекающих подвижную часть, они могут быть однопоточными и многопоточными.

Однопоточные измерительные механизмы имеют один электромагнит и подвижную часть в виде диска, асимметрично расположенного на оси. Такие механизмы, хотя и просты по устройству, но в измерительной технике в настоящее время не применяются из-за малой величины вращающего момента.

Многопоточные индукционные измерительные механизмы делятся на два типа – механизмы с бегущим магнитным полем и механизмы с вращающимся полем. У первых поток (амплитудное значение), в зависимости от времени, перемещается поступательно от полюса к полюсу. В механизмах с вращающимся полем этот поток перемещается по окружности или по эллипсу. В электрических счетчиках применяются механизмы с бегущим полем (второй тип).

Теорию многопоточных измерительных механизмов рассмотрим применительно к двухпоточному прибору (рис. 5.10).

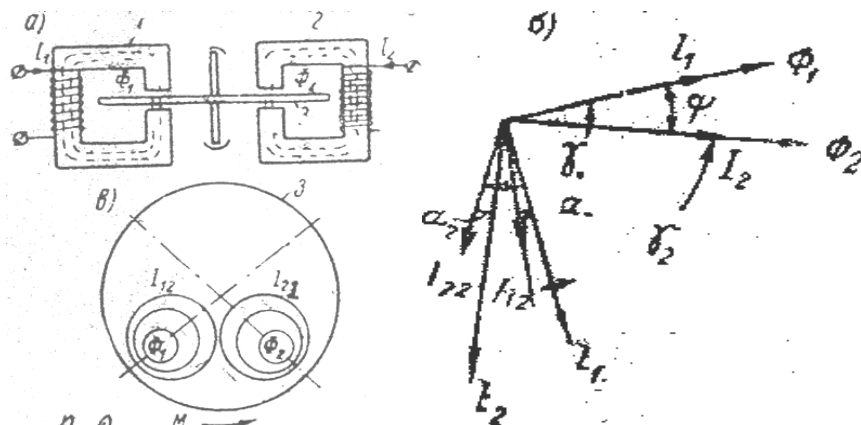


Рис. 5.10. Индукционный двухпоточный измерительный механизм: а – идея устройства; б – векторная диаграмма; в – диск со следами потоков и контурами токов

Потоки Φ_1 и Φ_2 в сердечниках 1 и 2, возбуждаемые токами I_1 и I_2 и сдвинутые по фазе на угол ψ , пересекая диск 3, индуцируют в нем ЭДС E_1 и E_2 , отстающие от своих потоков на угол $\frac{\pi}{2}$ (рис. 5.10, б). Токи I_{12} и I_{22} в диске будут отставать от ЭДС E_1 и E_2 на углы α_1 и α_2 , если диск, кроме активного сопротивления, обладает некоторой индуктивностью. Потоки Φ_1 и Φ_2 , пронизывающие диск 3, а также токи I_{12} и I_{22} в диске показаны на рис. 5.10, в в виде окружностей.

Выражение для вращающего момента индукционного механизма можно получить из общего уравнения для момента измерительных механизмов. Однако значительно проще это можно сделать, пользуясь известным соотношением, определяющим взаимодействие потока и тока.

Мгновенное значение момента M_t от взаимодействия потока Φ_{1t} и тока i_{12} в диске:

$$M_t = c \Phi_{1t} i_{12},$$

где c – коэффициент пропорциональности.

Если

$$\Phi_{1t} = \Phi_{1m} \sin \omega t \quad \text{и} \quad i_{12} = I_{12m} \sin(\omega t - \gamma),$$

то

$$M_t = c \Phi_{1m} I_{12m} \sin(\omega t - \gamma).$$

Ввиду относительно большого момента инерции подвижной части измерительного механизма, она не будет следовать за изменениями мгновенных значений момента, и ее движение будет определяться средним значением вращающего момента M за период переменного тока:

$$M = \frac{1}{T} \int_0^T M_t dt = \frac{1}{T} c \Phi_{1m} I_{12m} \int_0^T \sin \omega t \sin(\omega t - \gamma) dt = c \Phi_{1m} I_{12m} \cos \gamma. \quad (5.1)$$

Так как индуктивное сопротивление диска мало по сравнению с его активным сопротивлением, то $\alpha_1 \approx 0$ и $\gamma = \frac{\pi}{2}$. В этом случае вращающие моменты от взаимодействия потока Φ_1 и тока I_{12} , а также потока Φ_2 и тока I_{22} , будут практически равны нулю.

Определим значение вращающих моментов от взаимодействия потока Φ_1 и тока I_{22} , потока Φ_2 и тока I_{12} . Для этого воспользуемся формулой (5.1). Предположим, что углы $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$, то есть индуктивностью диска пренебрегаем:

$$M_1 = c_1 \Phi_1 I_{22} \cos \gamma_1 = c_1 \Phi_1 I_{22} \cos\left(\frac{\pi}{2} + \psi\right) = -c_1 \Phi_1 I_{22} \sin \psi; \quad (5.2)$$

$$M_2 = c_2 \Phi_2 I_{12} \cos \gamma_2 = c_2 \Phi_2 I_{12} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \psi\right) = c_2 \Phi_2 I_{12} \sin \psi. \quad (5.3)$$

Из выражений (5.2) и (5.3) видно, что моменты имеют различные знаки и, казалось бы, действие их на подвижную часть будет противоположно. Однако оба момента будут действовать на подвижную часть в одну сторону, что можно доказать, основываясь на физических процессах, происходящих в измерительном механизме. Действительно, взаимодействие потока и тока в диске, который имеет возможность перемещаться, сводится к втягиванию в магнитное поле полюсов или сталкиванию из него диска с контуром тока.

Различие знаков у моментов M_1 и M_2 указывает на то, что один контур тока втягивается в поле, а другой выталкивается из соответствующего поля. Например, если принять, что контур тока I_{12} втягивается во взаимодействие с ним поле Φ_2 (рис. 5.10, а), то контур тока I_{22} будет выталкиваться из поля Φ_1 . Следовательно, оба момента M_1 и M_2 совпадают по направлению и будут перемещать диск в одну сторону. Для определения направления результирующего момента можно воспользоваться правилом, по которому сила взаимодействия или момент направлены от опережающего по фазе потока к отстающему (рис. 5.10, б). В данном случае опережающий по фазе поток Φ_1 расположен слева от потока Φ_2 , поэтому направление моментов M_1 и M_2 будет слева направо, т. е. подвижная часть будет перемещаться в направлении, указанном стрелкой (рис. 5.10, в).

Таким образом, моменты M_1 и M_2 , несмотря на разные знаки в уравнениях (5.2) и (5.3), будут совпадать по направлению. Поэтому для результирующего момента M , действующего на подвижную часть, можно написать

$$M = M_2 + (-M_1) = (c_2 \Phi_2 I_{12} + c_1 \Phi_1 I_{22}) \sin \psi. \quad (5.4)$$

При однородном строении диска, а также при синусоидальном характере изменения потоков, можно допустить, что вихревые токи связаны с порождающими их потоками зависимостью:

$$I_{12} = c_3 f \Phi_1 \text{ и } I_{22} = c_4 f \Phi_2, \quad (5.5)$$

где f – частота изменения потоков; c_3 и c_4 – коэффициенты пропорциональности.

Тогда результирующий момент:

$$M = (c_2 c_3 f \Phi_2 \Phi_1 + c_1 c_4 f \Phi_1 \Phi_2) \sin \varphi = c f \Phi_1 \Phi_2 \sin \psi, \quad (5.6)$$

где $c = c_2 c_3 + c_1 c_4$.

Формула (5.4) для M является общей для всех многопоточных индукционных измерительных механизмов и указывает на следующее:

- 1) для создания вращающего момента необходимо иметь не менее двух переменных магнитных потоков или двух составляющих одного потока, сдвинутых по фазе и смещенных в пространстве;
- 2) вращающий момент достигает своего максимального значения, если сдвиг по фазе между потоками равен 90° ;
- 3) вращающий момент зависит от частоты тока.

На рис. 5.11 схематически показано устройство и включение в цепь однофазного индукционного счетчика.

Основными элементами измерительного механизма счетчика являются: электромагниты А и Б, называемые соответственно последовательным и параллельным электромагнитами (обмотки O_1 и O_2 носят те же названия); алюминиевый диск Д, укрепленный на оси О; постоянный магнит M_T и другие элементы, название и назначение которых приводятся ниже.

По конструктивным особенностям и расположению сердечника параллельного электромагнита измерительные механизмы счетчиков разделяются на радиальные и тангенциальные. В первых сердечник

электромагнита Б расположен по радиусу диска (рис. 5.11), в тангенциальных – по хорде (рис. 5.12). Обмотка O_I электромагнита А (рис. 5.11 и 5.12) выполняется из небольшого числа витков толстого медного провода и включается в цепь последовательно с нагрузкой. Обмотка O_U электромагнита Б, имеющая большое число витков тонкого медного провода, включается параллельно нагрузке.

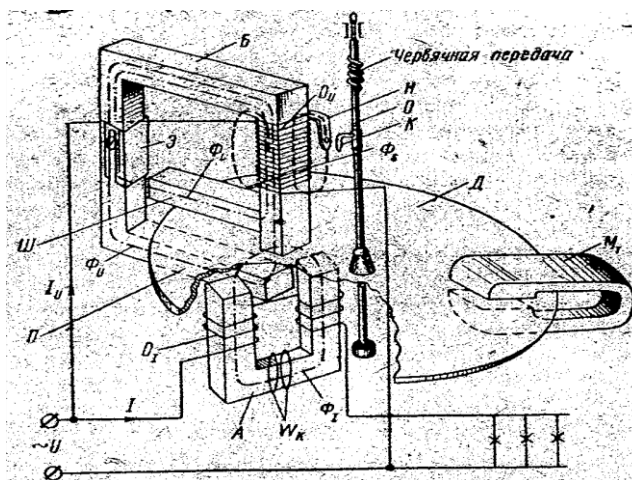


Рис. 5.11. Схематическое изображение устройства и включения в цепь однофазного счетчика

Ток I в последовательной обмотке счетчика создает поток Φ_I который проходит через сердечник электромагнита А и частично через сердечник электромагнита Б и дважды пересекает диск (рис. 5.11 и 5.12).

Ток I_U в параллельной обмотке счетчика создает поток Φ_U и Φ_L . Первый, замыкаясь через противоположный полюс П, пересекает диск в одном месте (в середине между полюсами электромагнита А). Поток Φ_L замыкается в радиальном механизме (рис. 5.11) по шунтирующему стержню Ш, а в тангенциальном (рис. 5.12) – через крайние стержни электромагнита Б. Этот поток не пересекает диска и непосредственного участия в создании вращающего момента не принимает. Называется он нерабочим потоком параллельной цепи в отличие от потока Φ_U , называемым рабочим. Назначение нерабочего, потока будет указано далее.

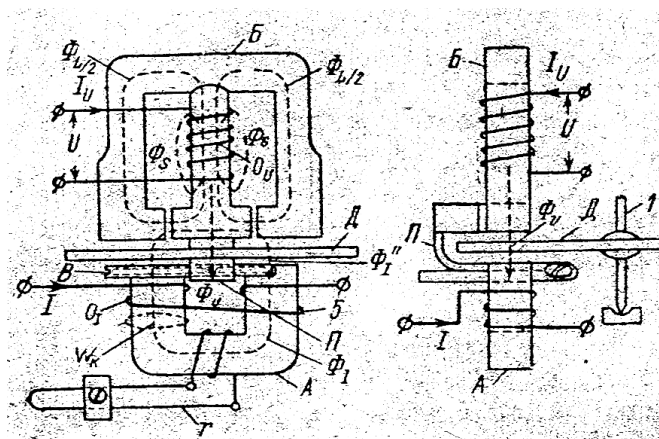


Рис. 5.12. Устройство тангенциального однофазного счетчика

Счетчики, показанные на рис. 5.11 и 5.12 относятся к трехпоточным измерительным механизмам. Однако при рассмотрении теории, этих счетчиков можно воспользоваться уравнением (5.4), выведенным для двухпоточного механизма, учитывая, что в данных случаях по существу диск пронизывается двумя потоками Φ_U и Φ_I (потоком Φ_I – дважды).

В связи с наличием больших воздушных зазоров на пути потоков Φ_U и Φ_I можно с достаточным приближением считать зависимость между этими потоками и токами I и I_U линейной:

$$\Phi_I = k_I I; \Phi_U = k_U I_U = k_U \frac{U}{Z_U}, \quad (5.7)$$

где U – напряжение на параллельной обмотке; Z_U – полное сопротивление параллельной обмотки.

Ввиду малости активного сопротивления параллельной обмотки, по сравнению с ее индуктивным сопротивлением x_U , можно принять

$$Z_U \approx x_U = 2\pi f L_U, \quad (5.8)$$

где L – индуктивность обмотки.

Тогда

$$\Phi_U = \frac{k_U}{2\pi f L_U} U = k'_U \frac{U}{f}. \quad (5.9)$$

Подставляя выражения потоков в уравнение и объединяя постоянные, получим

$$M = kUI \sin \psi, \quad (5.10)$$

где k – постоянная.

Для дальнейшего анализа работы счетчика воспользуемся векторной диаграммой (рис. 5.13). На диаграмме: U – вектор напряжения; I – вектор тока в последовательной обмотке, отстающий по фазе от напряжения на угол φ (предполагается индуктивный характер нагрузки); Φ_I – вектор потока последовательного электромагнита, отстающий от вектора тока I по фазе на угол α_I из-за потерь на гистерезис в сердечнике электромагнита и вихревые токи в нем и диске; I_U – вектор тока в параллельной обмотке, который отстает от вектора U на угол, близкий к $\frac{\pi}{2}$, вследствие большой индуктивности обмотки.

Векторы потоков Φ_U и Φ_L отстают от вектора тока соответственно на углы α_U и α_L , причем $\alpha_U > \alpha_L$ в связи с тем, что от потока Φ_U создаются дополнительные потери на вихревые токи в диске.

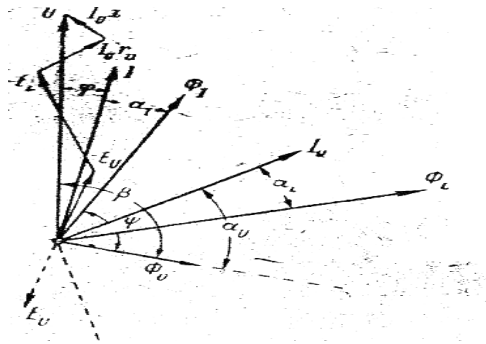


Рис. 5.13. Векторная диаграмма индукционного счетчика

Потоки Φ_U и Φ_L индуцируют в параллельной обмотке ЭДС, а также E_U и E_L , отстающие от них по фазе на $\frac{\pi}{2}$. Вектор напряжения U должен уравнивать векторы ЭДС – E_U и E_L , а также падения напряжений $I_U r_U$ – от активного сопротивления параллельной обмотки и $I_U x$ – от потоков рассеяния Φ_S той же обмотки (рис. 5.11 и 5.12).

Как следует из диаграммы, $\psi = \beta - \alpha_I \varphi$. Если выполнить условие $\beta - \alpha_I = \frac{\pi}{2}$, то $\psi = \frac{\pi}{2} - \varphi$. Тогда уравнение (5.11) примет вид

$$M = kUI \cos \varphi, \quad (5.11)$$

то есть вращающий момент счетчика пропорционален мощности переменного тока. Для выполнения условия $\beta - \alpha_I = \frac{\pi}{2}$ необходим нерабочий поток Φ_L , ЭДС – E_L от которого, являясь составляющей вектора U (рис. 5.13), влияет на величину угла β .

Более точно условие $\beta - \alpha_I = \frac{\pi}{2}$ выполняется различными способами при регулировке счетчика. Например, для этой цели на электромагните А, помещаются короткозамкнутые витки ω_k (рис. 5.11 и 5.12), от числа которых зависит угол α_L . Для плавного изменения этого угла имеется дополнительная обмотка, замкнутая на регулируемое сопротивление r (рис. 5.12). В некоторых счетчиках регулировка угла β производится медной пластинкой Э (рис. 5.11), помещенной на пути потока Φ_L ; при опускании ее вниз и поднятии вверх будут меняться углы α_L и β .

Для создания противодействующего момента, называемого в счетчиках тормозным, применяется постоянный магнит M_T (рис. 5.11), между полюсами которого находится диск. Тормозной момент M_T создается от взаимодействия поля Φ_M постоянного магнита с током I_M в диске, получающимся при вращении диска в поле магнита. Тормозной момент

$$M = k_I \Phi_M I_M, \quad (5.12)$$

где k_I – постоянная величина.

Ток I_M можно выразить следующим образом:

$$I_M = k_2 \Phi_M v, \quad (5.13)$$

где v – скорость вращения диска.

Тогда, подставляя выражение (5.13) в (5.12) и учитывая, что Φ_M – величина постоянная, найдем

$$M_T = k_3 \Phi_M^2 v = k_4 v. \quad (5.14)$$

В индукционных счетчиках имеются еще два дополнительных тормозных момента $\dot{I}'_0$ и $\dot{I}''_0$, возникающих от взаимодействия переменных магнитных потоков Φ_U и Φ_I с токами в диске, индуцированными этими потоками при вращении диска.

По аналогии с выражением (5.14) для этих дополнительных моментов можно написать

$$\dot{I}'_0 = k_5 \Phi_U^2 v; \quad \dot{I}''_0 = k_6 \Phi_I^2 v. \quad (5.15)$$

Суммируя тормозные моменты, найдем

$$M_T = (k_3 \Phi_M^2 + k_5 \Phi_U^2 + k_6 \Phi_I^2) v. \quad (5.16)$$

Первые два члена выражения (5.16), имеющие наибольшее значение, остаются практически постоянными. Это объясняется тем, что постоянный по величине поток Φ_M значительно больше потоков Φ_U и Φ_I . Поток Φ_U , пропорциональный напряжению U , изменяется в небольших пределах. Третий член этого же выражения мал по сравнению с суммой первых двух членов, поэтому, хотя он и меняется в широких пределах, так как Φ_I зависит от нагрузки (тока I), для упрощения дальнейших выводов им можно пренебречь.

Тогда, считая выражение в скобках постоянной величиной и обозначив ее через k_7 , получим

$$M_T = k_7 v. \quad (5.17)$$

Если допустить, что момент трения отсутствует, то для установившейся скорости вращения диска вращающий момент равен тормозному. Приравняв уравнения (5.11) и (5.17) и интегрируя правую и левую части в пределах изменения времени от t_1 до t_2 , получим

$$W = CN, \quad (5.18)$$

где W – энергия, израсходованная в цепи; C – действительная постоянная счетчика; N – число оборотов диска счетчика.

При выводе уравнения (5.18) было сделано допущение, что трение отсутствует. В действительности оно имеется и складывается из трения оси в подпятнике и цапфе, трения в счетном механизме и незначительного трения подвижной части о воздух.

Момент трения может вызвать большую погрешность при малых нагрузках (около 10 % номинальной), если не принять особых мер, в то время, как по ГОСТ 6570-60, допустимая погрешность не должна превышать ± 1 % для счетчиков класса 1 и $\pm 2,0$ % для счетчиков класса 2 при $\cos \varphi = 1$ и токе, равном 10 % номинального. При еще меньших нагрузках (4–7 %) – подвижная часть может остановиться, так как вращающий момент при этом может оказаться меньше момента трения. Равенство моментов трения и вращающего определяет порог чувствительности счетчика.

Под порогом чувствительности S счетчика понимается отношение минимальной мощности $P_{\min}$, при которой диск начинает вращаться без остановки, к номинальной мощности $P_{\text{ном}}$. Если выражать порог чувствительности в процентах, то

$$S = \frac{P_{\min}}{P_{\text{ном}}} 100 (\%). \quad (5.19)$$

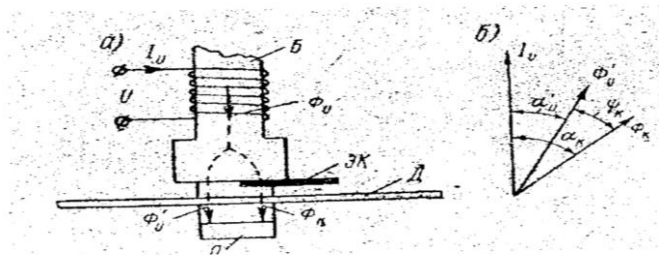


Рис. 5.14. Принцип создания компенсационного момента с помощью экрана:
а – расположение экрана и потоков; б – векторная диаграмма

При этом напряжение и частота тока должны быть равны номинальным, для активных счетчиков необходимо выполнение условия $\cos \varphi = 1$, а для реактивных счетчиков $\sin \varphi = 1$. По ГОСТ 6570-60, порог чувствительности должен быть не более 0,5 % номинальной нагрузки для счетчиков классов 1 и 2 и 1 % для счетчиков других классов.

Для того чтобы счетчики правильно учитывали энергию при малых нагрузках, у них имеется дополнительное приспособление для компенсации момента трения.

Принцип компенсации момента трения состоит в том, что рабочий поток Φ_U вблизи диска искусственно расщепляется на два потока Φ_U и Φ_K (рис. 5.14, а), смещенных в пространстве и сдвинутых по фазе на угол ψ_K (рис. 5.14, б). В этом случае будет создаваться дополнительный (компенсационный) момент от взаимодействия потоков Φ_U и Φ_K , определяемый уравнением (5.4) и зависящий от потока Φ_U . Этот момент создается при помощи металлической пластинки (экрана) ЭК (рис. 5.14, а), перекрывающей часть полюса. Иногда вместо пластинки помещается короткозамкнутый виток. В некоторых счетчиках (в настоящее время не изготавливаемых) для этой цели предусматривался в полюсе стальной винт В (рис. 5.12), при помощи которого также можно получить поток Φ_K , сдвинутый по фазе относительно потока Φ_U . Перемещением пластинки ЭК (рис. 5.14) или винта В (рис. 5.12) изменяют величину компенсационного момента.

В счетчике может происходить так называемый самоход – явление, когда подвижная часть счетчика вращается при отсутствии нагрузки, то есть, когда потребитель не расходует энергии. Самоход возникает в том случае, если компенсационный момент больше момента трения, или от неточности сборки счетчика. Для устранения самохода, которого, согласно ГОСТ 6570-60, не должно быть при напряжениях 80–110 % номинального, существуют различные приемы. Чаще всего к оси счетчика прикрепляется крючок К из железной проволоки или тонкой пластины (рис. 5.11). При вращении оси проволока своим не закрепленным концом подходит и притягивается к намагниченной потоками рассеяния железной пластинке Н (называемой флажком), вследствие чего создается дополнительный тормозной момент, и подвижная часть останавливается.

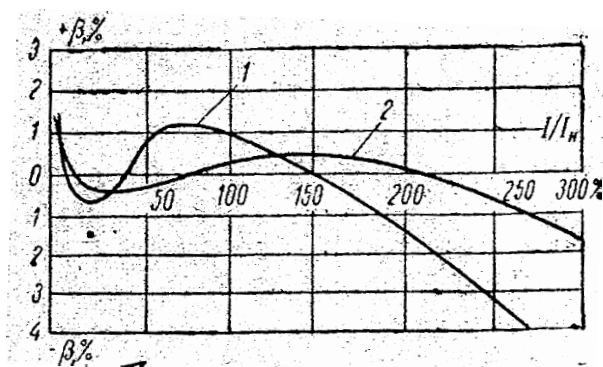


Рис. 5.15. Нагрузочные характеристики однофазного счетчика:
1 – счетчика СО класса 2,5; 2 – счетчика СО–ОМ класса 2

Для того чтобы счетчик правильно учитывал энергию необходимы равенство компенсационного момента, момента трения и пропорциональность между потоками и токами.

Однако эти условия не могут быть выполнены при всех режимах работы счетчика, во-первых, потому, что момент трения не остается постоянной величиной, а является относительно сложной функцией

скорости (нагрузки). Компенсационный же момент не зависит от скорости. Во-вторых, из-за нелинейности магнитных характеристик материала сердечников электромагнитов не может соблюдаться строгая пропорциональность между потоками и токами при различных режимах работы счетчика. Наконец, для упрощения вывода соотношений для моментов было принято, что тормозной момент создается только потоками Φ_m постоянного магнита и Φ_U параллельной цепи, в то время как этот момент зависит и от потока Φ_I последовательной цепи, особенно при больших нагрузках. В результате счетчик имеет погрешность. Изменение этой погрешности, в зависимости от нагрузки, называемой нагрузочной кривой, показано на рис. 5.15 (кривая 1 – счетчиков СО класса 2,5; 2 – счетчиков СО–ОМ класса 2).

Характер кривых при малых нагрузках объясняется влиянием компенсационного момента и момента трения. При 15–20 % нагрузке сказывается непропорциональность между токами и потоками, а также влияние тормозного момента последовательного потока. Поэтому стандартами на счетчики нормируется разная допустимая погрешность при различных нагрузках счетчика.

В табл. 5.2 в виде примера приведены допустимые погрешности для однофазных счетчиков различных классов (ГОСТ 6570-60).

Погрешность, иллюстрированная кривыми рис. 5.15 является основной, то есть возникает при нормальных условиях работы счетчика. При изменении этих условий или под действием различных внешних факторов (например, изменение напряжения, частоты, температуры и т. д.) у счетчика будут появляться дополнительные погрешности.

Таблица 5.2

cos φ	Нагрузка в процентах от номинальной	Допустимая погрешность в процентах для классов		
		1	2	2,5
1	5	± 2,0	± 2,5	–
	10	± 1,0	± 2,0	± 3,5
	От 10 до 150	± 1,0	–	–
	» 10 » 200	–	± 2,0	± 2,5
0,5	10	± 2,0	± 2,5	–
	От 20 до 150	± 1,0	± 2,0	± 4,0

Для измерения энергии в цепях трехфазного тока применяются трехфазные индукционные счетчики. В соответствии с возможными методами измерения мощности и энергии, трехфазные счетчики бывают одноэлементными, двухэлементными и трехэлементными.

Одноэлементные счетчики могут быть применены для учета только при полной симметрии системы и при доступной нулевой точке. В этом случае можно использовать обычный однофазный счетчик, который должен быть включен в одну фазу. При этом счетчик будет учитывать энергию только одной фазы, и для получения значения энергии системы, показания счетного механизма нужно умножить на коэффициент 3.

В одноэлементных трехфазных счетчиках устанавливается соответствующий счетный механизм, учитывающий энергии трехфазной системы, поэтому умножения производить не требуется. Наиболее распространены двухэлементные счетчики. Они предназначены для учета электрической энергии в асимметричных цепях трехфазного тока при трехпроводной системе. Двухэлементные счетчики могут быть также использованы и при полной, симметрии трехфазной системы.

Двухэлементный трехфазный счетчик состоит как бы из двух, помещенных в один корпус, однофазных счетчиков, вращающие элементы которых воздействуют на одну общую подвижную часть. Подвижная часть соединена через червячную передачу со счетным механизмом, учитывающим энергию трехфазной системы (рис. 5.16).

Схема внутренних соединений двухэлементных счетчиков и включения их в цепь основана на методе двух приборов.

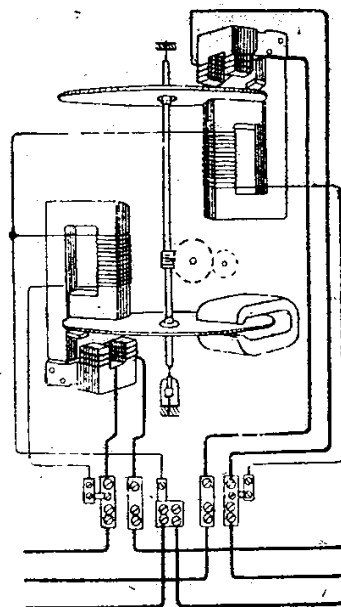


Рис. 5.16. Двухэлементный трехфазный счетчик

Так как оба элемента действуют на одну подвижную часть, то вращающие моменты, создаваемые каждым элементом, суммируются.

5.3.2. Электронные счетчики электроэнергии

Электронный счетчик представляет собой преобразователь аналогового сигнала в частоту следования импульсов, подсчет которых дает количество потребляемой энергии. Главным преимуществом электронных счетчиков по сравнению с индукционными, является отсутствие вращающихся элементов. Кроме того, они обеспечивают более широкий интервал входных напряжений, позволяют легко организовать многотарифные системы учета, имеют режим ретроспективы – позволяют посмотреть количество потребленной энергии за определенный период – как правило, ежемесячно. Они измеряют потребляемую мощность, легко вписываются в конфигурацию систем АСКУЭ и обладают еще многими дополнительными сервисными функциями.

Разнообразие этих функций заключается в программном обеспечении микроконтроллера, который является неперенным атрибутом современного электронного счетчика электроэнергии.

Структурная схема электронного счетчика приведена на рис. 5.16 и рис. 5.17.

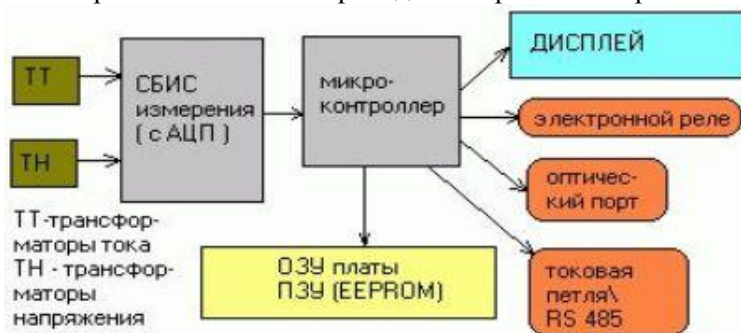


Рис. 5.17. Схема устройства электронного счетчика электроэнергии

В настоящее время учет электроэнергии (в основном) производится по одному тарифу (то есть стоимость электроэнергии одинакова независимо от времени потребления). Однако начинает вводиться многотарифные системы оплаты, при которых стоимость электрической энергии различна по часам суток или по дням недели.

Указанный подход обеспечит более равномерное потребление электроэнергии потребителями и снижение максимальной нагрузки энергосистемы. Поэтому уже выпускаются электронные счетчики со встроенными часами, которые питаются от аккумуляторной батареи, что обеспечивает учет электроэнергии по разным интервалам времени, задаваемым программно.

Как правило, электронные счетчики имеют жидкокристаллический индикатор, на котором отображаются потребляемая электроэнергия по каждому из тарифов, текущая потребляемая мощность, текущее время, дата и другие измеряемые прибором параметры.

Для расчета электрической энергии, потребляемой за определенный период времени, необходимо интегрировать во времени мгновенные значения активной мощности. Для синусоидального сигнала мощность равна произведению напряжения на ток в сети в данный момент времени. На этом принципе работает любой счетчик электрической энергии. На рис. 5.18 показана блок-схема электромеханического счетчика.

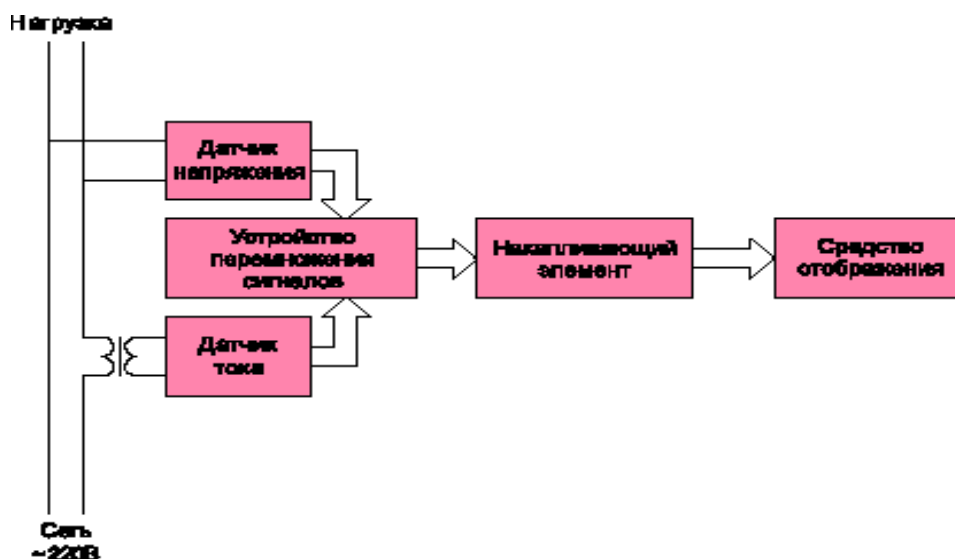


Рис. 5.19. Блок-схема электромеханического счетчика электрической энергии

Реализация цифрового счетчика электрической энергии (рис. 5.19) требует специализированных источников сигналов (ИС), способных производить перемножение сигналов и предоставлять полученную величину в удобной для микроконтроллера форме. Например, преобразователь активной мощности – в частоту следования импульсов. Общее количество пришедших импульсов, подсчитываемое микроконтроллером, прямо пропорционально потребляемой электроэнергии.

Не менее важную роль играют всевозможные сервисные функции: дистанционный доступ к счетчику, к информации о накопленной энергии и др. Наличие цифрового дисплея, управляемого от микроконтроллера, позволяет программно устанавливать различные режимы вывода информации, например, выводить на дисплей информацию о потребленной энергии за каждый месяц, по различным тарифам и т. д.

Для выполнения некоторых нестандартных функций, например, согласования уровней, используются дополнительные ИС. Сейчас начали выпускать специализированные ИС – преобразователи мощности в частоту – и специализированные микроконтроллеры, содержащие подобные преобразователи на кристалле. Но, зачастую, они слишком дороги для использования в коммунально-бытовых счетчиках. Поэтому многие мировые производители микроконтроллеров разрабатывают специализированные микросхемы, предназначенные для такого применения.

Принцип построения простейшего варианта цифрового счетчика на наиболее дешевом (менее доллара) 8-разрядном микроконтроллере Motorola. В представленном решении реализованы все минимально необходимые функции. Оно базируется на использовании недорогого преобразователя мощности в частоту импульсов KP1095ПП1 и 8-разрядного микроконтроллера MC68HC05KJ1 (рис. 5.20). При такой структуре микроконтроллеру требуется суммировать число импульсов, выводить информацию на дисплей и осуществлять ее защиту в различных аварийных режимах. Рассматриваемый счетчик фактически представляет собой цифровой функциональный аналог существующих механических счетчиков, приспособленный к дальнейшему усовершенствованию.

Сигналы, пропорциональные напряжению и току в сети, снимаются с датчиков и поступают на вход преобразователя. Измерительная система преобразователя перемножает входные сигналы, получая мгновенную потребляемую мощность. Этот сигнал поступает на вход микроконтроллера, преобразующего его в Вт·ч по мере накопления сигналов, изменяющего показания счетчика. Частые сбои напряжения питания приводят к необходимости использования EEPROM для сохранения показаний счетчика. Поскольку сбои по питанию являются наиболее характерной аварийной ситуацией, такая защита необходима в любом цифровом счетчике.

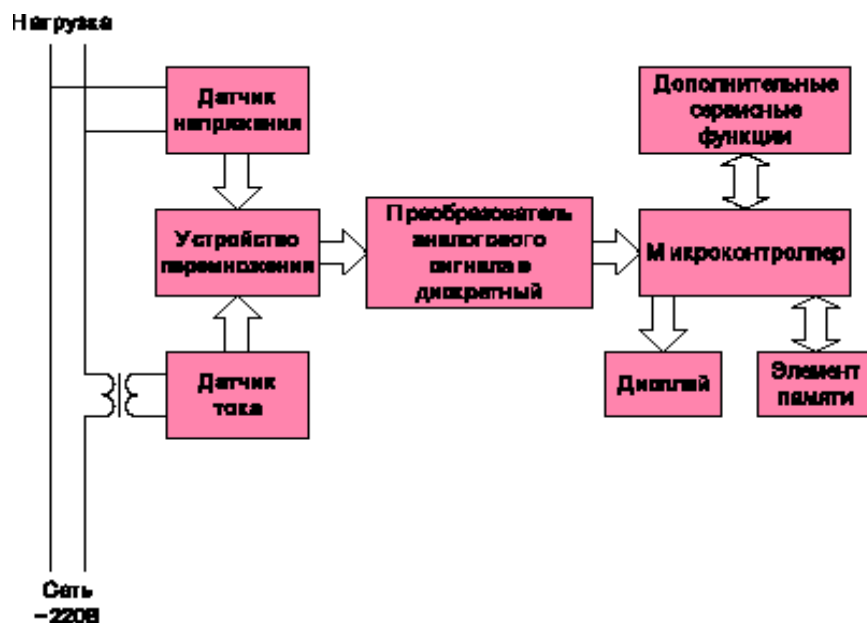


Рис. 5.19. Блок-схема цифрового счетчика электрической энергии

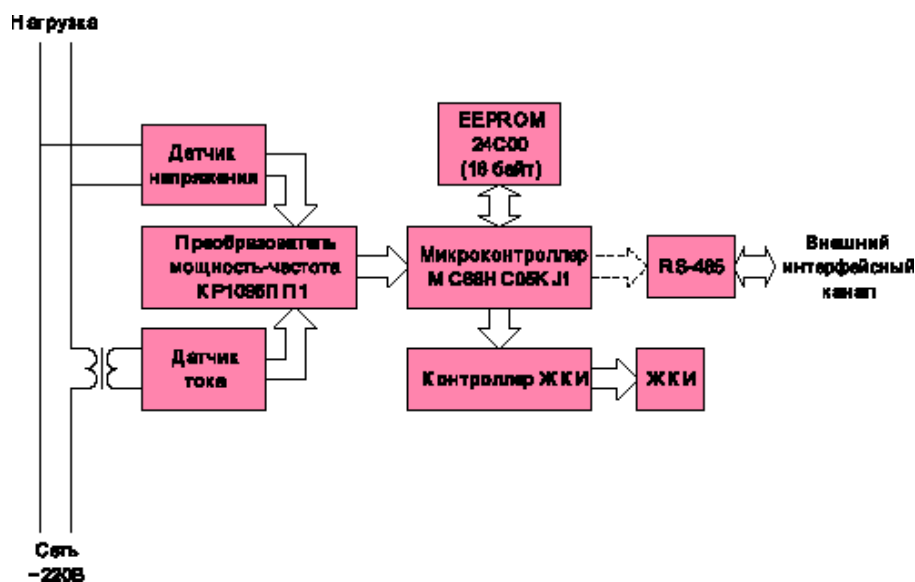


Рис. 5.20. Основные узлы простейшего цифрового счетчика электроэнергии

Конструктивно электросчетчик состоит из корпуса с клеммной колодкой, измерительного трансформатора тока и печатной платы, на которой установлены все электронные компоненты.

Основными компонентами современного электронного счетчика являются: трансформатор тока, дисплей ЖКИ, источник питания электронной схемы, микроконтроллер, часы реального времени, телеметрический выход, супервизор, органы управления, оптический порт (опционально).

ЖКИ представляет собой многоразрядный буквенно-цифровой индикатор и предназначен для индикации режимов работы, информации о потребленной электроэнергии, отображении даты и текущего времени.

Источник питания служит для получения напряжения питания микроконтроллера и других элементов электронной схемы. Непосредственно с источником связан супервизор. Супервизор формирует сигнал сброса для микроконтроллера при включении и отключении питания, а также следит за изменениями входного напряжения.

Часы реального времени предназначены для отсчета текущего времени и даты. В некоторых электросчетчиках данные функции возлагаются на микроконтроллер, однако для уменьшения его загрузки, как правило, используют отдельную микросхему. Использование отдельной микросхемы позволяет высвободить мощности микроконтроллера и направить их на выполнение более ответственных задач.

Телеметрический выход служит для подключения к системе АСКУЭ или непосредственно к компьютеру (как правило, через преобразователь интерфейса RS485/RS232). Оптический порт, который есть не во всех электросчетчиках, позволяет снимать информацию непосредственно с электросчетчика и в некоторых случаях служит для их программирования (параметризации).

В электронном счетчике выполнение практически всех функций возложено на микроконтроллер. Он является преобразователем АЦП (преобразует входной сигнал с трансформатора тока в цифровой вид, производит его математическую обработку и выдает результат на цифровой дисплей.) Микроконтроллер также принимает команды от органов управления и управляет интерфейсными выходами.

Электронным (статическим электросчетчиком) называется электросчетчик, в котором переменный ток и напряжение воздействуют на твердотельные (электронные) элементы для создания на выходе импульсов, число которых пропорционально измеряемой активной энергии. То есть измерения активной энергии такими электросчетчиками основаны на преобразовании аналоговых входных сигналов тока и напряжения в счетный импульс. Измерительный элемент электросчетчика служит для создания на выходе импульсов, число которых пропорционально измеряемой активной энергии. Счетный механизм представляет собой электромеханическое (имеет преимущество в областях с холодным климатом, при условии установки прибора на улице) или электронное устройство, содержащее как запоминающее устройство, так и дисплей.

Основными достоинствами электронных электросчетчиков является возможность учета электроэнергии по дифференцированным тарифам (одно-, двух- и более тарифный) водородов. Общий вид счетчиков типа СЕ приведен на рис. 5.21–5.22, схема включения – на рис. 5.23–5.24.

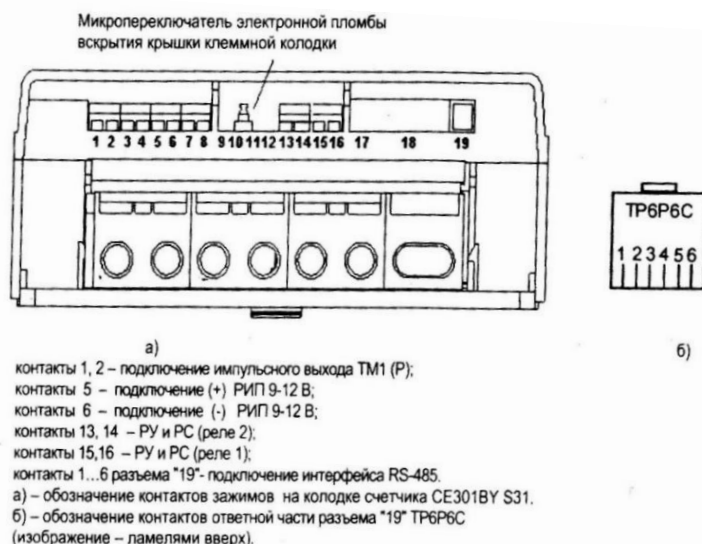
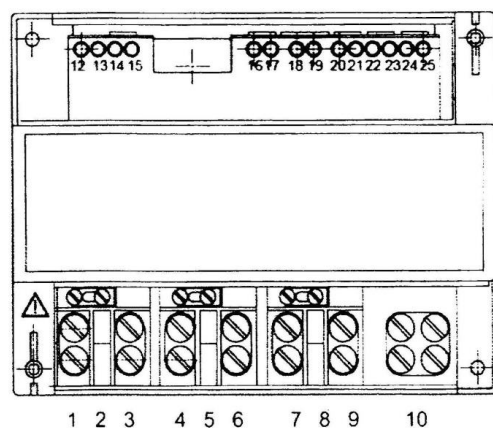


Рис. 5.21. Обозначение контактов счетчика CE301 (вид снизу)



контакты 12, 13 – подключение импульсного выхода ТМ1(Р);
 контакты 22, 23 – подключение "-", "+" внешнего блока питания 9 В, 100 мА интерфейса RS-485;
 контакты 24, 25 – "В" и "А" сигналы подключения интерфейса RS-485;
 контакты 18, 19 – РУ и РС (реле 1).

Рис. 5.22. Обозначение контактов счетчика CE301 (вид с фронта)

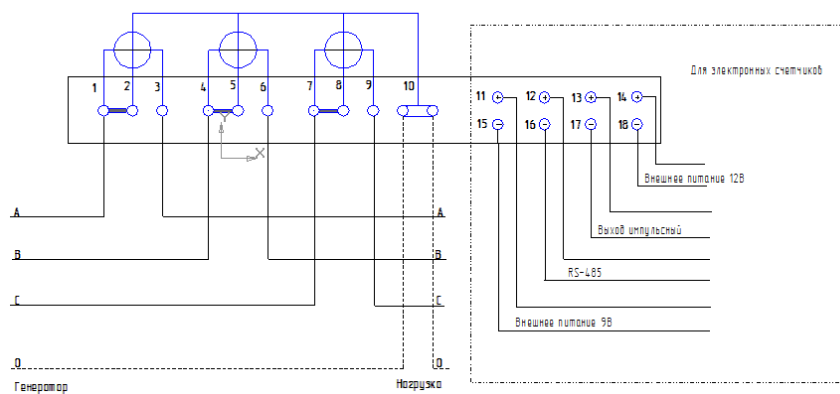


Рис. 5.23. Схема включения электронного счетчика без трансформатора тока

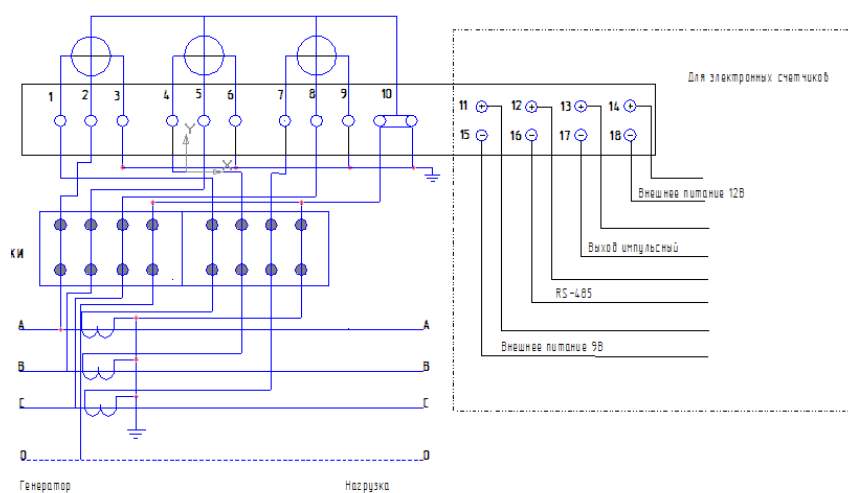


Рис. 5.24. Схема включения электронного счетчика с трансформаторами тока

ЛЕКЦИЯ 6. ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (2 ч)

6.1. Принципы действия телеизмерительных систем

Телеметрия, телеизмерение (др.-греч. τῆλε «далеко» + μέτροω – «измеряю») – получение информации о значениях измеряемых параметров (напряжения, тока, давления, температуры и т. п.) контролируемых и управляемых объектов методами и средствами телемеханики. Термин образован от греческих корней *теле* – «удаленный» и *метрон* – «измерение». Хотя сам термин в большинстве случаев относится к механизмам беспроводной передачи информации (например, используя радио или инфракрасные системы), он также включает в себе данные, передаваемые с помощью других средств массовой коммуникации, таких как телефонные или компьютерные сети, оптическое волокно или другие типы проводной связи.

Для сбора данных обычно используют либо датчики телеметрии (с возможностью работы в телеметрических системах, то есть специальным встроенным модулем связи), либо устройства связи с объектом, к которым подключаются обычные датчики. В телевидении и видеонаблюдении встречается другое понимание слова «телеметрия» – дистанционное управление.

В качестве среды передачи данных используются как беспроводные (радио, GSM/GPRS, ZigBee, WiFi, WiMax, LTE), так и проводные (телефонные, ISDN, xDSL, компьютерные) сети (электрические или оптические).

Сущность телеизмерения заключается в том, что измеряемая величина, предварительно преобразованная в ток или напряжение, дополнительно преобразовывается в сигнал, который затем передается по каналу связи. Таким образом, передается не сама измеряемая величина, а эквивалентный ей сигнал, параметры которого выбирают так, чтобы искажения при передаче были минимальными.

Передача информации по проводам берет свое начало в XIX столетии. Одна из первых линий передачи была создана в 1845 г. между Зимним дворцом российского императора и штабами армий. В 1874 г. французские инженеры установили систему датчиков определения погоды и глубины снега на Монблане, передающей информацию в режиме реального времени в Париж. В 1901 г. американский изобретатель Михалик запатентовал сельсин, индукционную машину для попеременной передачи синхронизированной информации на расстоянии. В 1906 г. был построен ряд сейсмических станций, связанных телеметрической связью с Пулковской обсерваторией. В 1912 г. Эдисон разработал телеметрическую систему для мониторинга подключаемых нагрузок к электросети. При постройке Панамского канала (закончена в 1913–1914 гг.) массово использовались телеметрические системы для мониторинга шлюзов и уровней воды. Беспроводная телеметрия начала применяться в радиозондах, разработанных независимо друг от друга Робертом Бюро во Франции и Павлом Молчановым в России. Система Молчанова измеряла температуру и давление, преобразуя результаты в беспроводной код Морзе. В немецкой ракете Второй мировой войны Фау-2 использовалась система передачи примитивных многократных радиосигналов под названием «Мессина» для получения информации о параметрах ракеты, но эта система была столь ненадежной, что Вернер фон Браун однажды заявил: было бы эффективнее следить за ракетой в бинокль. Как в СССР, так и в США на смену системе «Мессина» быстро пришли более совершенные системы, основанные на импульсно-позиционной модуляции. В ранних советских телеметрических системах (ракетных и космических), разработанных в конце 1940-х гг., использовалась как импульсно-позиционная модуляция (например, в телеметрической системе Трал, разработанной в ОКБ МЭИ), так и полосно-импульсная модуляция (например, в системе RTS-5 разработанной в НИИ-885). В ранних американских разработках также использовались подобные системы, но позднее они были заменены на системы с импульсно-кодовой модуляцией (например, в космическом аппарате для исследования Марса «Маринер-4»). В поздних советских межпланетных аппаратах использовались избыточные радиосистемы, осуществляющие телеметрическую передачу с импульсно-кодовой модуляцией в дециметровом диапазоне и с импульсно-позиционной модуляцией в сантиметровом диапазоне.

Различают телеизмерение по вызову, по выбору, текущих и интегральных значений:

1. Телеизмерение по вызову – телеизмерение по команде, посылаемой с пункта управления на контролируемый пункт и вызывающей подключение на контролируемом пункте передающих устройств, а на пункте управления – соответствующих приемных устройств. Телеизмерение по вызову позволяет использовать один канал связи для поочередного наблюдения за многими объектами телеизмерения. Диспетчер с помощью отдельной системы телеуправления может подключать к каналу связи объект телеизмерения. На пункте управления показания можно наблюдать на общем выходном приборе. Если показания имеют различные шкалы, то измеряемые величины подключаются к разным приборам. При телеизмерении по вызову можно применять автоматический опрос объектов циклически по заданной программе.

2. Телеизмерение по выбору – телеизмерение путем подключения к устройствам пункта управления соответствующих приемных приборов при постоянно подключенных передающих устройствах на контролируемом пункте.

3. Телеизмерение текущих параметров – получение информации о значении измеряемого параметра в момент опроса устройством телемеханики.

4. Телеизмерение интегральных значений – получение информации об интегральных значениях измеряемых величин, проинтегрированных по заданному параметру, например, времени, месте передачи.

Телеметрия нашла свое применение в следующих областях:

1. Узлы магистральных линий связи.

2. Сельское хозяйство.

Большинство видов деятельности, связанных с благополучным состоянием сельскохозяйственных культур и получения хороших урожаев, зависит от своевременного предоставления данных о состоянии погоды и почвы. Таким образом, беспроводные метеостанции играют важную роль в профилактике заболеваний растений и соразмерном орошении. Эти метеостанции передают на базовую станцию информацию о важных параметрах, необходимых для принятия решений: о температуре и относительной влажности воздуха, выпадении осадков и влажности листвы (для построения моделей профилактики заболеваний), солнечной радиации, скорости ветра (для расчета испарения) и для увлаженности почвы, посредством чего оценивается проникание воды в почву к корням растений, что необходимо для принятия решений об орошении. Поскольку местные микроклиматы могут существенно различаться, такую информацию необходимо получать буквально прямо от сельскохозяйственных культур. Обычно станции мониторинга передают данные, используя наземное радио, хотя время от времени используются и спутниковые системы. Также используются солнечные батареи для обеспечения энергонезависимости станций от местной инфраструктуры.

3. Водоснабжение и водоотведение.

Телеметрия стала существенным подспорьем в водопользовании, она применяется при оценке качества воды и измерения показателей потока. Телеметрия в основном применяется в автоматических водосчетчиках, мониторинге подводных вод, определении утечек в распределительных трубопроводах. Данные получаются практически в реальном времени и позволяют незамедлительно реагировать на происшествия.

4. Вендинг.

Системы телеметрии (удаленного мониторинга) для торговых автоматов получают широкое применение. M2M модемы устанавливаются в каждый торговый автомат, а данные передаются в Программу мониторинга. Системы мониторинга используют стандартные протоколы (EXE, MDB) и работает с широким модельным рядом торговых автоматов. Подключение происходит через автомат или монетоприемник. Система работает как с кофейными, так и снековыми автоматами. На основании полученной информации компания может:

- уменьшить простой автоматов;
- оптимизировать график посещения торговых автоматов;
- контролировать вендерменов (предотвращать хищения товаров и денег);
- своевременно обслуживая автоматы, увеличить срок их работы;
- планировать закупки, продажи.

5. Медицина.

Телеметрия (биотелеметрия) также используется для наблюдения за пациентами, находящимися под угрозой возникновения патологической сердечной деятельности, в основном пребывающих в кардиологических диспансерах. К таким пациентам подключаются измерительные, записывающие и передающие устройства. Зарегистрированные данные могут быть использованы врачами в диагностике состояния пациента. Благодаря функциям сигнала тревоги медицинские сестры могут быть оповещены при возникновении резких обострений или опасных состояний для пациента. Также имеется система, доступная для применения операционными медсестрами для наблюдения за состоянием, в котором состояния сердца могут быть исключены. Или для наблюдения за реакцией организма на медикаментозное лечение такими антиаритмическими препаратами, как дигоксин.

Телеметрия используется в медицине разведки для негласного получения информации о параметрах, характеризующих функциональное состояние и здоровье сотрудника. С этой целью разработаны и внедрены малогабаритные радиометрические устройства, способные записывать магнитокардиограммы (харак-

теристики деятельности сердца), магнитоэнцефалограммы (мозга), магнитомиограммы (мышц, гладкой мускулатуры кишечника). Эти сведения в автоматическом режиме передаются в ситуационный центр врачам группы, обслуживающей сотрудника разведслужбы.

Телеметрия является доступной технологией для больших сложных систем: ракеты, реакторы (Reactor pressure vessel), космические аппараты, нефтяные платформы и химические заводы. Она позволяет осуществлять автоматическое наблюдение, тревожную сигнализацию, запись и сохранение данных, необходимых для безопасных, эффективных действий. Такие космические агентства как НАСА, ЕКА и другие используют телеметрические / телеуправляемые системы для сбора данных с действующих космических аппаратов и спутников. Телеметрия жизненно важна в развитии ракет, спутников и авиации, поскольку данные системы могут быть уничтожены после или во время проведения теста. Инженерам нужна информация о критичных параметрах для анализа (и улучшения). Без применения телеметрии такого рода данные часто оказываются недоступными.

6. Разведка.

Телеметрия для британской и американской разведок была жизненно важным источником о тестировании советских ракет. Для этой цели США содержали пост прослушивания в Иране. В конечном итоге советская разведка раскрыла тайную деятельность американцев по сбору и расшифровке телеметрических сигналов о тестировании ракет. С кораблей в Кардиганском заливе ей прослушивались сигналы при испытаниях, проводимых там, британских ракет.

7. Ракетная техника.

В ракетной технике телеметрическое оборудование становится неотъемлемой частью оборудования ракет, использующихся при наблюдении за процессом ракетного запуска, для получения информации о параметрах внешней среды (температуры, ускорений, вибраций) об энергоснабжении, точном выравнивании антенны и (на длинных дистанциях, например, при космическом полете) о времени распространения сигнала.

8. Авто- и мотоспорт.

Телеметрия является ключевым фактором в современном автоспорте. Инженеры могут обрабатывать огромное количество данных, собираемых в ходе пробного заезда и использовать их для соответствующей модернизации автомобиля и достижения при этом оптимальных свойств. Системы, использующиеся в таких сериях гонок, как Формула-1, настолько продвинулись, что позволяют высчитать возможное время прохождения круга, и информацию, ожидаемую пилотом. Некоторые примеры необходимых измерений включают ускорения (силы тяготения) по трем осям, графики температур, скорость вращения колес и смещение подвески. В Формуле 1 также записываются действия пилота, что позволяет команде оценить его производительность, а при несчастном случае Международная автомобильная федерация может определить или исключить роль ошибки пилота как возможный случай. В дополнение существуют некоторые серии, где реализуется идея «двухпутевой телеметрии». Идея предполагает, что инженеры имеют возможность обновлять калибровки в режиме реального времени, когда автомобиль проходит трассу. В Формуле 1 двухпутевая телеметрия появилась в начале 90-х годов (ТАГ-электроника) и реализовывалась через дисплей сообщений на приборном щитке, сообщения на котором команда могла обновлять. Его развитие продолжалось до мая 2001 г., когда впервые было получено разрешение устанавливать данную систему на автомобилях. С 2002 г. команды уже могли изменять режимы работы двигателя и отключать отдельные моторные датчики с пит-уолл, когда машина находилась на трассе. Начиная с сезона 2003 г. двухпутевая телеметрия была запрещена в Формуле-1, однако данная технология все еще продолжает существовать и в конечном итоге находит свое применение в других видах гоночных или дорожных автомобилей.

8. Бурение наклонных скважин.

9. Системы глобального позиционирования, в том числе Спутниковый мониторинг транспорта.

10. ЦОДы.

11. Энергетика.

На фабриках, стройках и в домах проводится наблюдение (во множестве местоположений) за энергопотреблением таких систем, как климат-контроль вместе со связанными параметрами (например, температурой) при помощи беспроводной телеметрии на одну центральную точку. Информация собирается и обрабатывается, позволяя принимать наиболее разумные решения, касающиеся наиболее эффективных путей использования энергии. Такие системы также позволяют осуществлять профилактическое техническое обслуживание.

12. Системы безопасности (сигнализация, видеонаблюдение).

13. Умные дома.

14. Исследование дикой природы.

Телеметрия используется для изучения дикой природы, в частности для наблюдения за видами, находящимися под угрозой, на индивидуальном уровне. Подопытные животные могут быть оснащены инструментарием, начиная от простых бирок и заканчивая камерами, пакетами GPS и передатчиками для обеспечения информацией ученых и управляющих. Телеметрия используется в гидроакустических оценках рыбы, которые традиционно используются для мобильных обследований с лодок для оценки биомассы рыб и пространственного распределения, а также техническое оборудование, размещаемое в стационарных местах, используемое стационарные преобразователи для контроля прохождения рыбы. Хотя первые серьезные попытки количественно оценить биомассу рыб были проведены в 1960-х гг., основные достижения в области оборудования и технологий произошли на плотинах гидроэлектростанций в 1980-х гг. Оценки прохождения рыбы проводятся 24 часа в сутки в течение года, определяется скорость прохождения рыбы, ее размер, пространственное и временное распределение. В 1970 г. была изобретена двухлучевая техника, позволяющая сделать прямую оценку размера рыбы на месте ее нахождения посредством сопротивления цели. Первая переносная расщеплено-лучевая гидроакустическая система была разработана НТИ в 1971 г. и обеспечивала более аккуратные и менее вариабельные оценки сопротивления цели в виде рыбы, чем двухлучевой метод. Система также позволяла отслеживать путь рыбы на 3D: можно было проследить путь движения каждой рыбы и общую направленность движения. Эта функция оказалась важной для оценки захваченных рыб в воде, утки, а также для изучения мигрирующих рыб в реках. Эта функция оказалась важной для оценок перемещений рыбы в завихрениях водяного течения и для изучения миграций рыб в реках. В последние 35 лет по всему миру используются десятки тысяч мобильных или стационарных аппаратов гидроакустической оценки.

15. Розничная торговля.

В 2005 г. на семинаре в Лас-Вегасе было отмечено, что введение телеметрического оборудования позволило торговым автоматам передавать информацию о продажах и учете маршрутным грузовикам или в штабы. Эти сведения могут быть использованы для разнообразных целей: сообщение водителю перед поездкой, какие пункты должны быть пополнены, что отменяет необходимость первой проверочной поездки перед проведением внутренней инвентаризации. Торговцы начинают использовать бирки RFID для проведения учета и предотвращения краж товаров. Большинство из них пассивно читаются считывающими устройствами RFID (например, у кассы), но активные RFID могут периодически передавать информацию посредством телеметрии на базовую станцию.

16. Правоохранительная деятельность.

Телеметрическое оборудование полезно в правоохранительной деятельности для отслеживания людей и надзором за имуществом. Осужденные в период испытания после досрочного освобождения могут носить браслет на лодыжке, устройство которого может предупреждать власти о нарушении преступником условий своего освобождения (отступление от установленных границ или посещение неразрешенных мест). Телеметрическое оборудование дает возможность применить идею «машин-ловушек». Правоохранительные органы могут оснащать машины камерами и следящим оборудованием и оставлять машины в тех местах, где ожидается их угон. После угона телеметрическое оборудование передает информацию о местоположении транспортного средства, и сотрудники правоохранительных органов могут заглушить мотор и запереть двери после остановки его выехавшими на вызов полицейскими.

Для мониторинга используют как протоколы RS-232, RS-485, CAN, так и различные сетевые протоколы TCP/IP, Ethernet. Последние обычно называют системы телеметрического IP-мониторинга объектов, но термин еще не устоялся. В технике часто применяется термин «IP-мониторинг» для программного мониторинга компьютерных сетей, в то же время его используют для обозначения систем наблюдения, видеонаблюдения и управления, телеметрического контроля по IP за объектами. Возможно, эти два близких понятия сведутся в один класс. В последнее время (около середины 2000-х годов) для облегчения инсталляции, обеспечения многофункциональности, интеграции с другими системами в телеметрии применяются компьютеры, различные серверы и микропроцессорные системы. В своей основе – это переплетение различных протоколов, встроенные средства переработки и отображения информации, часто имеющие кольцевые базы данных, а также и возможности мультizonального сбора информации с многочисленных датчиков, разбросанных зачастую вне физических пределов самих систем, либо и вовсе на другой стороне земного шара, к примеру различные беспроводные датчики, IP-датчики и т. д.

Как и в других телекоммуникационных областях существуют международные стандарты, установленные такими организациями, как CCSDS и IRIG для телеметрического оборудования и программного обеспечения.

Телеметрия – измерение, выполненное на объектах энергетического хозяйства с последующей передачей результатов на центральный диспетчерский компьютер или лабораторию, или систему контроля и наблюдения, включающую диспетчерскую контрольно-измерительную лабораторию, отдел АСУ.

Можно выделить следующие компоненты системы телеметрии:

- контролируемые пункты;
- узлы;
- линии передачи;
- центральный процессор;
- интерфейс человек-машина.

Телеметрия предполагает комплекс измерительной системы, включающей несколько уровней:

- 1) уровень измеряемых систем в пределах рабочего места, применяемого для особо опасных производств или производств с высокой степенью ответственности;
- 2) система с передачей данных на локальную диспетчерскую или испытательную лабораторию;
- 3) передача данных с локальной диспетчерской на центральную диспетчерскую энергосистемы.

В процессе передачи сигналов возникает ряд погрешностей. Эти погрешности обусловлены погрешностями собственных приборов и погрешностями телепередачи.

Для передачи данных на диспетчерские пункты или между диспетчерскими пунктами можно использовать проводные и беспроводные линии связи.

Проводные системы связи выполнены опто-волоконными кабелями, а для локальных систем – специальными кабелями типа Витая пара, УТР, НПЭ (НВПЭ).

Беспроводные системы связи могут производиться по существующим сетям, на специально выделенных частотах или организовывать передачу данных в системы мобильной связи.

Система передачи данных выполняется со встречными модемами у индивидуальных потребителей или с организацией коллективного сбора с последующей передачей (устанавливают системы сбора данных в виде УСПД или сумматоры СЭМ-1, СЭМ-2).

Телемеханика – область науки и техники, предметом которой является разработка методов и технических средств передачи и приема информации (сигналов) с целью управления и контроля на расстоянии.

Специфическими особенностями телемеханики являются:

- удаленность объектов контроля и управления;
- необходимость высокой точности передачи измеряемых величин;
- недопустимость большого запаздывания сигналов;
- высокая надежность передачи команд управления;
- высокая степень автоматизации процессов сбора информации.

Назначение. Телемеханизация применяется тогда, когда необходимо объединить разбросанные или территориально рассредоточенные объекты управления в единый производственный комплекс (например, при управлении газо- и нефтепроводом, энергосистемой, железнодорожным узлом), либо когда присутствие человека на объекте управления нежелательно (например, в атомной промышленности, на химических предприятиях) или невозможно (например, при управлении непилотируемой ракетой).

Внедрение телемеханических систем позволяет сократить численность обслуживающего персонала, уменьшает простои оборудования, освобождает человека от работы во вредных для здоровья условиях.

Особое значение телемеханика приобретает в связи с созданием автоматизированных систем управления (АСУ). Обработка данных, полученных по каналам телемеханики, на ЭВМ позволяет значительно улучшить контроль за технологическим процессом и упростить управление. Поэтому в настоящее время вместо понятия «телемеханика» все чаще и чаще используется сокращение **АСУТП** – автоматизированная система управления технологическим процессом. Современная система телемеханики также немыслима без компьютера, поэтому можно сказать, что телемеханика и АСУТП – близнецы-братья. Разница между этими понятиями улавливается лишь по времени появления и по традиции использования. Например, в энергетике предпочитают использовать слово *телемеханика*, на промышленных предприятиях – *АСУТП*.

Телеизмерительной системой (ТС) называется совокупность устройств на приемных и передающих сторонах и каналах связи для автоматического измерения одного или ряда параметров на расстоянии.

ТС могут включать в себя первичные измерительные преобразователи, блоки обработки и отображения информации, контрольные пункты, преобразователи кодов и сигналов, каналы связи и другие устройства.

Вторичный измерительный преобразователь принимает данные с первичных (подключенных к датчикам) и приводит все в вид, пригодный для отправки. Следовательно, в обязанности вторичного измерительного преобразователя (ВИП) входит обеспечение унификации сигнала, его модулирование, кодирование

и т. д. После чего он может отдавать полученное каналообразующему устройству (КОУ). КОУ формирует общеканальный сигнал, содержащий в себе все от первичных измерительных преобразователей. Подсистема формирования и доставки сообщений в упрощенном виде выглядит примерно так: кодер-передатчик – линия связи – декодер приемник.

Затем в центральном диспетчерском пункте (ЦДП) за дело берется решающее устройство – электронно-вычислительная машина (ЭВМ). У нее есть соответствующее программное обеспечение, база данных и средство отображения информации (СОИ), например, дисплей. Часто уместна также звуковая сигнализация – на случай, если дела пошли не очень хорошо, к системе подключается какая-нибудь сирена.

Таким образом, современные технологии превращают телеизмерительную систему в информационно-измерительную.

Токовые телеизмерительные системы

В токовых ТИС (системы интенсивности) размер измерительной величины передается по проводящим линиям связи постоянным током (0–5 мА). Сигнал вырабатывается преобразователем или датчиком. Схема приведена на рис. 6.1.

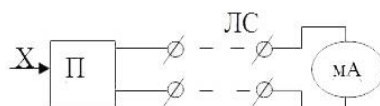


Рис. 6.1. Схема токовой телеизмерительной системы: X-сигнал; ЛС-линия связи; МА- миллиамперметр

Основной недостаток систем – значительные потери на передачу сигнала.

Частотные телеизмерительные системы

Значения измеряемых величин передают по линии связи частотой синусоидального тока или импульсов постоянного тока. Осуществляют по проводящим линиям связи. Возможна параллельная передача нескольких сообщений по линиям связи путем частотного изменения каналов связи.

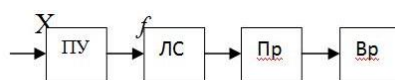


Рис. 6.2. Частотные телеизмерительные системы: X-измеряемый сигнал; ПУ – передаточное устройство; f_x – частота на выходе; ЛС – линия связи; Пр – приемник; Вр – выдача результата

Время-импульсные телеизмерительные системы

В них значение измеряемой величины передается по линиям длительных импульсов постоянного тока или интервалами между импульсами.

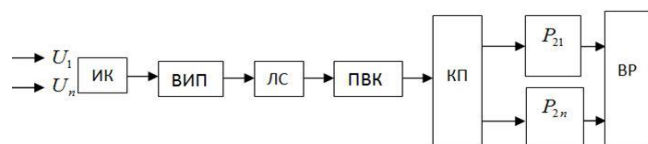


Рис. 6.3. Схема время-импульсной телеизмерительной системы

Эта схема имеет измерительный комплекс ИК и времяимпульсный преобразователь ВИП, то есть преобразователь напряжения $U_1 \div U_n$ во временной интервал. На принимающей стороне система содержит преобразователь временного интервала в код ПВК, кодовый переключатель КП, регистры $P_{2\tau} (P_{21} \div P_{2n})$, запоминающие коды каждого канала и узел выдачи результата ВР, который может быть единичным многоканальным блоком или представлять собой набор индикаторных средств выдачи информации (индикаторные регистры или индикаторы).

Эти ТИС относятся к системам дальнего действия (100–1000 км).

Цифровые телеизмерительные системы:

В кодоимпульсных системах значение измеряемой величины передается кодом в виде комбинации импульсов. Используют двоичный код, который на приемной стороне преобразуется в единично-десятичный код.

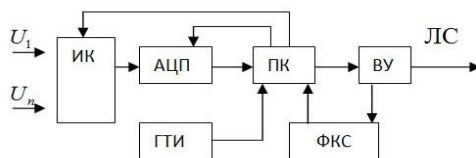


Рис. 6.4. Схема телеизмерительной системы: АЦП – аналого-цифровой преобразователь

Цифровые сигналы U_t от измерительных преобразователей поступают на входы ИК U_k , который подключает их к аналого-цифровому преобразователю АЦП. В большинстве случаев формируется параллельный код, который передается на преобразователь параллельного кода ПК, который управляет формированием символов ФКС, который предназначен для синтеза помехозащитного поля и переводит блок ИК в послезащитное положение, формирует синхросерию – код, который используется для цикловой синхронизации приемника. Частота опроса измерительных величин задается генератором тактовых импульсов ГТИ. Последний код от ПК и ФКС через выходное устройство ВУ поступает в линию связи, которая передает информацию на приемную часть. В них значение измеряемой величины передается по линиям длительных импульсов постоянного тока или интервалами между импульсами.

6.2. Классификация телеизмерительных систем

Под *системой* понимают любой объект, который одновременно рассматривается и как единое целое, и как объединенная в интересах достижения поставленных целей совокупность разнородных элементов. Сегодня создано большое число различных систем и они все отличаются между собой как по составу, так и по главным целям.

В табл. 6.1 приведены примеры нескольких систем, состоящих из разных элементов и направленных на реализацию разных целей.

Таблица 6.1

Система	Элементы системы	Главная цель системы
Фирма	Люди, оборудование, материалы, здания и др.	Производство товаров
Компьютер	Электронные и электромеханические элементы, линии связи и др.	Обработка данных
Телекоммуникационная система	Компьютеры, модемы, кабели, сетевое программное обеспечение и др.	Передача информации
Информационная система	Компьютеры, компьютерные сети, люди, информационное и программное обеспечение	Производство профессиональной информации

Понятие *система* широко распространено и имеет множество смысловых значений. Применительно к информационным системам чаще всего имеется в виду набор технических средств и программ. Системой может называться не только аппаратная часть компьютера. Системой может также считаться множество программ для решения конкретных прикладных задач, дополненных процедурами ведения документации и управления расчетами.

Информационная система имеет цель – производство профессиональной информации, связанной с определенной профессиональной деятельностью. Информационные системы обеспечивают сбор, хранение, обработку, поиск, выдачу информации, необходимой в процессе принятия решений задач из любой области. Их задача – помочь в анализе проблем и создавать новые продукты.

Информационная система – взаимосвязанная совокупность средств, методов и персонала, используемых для хранения, обработки и выдачи информации в интересах достижения поставленной цели.

Современное понимание информационной системы предполагает использование в качестве основного технического средства переработки информации персонального компьютера. В крупных организациях, наряду с персональным компьютером, в состав технической базы информационной системы может входить мэйнфрейм или суперЭВМ. Кроме того, техническое воплощение информационной системы само по себе ничего не будет значить, если не учтена роль человека, для которого предназначена производимая информация и без которого невозможно ее получение и представление.

Под *организацией* понимается сообщество людей, объединенных общими целями и использующих общие материальные и финансовые средства для производства материальных и информационных продуктов и услуг. В тексте на равноправных началах будут употребляться два слова: *организация* и *фирма*.

Очевидно, что существует различие между компьютерами и информационными системами. Компьютеры, оснащенные специализированными программными средствами, являются технической базой и инструментом для информационных систем. Обязательной компонентой любой информационной системы является персонал, взаимодействующий с компьютерами и телекоммуникациями. Среди множества факторов, определяющих совокупность свойств конкретной информационной системы, можно выделить три основных: технический уровень системы; характер обрабатываемой информации; целевые функции, то есть круг задач, для решения которых данная система предназначена. Перечисленные факторы определяют форму представления информации как в системе, так и для пользователя, характер процессов обработки

информации и взаимодействия системы с внешней средой, состав алгоритмического и программного обеспечения системы.

В ручных информационных системах все процессы обработки информации осуществляются вручную. Информационные массивы ручных систем имеют небольшой объем, данные хранятся на носителях различных типов. Для поиска информации в таких системах используются простые селективирующие приспособления. Фактически ручные информационные системы являются не системами, а устройствами, облегчающими поиск нужной информации по определенной совокупности признаков. Эти устройства дешевые, простые в обращении, для их эксплуатации не требуется высококвалифицированный обслуживающий персонал.

В механизированных информационных системах для обработки и поиска информации использовались различные средства механизации, среди которых наибольшее распространение получили счетно-перфорационные машины. Носителями информации в механизированных системах являлись перфокарты. В комплект технических средств такой механизированной системы входит набор перфорационных машин, каждая из которых выполняет определенные функции. С помощью перфоратора информация переносится с первичных документов на перфокарты. Перфокарты, имеющие общие признаки, раскладывают по отдельным группам сортировщик.

В автоматизированных и автоматических информационных системах для хранения, обработки и поиска информации используются компьютеры. Эти системы обладают широкими функциональными возможностями, а также способны хранить и обрабатывать очень большие массивы информации. Носители информации здесь – запоминающие устройства компьютеров.

Средства вычислительной техники в автоматических и автоматизированных информационных системах используются не только для хранения и поиска информации, но и для выполнения операций, связанных со сбором, подготовкой и передачей информации в компьютеры, а также с выдачей информации пользователю.

В функционировании автоматизированных информационных систем (АИС), являющихся наиболее распространенными, на различных этапах технологического процесса обработки информации принимает участие человек (при сборе информации и подготовке ее к вводу в компьютер, в процессе поиска). Человек является партнером АИС со стороны внешней среды, поэтому именно на него ориентирована выходная информация системы.

В автоматических информационных системах все процессы протекают без участия человека. Обычно автоматические системы используются в составе более крупных систем, например, в автоматизированных системах управления технологическими процессами и объектами. «Партнерами» автоматических систем являются роботы, станки с программным управлением, технологические процессы, производственные объекты и т. д. Входная информация в таких системах представляется в форме сигналов или каких-либо физических величин, выходная информация используется для управления и регулирования.

По характеру обрабатываемой информации системы делятся на *документальные и фактографические*.

В документальных системах объектами обработки, хранения и поиска являются определенные документы (книги, статьи, патенты и прочие информационные материалы). Обработка информации обычно сводится к поиску документов, нужных пользователю. В ответ на запрос, сформулированный пользователем, система выдает соответствующие документы или их копии. В документальных системах важное значение приобретают вопросы, связанные с оценкой содержания, смысла документа и запроса, с определением степени соответствия смысла (содержания) документа смыслу (содержанию) запроса. Для решения этих вопросов используются специальные способы организации информационных массивов и методы поиска, а также привлекаются различные логико-лингвистические средства.

Документы, хранимые в фондах документальных систем, представляют собой текстовую информацию. Для хранения массивов таких документов в компьютерах требуется большой объем памяти. Современные системы хранения информации используют различные носители информации, отличающиеся большой емкостью. В документальных АИС применяют специальные методы хранения информационных массивов, в которых кроме электронных копий документов, хранятся их адреса и атрибуты. Очень часто сами же документы или их копии хранятся в специальных хранилищах или на специальных машинных носителях большой емкости. Результатом машинного поиска является адрес документа, в соответствии с которым в хранилищах ищутся сами документы (или их электронные копии), выдаваемые пользователю.

В фактографических информационных системах хранимая и обрабатываемая информация представляет собой конкретные сведения, факты (параметры и характеристики объектов, сведения технико-экономического характера, социальная информация, результаты измерений, справочные и статистические данные). Часто эта информация носит оперативный характер, то есть регулярно обновляется и изменяется. В этом случае системы являются оперативными.

При создании фактографической системы важно изучить особенности объектов, сведения о которых хранятся в системе, и логические связи, существующие между объектами в реальном мире, которые определенным образом отображаются в структуре информационных массивов. В массивах фактографических ИС обычно осуществляется поиск сведений о конкретном объекте. Они выдаются пользователю или передаются прикладной программе для дальнейшей обработки.

Целевые функции определяются назначением данной информационной системы. В зависимости от них можно выделить системы информационно-справочные, управленческие, информационно-расчетные и информационно-логические. От функций, выполняемых системой, зависят форма выходной информации, алгоритмы процессов ее обработки, а также характер, форма и способ общения пользователя с системой.

В настоящее время создано и успешно функционирует большое число информационно-справочных систем различного назначения, которые предназначены для удовлетворения информационных запросов пользователей. Характерная особенность таких систем – информация, найденная в соответствии с запросом, не используется непосредственно в рамках этой же системы, а выдается пользователю, который использует полученную информацию для любых необходимых ему целей. Примером информационно-справочных систем могут служить системы автоматизированного резервирования мест в пассажирском железнодорожном транспорте и в аэрофлоте. Эти системы являются также типичным примером оперативных систем, так как практически каждое обращение в систему влечет за собой изменение текущего состояния информационного фонда (бронируются места, добавляются новые рейсы и т. п.).

В соответствии с запросом информационно-справочная система осуществляет поиск нужных сведений из числа тех, что хранятся в ее информационном фонде. Поиск – одна из основных операций в таких системах, поэтому они являются также информационно-поисковыми системами (ИПС).

Управленческие системы предназначены для решения различного рода управленческих и технико-экономических задач. Обычно эти системы функционируют в рамках АСУ предприятия, организации, отрасли (например, информационные системы больниц и автоматизированных складов, материально-технического снабжения и управления запасами, учета кадров и бухгалтерского учета и т. п.). Часто эти системы обслуживают отдельные службы и являются автономными, то есть располагают собственным информационным фондом, алгоритмическим и программным обеспечением.

Управленческие системы могут быть интегрированными, построенными по принципу банка данных. Такие системы обрабатывают общий поток информации, циркулирующий на предприятии, и призваны обеспечить ритмичное и плановое функционирование предприятия путем оптимального использования его ресурсов.

С помощью технических средств удается автоматизировать только информационные операции. Непосредственные функции принятия решений и другие управленческие операции выполняет человек. Поэтому управленческие системы, как правило, бывают ориентированы на выдачу различных справок и отчетных форм отдельным службам и руководству предприятия. Следовательно, управленческие системы выполняют одновременно и функции информационно-справочных систем. Запросы в этих системах носят обычно регулярный или регламентный характер. Реализуя эти запросы, ИС выдает определенный перечень справочных форм по результатам регулярной (ежедневной, еженедельной и т. п.) обработки информации о состоянии контролируемых процессов, а также обслуживает и другие типы запросов.

В информационно-расчетных системах хранящаяся информация используется для решения задач, связанных с различными расчетными операциями. К подобным задачам относятся статистический учет и анализ, прогнозы месторождений и погоды, диагностика (диагноз заболевания, установление причины неисправности оборудования или прибора). К информационно-расчетным можно отнести и ИС, функционирующие в рамках систем автоматизированного проектирования (САПР). Последние выполняют различные проектные расчеты, решают задачи оптимизации параметров элементов, схем, устройств в приборостроении и машиностроении, радиоэлектронике и судостроении.

Функции расчетных систем могут быть присущи и другим типам информационных систем. Например, в рамках документальной ИПС, функционирующей в библиотеке, наряду с поисковыми задачами могут решаться многие учетно-статистические задачи; фиксироваться сведения о движении книжного фонда, учитываться данные о контингенте читателей, готовиться материалы для отчетов и т. п.

Все рассматриваемые выше разновидности ИС обеспечивают пользователя необходимой информацией лишь из числа тех сведений и фактов, которые когда-либо были введены в систему и хранятся в ее информационных массивах.

Информационно-логические системы, в отличие от всех прочих, способны выдавать информацию, не введенную ранее в систему в непосредственном виде, а вырабатываемую на основании логического анализа, обобщения, переработки сведений, имеющихся в информационных массивах. Такие системы могут решать

научно-исследовательские задачи, заменяя в определенной степени труд специалиста-исследователя. Их иногда называют интеллектуальными системами, так как при их разработке используются положения теории искусственного интеллекта.

Во всех рассмотренных выше системах должны существовать развитые средства общения пользователей с системой, в том числе и пользователей – неспециалистов в области вычислительной техники. С помощью этих средств пользователь формулирует свои запросы, вводит их в систему, воспринимает информацию, выдаваемую ему системой.

В разных системах эта задача решается по-разному. В некоторых существует строго определенный перечень запросов, которые могут быть реализованы. Пользователь выбирает запрос, наиболее полно удовлетворяющий его требованиям, и указывает его системе. Такие системы называются системами с типовыми (стандартными) запросами.

Существенно большие возможности для пользователя предоставляют системы, реализующие произвольные запросы. Для их формулировки система должна располагать языком запросов, правилами их составления. Удобно общение пользователя с системой в форме диалога человека с машиной. При этом пользователь, знакомясь с получаемой информацией, имеет возможность корректировать свой запрос.

Необходимо отметить, что любая конкретная информационная система может характеризоваться совокупностью свойств, присущих отдельным выделенным видам систем. В то же время в зависимости от области применения информационных систем каждая система будет обладать своими особенностями.

6.3. Представление информации в информационных системах

Информационные системы отличаются от других естественных или искусственных (технических) систем тем, что в них присутствуют органы наблюдения или управления, органы связи, обеспечивающие процессы обращения информации, сигнальные формы отображения вещественных или энергетических явлений.

Строго говоря, информационные системы всегда накладываются на рабочие системы, но сами системы могут быть представлены либо техникой, либо людьми.

Например, информационная система старинного корабля, состоящая из людей (дозорные, сигнальщики, лоцманы), а современные корабли – из автоматических устройств передачи, обработки данных и управления, опирающихся на возможности ЭВМ.

Информация возникает тогда, когда устанавливаются некоторые общие свойства конкретных вещей и явлений.

Слово «информация» (с латинского) обозначает сообщение, осведомление о чем-либо. Однако такое переводческое толкование не может служить определением понятия «информация».

В литературе имеется множество ее толкований:

философское – информация, есть отражение реального мира;

узкое практическое, которым пользуются инженеры – информация есть все сведения, являющиеся объектом хранения, передачи и преобразования. Этим определением и будем пользоваться.

Понятие информации связано с некоторыми *моделями* реальных вещей, отражающими их сущность в той степени, в какой это необходимо для практических целей. Это согласуется и с философской концепцией отражения вещей друг в друге и в живых организмах. Таким образом, под информацией нужно понимать не сами предметы и процессы, а их существенные и представительные характеристики, выделенную сущность явлений материального мира. Под этим понимают не сами предметы и процессы, а их отражения или отображения в виде чисел, формул, описаний, чертежей, символов, образов и т. п. абстрактных характеристик.

Сама по себе информация может быть отнесена к области абстрактных категорий, подобных, например, математическим формулам. Однако проявляется она всегда в материальном – энергетической форме в виде *сигналов*.

Всякая производственная деятельность связана с переработкой и использованием материалов, энергии и информации.

В зависимости от этого развились и технические дисциплины, соответствующие технологиям, энергетике, информатике.

Однако при создании комплексов управления перед создателем стоит задача работать со знанием дела в каждой из этих областей, так как создание системы невозможно без знаний специфики управляемого физического или химического процесса, явления.

Считается, что теория информации, информационная техника не получила еще полного развития и существуют только отдельные ее ветви.

Так, по отношению к кибернетике, информационная наука и техника занимают подчиненное положение, так как они рассматривают чисто информационные процессы (сбор, передача, хранение т. д. данных), а кибернетика еще рассматривает объекты, цели, технологические процессы, оптимизацию управления, влияние обратных связей в этих явлениях и системах и т. д.

В ряде новых дисциплин (исследование операций, системотехника) информационная наука и техника занимает центральное место.

К информационной технике относятся средства, служащие для восприятия, подготовки, передачи, переработки, хранения и представления какой-либо информации, черпаемой от человека, природы, машины, вообще от какого-либо объекта наблюдения и управления.

Сигналы и информация

Сигналы характеризуют мир, его отражают.

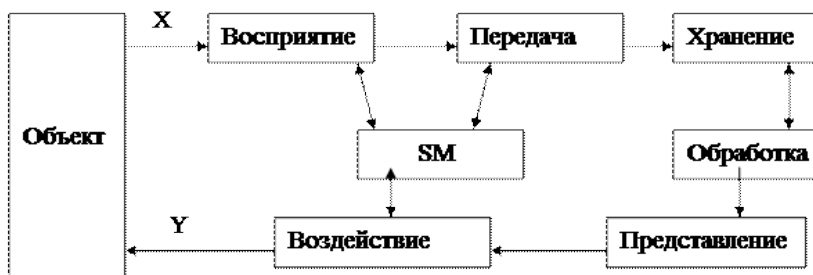


Рис. 6.5. Замкнутая информационная система

Сигнал является материальным носителем информации; весь цикл обращения, движения информации может быть разделен на несколько фаз (рис. 6.5).

I. *Восприятие* – состоит в том, чтобы, формируя образ объекта, произвести отделение полезной информации от шумов. На этой стадии уже необходимо общее представление об источнике полезного сигнала. Это позволяет определиться с теми параметрами сигнала, которые для нас наиболее важны и с тем их видом, формой, которые в дальнейшем позволяют осуществить передачу и обработку сигналов. Осуществляется это первичным преобразователем – датчиком.

В фазе восприятия могут быть выполнены операции: нормализация информации, квантование, кодирование, преобразование формы сигналов, модуляция и т. п.

II. *Передача информации* – перенос ее на расстояние посредством сигналов различной физической природы по каналам различной физической природы: акустический, гидравлический, электрический, оптический и т. д.

Необходимо подчеркнуть, что прием информации на конце канала передачи сигнала носит характер вторичного восприятия и в связи с этим требует повторного освобождения от шумов.

III. *Обработка информации* – заключается в решении задачи преобразования информации с целью выделения полезного объема данных для принятия решения согласно ситуации. Выполняется с помощью аналоговых, цифровых или комбинированных вычислительных устройств.

IV. *Хранение* – может быть промежуточным этапом как в начале, так и в конце процесса и операций обработки.

V. *Представление информации* – заключается в демонстрации результатов обработки, с целью контроля результатов человеком или участие его в принятии окончательного решения. Используются устройства, воздействующие на органы чувств человека.

VI. *Воздействие на объект* состоит в том, что сигналы, несущие информацию, производят регулирующие или защитные действия, вызывая изменения в самом объекте.

Объект наблюдения (управления) неисчерпаем благодаря огромному физическому многообразию сигналов, отображающих различные его состояния. Их подавляющая часть рассеивается и только небольшая часть, отвечающая потребностям и определяемая формой и языком представления, передается через систему в виде вектора X с целью выработки вектора Y воздействий, определяющих управление.

SM – это объект, осуществляющий супермониторинг. Это может быть мощный интеллектуальный руководитель, контролирующий и направляющий процесс (в частном случае ЭВМ).

Информация классифицируется по:

1. Области знаний (биологической, технической, экономической...).
2. Физической природе восприятия (зрительная, слуховая, тактильная)

3. Структурно-аналитическим свойства.
 4. Структурно-метрическим свойствам.
- Первое и второе не требует пояснений.

Структурно-аналитический метод классификации

В основе этого метода лежит подход, основанный на обобщенном анализе физического процесса как источника информации. В принципе все источники информации можно интерпретировать геометрическими образами.

Физическая система (рис. 6.6), являясь источником информации, не всегда может быть описана аналитическими выражениями, но используя подход, развитый в теоретической области, можно в физической системе выделить совокупность характеристик, правильно представляющих данные об объекте. Например, такая характеристика, как граница объекта – это геометрический образ, который, наряду с внутренней структурой, достаточно полно характеризует форму и часть его свойств. У физических объектов, их моделей и преобразователей информации много общего, основанного на геометрических образах.

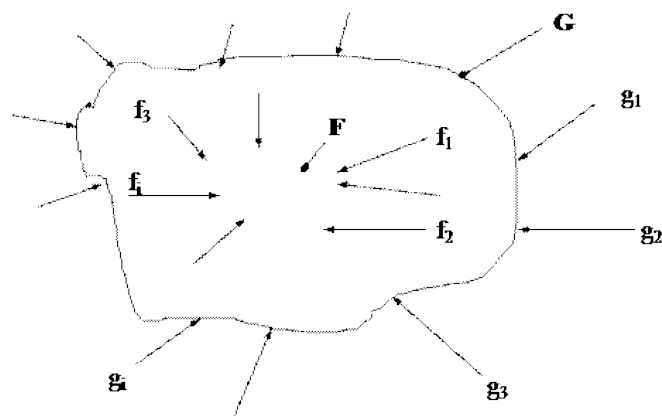


Рис. 6.6. Физическая система и ее информационные характеристики

Поэтому структурно-аналитический метод позволяет качественно сопоставлять различные физические процессы, их модели и преобразователи информации.

Например, структурно-аналитический метод позволяет ввести:

- единую качественную классификацию физических процессов, уравнений, описывающих их, и моделей;
- наглядно представить место классифицируемого объекта среди других на основе совокупности его характеристик.

Для описания особенностей объектов использована матричная форма представления характеристик.

Как было указано, у физического объекта может быть выделено две главные характеристики – граница и структура, то есть внутренняя область. Причем, в реальных условиях обе они могут находиться под воздействием различных факторов. В реальных условиях это, например, нагрев, разрушение структуры или ее образование (кристалла) и т. д.

Для аналитического представления (рис. 6.6) введем обозначения:

F – структура физической системы;

G – граница;

f – воздействие на структуру;

g – воздействие на границу;

Каждая из характеристик (F , f , G , g) может зависеть от различных аргументов, например:

t_0 – значение в начальный момент;

t – зависимость характеристик от времени;

j – зависимость от искомой функции.

Это можно записать в виде структурно-аналитического вектора (САН) – $(1, 1, 0)$, где «1» и «0» означает наличие или отсутствие зависимости от t_0 , t , j .

Используя такие векторы по каждой характеристике можно записать структурно-аналитическую матрицу (САН):

$$M=3 \begin{vmatrix} 100 \\ 110 \\ 110 \\ 100 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{matrix} G \\ g \\ F \\ f \end{matrix}$$

↓

$t_{\diamond} t \varphi$

Для более общего случая можно ввести зависимость от производных каждой из характеристик, и тогда САМ:

$$M=n \begin{vmatrix} t_{11}^{\diamond} & t_{12} & \varphi_{13} & \varphi_{14}^{\diamond} & \dots & \varphi_{1n}^{\diamond} \\ t_{21}^{\diamond} & t_{22} & \varphi_{23} & \varphi_{24}^{\diamond} & \dots & \varphi_{2n}^{\diamond} \\ t_{31}^{\diamond} & t_{32} & \varphi_{33} & \varphi_{34}^{\diamond} & \dots & \varphi_{3n}^{\diamond} \\ t_{41}^{\diamond} & t_{42} & \varphi_{43} & \varphi_{44}^{\diamond} & \dots & \varphi_{4n}^{\diamond} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n1}^{\diamond} & t_{n2} & \varphi_{n3} & \varphi_{n4}^{\diamond} & \dots & \varphi_{nn}^{\diamond} \end{vmatrix}$$

Данная структурно-аналитическая матрица представляет обобщенное описание физической системы, где цифра «3» обозначает трехмерный (объемный) физический объект. САМ, развитая в сторону увеличения зависимости от производной по t , более полно представляет динамику изменений в процессе. Коэффициент n перед матрицей указывает на размерность.

По подобной методике можно представить процесс, основываясь на математической модели, его описывающей. Это позволяет использовать аппарат САМ для установления возможностей реализации технического моделирования процесса, исходя из его аналитического описания.

Этот же подход легко переносится на устройства преобразования информации, которые по существу являются устройствами параметрического отражения физических характеристик объекта наблюдения, например, САМ для отображения:

$$M=2 \begin{vmatrix} 100 \\ 000 \\ 100 \\ 110 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{matrix} G \\ g \\ F \\ f \end{matrix}$$

↓

$t_{\diamond} t \varphi$

Эта САМ, описывающая плоский индикатор (например, дисплей телевизора), в котором границы не изменяются, а внутренняя структура изменяется. Вектор $f(1,1,0)$ показывает изменение частоты излучения на плоскости, то есть цвета соответствующего температуре тела.

Необходимо отметить, что используемые в настоящее время методы информационного анализа могут применяться как:

- 1) фиксирование характеристик поля (электрического, теплового, магнитного и т. п.);
- 2) фиксирование собственных характеристик вещества (плотности, концентрации, теплопроводности и т. п.);
- 3) фиксирование геометрических характеристик;
- 4) фиксирование физических характеристик, имеющих другую физическую природу, чем интересующее нас следствие (например, температура и связанная с ее изменением кристаллизация) и т. д.

Описание этих процессов и позволяет проводить структурно-аналитический метод.

Структурно-метрическая классификация

В основе этого подхода лежит анализ по форме представления сигналов.

Виды и формы представления информации

Виды информации	Обозначение	Формы представления информации			
		топологическая	параметры	абстрактная	лингвистическая
Событие	Φ^0	Точка	«0,1»	Суждение	Знак
Величина	Φ^1	Линия	Единица	Понятия	Буква
Функция	Φ^2	Функция (поверхность)	Площадь	Образ	Слово
Комплекс	Φ^3	Объем (тело)	Объем	Система	Предложение (фраза)
Поле	Φ^4	Пространство	Обобщенная метрика	Универсум	Фонд

Φ^0 – информация нулевого порядка, соответствует мощности точки;

Φ^1 – информация первого порядка, соответствует мощности линии;

Φ^2 – информация второго порядка, соответствует мощности функции, поверхности;

Φ^3 – информация третьего порядка, соответствует мощности объема, тела.

Таким образом, строение информации можно изменять, переходя от одного вида информации к другому.

Параметрической информацией чаще всего пользуются в науке и технике для выражения результатов измерения. Топологической информацией удобно выражать образы и ситуации, подлежащие распознаванию.

Абстрактную информацию применяют в исследованиях на высоком теоретическом уровне, когда нужны отвлечения, обобщения и символизация.

Представим геометрическими образами некоторые формы представления информации (рис. 6.7, а).

Событие А. Первичным и неделимым элементом информации является элементарное двоичное событие – выбор из утверждения или отрицания, истины или лжи, согласие или несогласие, наличие или отсутствие какого-либо явления. Примером могут служить сведения об импульсе или паузе в электрической цепи, выпуске годного или негодного изделия, достижении или недостижении измеряемой величиной одного определенного значения, о черном или белом элементах телевизионного изображения, наличия или отсутствия команды и т. д.

Двоичность события позволяет представлять его условно в геометрической символике точкой и пробелом ($\bullet$ и 0), в арифметической символике – единицей и нулем (1 и 0), в сигнальной символике – импульсом и паузой ($\underline{\quad}$ и $\frac{3}{4}$).

Событие является категорией нулевой меры, то есть не имеет геометрических измерений. Поэтому оно и не представимо.

Другие категории информации могут быть представлены как совокупность различных событий.

Величина Q (рис. 6.7, б) есть упорядоченное в одном измерении (по шкале значений) множество событий, причем каждое из них отвечает принятию величиной какого-либо одного значения. Величина может быть или дискретной, или непрерывной. В первом случае она представлена совокупностью дискретных значений в одном измерении, во втором – упорядоченной, непрерывной величиной.

Функция Q(t) (рис. 6.7, в) – это функция $Q(t)$, или в зависимости от S $Q(s)$ или от другой функции $Q_1 - Q_2(Q_1)$ есть соответствие между величиной и временем, пространством или другой величиной. В этом смысле функцию можно трактовать как двумерное поле событий.

Комплекс Q(t,s) (рис. 6.7, г) полный комплекс информации $Q(t,s)$ есть соответствие между величиной, с одной стороны, и временем и пространством – с другой. Таким образом, полный комплекс информации есть трехмерное поле событий.

Как указывалось, информация может быть представлена моделями с различной размерностью. Отвлекаясь от конкретного вида координат (параметр Q , время T , пространство S) и введя обобщенную координату информации Φ (табл. 6.3), получаем следующую классификацию:

$$\Phi^0, \Phi^1, \Phi^2, \Phi^3, \dots, \Phi^n,$$

где Φ^0 – нульмерная информация (событие); Φ^1 – одномерная информация (величина); Φ^2 – двумерная информация (функция); Φ^3 – трехмерная информация (комплекс); Φ^n – n -мерная информация (n – мерное пространство).

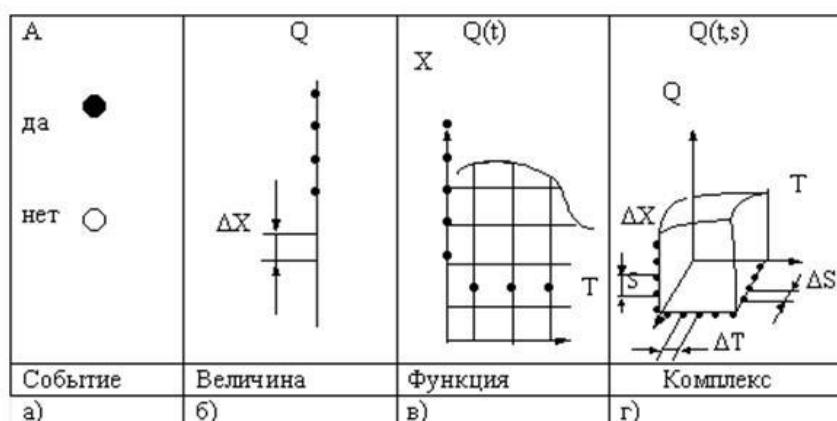


Рис. 6.7. Категории информации

Таблица 6.3

Структурные информационные формулы

События	События по времени
$\Phi^0(A) \Phi^1(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n)$	$\Phi^1(A, T) \Phi^2(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n, T)$
ПАРАМЕТРЫ	ПАРАМЕТРЫ ВО ВРЕМЕНИ
$\Phi^1(Q) \Phi^2(Q_1, Q_2) \Phi^3(Q_1, Q_2, Q_3) \dots \Phi^n(Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n)$	$\Phi^2(Q, T) \Phi^3(Q_1, Q_2, T) \Phi^4(Q_1, Q_2, Q_3, T) \dots \Phi^n(Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_{n-1}, T)$
ПРОСТРАНСТВО СОБЫТИЙ	ПРОСТРАНСТВО СОБЫТИЙ ВО ВРЕМЕНИ
$\Phi^1(S) \Phi^2(S_1, S_2) \Phi^3(S_1, S_2, S_3)$	$\Phi^2(S, T) \Phi^3(S_1, S_2, T) \Phi^4(S_1, S_2, S_3, T)$
ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОСТРАНСТВА	ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОСТРАНСТВА ВО ВРЕМЕНИ
$\Phi^2(Q, S) \Phi^3(Q, S_1, S_2) \Phi^4(Q, S_1, S_2, S_3)$	$\Phi^3(Q, S, T) \Phi^4(Q, S_1, S_2, T) \Phi^5(Q, S_1, S_2, S_3, T)$

Показатель степени указывает размерность или порядок информации. Наиболее часто встречающиеся на практике разновидности научной и технической информации могут быть выражены теперь структурными информационными формулами (табл. 6.4), которые отличаются тем, что в них указываются только размерность и компоненты информации, но не функциональные зависимости между компонентами.

Одна группа событий есть нульмерная относительно времени категория, так что совокупность пронумерованных подряд событий занимает одно измерение S . Время T само по себе не содержит информации.

Вторая группа формул в табл. 6.4 описывает представление каких-либо событий во времени. Множество событий во времени можно упорядочить относительно координат S и T в виде функций $S(T)$.

Чаще всего параметрическая информация сообщает о различных физических величинах, оцениваемых по индивидуальным шкалам измерения или приведенных к одной общей шкале. Эти физические величины будем называть параметрами. Информация об одной скалярной величине одномерна. Информация о функциональной зависимости между двумя величинами, например, $S_2 = f(S_1)$, занимает два измерения в координатах S_1 и S_2 . Более сложные соотношения между многими величинами представляются n -мерными категориями или образами. Информация об изменении параметров во времени занимает от двух до n измерений в зависимости от количества отдельных параметров.

Геометрические пространства (линия, плоскость, объем) представляют собой информационные категории только в тех случаях, когда они определяют местоположение событий. Пространства, отнесенные к определенному времени, также имеют информационный смысл только в связи с описанием некоторых событий, например, появления или перемещения поездов на линии, кораблей в море, самолетов в воздухе или обнаружения дефектов в проволоке, листовом материале, слитке стали. Координата S представляет событие на линии; S_1 и S_2 являются координатами плоскости; S_1, S_2 и S_3 характеризуют объем.

Параметрические пространства могут содержать информацию о распределении некоторых параметров по линии, плоскости и объему. К ним относятся, в частности, одномерные, двумерные и трехмерные физические поля или производственные комплексы, в которых точки контроля описаны столбцом, плоской матрицей или объемным макетом.

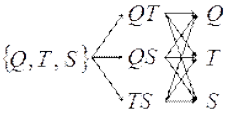
Параметрические пространства, отнесенные к определенному времени, могут содержать информацию об изменении множества величин, упорядоченных относительно одной (S_1), двух (S_1, S_2) или трех

(S_1 , S_2 и S_3) пространственных координат и приведенных к одной общей унифицированной шкале измерения. Примером может служить изменение физических полей во времени.

Информация может претерпевать ряд преобразований. Их последовательность может быть неодинаковой в различных информационных системах. Получаемые в процессе преобразований структуры имеют абстрактный характер и не соответствуют строго тем или иным этапам обработки информации в технических средствах информационных систем.

Таблица 6.4

Символическое описание нормализованной информации

Обозначение	Структура	Характеристика структуры
$\{Q\} \{T\} \{S\}$	Натуральная	Первоначальная структура информации
$M, D, L [\{Q\} \{T\} \{S\}]$	Нормализованная	Приведена к единому масштабу, диапазону и началу отсчета
$\{Q, T, S\}$	Комплексированная	Приведена к единым координатам, времени и параметру
	Декомпанированная (операция декомплексирования) – декомпозиция	Преобразованы числа измерений, структура и расположение
$GA \{Q, T, S\}$	Генерализованная	Устранена избыточность, выделена существенная часть по условию A
Q^*, T^*, S^*	Дискретная	Квантованная по любому из элементов структуры
q_A, q_T, q_S	Безразмерная	Дискретные отсчеты приведены к безразмерной форме
A_Q, A_T, A_S	Кодирование	Цифровая форма информации

Натуральная информация отражает реальное существование объектов. Она имеет аналоговую форму, засорена шумами, неоптимальна по диапазонам и началам отсчетов значения. Эти ограничения обусловлены непосредственно физическими свойствами наблюдаемого объекта. Натуральную информацию можно условно представить как совокупность величин Q , моментов времени T и точек пространства S в виде множеств $\{Q\}$, $\{T\}$ и $\{S\}$.

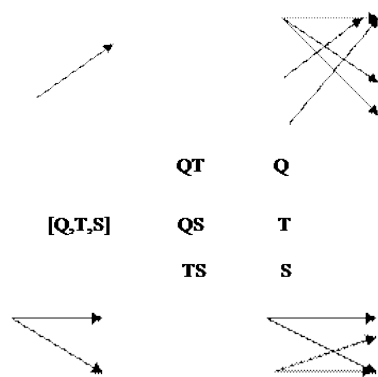
Нормализованная информация отличается от натуральной тем, что в ней каждое множество $\{Q\}$, $\{T\}$, $\{S\}$ уже приведено к одному масштабу, диапазону, началу отсчета и другим общим унифицированным характеристикам. Нормализованную информацию можно трактовать как результат воздействий на натуральную информацию операторов: масштабного M , диапазонного D и локализационного L .

Символическое описание нормализованной информации представлено в табл. 6.4. Комплексированная информация образуется в результате приведения всей информации к полному комплексу, то есть к трехмерной системе QST , где Q – обобщенная координата значений параметров или унифицированная шкала каких-либо оценок; T – обобщенная координата времени; S – обобщенная координата пространства источников информации. Комплексированная информация представляет собой связанное и координированное множество $\{Q, S, T\}$. Изменение количества измерений структуры и расположения элементов в информационных комплексах приводит к форме декомпонированной информации. Особенно часто применяют два вида декомпозиции:

1) приведение физического пространства трех измерений (объема) физических полей, объемных факторов, многомерных систем датчиков, векторных и комплексных величин к пространствам двух и одного измерений;

2) приведение полного комплекса информации QST к любой плоскости QT , QS , ST или оси Q , S , T -координат измерений.

Декомпонированная информация декоррелирована, в ней нарушены или удалены связи между отдельными элементами информации. Таким образом, структурная формула декомпозиции представлена как:



В генерализованной информации исключены второстепенные ее части, данные обобщены и укрупнены. Генерализация может охватывать как номенклатуру параметров, так и моменты времени, диапазоны измерения и степень подробности из отображения.

Формула $G_A \{Q, T, S\}$ показывает, что производится генерализация G по алгоритму A комплекса $\{Q, T, S\}$.

Дискретная (квантованная) информация совпадает с исходной непрерывной по физической размерности, отличаясь от нее лишь прерывным характером. Дискредитация может быть осуществлена по осям Q , T и S параметрического комплекса. Дискретная информация удобна для расчетов и экономична в реализациях. Дискретизация может быть равномерной или неравномерной, производится по постоянному или изменяющемуся во времени закону. Оптимальные интервалы дискретизации определяются на основании теории дискретных отсчетов.

Безразмерная информация отличается универсальной числовой формой. Число, отображающее безразмерную информацию, соответствует количеству информационных элементов (квантов) и получается в результате дискретизации информационного комплекса, то есть равно отношению любой координаты к ее интервалу дискретности:

$$q_Q = \frac{Q}{\Delta Q}; q_T = \frac{T}{\Delta T}; q_S = \frac{S}{\Delta S}.$$

Кодированная информация несет форму совокупности чисел, или цифровую форму, основанную на применении какой-либо системы счисления или кодирования.

Из бесконечного множества физических процессов, протекающих в объектах наблюдения или управления, выделяются сигналы, формирующие первичную информацию (рис. 6.8).

Первой фазой является структурное устранение избыточности.

Вторая фаза состоит в том, чтобы устранить статистическую избыточность путем учета вероятностных характеристик информации.

Третья фаза заключается в том, что выделяется смысловое содержание, то есть осуществляется семантическое обогащение информации.

Далее может последовать фаза формирования решений и воздействий, после которой выдаются единичные командные сигналы.

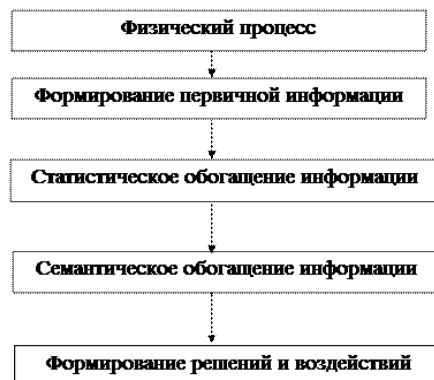


Рис. 6.8. Этапы устранения избыточности информации

Перечисленные выше этапы устранения избыточности показаны в виде пирамиды потоков информации с последовательным уменьшением их плотности.

6.4. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи

Для введения в ЭВМ сигналов от аналоговых датчиков чаще всего используются *аналого-цифровые преобразователи (АЦП)*.

Существует несколько способов аналого-цифрового преобразования, но самые распространенные среди них два: метод с интегрированием и метод последовательных сравнений.

Продолжительность преобразования аналогового сигнала в восьмиразрядный код методом с интегрированием обычно составляет 1–20 мс, а методом последовательных сравнений 10–30 мкс.

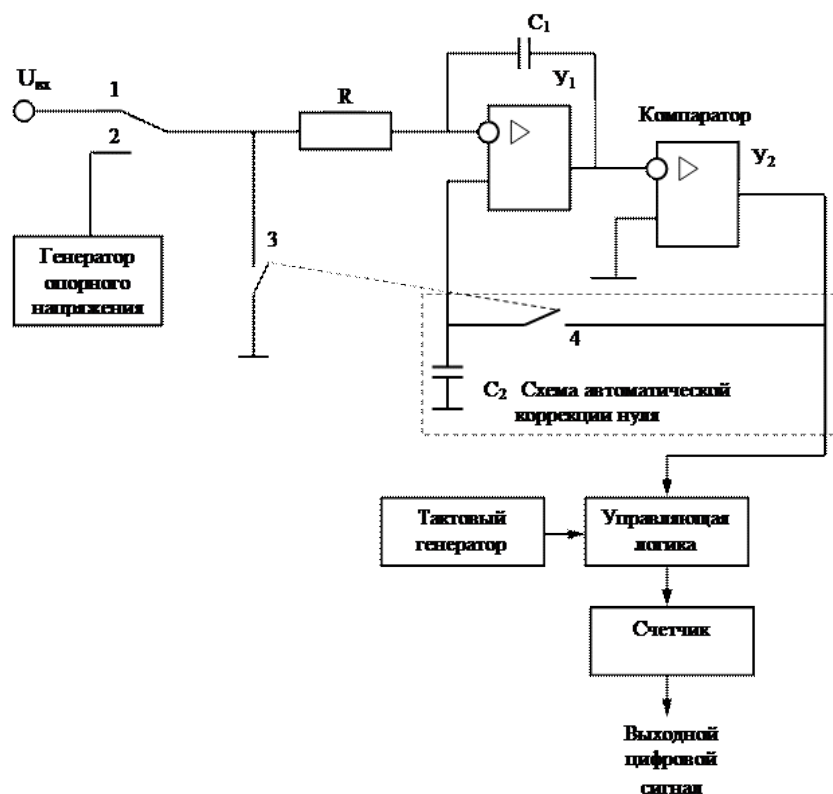
Основные критерии для выбора необходимого АЦП – время преобразования, точность и стоимость преобразователя. Преобразователи, работающие по методу с интегрированием, имеют малую стоимость и превосходную точность, но отличаются относительно большой продолжительностью преобразования. Метод последовательных сравнений обеспечивает высокую скорость преобразования, но стоимость преобразователей, работающих по этому принципу, резко растет по мере увеличения необходимой точности преобразования.

АЦП с интегрированием

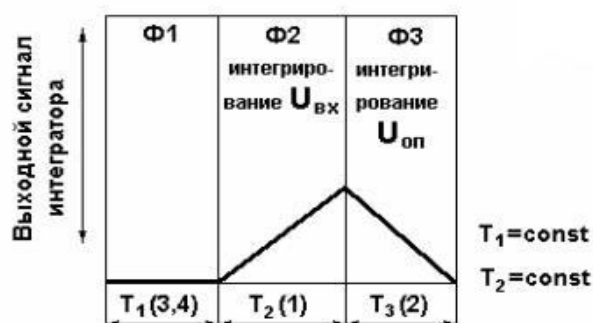
При аналогово-цифровом преобразовании с интегрированием могут использоваться несколько вариантов: с одним, двумя и более наклонами интегрирования. Наиболее широко используется метод с двумя наклонами интегрирования (с двойным интегрированием) (рис. 6.9, *а*). Схема такого преобразователя содержит интегратор на основе усилителя U_1 с цепью RC_1 и компаратор на усилителе U_2 . Такой преобразователь имеет хорошую линейность характеристики, малые шумы и низкую стоимость. Его рабочий цикл содержит три периода (рис. 6.9, *б*): коррекция нуля ($\Phi 1$), интегрирование входного сигнала ($\Phi 2$) и интегрирование опорного напряжения ($\Phi 3$).

Сначала, в течении периода $\Phi 1$ производится автоматическая коррекция сигнала ошибки путем регулировки напряжения смещения. При этом вход преобразователя замыкается на корпус, организуется петля обратной связи и информация об ошибке запоминается на конденсаторе C_2 . В следующем периоде $\Phi 2$ производится интегрирование входного сигнала и одновременно отсчет некоторого постоянного числа тактовых импульсов. В конце этого периода на выходе интегратора получается напряжение, пропорциональное значению входного сигнала. В последнем периоде $\Phi 3$ на вход интегратора вместо исходного сигнала подается опорное напряжение противоположной полярности. Одновременно производится счет тактовых импульсов, и так вплоть до выравнивания напряжения с уровнем сравнения компаратора. Цифровой эквивалент входного сигнала определяется следующим образом. Если T_2 – длительность первого интервала интегрирования (период $\Phi 2$), а T_3 – длительность второго интервала интегрирования (период $\Phi 3$), измеряемые путем подсчета тактовых импульсов, то цифровое значение входного сигнала (6.1):

$$U_{ax} = \frac{T_3}{T_2} U_{on}. \quad (6.1)$$



а)



б)

Рис. 6.9. АЦП с двойным интегрированием: а) схема; б) временная диаграмма

При способе преобразования с двойным интегрированием точность преобразования не зависит от емкости конденсатора и частоты тактового генератора при условии их стабильности в течение короткого периода интегрирования, а обусловлено лишь стабильностью опорного напряжения. Еще одним достоинством этого способа является чрезвычайно низкий уровень шумов. Недостаток метода: сравнительно большая продолжительность преобразования.

АЦП с преобразованием измеряемой величины в кодируемый временной интервал

В рассматриваемых АЦП измеряемая величина представляется различными видами модуляции (широтно-, частотно-, фазо-импульсной), а также двойным интегрированием преобразуется в эквивалентный временной интервал (ВИ), который в этих АЦП кодируется счетно-импульсным методом. Преимуществом таких АЦП является простота схемной реализации, а недостатком – ограниченное быстродействие. Для удержания в допустимых пределах погрешности квантования по уровню с увеличением частоты преобразования необходимо увеличивать частоту счетных импульсов, используемых для кодирования, формируемого ВИ. Так, при длительности ВИ, равной 2 мкс и допустимой погрешности квантования по уровню 0,1 %, частота счетных импульсов должна быть не менее 500 МГц, хотя частота аналого-цифрового преобразования не превысит в этом случае 500 кГц. Однако увеличивать частоту счетных импульсов

можно лишь до определенного предела, ограничиваемого конечной длительностью этих импульсов и частотным разрешением счетчика.

При использовании для преобразования широтно-импульсной модуляции измеряемая величина сравнивается с опорным линейно изменяющимся напряжением. Временной интервал, формируемый от момента начала сравнения до момента уравнивания (эти моменты времени фиксируются компараторами), при постоянстве крутизны опорного напряжения пропорционален значению измеряемой величины.

Широкое распространение в ИИС получили интегрирующие АЦП. Характерным для них является высокая точность (погрешность составляет сотые и тысячные доли процента). Она достигается усреднением отсчетов, подавлением помех и автоматической коррекцией нелинейности характеристики. Практический пример схемы АЦП с двойным интегрированием приведен на рис. 6.10. В первом такте за опорный ВИ $T_{оп}$ интегрируется измеряемое напряжение U_x (интегрирование «вверх»), и на выходе интегратора фиксируется напряжение (6.2):

$$u_A = \frac{1}{RC} \int_0^{T_{оп}} u_x dt = \frac{u_x}{RC} T_{оп}. \quad (6.2)$$

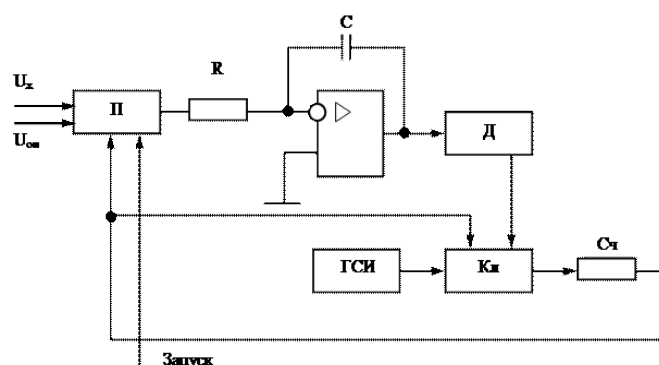


Рис. 6.10. Схема интегрирующего АЦП

Интервал $T_{оп}$ образуется текущим тактовым импульсом запуска и сигналом переполнения счетчика Сч. С появлением тактового импульса переключатель П ко входу интегратора подключает измеряемое напряжение, а ключ К1 в цепи генератора счетных импульсов ГСИ деблокируется. Импульс переполнения счетчика воздействует на переключатель, который подключает ко входу интегратора вместо U_x опорное напряжение $U_{оп}$, и начинается второй такт интегрирования («вниз»). Счетчик после переполнения обнуляется и вновь начинает подсчет импульсов. В течение второго такта выходное напряжение интегратора уменьшается по линейному закону до нуля (момент фиксируется дискриминатором Д) в соответствии с уравнением (6.3):

$$U_A = \frac{U_x}{RC} T_{оп} - \frac{1}{RC} \int_0^{T_x} U_{оп} dt = \frac{U_x}{RC} T_{оп} - \frac{U_{оп}}{RC} T_x. \quad (6.3)$$

Формируемый во втором такте временной интервал определяется выражением $T_x = U_x T_{оп} / U_{оп} \sim U_x$, так как $U_{оп}$ и $T_{оп}$ – постоянные величины. При этом в счетчике фиксируется цифровой эквивалент значения измеряемой величины.

Интегрирующие АЦП измеряют не мгновенное, а среднее за опорный ВИ напряжение. Они имеют повышенную помехозащищенность и чувствительность, близкую к теоретическому пределу. Эти АЦП используют для кодирования низкочастотных сигналов, так как их время преобразования составляет 1÷100 мс. Типовые применения таких АЦП – это кодирование сигналов термопар, резистивных ПИП температуры, хроматографов, тензодатчиков, датчиков рН и фотоприемников. Они позволяют также воспроизводить ряд нелинейных функций соответствующим изменением опорного напряжения или постоянной времени интегратора. В настоящее время ряд фирм выпускает однокристальные БИС АЦП с двухтактным интегрированием. По-видимому, наивысшую точность среди АЦП по схеме с традиционным двухтактным интегрированием обеспечивает 22-разрядная модель AD 1175 фирмы Analog Devices. Интегральная нелинейность этого АЦП относительно предела преобразования составляет 10^{-6} , а дифференциальная нелинейность не выходит за пределы $\pm 1/2$ младшего разряда кода при 20 отсчетах в секунду.

Наличие переключателя опорного и измеряемого напряжений на входе интегратора сопряжено с необходимостью тщательной развязки и взаимной изоляции их источников, поскольку иначе не добиться высокой точности. Возможна реализация АЦП с многократным непрерывным интегрированием без использования такого переключателя. Конденсатор интегратора циклически заряжается и разряжается алгебраической суммой двух токов: тока I_x , пропорционального измеряемому напряжению, и опорного тока $I_{оп}$. В первом цикле интегрирования (период T_1 заряда) токи складываются, а во втором цикле (период T_2 разряда) $I_{оп}$ вычитается из I_x вследствие изменения направления опорного тока. В отсутствие измеряемого напряжения интервалы интегрирования равны, то есть $T_1 = T_2$, и на выходе интегратора периодически образуется треугольное напряжение симметричной формы с частотой (6.4):

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} = 500 \text{ Гц.} \quad (6.4)$$

Если измеряемое напряжение не равно нулю, то соотношение интервалов T_1 и T_2 , пропорциональных U_x , изменяется: при $U_x > 0$ $T_1 < T_2$, а при $U_x < 0$ $T_1 > T_2$. Треугольное напряжение генерируется непрерывно вследствие работы схемы в режиме самовозбуждения под воздействием положительной обратной связи. В этом отношении АЦП напоминает самовозбуждающийся мультивибратор. Выходное напряжение интегратора сравнивается в компараторе с двумя порогами: верхним и нижним. Сигналы компаратора переключают триггер, управляющий источником опорного тока. При этом попеременно (в соответствии с циклом разряда или заряда интегратора) формируется опорный ток того или иного знака, непрерывно поступающий совместно с током I_x на вход интегратора. Одновременно триггер управляет счетчиком, на вход которого поступают тактовые импульсы частотой 20 МГц. В конце каждого из интервалов интегрирования содержимое счетчика переписывается в выходной регистр, и начинается новый отсчет. Частью АЦП является микроконтроллер. В зависимости от требуемой разрешающей способности контроллер считывает и усредняет отсчеты двух или более интервалов интегрирования в обоих направлениях. Для получения разрешающей способности, соответствующей 24 разрядам, усредняются 512 интервалов, тогда как для 16 разрядов требуется всего 2 интервала.

Для минимизации наводок от сети переменного тока время интегрирования при заряде обычно выбирают равным или кратным периоду сетевого напряжения. В рассматриваемом АЦП это время переменное. Поэтому микроконтроллер вычитает из каждого отсчета некоторое число, чтобы нормализовать время интегрирования в зависимости от частоты сетевого напряжения. При частоте в сети 50 Гц частота преобразования составляет 200 и 0,9 Гц для 16 и 24 разрядов соответственно. Интегральная нелинейность при 24 разрядах не превышает $2 \cdot 10^{-6}$.

АЦП двоичного поразрядного уравнивания

Благодаря простоте и регулярности структуры АЦП поразрядного двоичного уравнивания в интегральном исполнении пока находят более широкое применение в сравнении с АЦП других принципов действия. Поэтому при определении элементов минимизированного типажа АЦП исходное множество преобразователей может включать также АЦП двоичного уравнивания на элементной базе различного быстродействия (в таком АЦП скорость преобразования уменьшается пропорционально числу разрядов). При этом анализе необходимо учитывать метрологические характеристики АЦП, в частности, полный диапазон изменения измеряемой величины. Расширение диапазона значений измеряемых сигналов без снижения быстродействия АЦП можно осуществить параллельным кодированием масштабно преобразованных значений этих сигналов. Схема такого АЦП приведена на рис. 6.11.

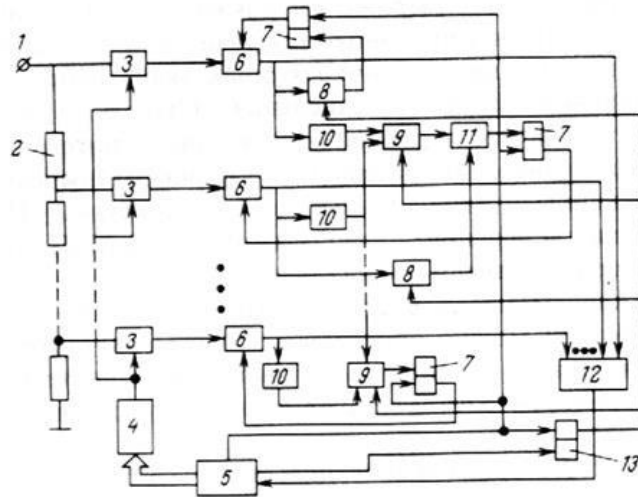


Рис. 6.11. Схема многопредельного АЦП двоичного поразрядного уравнивания

Число ступеней масштабного делителя 2 измеряемой величины выбирают в соответствии с требуемым количеством поддиапазонов (пределов) измерений исходя из того, что максимальное значение регулируемой меры (ЦАП 4) равно младшему пределу измеряемой величины.

Компараторы 3 с выходными ключами 6 образуют каналы сравнения от первого, младшего предела (компаратор этого канала подсоединен непосредственно ко входу 1 измеряемой величины) до k -ого, наибольшего старшего предела (компаратор этого канала подсоединен к выходу окончательной ступени делителя). По начальным сигналам блока управления 5 триггеры 7 и триггер 13 переключаются в положение, при котором оказываются деблокированными все ключи 6 и элементы И 8–9, а ЦАП 4 переключается в положение, при котором на его выходе устанавливается максимальное значение напряжения. Оно параллельно сравнивается во всех компараторах с масштабно-преобразованными значениями измеряемой величины.

Допустим, что если напряжение на измерительном входе компаратора превышает напряжение на его опорном входе или равно ему, то на выходе компаратора появляется единичный сигнал. В противном случае выходной сигнал компаратора оказывается нулевым.

Если измеряемая величина не превышает установленного максимального значения ЦАП (не превышает первого предела измерений), то на выходе всех компараторов и соответствующих ключей сигналы будут нулевыми. Эти нулевые сигналы в каждой соседней паре каналов инвертируются элементами НЕ 10 и при этом на выходе каждого из элементов И 9 появляется единичный сигнал, по которому в каждом канале, начиная с $(i + 1)$ -го (кроме первого $i = 1, k$), блокируется ключ.

Когда измеряемая величина в i -м канале превышает максимальное напряжение ЦАП, единичный сигнал компаратора этого канала передается через соответствующий элемент И 8 и ИЛИ 11 и переключает подсоединенный к этому элементу триггер 7, с изменением выходного сигнала которого блокируется ключ 6 этого триггера.

Если измеряемая величина превышает опорное напряжение компараторов только первых p каналов, то аналогичным образом блокируются ключи этих p каналов и ключи каналов от $p + 2$ -го до k го, а ключ $p + 1$ -го канала остается деблокированным. Тем самым в последующем обеспечивается уравнивание масштабно-преобразованной величины, не превышающей $p + 1$ -го предела измерений.

С задержкой во времени, необходимой для выбора канала сравнения в соответствии с требуемым пределом измерения, блок управления переключает триггер 13, изменение выходного сигнала которого приводит к блокировке всех элементов И 8, 9. Тем самым в процессе поразрядного уравнивания исключается воздействие выходных сигналов компараторов заблокированных каналов на состояния ключей 6, установленные при выборе предела.

Одновременно с переключением триггера 13 блок управления устанавливает требуемое напряжение ЦАП, равное половине младшего поддиапазона, и начинается обычный процесс поразрядного уравнивания измеряемой величины известным образом. Выходные сигналы компаратора выбранного канала передаются в блок управления через элемент ИЛИ 12.

После завершения уравнивания и считывания кода из регистра ЦАП цикл преобразования повторяется. Код масштаба преобразования отображается состоянием триггеров 7. Выбор предела и формирование этого кода выполняются в такте переключения АЦП в исходное состояние, то есть практически без дополнительных затрат времени по сравнению с однопредельным АЦП.

До недавнего времени АЦП двоичного поразрядного уравнивания (традиционной схемы) выпускались только в гибридном исполнении. При использовании блоков выборки/хранения их разрядность составляет от 12 до 14 бит, а быстродействие – от единиц мегагерц до сотен килогерц соответственно. На сегодня освоено производство интегральных 14÷18 – разрядных АЦП, содержащих блок выборки/хранения.

Задача *цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП)* – преобразование двоичного кода в выходное напряжение, пропорциональное весовым коэффициентам разрядов двоичной системы счисления (8, 4, 2, 1). Наиболее простая схема ЦАП представляет собой взвешивающую резистивную матрицу из сопротивлений $R, 2R, \dots$ (рис. 6.12, а), в которой сумма токов $\sum I$, протекающих через резистор R_0 , пропорциональна весовым коэффициентам двоичных разрядов, а выходное напряжение $U_{\text{вых}} = \sum IR_0$ при $R_0 \ll R$ пропорционально двоичному числу.

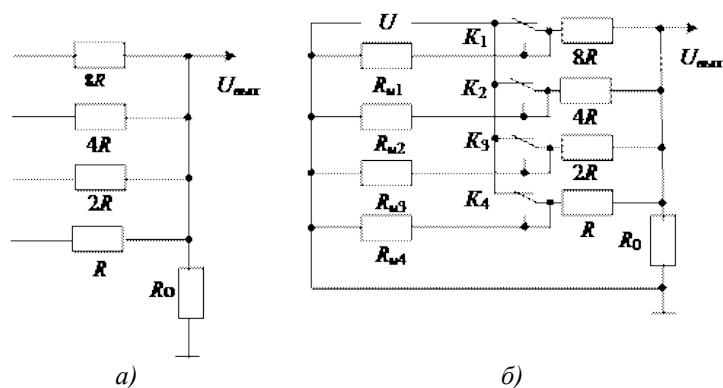


Рис. 6.12. Пассивные цепи ЦАП

Условие $R_0 \ll R$ должно выполняться в тех случаях, когда источники выходных сигналов имеют заметное внутреннее сопротивление $R_{u1}, R_{u2}, \dots$ (для идеальных источников с $R_u=0$, R_0 может быть бесконечно большим). В качестве входных источников в ЦАП используют формирующие ключи $K_1, K_2, \dots$ (рис. 6.13, б), которые обеспечивают стабильные уровни напряжений логической 1, равные опорному напряжению U . При $R_0 \ll R$ единичные приращения $U_{\text{вых}}$ могут оказаться соизмеримыми с уровнем шумов.

Для увеличения выходного сигнала можно использовать операционный усилитель с отрицательной обратной связью через резистор R_{OC} (рис. 6.13, а).

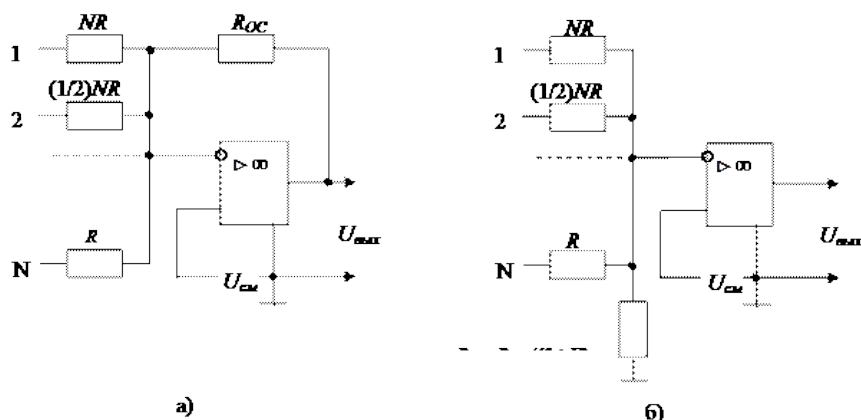


Рис. 6.13. Схема активных ЦАП

Схему с ОС нетрудно преобразовать в схему без обратной связи (рис. 6.13, б) с вносимым сопротивлением, определяемым формулой:

$$R_{\text{вн}} = \frac{R}{1 + K}, \quad (6.5)$$

где K – коэффициент усиления ОУ.

В такой схеме $R_{\text{вн}}$ выполняют функции резистора R_0 (рис.6.13) и позволяет обеспечить условие $R_0 \ll R$. Так, при $R_{\text{OC}} = 10^4$ Ом и $K = 10^5$ Ом уровень выходного напряжения равен:

$$U_{\text{вых}} = \sum I R_{\text{вн}} K = \sum I \frac{R_{\text{OC}} K}{1 + K} = \sum I R_{\text{OC}}. \quad (6.6)$$

Недостаток схем ЦАП с ОУ – сравнительно невысокое быстродействие, которое определяется частотными параметрами ОУ.

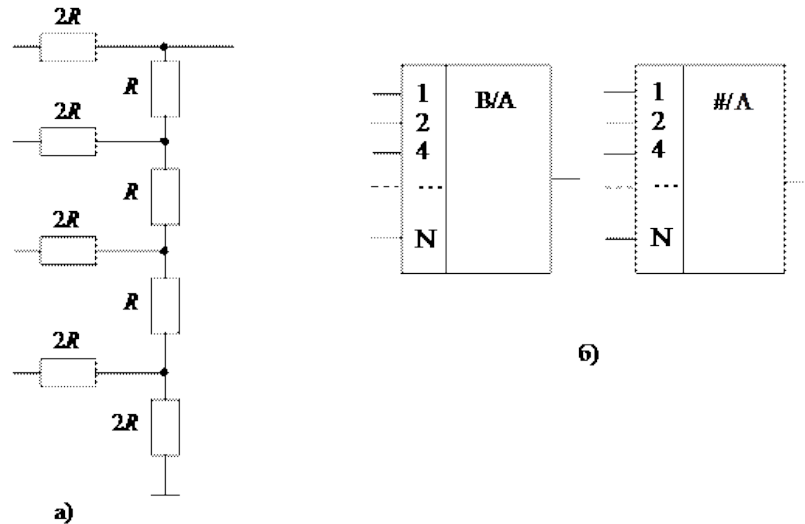


Рис. 6.14. Матрица резисторов для ЦАП и обозначение ЦАП

Общий недостаток ЦАП со взвешивающими резистивными матрицами проявляется при большом числе двоичных разрядов ($n = 8 \dots 12$) из-за большого различия сопротивлений взвешивающих резисторов (в 2^n раз), которые трудно реализовать в интегральном исполнении. Для преодоления этого недостатка используют отдельные взвешивающие матрицы для младших, средних и старших разрядов двоичного кода с дополнительным пропорциональным делением выходных напряжений матриц не старших разрядов или резистивные матрицы типа R - $2R$ (рис. 6.14, а).

Общее графическое обозначение ЦАП (рис. 6.14, б) показывает характер преобразования: В или # – двоичный код, А или L – аналоговая информация.

6.5. Системы передачи данных

В нашей стране большая часть средств электросвязи объединяется в Единую автоматизированную сеть связи (ЕАСС). В рамках ЕАСС выделена из общей сети совокупность линий передачи (каналов связи), а также называемые сетевые узлы и сетевые станции, образующие сеть каналов связи (рис. 6.15). Эта сеть, являющаяся своеобразным «скелетом» общей сети, получила название **первичной сети**. Первичная сеть по территориальному признаку подразделяется на магистральную, внутризоновую и местные первичные сети.

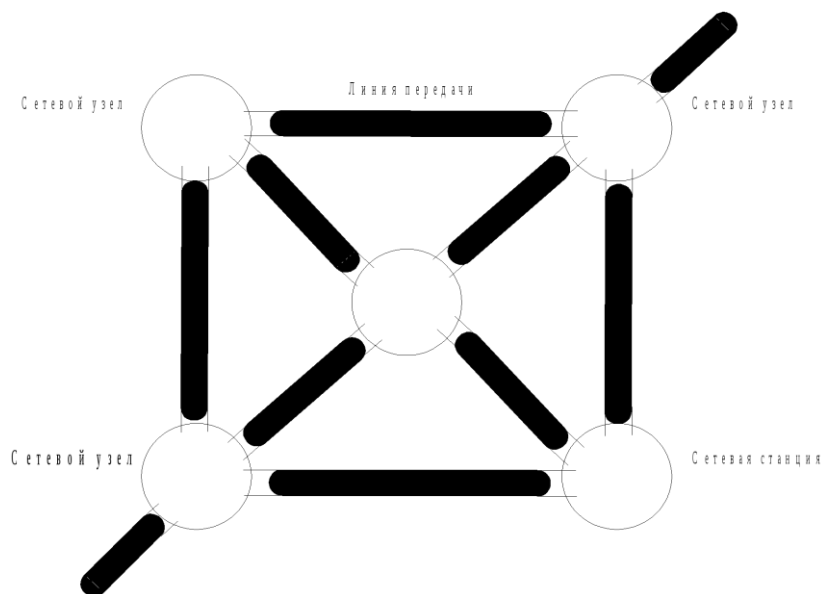


Рис. 6.15. Первичная сеть связи

Магистральная сеть соединяет каналами различных типов все областные и республиканские центры.

Внутризоновая сеть соединяет различными каналами районные центры, области, края друг с другом и с областным центром.

Местная сеть ограничена территорией города или сельского района.

Таким образом, первичная сеть страны имеет трехъярусную структуру.

Каналы первичной сети служат базой для построения **вторичных сетей**, которые делятся по виду передаваемой информации (телефонная сеть, телеграфная сеть, сеть передачи данных и т. д.).

Назначением конкретной вторичной сети электросвязи является доставка информации определенного вида. Из определения первичной сети следует, что она обеспечивает связь только между определенными узлами. При этом магистрали прокладываются далеко не между всеми узлами первичной сети. Поэтому для образования путей передачи информации на любой из узлов сети необходимо осуществить соединения между каналами (или группами каналов) различных магистралей, оканчивающихся на одном и том же узле. Если на всех узлах первичной сети или некоторых из них установить **кроссовые соединения**, то на базе первичной сети будет создана **вторичная некоммутируемая сеть**. В узлы некоммутируемой сети могут включаться абонентские линии, которые соединяются с каналами сети с помощью кроссовых соединений. Примером такой абонентской линии может служить линия от ЭВМ или ВЦ.

Однако в большинстве случаев каналы вторичных сетей являются коллективными для всех или группы абонентов, включенных в данный узел. На узле в этом случае устанавливаются средства коммутации, обеспечивающие подключение абонентской линии к соответствующему каналу лишь на время передачи информации. Таким образом, образуется **вторичная коммутируемая сеть**, а узел становится **узлом коммутации**.

Вторичные коммутируемые сети подразделяются по способу коммутации на сети с коммутацией каналов, сообщений и пакетов. При этом такие вторичные сети, как телефонные и факсимильные чаще строятся на основе использования способа коммутации. При этом при передаче данных могут использоваться и все три способа коммутации: каналы, сообщения и пакеты.

В современных сетях связи способы коммутации могут объединяться включением на сети узлов коммутации каналов и узлов сообщений (пакетов) или использования совмещенных (смешанных) узлов, реализующих все указанные способы коммутации.

Вторичные сети подразделяются на сети речевой (телефонной) и документальной электросвязи.

Ко второй группе относятся сети телеграфной связи (телефонная связь общего пользования и абонентское телеграфирование – АТ), сети передачи данных, сети факсимильной связи (передача неподвижных изображений – текстовых документов, схем, чертежей и т. д.), а также сети телетекст, видеотекст и телефакс, телефакс и бюрофакс.

При этом сети телеграфной связи и сети передачи данных выделены в отдельный вид – сети передачи дискретных сообщений (СПДС).

Под СПДС обычно понимают совокупность конечных пунктов, узлов коммутации и каналов связи, расположенных на определенной территории и обеспечивающих передачу документальных сообщений (телеграфных сигналов (кодов) или данных) определенного вида с заданными качественными показателями.

Основные показатели, отражающие требования, предъявляемые пользователями к сети:

– своевременная доставка сообщений, в срок, не превышающий заранее обусловленного (контрольный срок);

– доставка сообщения по назначению;

– надежность доставки;

– верность передаваемой информации.

К некоторым сетям ПДС специального назначения могут предъявляться дополнительные требования: возможность предоставления приоритетов по срочности передачи (сообщений), секретности передачи сообщений и др.

Требование по скорости доставки связаны с возможностью задержки сообщения на различных этапах его прохождения с сети и обесцениванием («старением») содержащейся в нем информации. Надежность доставки сообщения по назначению должна быть высока, а возможность потери – очень мала ($10^{-6} \dots 10^{-7}$).

Верность передаваемой информации оценивается допустимым коэффициентом ошибок $K_{\text{ош}}$. В зависимости от важности передаваемой информации и ее смысловой избыточности значение $K_{\text{ош}}$ может быть различным. Так в сетях ПД эта величина должна быть значительно меньше, чем в телеграфных сетях и составлять $10^{-6} \dots 10^{-9}$, то есть искажение одного знака из миллиона (миллиарда) переданных.

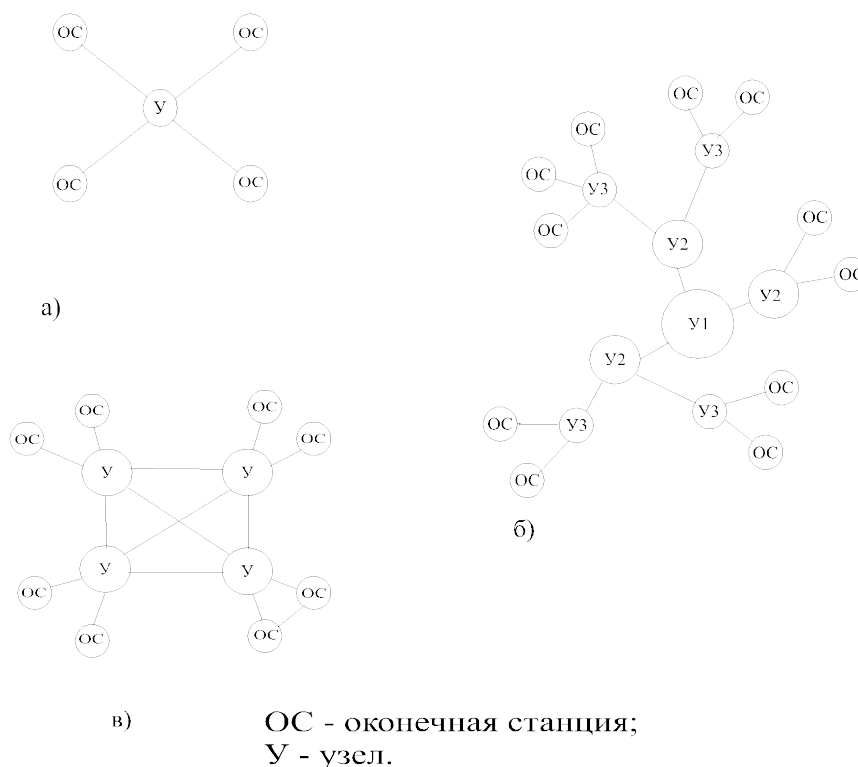


Рис. 6.16. Варианты структуры ПД: а) – радиальный, б) – радиально-узловой; в) – «каждый с каждым»

Таким образом, сети передачи данных относятся ко вторичным сетям документальной электросвязи, обеспечивающим передачу дискретных сообщений (данных) между человеком и ЭВМ или между ЭВМ.

Сети передачи данных

Сеть передачи данных – это сеть доступа к ЭВМ (пользователю). Сети передачи данных могут быть классифицированы:

– по структуре сети;

– способу коммутации;

– по скорости передачи данных;

– размеру сети;

– по типу сети, используемой для передачи данных.

По структуре сети ПД делятся на иерархические и неиерархические. При этом в зависимости от числа абонентов и размеров территории СПД могут иметь различное построение: радиальное, радиально-узловое, «каждый с каждым» (рис. 6.16).

При радиальном построении СПД все конечные (абонентские) пункты (станции) включаются в один узел (центр) коммутации, осуществляющий транзитные соединения между конечными станциями (рис. 6.16, а). Радиальный способ построения сети может быть использован на небольшой территории. На большой территории строить сеть по радиальному принципу невыгодно из-за большого расхода на каналы связи и низкой надежности сети, поскольку повреждение узла парализует всю сеть.

При радиально-узловом построении сети, кроме центрального (главного узла), создаются низовые узлы (рис. 6.16, б) (второго, третьего и т. д. классов). Однако радиально-узловой принцип построения СПД допускает только один путь установления соединения, хотя часто возникает необходимость в организации обходных путей (например, для повышения надежности и живучести сети, уменьшения числа отказов в соединении и т. д.).

С этой точки зрения более предпочтителен принцип построения СПД, при котором имеется связь между всеми узлами. В данном случае (рис. 6.16, в) узлы соединяются по принципу «**каждый с каждым**». Ясно, однако, что такая сеть имеет другой недостаток – большое число соединительных линий между узлами и, следовательно, высокую стоимость.

На реальных сетях обычно применяются комбинированные принципы построения сетей – радиально-узловой и «каждый с каждым». При этом узлы первого класса соединяются между собой по принципу «каждый с каждым» и в то же время являются центрами радиально-узлового построения сети.

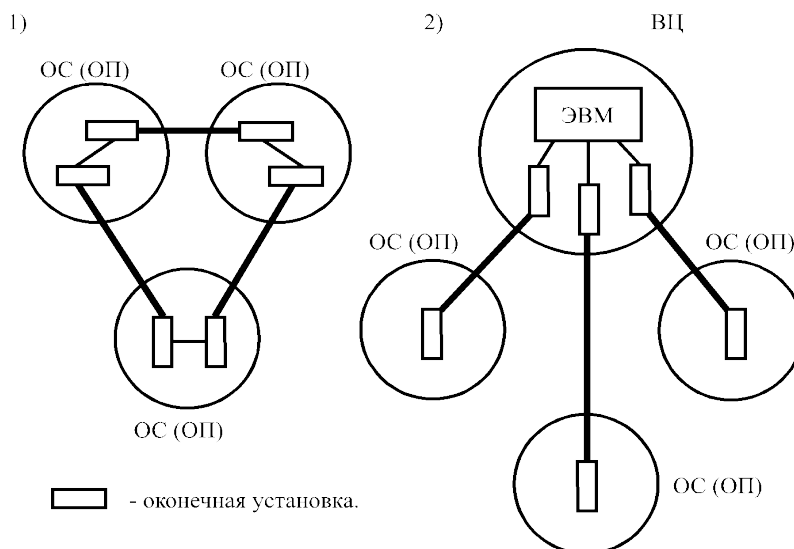


Рис. 6.17. Примеры сетей ПД с долговременной (кроссовой) коммутацией

По способу коммутации сети ПД делятся на сети с долговременной (кроссовой) коммутацией (рис. 6.17, а) и сети с оперативной коммутацией (рис. 6.17, б).

В сети ПД с долговременной коммутацией конечные пункты (ОП) связаны друг с другом закрепленными каналами, используемыми для обмена только между двумя пунктами. Организация таких каналов осуществляется на УК с помощью долговременной (кроссовой) коммутации. При малом трафике (информационном потоке) использование таких сетей не эффективно, поэтому использование их экономически целесообразно при необходимости непрерывного взаимодействия абонентов и передачи между ними больших объемов информации или в случаях создания специальных сетей, например, сетей ПД военного назначения, при очень высоких требованиях к скорости передачи сообщений и надежности доставки. В основном указанные сети организуются в сфере управления технологическими процессами, на транспорте, а также в АСУ предприятий, когда цехи, участки и отделы соединяются непосредственно с ЭВМ (ВЦ) данного предприятия (рис. 6.16).

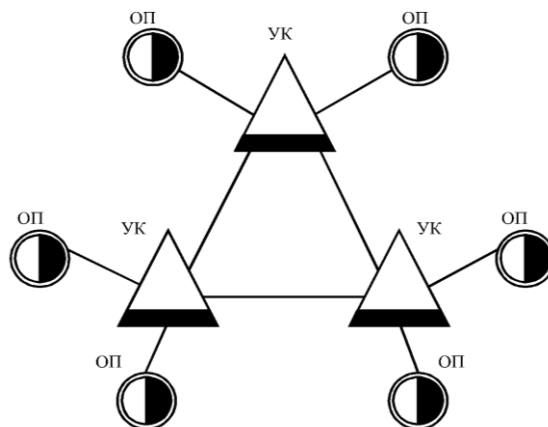


Рис. 6.18. Пример сети ПД с оперативной коммутацией

В сети ПД с **оперативной коммутацией** каждый абонент (ОП) может передавать сообщение любому другому абоненту. Это обеспечивается наличием на УК оборудования оперативной коммутации (рис. 6.18). Оконечные пункты (абонентские станции) таких сетей одним или несколькими дискретными каналами соединяются с ближайшим УК. В УК осуществляется распределение информации, то есть по адресу определяется ОП назначения и направление передачи сообщения.

В основном сети ПД строятся как сети с оперативной коммутацией, что более экономично и обеспечивает лучшее использование каналов связи.

В **сетях ПД с оперативной коммутацией** в узлах коммутации возникает необходимость определения ОП назначения сообщения и пути дальнейшей его передачи. Эту функцию – распределение информации на узлах – выполняет оборудование оперативной коммутации. Применяются три основных вида оперативной коммутации: каналов (КК), сообщений (КС) и пакетов (КП).

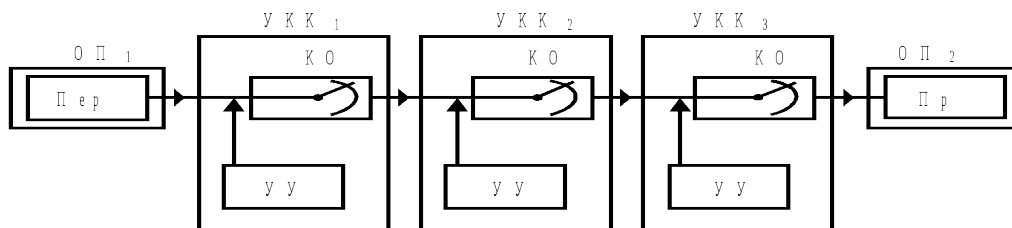


Рис. 6.19. Схема передачи сообщения в сети ПД с КК

В **сетях ПД с коммутацией каналов** (рис. 6.19) ОП сначала посылает на ближайший узел коммутации каналов (УКК) требование (вызов) на передачу сообщения и посредством номеронабирателя или клавиатуры, находящейся на ОП передающей стороны, передает условный адрес вызываемого ОП. В УКК этот адрес поступает в УУ, которое на основе его анализа определяет путь передачи сообщения и с помощью коммутационного оборудования (КО) узла соединяет (коммутирует) канал вызывающего ОП с каналом в следующем УКК. После установления соединения УУ первого УКК передает в УУ второго УКК адрес сообщения. На втором УКК процесс соединения продолжается и так до последнего УКК, где происходит соединение с вызываемым ОП. Таким образом, перед началом передачи сообщения между ОП образуется сквозной тракт передачи, который разрушается после окончания сеанса связи.

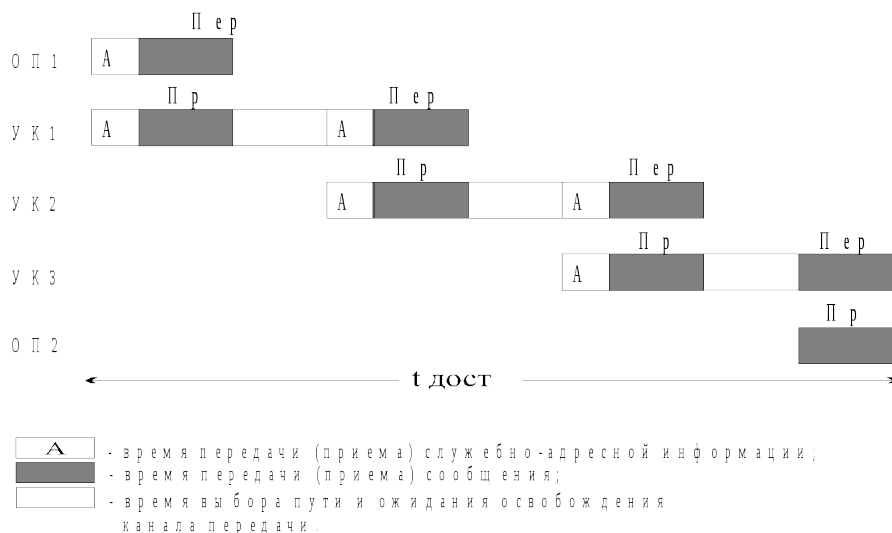


Рис. 6.22. Время доставки сообщения в сети ПД с КС

Если на каком-то этапе передачи все исходящие каналы нужного направления оказываются занятыми, сообщение ставится в очередь и ожидает освобождения одного из них. Поэтому сети ПД с КС называют **сетями с ожиданием**. Доставка в них сообщения происходит с задержкой во времени, так как среднее время прохождения сообщения между ОП или время доставки (рис. 6.22)

$$t_{\text{дост}} = t_{\text{пер}} \times (N+1) + t_{\text{ож}} \times N, \quad (6.8)$$

где $t_{\text{пер}}$ – среднее время передачи служебно-адресной информации и текста сообщения на каждом этапе передачи; $t_{\text{ож}}$ – среднее время выбора пути и ожидания освобождения канала связи; N – число УКС, через которые проходит сообщение.

Чем разветвленное сеть, тем через большее число узлов проходит сообщение, тем больше время его доставки.

В сетях ПД с коммутацией пакетов сообщение вместе со служебно-адресной информацией передается из ОП на ближайший узел коммутации пакетов (УКП). Схема передачи такая же, как и при КС (рис. 6.21). Здесь сообщение разделяется на блоки определенной длины – пакеты (рис. 6.23), каждый из которых снабжается соответствующей служебной информацией, необходимой для доставки его по назначению.

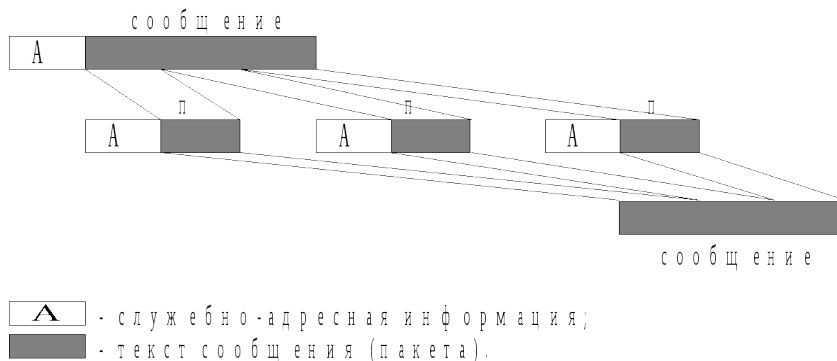


Рис. 6.23. Формирование пакетов

Формирование пакетов может начинаться сразу же после поступления на УКП заголовка сообщения. Каждый из пакетов передается независимо от других. В последнем на пути следования пакетов УКП производится сборка (сшивки) пакетов в сообщение и передача его в ОП назначения. Разбивка сообщения на пакеты и сборка его могут осуществляться и непосредственно в ОП. При занятости исходящих каналов нужного направления пакеты ставятся на ожидание и передаются по мере освобождения каналов. Поэтому сети с КП, как и сеть с КС, называют сетями с ожиданием.

Особенностью коммутации пакетов является поэтапная передача не всего сообщения целиком, как при КС, а отдельных его блоков (пакетов). Это приводит к сокращению времени доставки сообщения

адресату (рис. 6.23). При построении диаграммы на рис. 6.23 время выбора пути и ожидания освобождения канала передачи в узлах коммутации принято равным нулю.

Каждый из видов оперативной коммутации имеет свои достоинства и недостатки при их использовании в сетях передачи данных.

1. Сети ПД с КК.

Достоинствами КК являются:

- возможность непосредственного обмена данными между абонентами (диалоговый режим),
- отсутствие задержки в передаче сообщений после установления соединения;
- относительная простота, а соответственно, и меньшая стоимость оборудования УКК по сравнению с УКС и УКП.

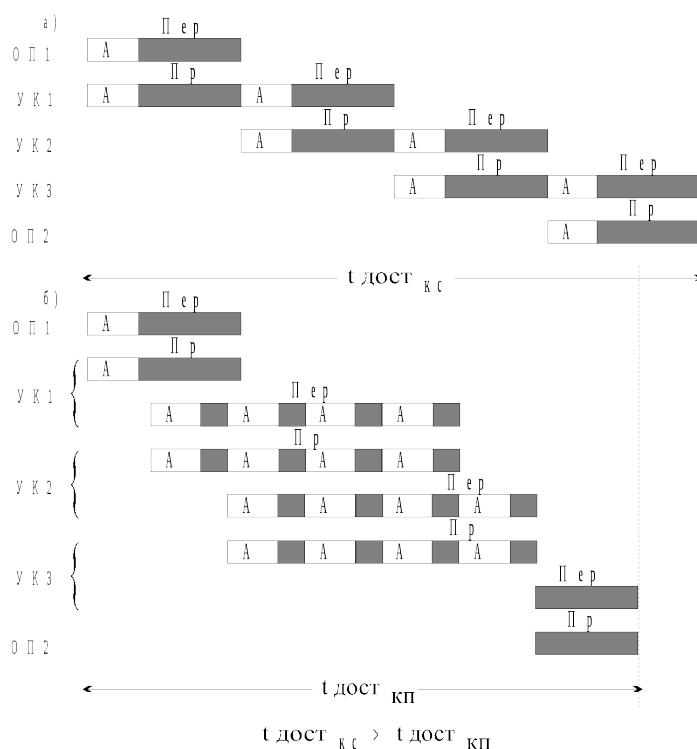


Рис. 6.23. Сравнение времени доставки сообщения в сетях ПД с КС и КП ($t_{\text{ожс}} = 0$): а) – ПД с КС; б) – ПД с КП

Недостатки КК:

- возможна на сети ПД, оборудованной только однотипными оконечными установками;
- затруднена поэтапная передача многоадресных и циркулярных сообщений, а также введение категорий сообщений по срочности;
- многоадресные и циркулярные сообщения либо передаются последовательно как соответствующее число одноадресных сообщений, либо требуется установки дополнительного оборудования с ручной коммутацией;
- при передаче срочных сообщений в сетях с КК приходится прерывать передачу сообщений более низких категорий срочности;
- высокая чувствительность к перегрузкам и неэффективное использование каналов;
- при резком возрастании нагрузки на отдельных участках сети увеличивается число отказов в соединениях через данный участок, что приводит к увеличению числа повторных вызовов, непроизводительным занятием каналов предыдущих участков, увеличению их нагрузки, росту числа отказов и т. д., возникает лавинообразный процесс отказов, который может привести к нарушению работы сети с КК;
- использование каналов в сетях в КК ограничивается допустимым процентом отказов в установлении соединений из-за их занятости; чтобы число повторных вызовов было небольшим, величина процента отказов на междугородних участках обычно не должна превышать 1...2 %; при этом, занятость каналов не должна превышать 40...50 %; из рис. 6.20 следует, что в общем времени занятости канала передача сообщения занимает лишь часть; остальное время канал занят передачей служебно-адресной информацией

или простаивает в процессе установления соединения на последующих этапах; при установлении соединения через несколько узлов и передаче небольших сообщений время непроизводительного занятия канала может превысить время непосредственной передачи сообщения;

- при установленном соединении передача информации ведется абонентами поочередно, хотя междугородные каналы допускают возможность ведения одновременной двусторонней передачи сообщений; это еще больше снижает полезное использование каналов в сетях ПД с КК; в результате для передачи одного и того же количества сообщений на сети с КК требуется в 4...6 раз больше каналов, чем на сети с КС.

2. Сети ПД с КС.

Коммутация сообщений (благодаря поэтапной передаче) предоставляет широкие возможности для взаимодействия в пределах одной сети разнотипных средств передачи и приеме сообщений с разной скоростью, различными кодами и разными методами синхронизации и фазирования. Допустимость применения на сети в коммутацией сообщений разнотипных оконечных установок облегчает развитие сети, позволяет заменять устаревшую аппаратуру новой. В сетях с ПД с КС возможно введение различных категорий срочности сообщений, каждой из которых соответствует свое допустимое время доставки. Приоритетность передачи достигается тем, что срочные сообщения передаются в первую очередь при задержке в накопителях УКС сообщений более низкой категории.

КС позволяет просто организовать передачу многоадресных и циркулярных сообщений. Для этого в заголовке сообщения достаточно перечислить адреса всех ОП назначения или указать номер циркуляра. Работа операторов ОП при этом упрощается: их задача состоит только в передаче сообщения на ближайший УКС.

Большим достоинством сетей с КС является высокий уровень использования каналов и низкая чувствительность сети к перегрузкам. При работе сети на отдельных участках в какие-то периоды времени может резко возрасти нагрузка. Однако, поскольку на УКС сообщения запоминаются в накопителях, то на перегруженных направлениях происходит увеличение очереди. На работе других направлений этого же узла и других участков сети перегрузка не сказывается. В сетях с КС обеспечивается более высокая занятость каналов и может осуществляться одновременная двухсторонняя передача сообщений.

Недостатками КС являются: невозможность диалоговой связи между операторами ОП, сложность оборудования узлов, следовательно, его высокая стоимость, значительное время доставки сообщения.

Следует отметить, что время доставки сообщения в сетях с КС может быть сокращено за счет использования более высоких скоростей передачи между УКС.

3. Сети ПД с КП.

Коммутация пакетов обладает теми же достоинствами, что и КС. Она позволяет включать в сеть ПД разнотипные оконечные средства, обеспечивает высокий уровень использования каналов, меньше реагирует на перегрузки, чем КК, упрощает работу операторов ОП. Вместе с тем КП сокращает время доставки сообщений по сравнению с КС. При высокой скорости передачи оно становится соизмеримым со временем доставки при КК, что при организации двухсторонней передачи сообщений между ОП создает эффект диалоговой связи. Передача небольших по величине пакетов приводит к тому, что на УКП отсутствуют накопительные устройства большой емкости. Накопители УКП рассчитаны на хранение небольшого числа пакетов. Недостатком КП является усложнение функций и оборудования УКП за счет разбивки сообщений на пакеты на исходящем и сборки сообщений на входящем узлах.

Достоинства и недостатки каждого из видов оперативной коммутации определяют условия целесообразности их использования.

КК целесообразно использовать при организации диалоговой связи на оборудованной однотипными установками сети; при передаче длинных сообщений, а также при наличии дешевых каналов.

КС лучше применять в разветвленных сетях при наличии разнотипного оконечного оборудования, если требуется передать многоадресные и циркулярные сообщения, при наличии на сети дорогостоящих каналов большой протяженности, а также при необходимости обеспечить устойчивую работу сети при непредвиденных увеличениях нагрузки.

КП выгодно при передаче сравнительно коротких сообщений и использовании на сети высоких скоростей передачи.

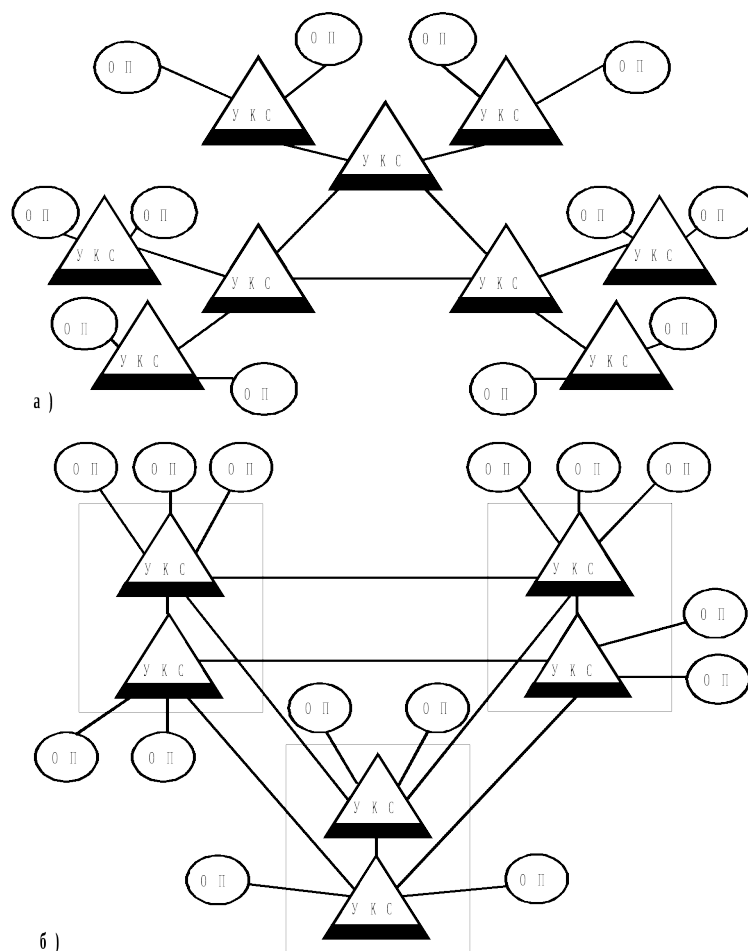


Рис. 6.24. Варианты сети ПД с комбинированной коммутацией: а) – последовательный; б) – параллельный

Достоинства различных видов оперативной коммутации реализуются при использовании на сетях ПД комбинированной коммутации. Все комбинированные методы коммутации можно разделить на следующие варианты (рис. 6.24):

- **последовательный (иерархический)**, применяемый на сетях радиально-узловой структуры. При этом варианте в узлах разного уровня используются различные виды оперативной коммутации (рис. 6.24, а), например, на узлах высшего уровня – КС и в узлах более низкого уровня – КК. Данный вариант позволяет эффективнее использовать каналы большой протяженности между крупными УК; ограничить влияние перегрузок, возникающих в отдельных зонах сети, на сеть в целом; уменьшить затраты на многочисленные узлы нижних уровней;

- **параллельный** (рис. 6.24, б), при котором территориально совмещаются УК разных видов (например, КС и КК или КК и КП), но образуют отдельные самостоятельные подсети, в каждую из которых включены свои абоненты (ОП) с учетом требований, предъявляемых ими и сети. Соединительные линии между УК разных видов обеспечивают возможность обмена сообщениями между ОП обеих подсетей;

- **совмещенный (смешанный)**, при котором одни и те же узлы осуществляют различные виды оперативной коммутации, например, КС и КК или КП и КК. Вид оперативной коммутации на узле выбирается в зависимости от признака абонента или сообщения, возможностей оборудования и т. д. Это повышает использование оборудования узлов, расширяет возможности сети по передаче сообщений различных видов.

4. По скорости передачи данных сети ПД делятся на три группы: низкоскоростные (до 200 бит/с), среднескоростные (600...9600 бит/с) и высокоскоростные (более 9600 бит/с)

5. По размеру сети ПД могут быть территориальными и локальными. Территориальные сети в свою очередь, делятся на глобальные (общегосударственные), региональные (междугородные) и местные (городские).

6. По принадлежности и территориальные и локальные сети ПД делятся на сети общего пользования (коммерческие) и корпоративные (ведомственные).

7. По типу используемой вторичной сети для передачи данных:

- телефонные (ТФ-ОП);
- телеграфные (АТ);
- сети ПД (специализированные).

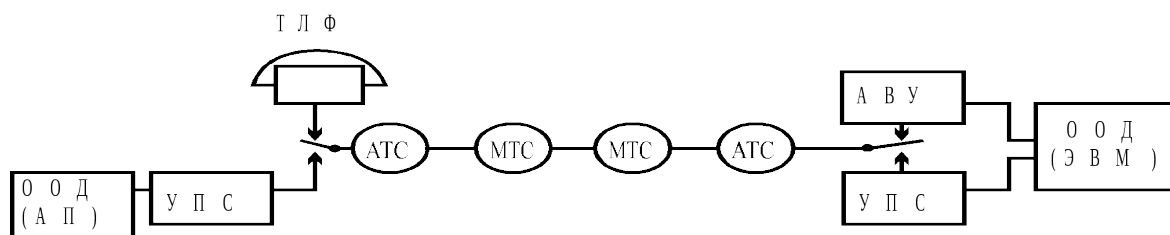


Рис. 6.25. Передача данных по сети ТФ-ОП

Передача данных по сети ТФ-ОП осуществляется после установления соединения с помощью номеронабирателя телефонного аппарата или автоматического вызывного устройства (АВУ) и последующего переключения коммутируемого канала на АПД (рис. 6.25).

Сеть ТФ-ОП является наиболее разветвленной и позволяет осуществлять передачу данных практически между любыми абонентами этой сети. Для нее характерны интенсивное развитие и высокие темпы автоматизации установления соединений. Сеть ТФ-ОП проектировалась и создавалась для передачи телефонных сообщений. Такие характеристики телефонных каналов связи, как импульсные помехи, перемены, фазовые искажения и т. д. не интересовали проектировщиков, поскольку они практически не влияли на качество телефонной (речевой) связи. На качество передачи данных эти характеристики оказывают существенное влияние. Внедрение в практику новых типов (координатных, квазиэлектронных и электронных АТС и АМТС) будет способствовать значительному уменьшению помех и времени установления соединения. Для передачи данных по сети ТФ-ОП в основном используется скорость до 1200 бит/с. При передаче данных по сети со скоростью (больше 1200 бит/с) начинает сказываться нелинейность фазовых характеристик каналов. Однако разработанная в последние годы аппаратура передачи данных (АПД) с адаптивными фазовыми корректорами позволяет обеспечить передачу информации со скоростями 2400 и 4800 бит/с.

Сеть абонентского телеграфа АТ-50 позволяет осуществлять передачу данных со скоростью 50 бит/с. Она характеризуется низкой пропускной способностью, большим временем установления соединения, недостаточной верностью и надежностью. Однако сеть достаточно развита, она охватывает основных потенциальных абонентов ПД. Достоинством сети АТ-50 является наличие в ее составе окончного оборудования данных (ОСД) и достаточно развитых эксплуатационно-технических служб.

Специализированные сети ПД. Их характеристики соответствуют требованиям, предъявляемым к обслуживанию отправителей и получателей данных. Примером специализированной сети является сеть ПД-200, предназначенная для передачи данных со скоростями до 200 бит/с. При ее построении используется общая с сетями АТ и ТФ-ОП коммутационная и каналообразующая аппаратура. Установление соединения в сети ПД-200 осуществляется специальным сигналом. Повышение верности передачи информации на сети ПД-200 производится с помощью устройства защиты от ошибок, входящего в АПД, реализованной в составе ООД ЕС-ЭВМ «ряд» и в составе абонентского пункта АП-КК. Сеть ПД-200 может обеспечить передачу данных значительному числу абонентов с большими скоростью и верностью, чем сеть АТ-50.

Рассмотренные три типа реальных коммутируемых сетей ПД относятся к сетям с КК. Помимо этого находят применение для передачи данных сети с КС и КП. Примерами сетей с ПД с КС являются ведомственные сети резервирования авиабилетов (система «Сирена» в гражданской авиации) и сеть «Погода» (гидрометеослужба).

Особенно интенсивно в последнее время создаются и развиваются в различных странах, в том числе и у нас, сети с КП. Именно сетям с КП будут посвящены практически все последующие занятия, связанные с изучением архитектуры информационно-вычислительных систем (ИВС) и сетей ЭВМ.

6.6. Системы передачи данных

Под системой передачи данных понимается совокупность технических средств и линий (каналов) связи, образующих канал передачи данных и обеспечивающих передачу данных от источника

сообщений (ИС) к получателю (ПС) с заданными достоверностью, надежностью и временем доставки. Системы ПД подразделяются на два основных класса: системы без обратной связи (ОС) и системы с обратной связью (рис. 6.26).

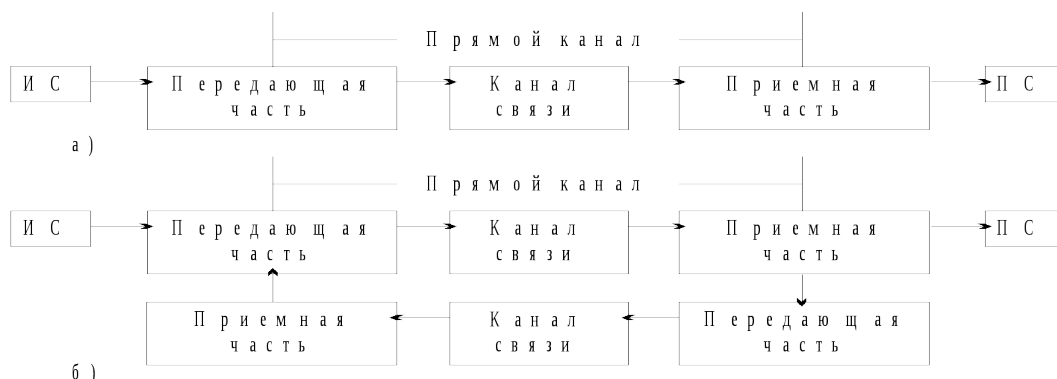


Рис. 6.26. Схема системы передачи данных: а) – без обратной связи; б) – с обратной связью

О процессе обмена данными между ИС и ПС свидетельствует рис. 6.27.

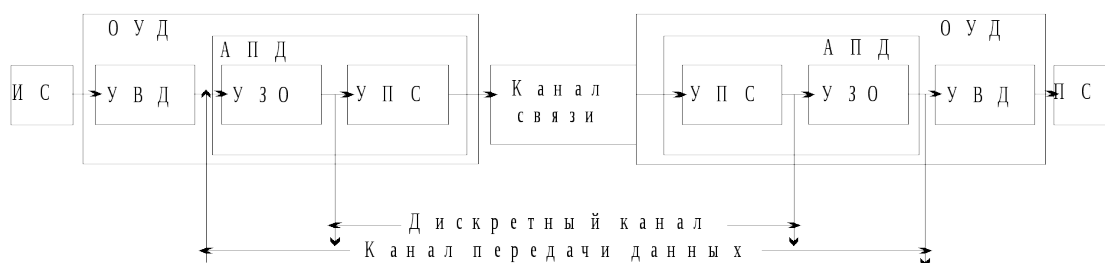


Рис. 6.27. Структура системы ПД

Для преобразования данных, записанных на носителе или поступающих с клавиатурных устройств, в сигнал данных используется устройство ввода данных (УВД). Обратное преобразование – восстановление данных по принятому сигналу и запись их на носитель – выполняет устройство вывода данных. Совокупность устройств ввода и вывода данных называют оконечным оборудованием данных (ООД). Совокупность ООД и АПД называют оконечной установкой данных (ОУД).

Система передачи данных реализуется с сети передачи данных между ближайшими ОП и УК, которые выполняют роль ОУД и связаны прямым каналом связи.

Для повышения верности передачи данных подвергаются обработке в устройствах защиты от ошибок (УЗО). На передаче сообщение кодируется, на приеме – декодируется.

Устройство преобразования сигналов (УПС), входящие в состав АПД, наряду с УЗО, обеспечивает согласование сигналов данных, поступающих от УВД и УЗО на передающей стороне, с каналом связи. УПС на приемной стороне осуществляет обратное преобразование с целью согласования канала связи с УЗО или УВД на приеме. Совместно с каналом связи УПС образует **дискретный канал**, то есть канал, предназначенный для передачи только дискретных сигналов (цифровых сигналов данных). Дискретный канал в совокупности с УЗО составляет **канал передачи данных** (рис. 6.27).

Дискретный канал характеризуется **скоростью передачи информации**, измеряемой количеством битов в секунду (бит/с), или числом единичных элементов, которое можно передать в секунду по каналу. Число единичных элементов, передаваемых в секунду, называют в литературе скоростью телеграфирования, скоростью модуляции. Единица скорости телеграфирования – бод. Другой характеристикой дискретного канала является **верность передачи единичных элементов**.

Для характеристики канала ПД используются следующие параметры: **коэффициент ошибок** по кодовым комбинациям, **эффективная скорость** передачи информации.

Коэффициент ошибок по кодовым комбинациям характеризует верность передачи и определяется отношением числа ошибочно принятых кодовых комбинаций к числу переданных в заданном интервале времени. При определении эффективной скорости учитывается, что не все комбинации, поступающие на

выход канала ПД, выдаются получателю. Часть комбинаций может быть забракована. Кроме того, учитывается, что не все элементы кодовой комбинации, передаваемой в канал, несут информацию (заголовок сообщения, кодовая избыточность для защиты от ошибок, повторы комбинаций и т. д.).

6.6.1. Системы передачи данных без обратной связи

В системах без ОС (рис. 6.26, а) сообщение передается от источника (ИС) к получателю (ПС) в прямом направлении по определенному алгоритму, не учитывающему текущего состояния канала и результатов приема предыдущего сообщения (условия приема и другие факторы).

В системах без ОС используются следующие основные способы передачи, обеспечивающие надежность (верность) доставки сообщений: многократная передача кодовых комбинаций; одновременная передача кодовых комбинаций по нескольким параллельно-работающим каналам; помехоустойчивое (избыточное) кодирование, то есть использование кодов, исправляющих ошибки (корректирующих кодов).

Многократная передача кодовых комбинаций является наиболее просто реализуемым способом передачи. Их повторение может осуществляться вручную и автоматически (без участия оператора). Пусть передается буква А, число повторов возьмем равным пяти. Тогда, если на приемном конце получим АБААС (буква А искажилась 2 раза), то выносится решение о том, что передавалась буква А, поскольку в принятой последовательности из пяти букв она встречалась наиболее часто (мажоритарное декодирование – декодирование голосованием по большинству). Если в принятой последовательности ни одна буква не повторяется, то принятое сообщение ликвидируется (стирается). **Главный недостаток такого способа – существенное уменьшение скорости передачи.** В нашем примере скорость передачи информации уменьшается в 5 раз по сравнению со случаем однократной передачи кодовой комбинации.

Способ передачи, основанный на снижении скорости передачи, широко применяется в технике передачи данных. Так, в среднескоростных системах ПД предусмотрены две скорости – 600 и 1200 бит/с. В случае, если качество передачи информации на скорости 1200 бит/с оказывается не удовлетворительным, переходят на скорость 600 бит/с, что равносильно передаче 2 раза подряд элементов кодовой комбинации длительностью 1/1200 мс.

Способ одновременной передачи кодовой комбинации по нескольким параллельным каналам (обычно число каналов нечетное) основан на принятии решения о том, какая кодовая комбинация передавалась методом голосования (так же, как и при многократной передаче кодовых комбинаций) по большинству. Иногда передача осуществляется по двум параллельным каналам, и информация выбирается из того канала, качество которого в момент приема кодовой комбинации была наилучшим. Для этого приемник должен располагать соответствующим устройством для оценки качества канала. При передаче сообщений по N параллельным каналам скорость передачи информации не зависит от числа каналов. Однако при этом существенно возрастают (в N раз!) расходы на аренду каналов.

Более эффективным является **способ передачи, основанный на применении корректирующих кодов**. В системах передачи без ОС должны применяться коды, исправляющие ошибки. Широкое распространение на практике получили двоичные корректирующие коды, которые подробно будут рассмотрены на последующих занятиях.

6.6.2. Системы передачи данных с обратной связью

Системы ПД с ОС характеризуются повторением кодовых комбинаций, в которых обнаружены ошибки. Решение о необходимости повторения может выноситься на приеме (системы с РОС) или на передаче (системы с ИОС).

Как уже отмечалось (рис. 6.26, б), системы с ОС отличаются наличием канала, по которому осуществляется «служебная» связь передатчика с приемником.

В системах с РОС определяется с помощью корректирующего кода с обнаружением ошибок на приемной стороне, содержит или не содержит ошибки принятая комбинация. Если в кодовой комбинации обнаружены ошибки, то по обратному каналу посылается сигнал решения (запрос) о необходимости повторения (отсюда название – решающая обратная связь).

В системах с ИОС принятая комбинация возвращается на передающую сторону по обратному каналу, где она сравнивается с переданной комбинацией. Последнюю можно рассматривать как эталонную комбинацию. Если эти комбинации различаются, то исходная комбинация передается повторно.

Системы ПД с РОС получили наибольшее распространение на практике. Существуют различные разновидности этих систем.

Простейшими из них являются **системы с ожиданием**. В них очередная кодовая комбинация передается только после приема по обратному каналу сигнала о том, что предыдущая комбинация принята без ошибок. Эффективная скорость передачи данных в такой системе:

$$C = B \times g_1 \times g_2 \times g_3, \quad (6.9)$$

где g_1 – потери скорости на введение в код избыточности; g_2 – потери скорости, обусловленные ожиданием сигнала решения; g_3 – потери скорости вследствие повторения; B – номинальная скорость передачи данных в системе ПД.

В системах с РОС и **непрерывной передачей** отсутствуют потери на ожидание. В этих системах при обнаружении ошибок в принятой кодовой комбинации производится повтор этой комбинации и ряда других, примыкающих к ней. Для уменьшения потери на переспросы иногда по каналу обратной связи передается адрес (номер) кодовой комбинации, которую надо повторить. И эта комбинация встраивается в последовательность передаваемых комбинаций с тем же номером. Такой метод применяется в системах с РОС и **адресным переспросом**. Однако непрерывная передача информации и тем более адресный переспрос требуют существенного усложнения аппаратуры ПД, что приводит к ее удорожанию и снижению надежности. Возможны и другие варианты построения систем ПД с РОС.

В простейших системах с ИОС для передачи информации по прямому каналу используются **простые коды (без избыточности)** и **обратный канал должен иметь такую же пропускную способность, что и прямой**.

В системах с РОС любого типа по обратному каналу передаются только сигналы решения и **обратный канал может иметь существенно меньшую пропускную способность**. Так, при передаче данных со скоростью 600/1200 бит/с по прямому каналу, в обратном узкополосном канале передача осуществляется со скоростью не более чем 75 бит/с. При двухсторонней передаче данных это позволяет использовать часть пропускной способности и полосы информационных каналов для передачи сигналов решения во встречном потоке данных (кодовых комбинаций) и не иметь отдельных «служебных» каналов. Указанные **существенные преимущества систем ПД с РОС делают их применение на практике более предпочтительным по сравнению с системами ПД с ИОС**.

6.7. Телемеханика

На распределительном устройстве каждой подстанции размещены силовые выключатели, которые коммутируют приходящую и отходящую электроэнергию по линиям электропередач. Состояние выключателя повторяют его вторичные блок-контакты, а от них промежуточные реле и реле фиксации, положение которых используется в схеме сигнализации и телемеханики. Они работают в качестве датчиков и имеют, как и коммутационные аппараты, два значения: «включено» и «отключено».

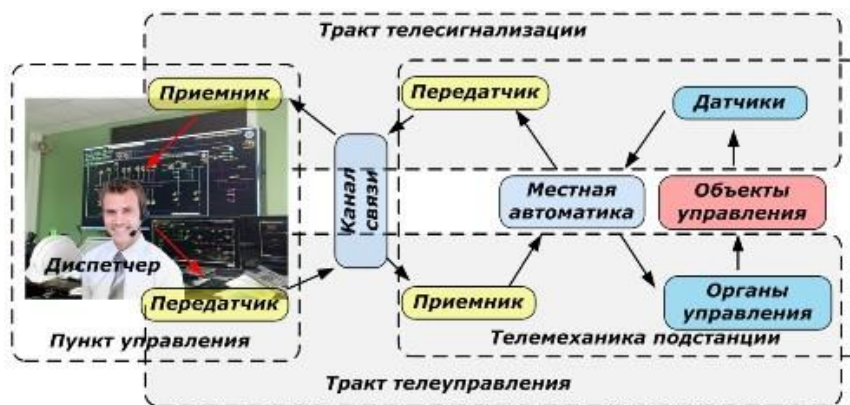


Рис. 6.28. Структурная схема системы телесигнализации и телеуправления

Принцип работы телемеханики

На каждой подстанции есть местная сигнализация, которая информирует электротехнический персонал, выполняющий работы на оборудовании о состоянии электрической схемы загоранием световых табло и выдачей звуковых сигналов. Но большее время подстанция работает без людей, а для информирования дежурного диспетчера об оперативной обстановке на ней используется телесигнализация (рис. 6.28).

Положению выключателя присваивается одно из значений двоичного кода «1» или «0», которое через местную автоматику направляется на передатчик, подключенный к каналу связи (проводной, телефонный, радио).

На обратной стороне канала связи расположен пункт управления энергообъектами и приемник, который обрабатывает полученные сигналы от передатчика, преобразуя их в доступный вид информации для диспетчера. По ним оценивается состояние подстанции.

Однако во многих случаях этих данных недостаточно. Поэтому телесигнализация дополняется системой телеизмерений ТИ, по которой показания основных измерительных приборов мощности, напряжения и тока транслируются на пульт управления. По структуре схема ТИ входит в комплект телемеханики.

Диспетчер имеет возможность влиять на распределение электроэнергии с удаленной подстанции **средствами телеуправления**. Для этого у него работает свой передатчик, выдающий команды в канал связи с пункта управления. На противоположном конце тракта передачи команда воспринимается приемником и передается в местную автоматику для воздействия на органы управления, которые переключают силовой выключатель.

Обслуживанием систем телемеханики занимается служба СДТУ и связи, а местной автоматики – СРЗА.

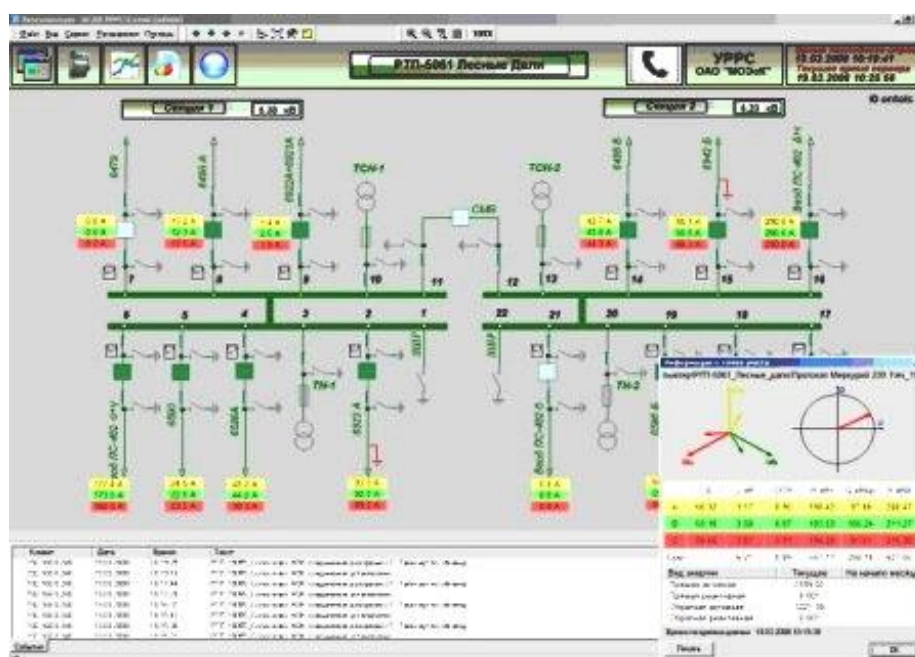


Рис. 6.29. Схема диспетчерского управления энергосистемой на пульте СДТУ

Виды команд телеуправления

Сигнал, исходящий от передатчика диспетчера к органу управления на подстанции считается командой, требующей обязательного исполнения.

Команда может передаваться только адресно:

- отдельному объекту на подстанции (выключателю);
- группе устройств на разных подстанциях, например, телемеханическая команда опроса о предоставлении определенной информации.

Особенности пользования телеуправлением

К задачам, выполняемым диспетчером с пункта удаленной коммутации (рис. 6.29), предъявляются следующие требования по обеспечению:

- надежности электроснабжения потребителей за счет оперативного ускорения действий;
- сохранения критериев безопасности использования электроэнергии.

Перед включением присоединения по телеуправлению диспетчер учитывает, что выключатель на удаленной подстанции может быть отключен:

- действием защит для предотвращения развития аварии после пробного включения автоматикой АПВ (повторного включения);
- оперативным персоналом, допущенным к работам на подстанцию с местного или дистанционного пункта.

Во всех случаях перед коммутацией схемы должны быть выполнены требования правил безопасности и собраны достоверные сведения от профессионального электротехнического персонала о готовности схемы к включению под нагрузку. Общий вид подхода питающих и распределительных сетей к подстанции с элементами управления показан на рис. 6.30.

Иногда отдельные работники в целях ускорения поиска возникшего места короткого замыкания на отдаленных присоединениях 6÷10 КВ «грешат» включением под нагрузку выключателя после отключения части определенных потребителей. При таком методе, в случае неудачного определения места повреждения, повторно в схеме возникает короткое замыкание, сопровождаемое повышенными нагрузками на оборудование, перетоками мощностей и другими отклонениями нормального режима.



Рис. 6.30. Общий вид подхода к подстанции с элементами управления

Взаимодействие телеуправления и телесигнализации

Передача команды по телеуправлению осуществляется диспетчером в два этапа: подготовительного и исполнительного. Этим исключаются ошибки, которые могут возникнуть при наборе адреса и действия. До окончательной отправки команды запуском передатчика у оператора появляется возможность проверки введенных им данных.

Каждому действию команды ТУ соответствует определенное положение исполнительных органов на удаленном объекте, которое должно быть подтверждено по телесигнализации и принято диспетчером. Сигнал от ТС будет повторно посылаться до момента его квитирования на пункте приема.

В некоторых случаях команда ТУ может быть не выполнена по различным причинам. Система телеуправления не должна ее «запоминать» и дублировать повторно. Все дальнейшие манипуляции проводятся после выяснения причин отказа и проверки состояния объекта управления.

Техническое состояние канала связи должно постоянно контролироваться аппаратурой. Сообщение, передаваемое по ТС от передатчика, должно быть принято без искажений. Помехи, возникающие в канале связи, не должны снижать достоверность информации (рис. 6.31).



Рис. 6.31. Схема передачи сигнала в системе

Достоверность информации

Все передаваемые сообщения от телесигнализации до момента подтверждения их о приеме на пункте управления хранятся в памяти аппаратуры. Если канал связи нарушен, то они будут автоматически передаваться после его восстановления.

При передаче команды ТУ на удаленную подстанцию на ней иногда может возникнуть ситуация, когда в оперативной обстановке произошли изменения и прием команды вызовет нежелательные действия оборудования или потеряет смысл. Поэтому в алгоритм работы автоматики для таких случаев вводят приоритетное действие сообщений ТС перед командами ТУ.

Аппаратура телемеханики может использовать устройства, работающие на старой аналоговой базе или применять цифровые технологии. Во втором варианте значительно расширяются возможности оборудования, одновременно повышается помехозащищенность канала связи.

ЛЕКЦИЯ 7. ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКА ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ (4 ч)

7.1. Теоретические основы автоматики

Автоматизированные системы – это процессы или устройства, осуществляющие работу без участия или с частичным участием человека.

Условно автоматические системы можно разделить на пять групп:

1. Системы автоматического контроля и сигнализации (служат для автоматического контроля протекания процессов или какого-то параметра).

2. Системы автоматической защиты и блокировки (предназначены для предотвращения аварий или несчастных случаев).

3. Системы автоматического регулирования (обеспечивают поддержание или регулирование параметра по заданному закону или выбираются в процессе регулирования).

4. Автоматизированные вычислительные системы (выполняют различные математические или логические операции, например, при моделировании, прогнозировании).

5. Системы автоматического управления (комплекс систем автоматического регулирования с элементами автоматизированных вычислительных систем, систем контроля, сигнализации, блокировки, защиты осуществляющие комплексное управление предприятием или процессом).

Основные понятия и определения теории автоматического управления установлены ГОСТом.

Технические устройства, процессы в которых подлежат автоматическому регулированию называются *объектами регулирования*.

Регулируемые параметры – физические величины, которые подлежат регулированию.

Автоматический регулятор – устройство, предназначенное для автоматического регулирования различных параметров на регулируемых объектах.

Возмущающее воздействие – внешнее воздействие на автоматический регулятор или объект регулирования, вызывающее отклонение регулируемого параметра от заданного значения.

Автоматический регулятор включает в себя:

- измерительный элемент;
- элемент сравнения;
- задающее устройство (задатчик);
- исполнительный элемент;
- усилитель;
- преобразователь (в отдельных устройствах).

Измерительный элемент (датчик, первичный преобразователь) – устройство, предназначенное для измерения текущего значения регулируемого параметра.

Элемент сравнения – устройство, предназначенное для сравнения измеряемого значения регулируемого параметра с его заданным значением.

Задатчик – устройство или элемент устройства, задающий требуемое значение регулируемого параметра.

Исполнительный элемент (устройство) – устройство, посредством которого регулятор оказывает воздействие на регулируемый объект.

7.2. Системы автоматического регулирования (САР)

Система автоматического регулирования состоит из регулируемого объекта и элементов управления, которые воздействуют на объект при изменении одной или нескольких регулируемых переменных. Под влиянием входных сигналов (управления или возмущения) изменяются регулируемые переменные. Цель регулирования заключается в формировании таких законов, при которых выходные регулируемые переменные мало отличались бы от требуемых значений. Решение данной задачи осложняется наличием случайных возмущений. При этом необходимо выбирать такой закон регулирования, при котором сигналы управления проходили бы через систему с малыми искажениями, а сигналы шума практически не пропускались.

Преобразование входного сигнала системы (*управляющего воздействия*) в выходной сигнал (*регулируемую величину*) определяет закон изменения регулируемой величины. Реализация желаемого закона осуществляется в результате формирования *управляющих переменных*, которые воздействуют на регу-

лируемую систему. Законы изменения регулируемой величины во времени могут быть различными; математически они описываются *оператором системы*. Этот оператор может реализовать пропорциональную зависимость выходного сигнала от входного, связь в виде производной или интеграла и т. д. В более общем случае, этот оператор может быть и нелинейным.

Необходимо отметить, что законы изменения регулируемых величин в машинах и агрегатах нарушаются под влиянием внешних, а иногда и внутренних воздействий, называемых возмущениями (*или возмущающими воздействиями*). Из определения этих воздействий видно, что система автоматического регулирования должна как можно точнее воспроизводить управляющее воздействие и возможно меньше реагировать на возмущающее воздействие.

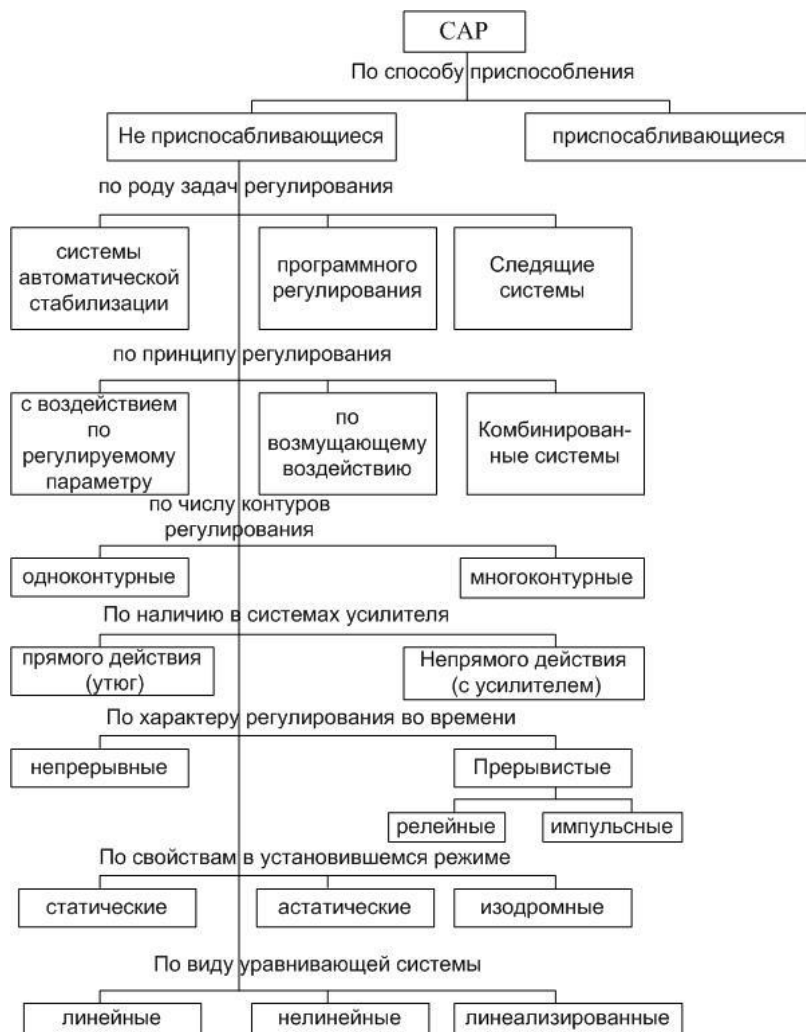


Рис. 7.1. Классификация САР

Таблица 7.1.

Классификация САР

Классификация САР	Краткая характеристика САР	
1. По назначению алгоритма изменения задающего воздействия (или по виду выполняемых функций)	Стабилизирующая	Поддерживает регулируемый параметр на постоянном значении заданной точки: $X = SP = \text{const}$
	Программная	Изменяет регулируемую величину в соответствии с функцией задания во времени – программные задатчики: $SP = F[SP_{\text{prog}}(t)]$
	Следящая	Задача состоит в том, чтобы изменения регулируемой величины следили за изменениями другого параметра: $X = \text{var}$
	С управлением от ПЭВМ	Изменяет регулируемую величину в зависимости от заранее неизвестной величины заданной точки. Значение задания регулятору формируется по интерфейсу: $X = \text{var}$

Классификация САР	Краткая характеристика САР	
2. По количеству контуров регулирования	Одноконтурные	Содержащие один контур регулирования
	Многоконтурные	Содержащие несколько контуров регулирования (каскадные регуляторы, регуляторы ограничения)
3. По количеству регулируемых технологических параметров	Однокомпонентные	Системы с одной регулируемой величиной
	Многокомпонентные, несвязанные	Системы с несколькими регулируемыми величинами. Регуляторы непосредственно не связаны и могут взаимодействовать только через общий для них объект регулирования
	Многокомпонентные, связанные	Системы с несколькими регулируемыми величинами. Регуляторы различных параметров одного или нескольких объектов связаны между собой: • регуляторы со статической и/или динамической коррекцией параметра или заданной точки; • регуляторы соотношения нескольких параметров с постоянным или управляемым коэффициентом соотношения; • каскадные регуляторы; • регуляторы ограничения (с макс. или мин. ограничением)
4. По функциональному назначению	Специализированные	САР температуры, давления, расхода, уровня, объема и др.
	Универсальные	С нормированными входными и выходными сигналами и пригодные для управления различными параметрами
5. По закону регулирования или логике работы контура регулирования	Двухпозиционный	Раздел «Типы регуляторов и законы регулирования»
	Трехпозиционный	
	П, ПИ, ПИД-регулятор	
	ШИМ-регулятор	
	Адаптивные	Самонастраивающиеся, автонастраивающиеся
	Оптимальные	Использующие оптимальный закон регулирования
6. По характеру используемых для управления сигналов (по роду действия)	Непрерывные	Аналоговые сигналы (ток, напряжение). Частный случай – выходной сигнал ШИМ регулятора (с дискретным выходом)
	Дискретные	Релейные, импульсные, цифровые. Выходные устройства – механическое реле, твердотельное реле, симистор, тиристор, транзисторный ключ, интерфейс
7. По характеру математических соотношений	Линейные	Для которых справедлив принцип суперпозиции (см. прим.1)
	Нелинейные	Для которых не справедлив принцип суперпозиции (см. прим.1)
8. По виду используемой для регулирования энергии	Электрические	В т. ч. электронные
	Пневматическ	Мембранные, поршневые, лопастные
	Гидравлически	
	Механические	
	Комбинированные	Электропневматические, пневмо-, электромеханические
9. По принципу регулирования	По отклонению	См. прим.2
	По возмущению	См. прим.3
	Комбинированные	См. прим.4
10. По направлению действия	Прямые	Регуляторы прямого (нормального) действия
	Обратные	Регуляторы обратного (реверсивного) действия
11. По принципу действия	Прямого действия	Не используют внешнюю энергию, а используют энергию самого объекта управления (регуляторы давления)
	Непрямого действия	Для работы требуется внешний источник энергии

7.3. Замкнутые и разомкнутые САР, синтез и анализ САР

Принципы построения систем автоматического регулирования (САР):

- системы с регулированием или воздействием по регулируемому параметру или компенсационные системы;
- принцип регулирования по возмущению;
- комбинированный принцип.

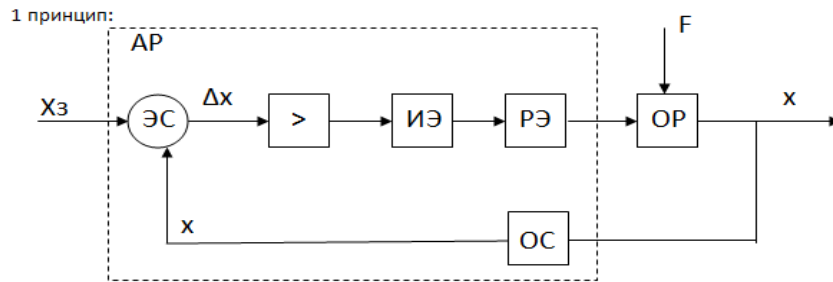


Рис. 7.2. Структурная схема замкнутой САР

АР – автоматический регулятор; ЭС – элемент сравнения; ИЭ – исполнительный элемент; РЭ – регулируемый элемент; ОР – объект регулирования (обратная связь); ОС – объект сравнения; > – усилитель; X_z – заданный параметр; x – текущий параметр; Δx – разница (рис. 7.2).

Принцип хорош в том плане, что позволяет достичь результата независимо от того, какой причиной вызвано отклонение. *Недостаток:* относительно высокая длительность регулирования.

Обратная связь на ЭС подается не по выходному сигналу, а по подающемуся.

Применение принципа позволяет быстро изменить параметры системы для компенсации основного возмущающего воздействия и в дальнейшем выполнение регулировки за счет других факторов (рис. 7.3).

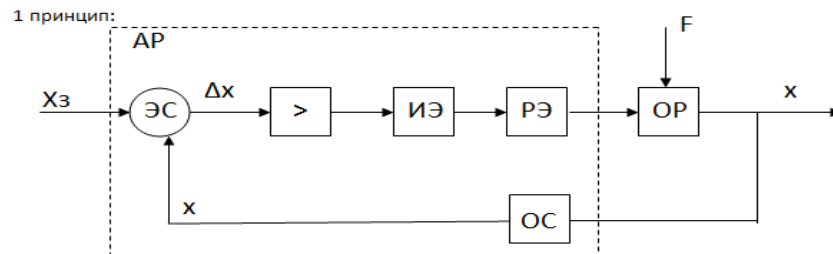


Рис. 7.3. Регулирование по возмущению

При *регулировании по отклонению* замеряется фактическое значение регулируемого параметра, определяется его отклонение от заданного значения независимо от причин, вызвавших отклонение, что осуществляется с помощью отрицательной обратной связи, и формируется управляющее воздействие, направленное на сведение этого отклонения к нулю или допустимому минимуму (рис. 7.3).

АР – автоматический регулятор; ЭС – элемент сравнения; ИЭ – исполнительный элемент; РЭ – регулируемый элемент; ОР – объект регулирования (обратная связь); ОС – объект сравнения; > – усилитель; X_z – заданный параметр; x – текущий параметр; Δx – разница (рис. 7.3).

Принцип хорош в том плане, что позволяет достичь результата независимо от того, какой причиной вызвано отклонение. *Недостаток:* относительно высокая длительность регулирования.

Проанализировав положительные и отрицательные стороны принципов регулирования, приходим к выводу:

– при *регулировании по возмущению* измеряется величина возмущающего воздействия, которое может вызвать отклонение регулируемого параметра от его заданного значения, и формируется управляющее воздействие, способное скомпенсировать воздействие возмущения и тем самым поддержать заданное значение регулируемого параметра (рис. 7.4);

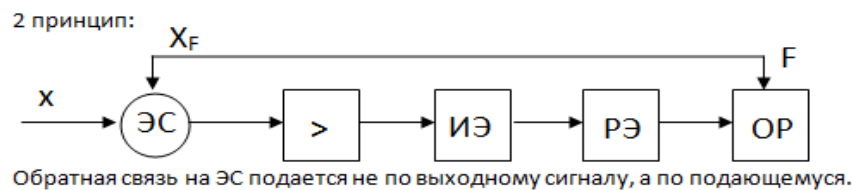


Рис. 7.4. Регулирование по сигналу (возмущению)

– при использовании *комбинированного принципа* построения (рис. 7.5), наряду с главным контуром отрицательной обратной связи по отклонению регулируемого параметра, имеется разомкнутый контур

передачи компенсации возмущающего воздействия. Возмущающее воздействие (обычно по нагрузке) обеспечивает немедленное возникновение регулирующего воздействия *rit*) в соответствии с изменением нагрузки; воздействие по отклонению используется для устранения остающихся погрешностей;

3 принцип (сочетание 1-го и 2-го принципов):

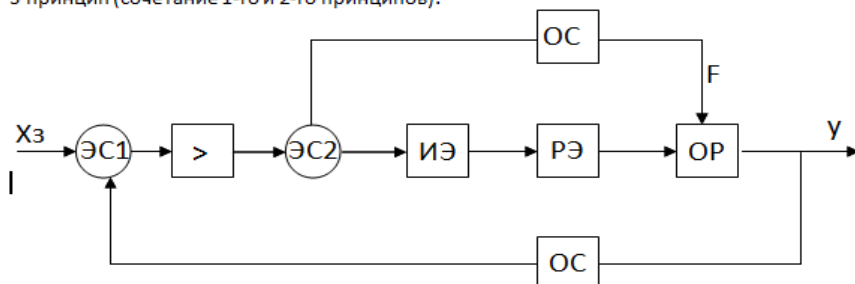


Рис. 7.5. Регулирование по комбинированному принципу

– при *регулировании по отклонению* замеряется фактическое значение регулируемого параметра, определяется его отклонение от заданного значения независимо от причин, вызвавших отклонение, что осуществляется с помощью отрицательной обратной связи, и формируется управляющее воздействие, направленное на сведение этого отклонения к нулю или допустимому минимуму;

– при *регулировании по возмущению* измеряется величина возмущающего воздействия, которое может вызвать отклонение регулируемого параметра от его заданного значения, а также формируется управляющее воздействие, способное скомпенсировать воздействие возмущения и тем самым поддержать заданное значение регулируемого параметра;

– при использовании *комбинированного принципа* построения наряду с главным контуром отрицательной обратной связи по отклонению регулируемого параметра имеется разомкнутый контур передачи компенсации возмущающего воздействия. Возмущающее воздействие (обычно по нагрузке) обеспечивает немедленное возникновение регулирующего воздействия *rit*) в соответствии с изменением нагрузки; воздействие по отклонению используется для устранения остающихся погрешностей.

Особенности статистических, астатических и изодромных САР.

1. Статистические САР – системы, которые принимают новое устойчивое положение, соответствующее новым условиям.

2. Астатические САР – системы, в которых регулируемый параметр при различных значениях внешних возмущающих воздействий принимает в установившемся режиме значение, независимое от возмущающего воздействия (рис. 7.6).

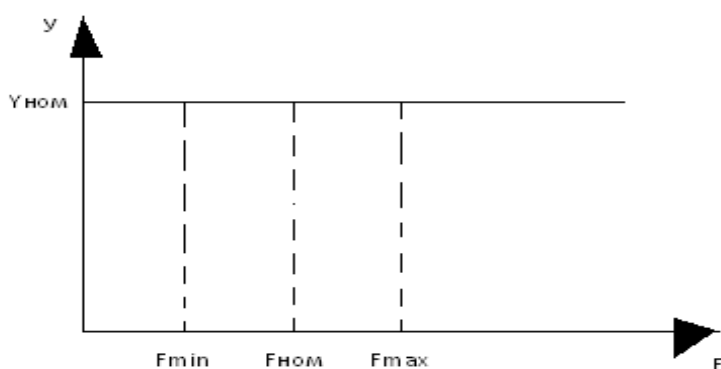


Рис. 7.6. График регулирования астатических САР

3. Изодромные САР – представляют собой комбинацию астатических и статических САР (рис. 7.7).

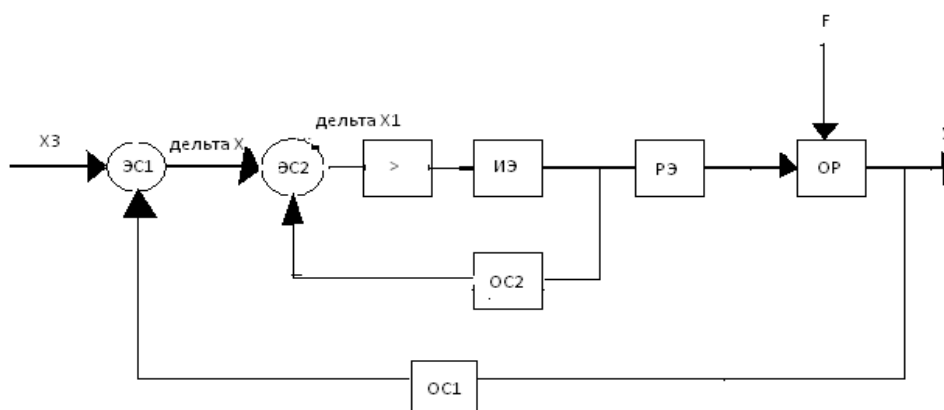


Рис. 7.7. Схема изодромных САР

7.4. Основные динамические звенья САР и их характеристики

Звено систем автоматического регулирования – элемент или устройство САР, выполняющий некоторые организационные функции. Выделяют линейные и нелинейные звенья.

Линейные – такие звенья, в которых между входными и выходными параметрами имеется прямо пропорциональная связь: $U_{\text{вых}} = RU_{\text{вх}}$.

Если какой-то из элементов САР имеет нелинейные характеристики, то вся система является нелинейной: $U_{\text{вых}} = R20 (1 + \alpha t + \beta t^2 + \dots) U_{\text{вх}}$.

Звенья САР могут соединяться в цепи автоматического регулирования. Цепи АР представляет собой набор элементов.

Параллельное соединение $y = y_1 + y_2 + y_3$ (алгебраическая сумма сигналов). Если образуется отрицательная связь, то выходной сигнал будет уменьшаться. Для того, чтобы упростить расчеты САР, применяются преобразователи Лапласа.

Последовательное соединение $y_2 = x_2 + y_1$; $y_3 = U_3 + y_1 + y_2$, U_3 – отстранение от выходных сигналов. Выходной сигнал является сложной комбинацией входных сигналов элементов и значение выходного сигнала y определяется методом решения графоаналитических уравнений.

Частотные и переходные характеристики типовых звеньев

Вид характеристики	Тип звена			
	Пропорциональное (усилительное, безынерционное)	Интегрирующее	Апериодическое (инерционное)	Колебательное
Уравнение	$y(t) = kx(t)$	$T \frac{dy(t)}{dt} = x(t)$	$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t)$	$T_1^2 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + T_2 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t)$
Передаточная функция $W(p)$	k	$\frac{1}{Tp}$	$\frac{1}{Tp + 1}$	$\frac{k}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}$
Переходная характеристика $h(t)$				
КЧХ $W(j\omega)$				

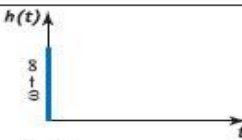
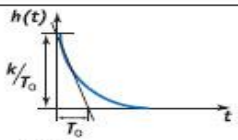
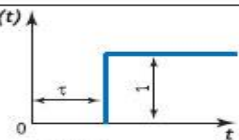
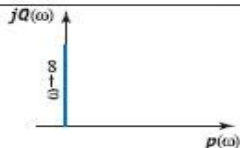
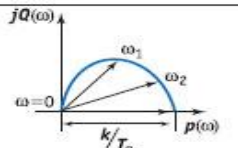
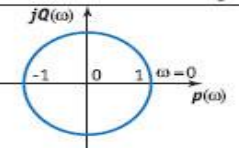
Вид характеристики	Тип звена		
	Идеальное дифференцирующее	Реальное дифференцирующее	Запаздывающее
Уравнение	$y(t) = k \frac{dx(t)}{dt}$	$y(t) = k \left[T_0 \frac{dx(t)}{dt} + x(t) \right]$	$y(t) = x(t - \tau)$
Передаточная функция $W(p)$	kp	$\frac{k T_0 p}{T_0 p + 1}$	$e^{-p\tau}$
Переходная характеристика $h(t)$			
КЧХ $W(j\omega)$			

Рис. 7.8. Характеристика типовых динамических звеньев

Свойства систем автоматического регулирования определяются статическими и динамическими характеристиками звеньев, входящих в систему, причем объект управления рассматривается как составное звено системы управления. **Статической** характеристикой элемента (технического устройства) называется зависимость его выходной величины от входной в равновесных состояниях, то есть $y = f(x)$. Статическая характеристика может быть представлена уравнением, графиком или таблицей. При графическом изображении статической характеристики по оси абсцисс откладывают значения входной величины x , а по оси ординат – значения выходной величины y . Статическая характеристика называется линейной, если зависимость между x и y линейна (графически она представляет собой прямую линию). Элемент с такой характеристикой также называется **линейным**. Если характеристика описывается нелинейным уравнением или системой уравнений, а ее график есть кривая или ломаная линия, то такая характеристика называется нелинейной, а элемент – нелинейным. Возможные характеристики линейного и нелинейного элементов показаны на рис. 7.9.

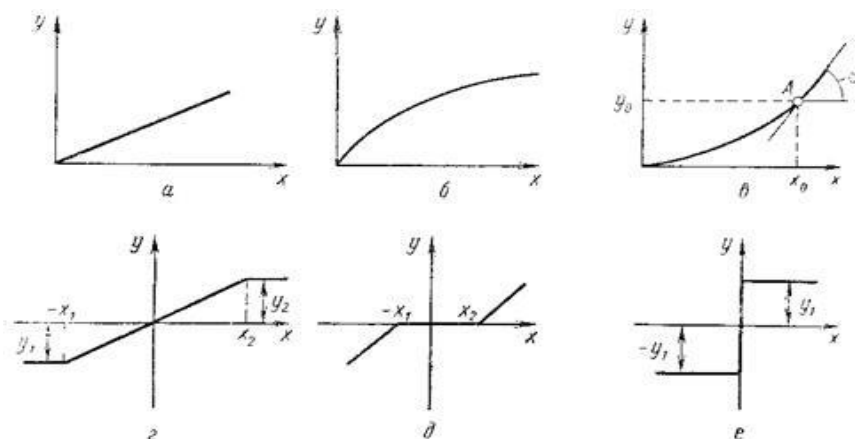


Рис. 7.9. Возможные характеристики линейного и нелинейного элементов

Уравнение линейной статической характеристики имеет вид:

$$y = kx, \quad (7.1)$$

где k – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом усиления.

Для нелинейных элементов математическая запись статической характеристики может быть различной в зависимости от вида нелинейности.

Большинство элементов, входящих в САР, в большей или меньшей степени нелинейны.

Учитывая, что расчеты САУ производятся для сравнительно небольших отклонений переменных величин от их базовых значений (x_0, y_0), поэтому уравнения записываются не в абсолютных значениях переменных, а в их абсолютных отклонениях:

$$\Delta y = k \Delta x, \quad (7.2)$$

Нелинейные элементы с плавно изменяющимися характеристиками можно рассматривать как имеющие линейную статическую характеристику. При этом линеаризацию статической характеристики можно производить не на всем диапазоне значений входных и выходных величин, а на небольшом участке в окрестности точки, соответствующей равновесному состоянию.

Режим работы САУ, в котором управляемая величина и все промежуточные величины не изменяются во времени, называется установившимся, статическим режимом. Любое звено и САУ в целом в данном режиме описывается уравнениями статики вида $y = F(u, f)$, в которых отсутствует время t . Соответствующие им графики называются статическими характеристиками. Статическая характеристика звена с одним входом u может быть представлена кривой $y = F(u)$ (рис. 7.10). Если звено имеет второй вход по возмущению f , то статическая характеристика задается семейством кривых $y = F(u)$ при различных значениях f , или $y = F(f)$ при различных u .

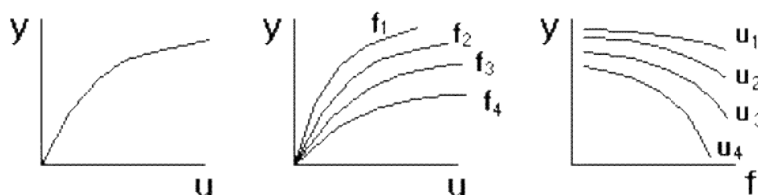


Рис. 7.10. Статистическая характеристика звена с одним входом u и входом по возмущению

Статическая характеристика данного звена имеет вид отрезка прямой линии с наклоном $\alpha = \arctg(L_2/L_1) = \arctg(K)$ (рис. 7.5). Звенья с линейными статическими характеристиками называются линейными. Статические характеристики реальных звеньев, как правило, нелинейны. Такие звенья называются нелинейными. Для них характерна зависимость коэффициента передачи от величины входного сигнала: $K = \Delta y / \Delta u$ не равно const.

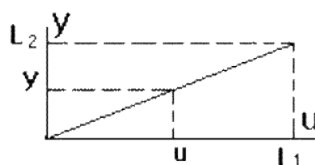


Рис. 7.11. Статистическая характеристика линейного звена

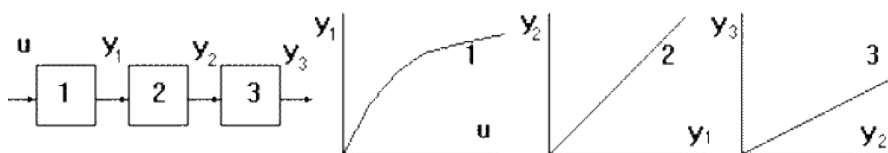


Рис. 7.12. Статистическая характеристика САУ

Зная статические характеристики отдельных звеньев, можно построить статическую характеристику САУ (рис. 7.12). Если все звенья САУ линейные, то САУ имеет линейную статическую характеристику и называется *линейной*. Если хотя бы одно звено нелинейное, то САУ *нелинейная*.

Звенья, для которых можно задать статическую характеристику в виде жесткой функциональной зависимости выходной величины от входной, называются *статическими*. Если такая связь отсутствует и каждому значению входной величины соответствует множество значений выходной величины, то такое звено называется *астатическим*. Изображать его статическую характеристику бессмысленно. Примером астатического звена может служить двигатель, входной величиной которого является напряжение U , а выходной – угол поворота вала $\alpha = k \int_0^t U dt$, величина которого при $U = \text{const}$ может принимать любые значения. Выходная величина астатического звена даже в установившемся режиме является функцией времени.

Динамической характеристикой элемента называют зависимость изменения во времени выходной величины y от изменения входной x в переходном режиме, при переходе из одного состояния в другое; характер изменения входной величины может быть разным. Динамические свойства элементов (и САР в целом) могут быть представлены дифференциальными уравнениями, с помощью которых описываются переходные процессы в элементах.

Для расчета различных систем автоматического управления они обычно разбиваются на динамические звенья.

Под *динамическим звеном* понимают устройство любого физического вида и конструкции, но описываемое определенным дифференциальным уравнением.

(Другое определение: *Динамическое звено* – это часть САУ, соответствующая какому-либо элементарному алгоритму).

В соответствии с этим определением классификация звеньев производится по виду дифференциального уравнения (или передаточной функции).

У каждого динамического звена может быть лишь одна входная и выходная величина. Выходная величина всякого динамического звена не оказывает на него какого-либо влияния, то есть динамические звенья имеют свойство однонаправленности.

Статическая характеристика любого линеаризованного звена может быть изображена прямой линией.

В соответствии со статической характеристикой различают типы динамических звеньев.

Динамические звенья называют типовыми, если изменение проходящего через них сигнала можно описать алгебраическим или дифференциальным уравнением не выше второго порядка (как правило, это линейные неоднородные дифференциальные уравнения с постоянными коэффициентами). Классификация основных типовых динамических звеньев приведена на рис. 7.8. Во всех случаях зависимая переменная (выходной сигнал) обозначена y , независимая переменная (время) t , а вынуждающая функция (возмущение, входное воздействие) x .

Динамическая характеристика звеньев включает в себя передаточную функцию, частотные характеристики и переходную функцию.

Динамическая характеристика звеньев характеризует соотношение между входными и выходными характеристиками САР в динамике.

Передаточная функция является функцией комплексного переменного p , обозначается:

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} \text{ в операторе.} \quad (7.3)$$

Передаточная функция характеризует динамику объекта по определенному каналу, связывающему вход объекта с выходом. Если в объекте имеется несколько входов, то каждому каналу связи входа с выходом будет соответствовать своя передаточная функция.

Если известна передаточная функция объекта, то изображение выхода объекта $y(p)$ равно произведению передаточной функции на изображение входа

$$x(p): y(p) = W(p)x(p).$$

Частотные характеристики: фазовые, амплитудные, амплитудно-фазные – выходная функция динамического звена представлена в виде периодических колебаний:

$$y = A(x) \sin(\omega t + \varphi). \quad (7.4)$$

Эта характеристика позволяет определить устойчивость САР. Существующие методы определяют динамическую устойчивость САР на основании построения годографов частотных характеристик $j\omega t$ колебательная система с возрастанием $\omega = 0$, **затухание $y(x) = 1$** .

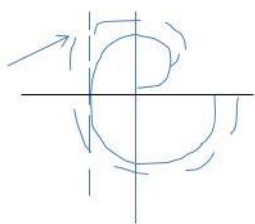
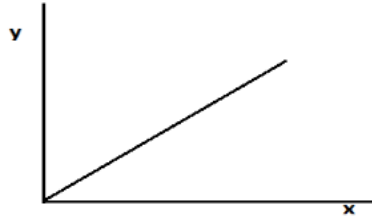


Рис. 7.13. Устойчивость САР

Свойства основных динамических звеньев САР:

– Безынерционным (усилительным) называется звено, характеризующееся и в статике, и в динамике алгебраическим уравнением $y = kx$.



Передаточная функция звена:

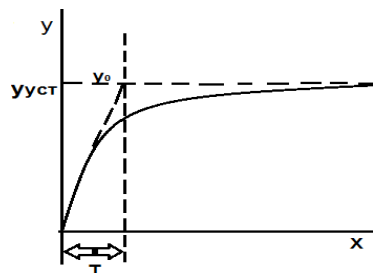
$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = KW(p). \quad (7.5)$$

Переходная функция звена: $\omega(t) = 1$. Характеризует изменение передаточной функции во времени.



– Аperiodическое звено имеет функцию:

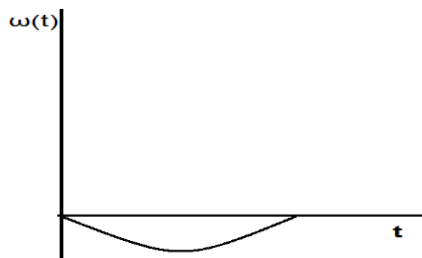
$$y = K \frac{\partial T}{\partial x} + \alpha \text{ (нагрев)}. \quad (7.6)$$



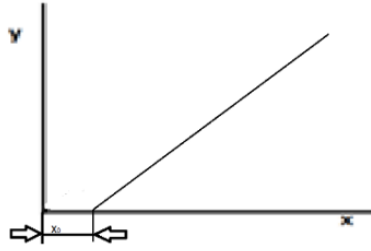
Передаточная функция звена:

$$W(p) = K \frac{y(p)}{x(p)} + A. \quad (7.7)$$

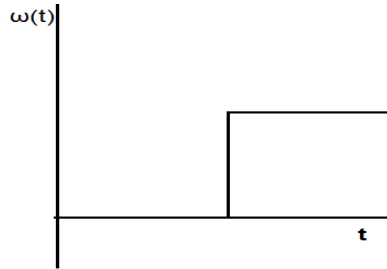
Переходная функция звена графически приведена ниже.



– Динамическое звено с запаздыванием: $y = k(x - x_0)$, $x > 0$ (перемещение).



Передаточная и переходная функция звена практически такие же.



Динамические звенья различают как интегрирующие, дифференцирующие, форсирующие, колебательные, запаздывающие.

Классификация типовых динамических звеньев:

- статическое звено нулевого порядка (безынерционное, усилительное, пропорциональное):

$$y(\tau) = Kx(\tau), \quad (7.8)$$

где K – статический коэффициент усиления;

- статическое звено первого порядка (апериодическое, инерционное, устойчивое):

$$T \times \frac{dy}{dt} + y = Kx, \quad (7.9)$$

где T – постоянная времени;

- статическое звено второго порядка (инерционное, устойчивое);
- идеальное интегрирующее звено (астатическое, нейтральное):

$$T_a \times \frac{dy}{dt} = x, \quad (7.10)$$

где T_a – постоянная времени интегрирования;

- реальное интегрирующее звено (нейтральное звено второго порядка);
- идеальное дифференцирующее звено;
- реальное дифференцирующее звено;
- звено запаздывания.

$$y(\tau) = x(\tau - \tau_{\text{зап}}), \quad (7.11)$$

где $\tau_{\text{зап}}$ – время транспортного(чистого) запаздывания.

Синтез САР часто выполняют при условии предварительного задания части структуры системы и параметров ряда элементов (на основании типовых решений, традиции и т. п.).

При этом, как правило, известны сам регулируемый объект, его математическая модель (дифференциальное уравнение), требуемая точность поддержания значения регулируемой координаты при установившихся режимах, что в определенной мере может обусловить структуру регулятора.

Синтез системы автоматического регулирования рассматривается как определение наилучшего закона (метода) формирования регулятором регулирующих действий в частности, как вопрос коррекции в подходящем направлении динамических параметров регулятора. При этом рассмотрение схем систем автоматического регулирования делается как на основании структурных суждений, исходя из характера взаимодействия отдельных элементов системы, определяемых только видом математического описания этих частей, так и в связи с физическими чертами и выполняемыми ими техническими функциями. Практический опыт построения систем регулирования промышленных объектов указывает, что основное значе-

ние тут приобретает не задача выбора алгоритмов функционирования регуляторов, а проблема построения хорошей схемы получения регулятором текущей информации о состоянии объекта регулирования, которое отражает характер взаимодействий между двумя функциональными основными элементами системы регулирования – объектом и регулятором.

Любая (самая сложная структурная схема) может быть изображена с помощью трех основных типов соединения: параллельного (рис. 7.13); – последовательного (рис. 7.14) и соединения с обратной связью (рис. 7.15).

– При параллельном соединении входные сигналы всех звеньев одинаковы и равны входу системы $x(p)$, а выход системы $y(p)$ равен сумме выходов звеньев

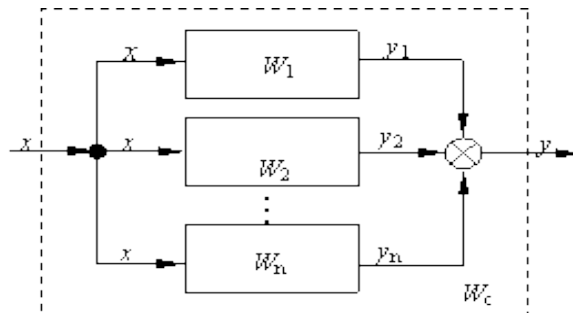


Рис. 7.13. Структурная схема параллельного соединения звеньев

Последовательное соединение звеньев. Особенностью является то, что выход предыдущего звена является входом последующего.

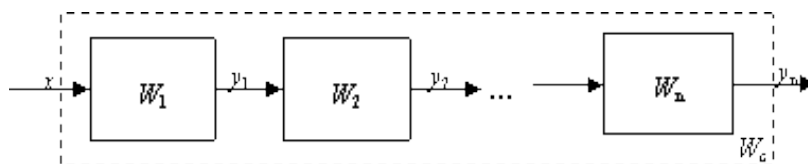


Рис. 7.14. Схема последовательного соединения

Соединение звеньев с обратной связью. Обратной связью называют передачу сигнала с выхода звена на его вход, где сигнал обратной связи x_{oc} алгебраически суммируется с внешним сигналом $x(p)$. Причем, если суммарный сигнал $x_1(p)$ определяется соотношением $x_1(p) = x(p) + x_{oc}(p)$, то обратная связь называется положительной, если $x_1(p) = x(p) - x_{oc}(p)$, то есть сигнал обратной связи вычитают из внешнего сигнала, то обратная связь называется отрицательной.

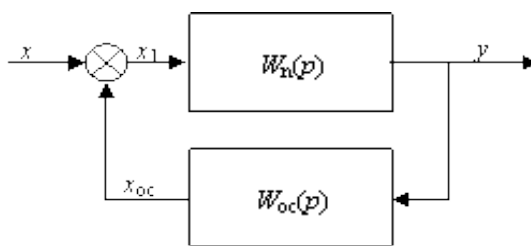


Рис. 7.15. Структурная схема соединения звеньев с обратной связью

Частотные характеристики звеньев САР.

В условиях реальной эксплуатации САР часто возникает необходимость определить реакцию на периодические сигналы, то есть определить сигнал на выходе САР, если на один из входов подается периодически сигнал гармонической формы. Решение этой задачи возможно получить путем использования частотных характеристик. Частотные характеристики могут быть получены экспериментальным или аналитическим путем. При аналитическом определении исходным моментом является одна из передаточных функций САР (по управлению или по возмущению). Возможно также определение частотных характеристик исходя из передаточных функций разомкнутой системы и передаточной функции по ошибке.

Таблица 7.2

Частотные характеристики звеньев

Частотная передаточная функция	Амплитудная $M(\omega)$ и фазовая $\varphi(\omega)$ характеристики	Амплитудно-фазовая частотная характеристика
$W(j\omega) = K$	$M(\omega) = 0, \varphi(\omega) = 0$	
$W(j\omega) = \frac{K}{1 + j\omega T}$	$M(\omega) = \frac{K}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}}$ $\varphi(\omega) = -\arctg \omega T$	
$\omega_1 = \frac{1}{T_2}$ $W(j, \omega) = \frac{K}{(1 - \omega^2 T_2^2) + j\omega T_1}$	$M(\omega) = \frac{K}{\sqrt{1 + \omega^2(T_1^2 - 2T_2^2) + \omega^4 T_2^4}}$ $\varphi(\omega) = -\arctg \frac{\omega T_1}{1 + \omega^2 T_2^2}$	
$\omega_1 = \frac{1}{T}$ $W(j, \omega) = \frac{K}{(1 - \omega^2 T^2) + j\omega^2 \xi T}$	$M(\omega) = \frac{K}{\sqrt{1 + \omega^2 2T^2(2\xi^2 - 1) + \omega^4 T^4}}$ $\varphi(\omega) = -\arctg \frac{\omega^2 \xi T}{1 - \omega^2 T^2}$	
$W(j\omega) = \frac{K}{1 - \omega^2 T^2}$	$M(\omega) = \frac{K}{1 - \omega^2 T^2}$ $\varphi(\omega) = 0$	
$W(j\omega) = \frac{K}{j\omega}$	$M(\omega) = \frac{K}{\omega}$ $\varphi(\omega) = -90^\circ$	
$W(j\omega) = \frac{K}{-\omega^2 T + j\omega}$	$M(\omega) = \frac{K}{\omega \sqrt{1 + \omega^2 T^2}}$ $\varphi(\omega) = -(90^\circ + \arctg \omega T)$	
$W(j\omega) = \frac{K(1 + j\omega T)}{j\omega}$	$M(\omega) = \frac{K}{\omega} \sqrt{1 + \omega^2 T^2}$ $\varphi(\omega) = -90^\circ + \arctg \omega T$	
$W(j\omega) = \frac{K((1 - \omega^2 \tau^2) + j\omega^2 \xi \tau)}{-\omega^2}$	$M(\omega) = \frac{K}{\omega^2} \times \sqrt{1 + \omega^2 2\tau^2(2\xi^2 - 1) + \omega^4 \tau^4}$ $\varphi(\omega) = \arctg \frac{2\omega \tau \xi}{1 - \omega^2 \tau^2} - 180^\circ$	

Продолжение табл. 7.2

Частотная передаточная функция	Амплитудная $M(\omega)$ и фазовая $\varphi(\omega)$ характеристики	Амплитудно-фазовая частотная характеристика
$W(j\omega) = jK\omega$	$M(\omega) = k\omega$ $\varphi(\omega) = 90^\circ$	
$\frac{K}{T}W(j\omega) = \frac{jK\omega}{1+j\omega T}$	$M(\omega) = \frac{k\omega}{\sqrt{1+\omega^2 T^2}}$ $\varphi(\omega) = 90^\circ - \arctg \omega T$	
$W(j\omega) = K(1+j\omega\tau)$	$M(\omega) = K\sqrt{1+\omega^2\tau^2}$ $\varphi(\omega) = \arctg \omega\tau$	
$\omega_1 = \frac{1}{\tau}$ $W(j\omega) = K((1-\omega^2\tau^2) + j\omega^2\xi\tau)$	$M(\omega) = K\sqrt{1+\omega^2 2\tau^2(2\xi^2-1) + \omega^4\tau^4}$ $\varphi(\omega) = \frac{2\omega\tau\xi}{1-\omega^2\tau^2}$	

Устойчивость САР. Критерии устойчивости

Понятие устойчивости является важнейшей качественной оценкой динамических свойств САР. Устойчивость САР связана с характером ее поведения после прекращения внешнего воздействия. Это поведение описывается свободной составляющей решения дифференциального уравнения, которое описывает систему. Если свободная составляющая рабочего параметра объекта управления после прекращения внешнего воздействия стремится к нулю, то такая система является устойчивой. Другими словами – устойчивость системы – это затухание ее переходных процессов.

Если свободная составляющая стремится к конечному значению или имеет вид гармонических колебаний с постоянной амплитудой, то система считается *нейтральной*. В том случае, если свободная составляющая неограниченно возрастает или имеет вид гармонических колебаний с возрастающей амплитудой, то система считается *неустойчивой*.

Оценка устойчивости производится на основе результатов исследования свободной составляющей, которая представляет собой решение однородного дифференциального уравнения при заданных начальных условиях:

$$(a_0 S^n + a_1 S^{n-1} + \dots + a_n)u = 0. \quad (7.12)$$

Решение уравнения представляет собой сумму слагаемых, вид которых определяется значениями корней характеристического уравнения:

$$a_0 S^n + a_1 S^{n-1} + \dots + a_n = 0. \quad (7.13)$$

Если система представлена в виде передаточной функции, то для анализа устойчивости используется ее собственный оператор (знаменатель передаточной функции).

Полученные корни характеристического уравнения могут быть представлены в виде точек на комплексной плоскости.

Для устойчивых систем необходимо и достаточно, чтобы все корни характеристического уравнения лежали слева от мнимой оси комплексной плоскости. Если хотя бы один вещественный корень или пара комплексных сопряженных корней находится справа от мнимой оси, то система является неустойчивой.

Если имеется нулевой корень или пара чисто мнимых корней, то система считается нейтральной (находящейся на границе устойчивости и неустойчивости). Таким образом, мнимая ось комплексной плоскости является *границей устойчивости*.

С целью упрощения анализа устойчивости систем разработано ряд специальных методов, которые получили название критерии устойчивости. Критерии устойчивости делятся на две разновидности: алгебраические и частотные. Алгебраические критерии являются аналитическими, а частотные – графоаналитическими. Критерии устойчивости позволяют также оценить влияние параметров системы на устойчивость.

Частотный критерий устойчивости Михайлова

Критерий Михайлова предполагает построение годографа на комплексной плоскости. Для построения годографа из уравнения (7.14) путем подстановки $S = j\omega$ получают аналитическое выражение вектора $D(j\omega)$ (7.14):

$$D(j\omega) = a_0(j\omega)^n + a_1S(j\omega)^{n-1} + \dots + a_n. \quad (7.14)$$

Построение годографа производится по уравнению вектора $D(j\omega)$ при изменении частоты от 0 до бесконечности.

Для случая устойчивости системы n -го порядка необходимо и достаточно, чтобы при $\omega = 0$ годограф начинался на вещественной положительной оси и обходил против часовой стрелки n квадрантов, нигде не обращаясь в нуль.

Если годограф начинается в нулевой точке комплексной плоскости или проходит через эту точку при определенной частоте, то система считается нейтральной.

Частотный критерий устойчивости Найквиста

Данный критерий позволяет по амплитудно-фазовой частотной характеристике разомкнутой системы оценить устойчивость системы. АФЧХ может быть получена экспериментально или аналитически. Аналитическое построение АФЧХ производится обычными методами. Для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы при изменении частоты от 0 до бесконечности не охватывала точку с координатами $-1, j0$. Если АФЧХ разомкнутой системы проходит через точку с координатами $-1, j0$, то система будет нейтральной.

Качество САР

Кроме устойчивости, САР анализируются с точки зрения качества регулирования. В общем случае качество регулирования представляет собой совокупность точности в установившемся режиме и качества переходных процессов.

Оценки качества могут быть прямыми и косвенными. В свою очередь, прямые и косвенные могут быть статическими и динамическими. Динамические оценки характеризуют переходный процесс, а статические – установившийся режим.

Прямые оценки определяются непосредственно по переходной характеристике по каналу управления или возмущения (рис. 7.16).

Если переходная характеристика представляет собой затухающие колебания, то система считается устойчивой. При этом допускается не более 2–3 колебаний. К основным прямым оценкам относятся следующие: s – регулирование, t_p – время регулирования, e – декремент затухания, ω – частота колебаний, n – число колебаний, которое имеет переходная характеристика за время регулирования t_p , t_H – время нарастания переходного процесса, $t_{\max}$ – время достижения первого максимума.

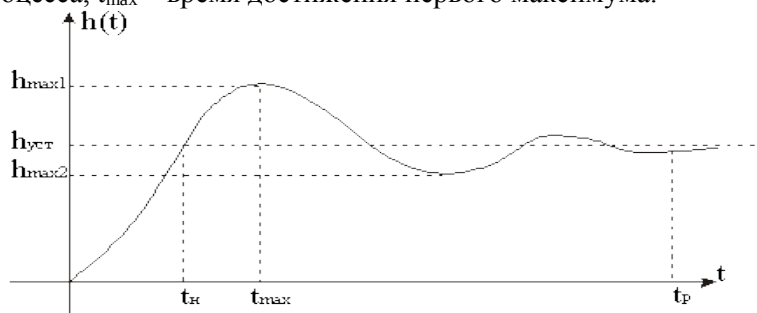


Рис. 7.16. Переходная характеристика

Перерегулирование есть разность между максимальным значением $h_{\max1}$ переходной характеристики и ее установившимся значением, выраженная в процентах:

$$\sigma = \frac{|h_{уст} - h_{max}|}{h_{уст}} \cdot 100 \%. \quad (7.15)$$

В большинстве случаев требуется, чтобы перерегулирование не превышало 10–30 %,

Время регулирования оценивает длительность переходного процесса. Так как теоретически длительность переходного процесса идеальных систем равно, за время регулирования принимается тот интервал времени, по истечении которого отклонение переходной характеристики от установившегося значения не превышает некоторой заданной величины q . Значение q выбирают обычно равным 5 %.

При заданных значениях s и t_p переходная характеристика не должна выходить из определенной области, которая называется областью допустимых отклонений.

В статическом режиме САР оценивается коэффициентом статизма (астатизма):

$$\Delta = \frac{x - y_{уст}}{x} = 1 - W(S), \quad (7.16)$$

где x – задание; $y_{уст}$ – установившееся значение рабочего параметра.

Рассмотренные выше оценки качества относятся к прямым. Вместе с тем существуют косвенные, среди которых наибольшее распространение получили интегральные оценки. Существует две разновидности интегральной оценки: линейная и квадратичная. Численно линейная интегральная оценка равна площади, ограниченной кривой ошибки или разности $X-Y$. Значение Y берется в пределах временного интервала от 0 до t_p . Линейная интегральная оценка определяется следующим выражением:

$$J_0 = \int_0^{t_0} (x - y) dt \quad (7.15)$$

Эта оценка может быть применена только при монотонных переходных процессах при отсутствии колебаний.

Квадратичная интегральная оценка применяется как при монотонных, так и при колебательных переходных процессах и определяется следующим соотношением:

$$J_0 = \int_0^{t_0} (x - y)^2 dt \quad (7.16)$$

Недостаток квадратичной интегральной оценки заключается в том, что различные по характеру переходные процессы могут иметь одну и ту же величину оценки.

7.5. Первичные преобразователи (датчики), усилители, элементы сравнения, исполнительные механизмы

Первичный преобразователь – элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства системы, преобразующий контролируемую величину (давление, температуру, частоту, скорость, перемещение, напряжение, электрический ток и т. п.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации, а также для воздействия им на управляемые процессы.

Состав: воспринимающий орган и один или несколько промежуточных преобразователей. Выходные сигналы различаются по роду энергии – электрические, механические, пневматические (реже гидравлические), а также по характеру модуляции потока энергии – амплитудные, время-импульсные, частотные, фазовые, дискретные (кодовые).

Специфические требования предъявляются к выходным сигналам и характеристикам преобразователей при их использовании в системах централизованного контроля. Поочередное подключение множества преобразователей к одному измерительному устройству требует максимальной унификации выходных параметров.

Задающее устройство – элемент системы автоматического регулирования, с помощью которого устанавливается требуемое значение регулируемой величины либо задается закон ее изменения (устройство программного управления станком). В системах регулирования сложных процессов функции задающего устройства может выполнять специализированная программа или копир.

Задающее устройство вырабатывает условия протекания технологического процесса – функцию времени. Эта функция может быть одномерной или многомерной. В САУ чаще встречаются многомерные функции времени, когда задаются условия одновременно по нескольким параметрам – температуре, давлению и т. д. В некоторых случаях задающая величина является постоянной во времени – тогда задается не функция времени, а отдельные величины. Задающие устройства выдают сигнал в аналоговой или цифровой форме. В качестве задающего устройства ранее применялись кулачковые механизмы, функциональные потенциометры, перфокарты и т. п. В настоящее время используются электронные аналоговые и цифровые устройства.

При исчезновении внешнего напряжения заданная величина остается введенной и вновь подается в САУ при его появлении. При необходимости использования задаваемой величины в цифровом виде потенциометрический задатчик снабжается аналого-цифровым преобразователем-АЦП. На его выходе имеется цифровой код задаваемой величины функции времени. Запоминание заданной величины осуществляется за счет неизменного положения движка потенциометра или переключателя. Для управления цифровыми системами на базе микропроцессоров и компьютеров используются кнопочные задатчики. При многопараметрических задающих аналоговых сигналах задание каждого параметра производится отдельно, что предопределяет соответствующее количество вводных потенциометров. При использовании цифровой формы ввода информации отдельно хранятся только введенные величины.

Виды: программный, механические.

Усилитель – это устройство, в котором происходит усиление выходного сигнала датчика или преобразователя до величины, необходимой для питания исполнительных устройств за счет дополнительного источника энергии. В усилителях входная и выходная величины имеют одинаковую физическую природу. Усилители являются элементами датчиков, преобразователей, исполнительных устройств. Усилители классифицируются по виду энергии – механические, гидравлические, пневматические, электрические. Основными характеристиками усилителя являются:

- вид статической характеристики (линейная, нелинейная);
- коэффициент усиления;
- чувствительность;
- быстродействие;
- точность воспроизведения входной величины.

Тип и характеристики усилителя зависят от типа и характеристик датчика, преобразователя и исполнительного устройства. Электрические усилители подразделяют по роду усиливаемого тока – на усилители постоянного и переменного тока. *Усилители постоянного тока* применяются для усиления сигналов для управления исполнительными устройствами небольшой мощности – электромагнитными реле и обмотками возбуждения электродвигателей постоянного и переменного тока. Тиристорные усилители применяют для управления однофазными и многофазными электродвигателями переменного тока, двигателями постоянного тока и другой мощной нагрузкой.

Сравнивающие устройства, в зависимости от вида обрабатываемого сигнала, могут быть аналоговые и цифровые, а по результату сравнения – релейными (двух- и более позиционными) или иметь на выходе абсолютную разность рассогласования. Для двухпозиционного регулирования используются компараторы (нуль-органы). Аналоговые схемы сравнения сигналов просты, но не всегда имеют достаточную точность и стабильность работы. Для сравнения цифровых величин применяются цифровые логические схемы. Сравнение производится поразрядно. Схему сравнения для двух и более разрядов составляют из одноразрядных схем. Цифровые схемы более громоздки в исполнении, но более надежны в работе в сравнении с аналоговыми. Поэтому в отдельности они применяются достаточно редко. Все большее применение находят цифровые сравнивающие устройства, реализуемые рабочими программами микропроцессорных устройств.

Исполнительное устройство осуществляет (при поступлении на его вход сигналов управления) определенные воздействия на объект регулирования. К ним относятся электродвигатели, муфты, тяговые электромагниты, реле и т. п. Исполнительные устройства через рабочие органы воздействуют на объект регулирования. Рабочие органы обеспечивают при выполнении технологической операции соответствующее воздействие на среду, изменяя ее температуру, состав, давление, скорость, расход и т. п. Рабочими органами могут быть различного рода заслонки, клапаны, задвижки и другие устройства. Исполнительное устройство обычно состоит из двигателя, передаточного или преобразующего узла, а также систем защиты, контроля и сигнализации положения выходного элемента, блокировки и отключения. Классифицируются исполнительные устройства по виду используемой энергии на *гидравлические, пневматические, электродвигательные и электромагнитные*. Электрические исполнительные устройства можно разделить

на электромагнитные и электродвигательные. К электромагнитным исполнительным устройствам относятся прежде всего соленоидные электроприводы, предназначенные для управления различного рода регулирующими и запорными вентилями, и т. п. Электродвигательные исполнительные устройства используются в электродвигателях постоянного и переменного тока. Большинство электродвигательных исполнительных устройств работает в режиме, когда скорость перемещения не зависит от величины отклонения регулируемого параметра от заданного значения. Гидравлические исполнительные устройства преобразуют энергию потока рабочей жидкости в энергию механического движения поршня (поступательное движение) или ротора (вращательное движение) и состоят из двух элементов: управляющего и исполнительного. Поток рабочей жидкости создается специальным гидравлическим насосом, приводимым в движение электрическим или иным двигателем. В зависимости от вида управляющего элемента различают гидравлические исполнительные устройства с золотниковым и объемным регулированием. Гидравлические исполнительные механизмы с объемным регулированием управляются за счет изменения производительности насоса, а золотниковые – с помощью перекрываемых отверстий. Пневматические исполнительные механизмы по устройству аналогичны гидравлическим. Обычно используют поршневые и мембранные исполнительные механизмы, так как они просты по конструкции и имеют высокую надежность. По сравнению с электрическим приводом поступательного движения, развивающим те же усилия, пневмопривод значительно легче, дешевле и проще по конструкции. Общие недостатки пневматических и гидравлических исполнительных устройств: сложность операций по их наладке и, главное, необходимость в специальных компрессорных (насосных) установках для их питания.

7.6. Структурные, функциональные и принципиальные схемы автоматизации

Структурные схемы автоматики представляются в виде прямоугольников или простейших фигур изображаемых предметов систем автоматического управления и линий со стрелками, изображающими направление воздействия.

При разработке проекта автоматизации в первую очередь необходимо решить, с каких мест те или иные участки объекта будут управляться, где будут размещаться пункты управления, операторские помещения, какова должна быть взаимосвязь между ними, необходимо решить вопросы выбора структуры управления. Под структурой управления понимается совокупность частей автоматической системы, на которые она может быть разделена по определенному признаку, а также пути передачи воздействий между ними. Графическое изображение структуры управления называется структурной схемой. Хотя исходные данные для выбора структуры управления и ее иерархии с той или иной степенью детализации оговариваются заказчиком при выдаче задания на проектирование, полная структура управления должна разрабатываться проектной организацией.

Выбор структуры управления объектом автоматизации оказывает существенное влияние на эффективность его работы, снижение относительной стоимости системы управления, ее надежности, ремонтоспособности и т. д.

В самом общем виде структурная схема системы автоматизации представлена на рис. 7.17. Система автоматизации состоит из объекта автоматизации и системы управления этим объектом. Благодаря определенному взаимодействию между объектом автоматизации и системой управления система автоматизации в целом обеспечивает требуемый результат функционирования объекта, характеризующийся параметрами $x_1, x_2, \dots, x_n$.

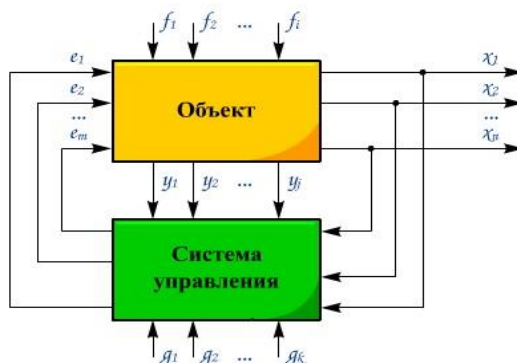


Рис. 7.17. Структурная схема системы автоматизации

К этим параметрам можно отнести, например, величины, характеризующие целесообразный конечный продукт технологического процесса, отдельные параметры, определяющие ход технологического процесса, его экономичность, обеспечение безаварийного режима и т. д.

Кроме этих основных параметров, работа комплексного объекта автоматизации характеризуется рядом вспомогательных параметров $y_1, y_2, \dots, y_i$, которые также должны контролироваться и регулироваться (например, поддерживаться постоянными). К такого рода параметрам можно отнести, например, величины, характеризующие работу установок подготовки технологического пара, насосных станций оборотного водоснабжения и т. д.

От этих установок требуется только подача на вход технологической установки сырья и энергоносителей с заданными параметрами. При этом необходимая дозировка подачи сырья и энергоносителей осуществляется средствами управления, относящимися к технологической установке.

В процессе работы на объект поступают возмущающие воздействия $f_1, f_2, \dots, f_i$, вызывающие отклонения параметров $x_1, x_2, \dots, x_n$ от их требуемых значений. Информация о текущих значениях $x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_i$ поступает в систему управления и сравнивается с предписанными им значениями $g_1, g_2, \dots, g_k$, в результате чего система управления вырабатывает управляющие воздействия $E_1, E_2, \dots, E_m$ для компенсации отклонений выходных параметров.

Таким образом, объект автоматизации в общем виде представляет несколько в большей или меньшей степени связанных друг с другом участков управления. Участки управления физически могут представляться из отдельных установок, агрегатов и т. д. или локальных каналов управления отдельными параметрами одних и тех же установок, агрегатов и т. д.

В свою очередь, система управления, в зависимости от важности регулируемых параметров, круга работников эксплуатационного персонала, которым необходимо знать их обязанности для осуществления оптимального управления объектом, должна обеспечивать разные уровни управления объектом автоматизации, а также состоять из нескольких пунктов управления, в той или иной степени взаимосвязанных друг с другом.

С учетом изложенного, структуры управления объектом автоматизации могут быть в частных случаях одноуровневыми централизованными, одноуровневыми децентрализованными и многоуровневыми. Одноуровневые системы управления, в которых управление объектом осуществляется с одного пункта управления, называются централизованными. Одноуровневые системы, в которых отдельные части сложного объекта управляются из самостоятельных пунктов управления, называются децентрализованными системами с обратной связью (рис. 7.18) называются системами регулирования.

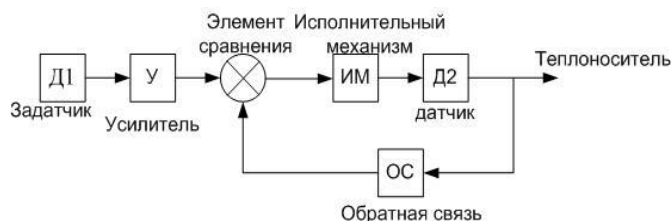


Рис. 7.18. Пример структурной схемы с обратной связью

Если обратной связи нет, то это не система регулирования, а система автоматического управления.

Функциональные схемы являются основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации (в том числе средствами телемеханики и вычислительной техники).

Объектом управления в системах автоматизации технологических процессов является совокупность основного и вспомогательного оборудования вместе с встроенными в него запорными и регулирующими органами, а также энергии, сырья и других материалов, определяемых особенностями используемой технологии.

Функциональная схема выполняется в соответствии с ГОСТом 21.404-85, ГОСТом 21.408-93 и другими нормативными документами, в виде чертежа, на котором схематически условными изображениями показывают: технологическое оборудование, коммуникации, органы управления и средства автоматизации с указанием связей между технологическим оборудованием и средствами автоматизации, а также связей между отдельными функциональными блоками и элементами автоматики.

Методика построения графических условных обозначений для упрощенного и развернутого способов является общей.

В верхней части окружности наносятся буквенные обозначения измеряемой величины и функционального признака прибора.

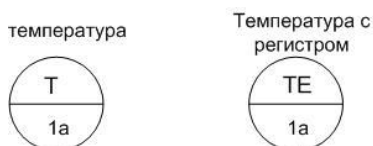
В нижней части окружности наносится позиционное обозначение (цифровое или буквенно-цифровое), служащее для нумерации комплекта измерения или регулирования (при упрощенном способе построения условных обозначений) или отдельных элементов комплекта (при развернутом способе построения условных обозначений).

Функциональные схемы изображают функциональные устройства объекта регулирования с указанием размещения устройств регулирования, датчиков, исполнительных механизмов по месту их расположения. Существует определенная система обозначений для этих элементов.



Вместо прибора : $d = 10 \text{ мм}$

В верхней части пишется буквенное обозначение прибора; в нижней части — условное обозначение (позиционное) прибора.



Используют следующие обозначения: температура (**T**); влажность (**M**); скорость/частота (**S**); масса (**W**); расход (**F**); общее обозначение (**A**); с ручным воздействием (**H**); измерение уровня (**L**); давление/вакуум (**P**); электрический прибор (**E**) (рис. 7.19).

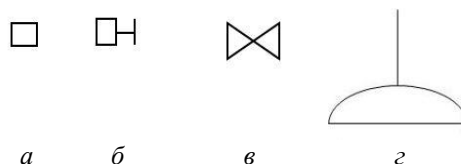


Рис. 7.19. а — исполнительные механизмы; б — с ручным возвратом; в — регулирующий орган (завдвижка); г — отборное устройство

На функциональной схеме линии взаимосвязи (между приборами) может обозначаться в соответствии с видом энергоносителя различными цветами: жидк. или газ — красный или черный; вода — зеленый (-1-1-); пар — розовый (-2-2-); воздух — голубой (-3-3-); азот — темно-желтый (-4-4-); кислород — синий (-5-5-), аммиак — серый (-11-11-); вакуум — светлосерый(-27-27-).

Пример: Водяной калорифер — устройство для обеспечения температуры в помещении с радиатором (рис. 7.20).

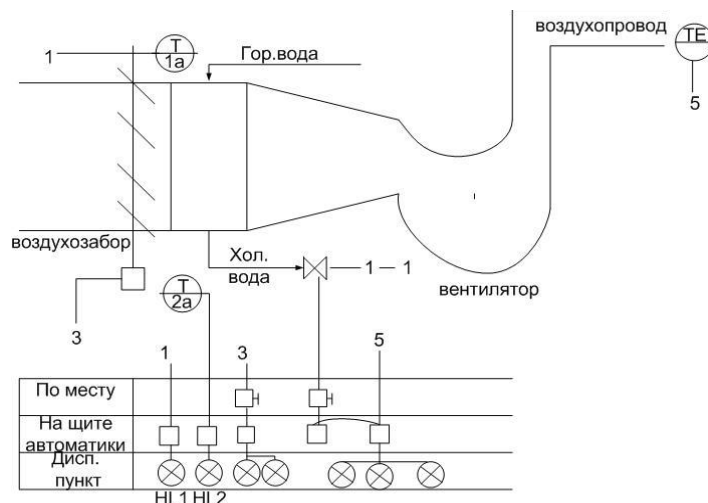


Рис. 7.20. Функциональная схема проточной системы

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов, аппаратов и устройств (а также связей между ними), действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. Принципиальные схемы служат основанием для разработки других документов проекта: монтажных таблиц щитов и пультов, схем внешних соединений и др. (рис. 7.21).

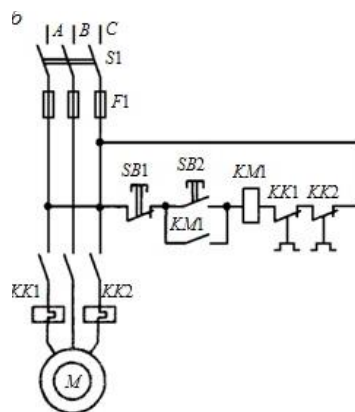


Рис. 7.21. Принципиальная электрическая схема управления электродвигателем

Эти схемы дают детальное представление о работе системы и служат также для изучения принципа действия системы, они необходимы при производстве наладочных работ и в эксплуатации.

При разработке систем автоматизации технологических процессов принципиальные электрические схемы обычно выполняют применительно к отдельным самостоятельным элементам, установкам или участкам автоматизируемой системы, например, выполняют схему управления задвижкой, схему автоматического и дистанционного управления насосом, схему сигнализации уровня в резервуаре и т. п. Используя их, составляют в случае необходимости, принципиальные электрические схемы, охватывающие целый комплекс отдельных элементов, установок или агрегатов, которые дают полное представление о связях между всеми элементами управления, блокировки, защиты и сигнализации этих установок или агрегатов. Примером таких схем может служить принципиальная электрическая схема управления насосной установкой, состоящей из насоса, вакуум-насоса и нескольких электрифицированных задвижек.

Основные требования к схемам: простота, надежность, четкость действий при аварийных режимах, удобство оперативной работы, удобство эксплуатации.

Надежность. Под надежностью схемы понимают ее способность безотказно выполнять свои функции в течение определенного интервала времени в заданных режимах работы. Это требование обычно обеспечивается целым рядом технических мероприятий: применение наиболее надежных элементов, приборов и аппаратов; оптимальные режимы их работы; резервирование малонадежных или наиболее ответственных элементов или цепей схемы; автоматический контроль за неисправностью схемы; запретные

блокировки, исключая возможность проведения ложных операций; сокращение времени нахождения элементов схемы под напряжением и т. д.

Надежность действия является главным требованием, которое предъявляется к схемам. Если при проектировании обеспечению надежности действия схемы не будет уделено должного внимания, то все другие преимущества, которые имеет схема, могут быть утрачены. Требования к уровню надежности схем регулирования, управления и сигнализации определяются оценкой последствий отказов их действия для конкретных участков технологического процесса. Иногда эти отказы могут явиться причинами возникновения или развития тяжелых аварий.

Методы оценки надежности и способы ее повышения применительно к электрическим схемам подробно освещены в технической литературе.

Простота и экономичность проектируемых схем обеспечивается использованием стандартной, наиболее дешевой аппаратуры и типовых (нормализованных) узлов; сокращением до минимума числа элементов в схеме и ограничением их номенклатуры; применением систем электропривода производственных механизмов, обеспечивающих высокие энергетические показатели в установившихся и переходных режимах работы, и т. п.

Четкость действия схемы при аварийных режимах. Каждая принципиальная электрическая схема в системах автоматизации технологических процессов должна быть построена таким образом, чтобы при возникновении аварийных режимов, вызванных неисправностями в цепях управления, а также при полном исчезновении или снижении и последующем восстановлении напряжения питания в главных (силовых) цепях управления обеспечивалась безопасность обслуживающего персонала и предотвращалось дальнейшее развитие аварии, приводящее к повреждению механического или электрического оборудования и браку продукции.

При анализе работы схемы в аварийных режимах следует учитывать возможность перегорания предохранителей или отключения автоматов; появление короткого замыкания или замыкания на землю в различных точках схемы (в основном во внешних единениях); обрыв проводов; сгорание катушек контакторов или реле; приваривания контактов и т. п. Принято рассматривать аварийный режим, возникающий в результате появления какой-либо одной неисправности, так как вероятность появления одновременно двух или более неисправностей в одной и той же схеме достаточно мала.

Удобство оперативной работы. Принципиальная электрическая схема должна обеспечивать оптимальные условия для работы оперативного персонала. Это требование предусматривает упрощение операций, производимых обслуживающим персоналом при управлении; сокращение числа органов управления; возможность простого и быстрого выбора необходимого режима работы; перевода с автоматического управления на ручное и обратно; снятие и введение блокировочных связей и зависимостей и т. д.

Удобство эксплуатации. Принципиальная электрическая схема должна быть спроектирована так, чтобы ее эксплуатация в производственных условиях была предельно простой, требовала минимума затрат и внимания эксплуатационного персонала, обеспечивала возможность проведения ремонтных и наладочных работ с соблюдением необходимых мер безопасности.

Четкость оформления. Оформление любой электрической схемы следует выполнять ясно, просто и компактно. Графическое оформление схемы должно способствовать наилучшему восприятию содержания схемы.

Принципиальные электрические схемы управления, регулирования, измерения, сигнализации, питания, входящие в состав проектов автоматизации технологических процессов, выполняют в соответствии с требованиями государственных стандартов по правилам выполнения схем, условным графическим обозначениям, маркировке цепей и буквенно-цифровым обозначениям элементов схем. Исключением является основная надпись чертежа, которую оформляют так же, как и основные надписи других чертежей, входящих в состав проекта; обозначение (шифр) схемы имеет порядковый номер по описи материалов проекта.

Перечень стандартов по правилам выполнения схем, условным графическим и буквенно-цифровым обозначениям элементов схем, обозначению цепей, распространяемых на выполнение принципиальных электрических схем проектов автоматизации технологических процессов, приведены в разделе «Справочные материалы» методического обеспечения курса.

Из перечисленных там стандартов **ГОСТ 2.701-84, ГОСТ 2.702-75 и ГОСТ 2.708-81** определяют общие требования и правила выполнения схем.

ГОСТ 2.709-72 устанавливает требования к обозначению цепей, а **ГОСТ 2.710-81** – к буквенно-цифровым обозначениям элементов схем.

Общие требования по выполнению принципиальных схем систем автоматизации содержатся в **ГОСТ 21.408-93** (п.4.4).

ЛЕКЦИЯ 8. УЧЕТ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ (8 ч)

8.1. Общие требований к приборам и организации учета энергоносителей в промышленности. Основные определения

При оборудовании и эксплуатации узлов учета энергии, необходимо руководствоваться следующими нормативными документами:

1. «Правила пользования тепловой энергией».
2. «Правила электроснабжения».
3. «Правила эксплуатации установок и тепловых сетей потребителей».
- 4) правила ТБ при эксплуатации тепловых установок и тепловых сетей.
5. «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правила измерения расходов газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами».
6. Методические материалы по применению правил по учету расхода жидкостей и газов.
7. «Правила поверка средств измерений».
8. Области использования средств измерений, подлежащих поверке.
9. Теплосчетчики – требования к использованию метрологической аттестации и проверки.
10. «Вода. Удельный объем и энтальпия при температуре 80 °С и давлении от 0,001 до 1000 Мпа».
11. Инструкции заводов-изготовителей на комплекты изготовителей приборов или отдельные приборы.
12. Инструкции об оснащении узла учета ТЭ и соответствующих средств измерений.

В соответствии с вышеуказанными нормативными документами вводятся основные понятия и определения:

абонент (потребитель) – юридическое или физическое лицо, индивидуальный предприниматель, осуществляющие пользование тепловой энергией, система теплоснабжения которых непосредственно присоединена к тепловым сетям энергоснабжающей или транспортирующей организации, имеющие с ней границу балансовой принадлежности и заключенный договор теплоснабжения;

вентиляция – естественный или искусственный регулируемый воздухообмен в помещениях (замкнутых пространствах), обеспечивающий качество воздушной среды в соответствии с санитарно-гигиеническими и технологическими требованиями;

водяная система теплоснабжения – система теплоснабжения, в которой теплоносителем является вода;

встроенное (пристроенное) нежилое помещение жилого дома – в зависимости от объемно-планировочного решения, помещение для размещения предприятия (учреждения), относящегося к общественному обслуживанию населения;

горячее водоснабжение – обеспечение тепловой энергией в виде подогретой воды питьевого качества для удовлетворения санитарно-гигиенических потребностей населения и других потребителей;

граница балансовой принадлежности тепловой сети – линия имущественного раздела тепловых сетей между энергоснабжающей организацией и абонентом либо абонентом и субабонентом, обозначенная на схеме тепловой сети и зафиксированная двусторонним актом разграничения прав собственности (хозяйственного ведения, оперативного управления) на указанные тепловые сети. Граница балансовой принадлежности является границей эксплуатационной ответственности, если иное не оговорено договором теплоснабжения;

договор теплоснабжения (электроснабжения) – соглашение сторон, по которому энергоснабжающая организация обязуется подавать абоненту через присоединенную сеть тепловую или электрическую энергию, а абонент обязуется оплачивать принимаемую тепловую энергию и соблюдать предусмотренный договором режим ее потребления, обеспечивать безопасность эксплуатации находящихся в его ведении тепловых и электрических сетей и исправность используемых им приборов и оборудования, связанных с потреблением тепловой и электрической энергии;

единая расчетная дата – последний день календарного месяца. В день единой расчетной даты производится снятие итоговых показаний приборов учета тепловой энергии и регистрация их в формах первичного учета ее расхода;

зависимая схема присоединения потребителей к тепловым сетям – схема, в которой теплоноситель из тепловой сети непосредственно циркулирует в нагревательных приборах потребителя;

индивидуальный тепловой пункт (далее – ИТП) – тепловой пункт, предназначенный для обслуживания одного здания или его части;

источник теплоты (теплоисточник) – энергоустановка (комплекс оборудования и сооружений), предназначенная для производства тепловой энергии;

качество тепловой энергии – совокупность теплофизических параметров теплоносителя (температура в подающем трубопроводе, давление в прямом и обратном трубопроводах, перепад давлений), обеспечивающих пригодность тепловой энергии для удовлетворения энергетических потребностей потребителя;

качество теплоносителя – совокупность свойств теплоносителя, обеспечивающих его пригодность для теплоснабжающих организаций и потребителей в соответствии с нормативными техническими документами;

невозврат конденсата – количество невозвращенного конденсата или возвращенного, но по качеству не соответствующего требуемым нормам;

независимая схема присоединения потребителей к тепловым сетям – схема, в которой теплоноситель из тепловой сети нагревает вторичный теплоноситель, циркулирующий в контуре потребителя;

непроизводительные потери тепловой энергии – потери, обусловленные неудовлетворительным техническим состоянием теплоиспользующего оборудования и тепловых сетей или неудовлетворительной организацией их эксплуатации;

непроизводительная утечка (сверхнормативная) – потери теплоносителя из тепловых сетей и систем теплоснабжения при разрывах, свищах, сливах, водоразборах, безучетное самовольное потребление тепловой энергии и т. п.;

нормируемые потери тепловой энергии – сумма нормируемых потерь тепловой энергии через изоляцию трубопроводов и с утечкой теплоносителя из тепловых сетей;

оптовый потребитель-перепродавец – юридическое лицо, имеющее в собственности или хозяйственном ведении тепловые сети, осуществляющее на основании договора теплоснабжения оптовую закупку тепловой энергии у энергоснабжающей организации, ее транспортировку и продажу своим абонентам на договорной основе;

отопление – искусственный обогрев помещений с целью возмещения в них тепловых потерь и поддержания на заданном уровне температуры, определяемой санитарными нормами для находящихся в помещении людей или требованиями происходящего в нем технологического процесса;

плательщик – абонент, оплачивающий принимаемую тепловую или электрическую энергию, или третье лицо, которому абонент доверил по согласованию с энергоснабжающей организацией постоянно или временно осуществлять за него оплату потребляемой тепловой или электрической энергии;

прибор учета тепловой энергии – измерительный прибор (измерительная система), внесенный в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь, прошедший госповерку в установленный срок, годный к применению для измерения расходов теплоносителя и количества тепловой энергии, параметров теплоносителя и принятый энергоснабжающей организацией в качестве коммерческого прибора учета в установленном порядке;

производительная утечка – потери теплоносителя из тепловых сетей и систем теплоснабжения во время ремонта, опрессовки, испытаний, промывки и заполнения новых систем, а также потери, связанные с работой технологического оборудования теплоисточников;

расчетный период – установленный договором теплоснабжения период времени, за который должны быть учтены и оплачены абонентом потребляемая тепловая энергия и невозвращенный теплоноситель;

система теплоснабжения – комплекс теплоиспользующих установок с соединительными трубопроводами или тепловыми сетями;

система теплоснабжения – совокупность взаимосвязанных источника теплоты, тепловых сетей и систем теплоснабжения;

субабонент – потребитель, система теплоснабжения которого непосредственно присоединена к тепловым или электрическим сетям абонента энергоснабжающей организации, имеющий с ним договор теплоснабжения или электроснабжения;

температурный график – зависимость температур сетевой воды, подаваемой теплоисточником в тепловую сеть и возвращаемой от потребителей, от температуры наружного воздуха при принятом в системе теплоснабжения методе центрального регулирования отпуска теплоты (качественном, качественно-количественном, количественном);

тепловая сеть – совокупность трубопроводов и устройств, предназначенных для передачи тепловой энергии;

тепловая энергия – вид энергии, носителем которой являются пар, горячая вода, нагретый воздух и другие газы, а также технологические среды промышленных производств, используемые для отопления помещений, нужд горячего водоснабжения, вентиляции, а также для технологических нужд промышленности;

тепловой пункт – комплекс установок, предназначенных для преобразования и распределения тепловой энергии, поступающей из тепловой сети;

теплоноситель – жидкая или газообразная среда, используемая для передачи тепловой энергии от теплоисточника к системам теплоснабжения;

теплотребление – использование доставляемой теплоносителем тепловой энергии в теплоиспользующих установках для производственных и бытовых нужд;

теплоиспользующая установка (теплоустановка) – комплекс трубопроводов и устройств, использующих тепловую энергию для отопления, вентиляции, кондиционирования, горячего водоснабжения и технологических нужд;

технологические нужды – расход тепловой энергии на технологические процессы для производства товаров, работ, услуг, осуществления иной деятельности в установленном законодательством порядке;

транспортирующая организация – организация, имеющая в собственности (хозяйственном ведении, оперативном управлении) тепловые сети, заключившая с энергоснабжающей организацией договор на транспортировку тепловой энергии через свои сети для абонентов;

узел учета – комплект приборов и устройств, на основании которых энергоснабжающая организация и абонент с требуемой точностью определяют количество энергии, производят контроль и регистрацию параметров теплоносителя и осуществляют коммерческие расчеты за поставленную энергию;

счетчик теплоты – это прибор, сочетающий в себе несколько устройств: расходомер теплоносителя, измеритель параметров теплоносителя (температуры, давления) на входе и на выходе из отопительной системы, тепловычислитель и устройства отображения информации;

утечка теплоносителя – потери теплоносителя из тепловых сетей и систем теплоснабжения;

центральный тепловой пункт (далее – ЦТП) – комплекс оборудования, осуществляющего подготовку теплоносителя, контроль за его параметрами, централизованный учет, регулирование отпуска теплоты, сооружаемый на вводах тепловых сетей в квартал, к потребителю и предназначенный для обслуживания группы зданий;

энергоснабжающая организация – юридическое лицо, осуществляющее продажу тепловой или электрической энергии абонентам на договорной основе.

Тепловая энергия для закрытой системы теплоснабжения Q , ГДж рассчитывается по формуле:

$$Q = 10^{-5} W_v \sum_{i=1}^x (p_i (h_{1i} - h_{2i})), \quad (8.1)$$

где W_v – объем теплоносителя, пропорциональный весу импульса ППР (м^3); h_{1i} – средняя энтальпия воды в прямом потоке (кДж/кг); h_{2i} – средняя энтальпия воды в обратном потоке (кДж/кг); p_i – плотность воды (кг/м^3).

Плотность и энтальпия воды, зависят от температуры и давления теплоносителя.

При расчетах принимаются следующие значения давления в трубопроводах:

1,0 МПа (1000 кПа) – для прямого потока;

0,4 МПа (400 кПа) – для обратного потока.

Принципиальная схема работы простейшего счетчика теплоты приведена на рис. 8.1.

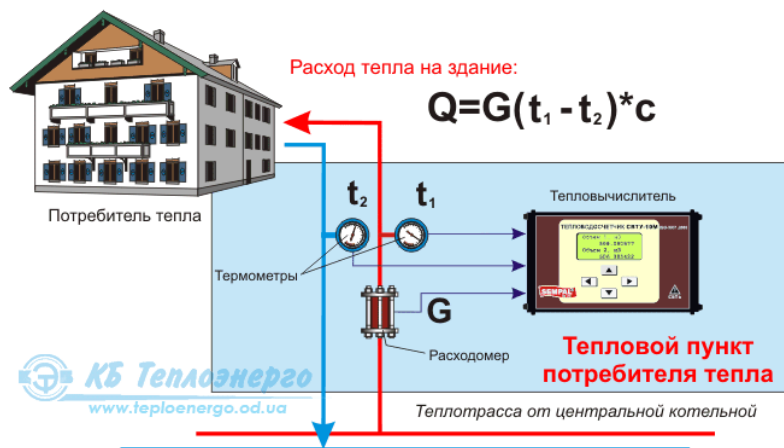


Рис. 8.1. Принципиальная схема работы простейшего теплосчетчика



Рис. 8.2. Общий вид ультразвукового счетчика тепла ULTRAHEAT 50

Теплосчетчик электромагнитный микропроцессорный ТЭМ-104К предназначен для измерения, индикации, контроля и коммерческого учета значений потребленного количества теплоты (тепловой энергии), объема и температуры теплоносителя в системе отопления или горячего водоснабжения. Отличительные особенности теплосчетчика: высокая точность измерения расхода теплоносителя (погрешность не более $\pm 1,8\%$ в диапазоне 4–100 % Gv); отсутствие у датчика расхода дополнительного гидравлического сопротивления потоку жидкости; возможность просмотра архива данных на индикаторе; автоматическая диагностика основных параметров (расход, температура) системы отопления; наличие архива событий; наличие звуковой сигнализации при возникновении неисправностей; диагностика заполнения трубопровода теплоносителем (датчик «пустой трубы»).

Теплосчетчик ТЭМ-104-К является многофункциональным микропроцессорным устройством со встроенным цифробуквенным индикатором. Значения измеряемых, вычисляемых и установочных параметров индицируются на двухстрочном цифробуквенном жидкокристаллическом индикаторе, установленном на передней панели измерительно вычислительного блока (ИВБ). Выбор индицируемых параметров производится нажатием кнопок, находящихся на передней панели. На передней панели так же размещены два светодиодных индикатора работы теплосчетчика.

Теплосчетчик состоит из ИВБ и подключаемых к нему первичного преобразователя расхода ПРПК и термопреобразователей.

В энергонезависимой памяти теплосчетчика (архиве) регистрируются:

- данные на 00:00 (полночь) в установленное отчетное число месяца (архив данных по месяцам);
- ежедневно данные на 24:00 (полночь) (архив суточных данных);
- события, возникающие в системе (далее архив событий).

Глубина архива суточных данных – 400 записей (более 13 месяцев).

Глубина архива данных по месяцам – 12 записей (один год).

Прибор непрерывно осуществляет самодиагностику и диагностику системы теплоснабжения с выводом на индикатор символа возникающих событий. Все события регистрируются в архиве событий, также фиксируется время возникновения и время исчезновения каждого события. Глубина архива событий – 2000 записей.

Возможен просмотр архива данных на ЖКИ теплосчетчика.

По заказу теплосчетчик поставляется со стандартными последовательными гальваноразвязанными интерфейсами RS-232C и RS-485, через которые прибор производит обмен данными с компьютером (адаптером переноса данных, контроллером АСУ и т. д.). Необходимое для этого прикладное программное обеспечение предоставляется бесплатно.

Первичный преобразователь расхода электромагнитного типа.

В первичном преобразователе расхода формируется ненормированный электрический сигнал, пропорциональный расходу теплоносителя. Используются первичные преобразователи типа ПРПК с диаметром условного прохода Ду 15 и 20.

Датчики температуры (ТСПА исполнения DS) измеряют температуру теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, в трубопроводе горячего водоснабжения при разности температур 2–100 °C и динамическом диапазоне измерения расхода 1:100. Длина линии связи:

- датчик расхода ПРПК – ИВБ до 30 м (уточняется при заказе);
- термопреобразователь – ИВБ до 30 м, четырехпроводная;
- порт ввода-вывода RS-232C по заказу;
- порт ввода-вывода RS-485 (гальваноразвязанный) по заказу;

- подключение модема по RS-232C есть, в т. ч. GSM-модем;
- возможность подключения в сеть Ethernet через адаптер («ТЭМ-порт»);
- импульсный выход есть;
- габаритные размеры ИВБ $171 \times 147 \times 57$ мм;
- межповерочный интервал при выпуске из производства – 4 года, при периодической поверке – 2 года.

Теплосчетчик ТЭМ-104-К соответствует классу В по СТБ ГОСТ Р 51649 (класс 2 СТБ ЕН 1434-1).

Пределы допускаемой относительной погрешности измерительного канала количества теплоты по СТБ ГОСТ Р 51649 не превышают значений, вычисленных по формуле:

$$Q_{\max} = \pm(3 + 4d_{\text{тн}} / dt + 0,02G_{\text{в}} / G), \quad (8.2)$$

где $d_{\text{тн}}$ – минимальное измеряемое значение разности температур в подающем и обратном трубопроводах ($^{\circ}\text{C}$); dt – измеренное значение разности температур в подающем и обратном трубопроводах ($^{\circ}\text{C}$); G – измеренное значение объемного расхода теплоносителя ($\text{м}^3/\text{ч}$).

Таблица 8.1

Диапазон измерений	Пределы допускаемой относительной погрешности $G_{\max}$, $V_{\max}$, %
$G_{\text{н}} \leq G < 0,04G_{\text{в}}$	± 4
$0,04G_{\text{в}} \leq G \leq G_{\text{в}}$	$\pm(1,5 + 0,01G_{\text{в}}/G)$

Примечание. G – измеренное значение объемного расхода теплоносителя ($\text{м}^3/\text{ч}$)

Пределы допускаемой абсолютной погрешности при измерении температуры ($^{\circ}\text{C}$):

- при комплектации ТС класса А по ГОСТ 6651 $\pm(0,35 + 0,003t)$;
- при комплектации ТС класса В по ГОСТ 6651 $\pm(0,6 + 0,004t)$, где t – измеряемая температура в градусах Цельсия.

Пределы допускаемой относительной погрешности при измерении времени: $\pm 0,01$ %.

Теплосчетчик ультразвуковой «Струмень ТС-07» «компактного» исполнения производит измерение температуры теплоносителя в прямом и обратном потоках трубопровода, разности этих температур, времени наработки и времени работы с ошибкой, объема и объемного расхода теплоносителя, тепловой мощности, а также индикации измеренных величин и, при необходимости, дистанционную передачу измерительной и служебной информации (рис. 8.3).

В состав теплосчетчика входят: тепловычислитель (далее – ТВ), совмещенный с электронным блоком датчика потока; датчик потока – первичный преобразователь расхода ультразвуковой (далее – ППР); датчики температуры – комплект термопреобразователей сопротивления (далее – ТСП).

Теплосчетчик ультразвуковой «Струмень ТС-07» зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений Республики Беларусь под № РБ 03 10 1410 11 и имеет сертификат об утверждении типа средств измерений Госстандарта Республики Беларусь № 7366 от 30.08.2011 г.



Рис. 8.3. Внешний вид теплосчетчика «компактного» исполнения

Область применения теплосчетчика: коммерческий и технический учет тепловой энергии на объектах коммунального хозяйства и индивидуальных потребителей.

В состав теплосчетчика входят:

- тепловычислитель (далее – ТВ), совмещенный с электронным блоком датчика потока;
- датчик потока – первичный преобразователь расхода ультразвуковой (далее – ППР);
- датчики температуры – комплект термопреобразователей сопротивления (далее – ТСП).

Теплосчетчики соответствуют ТУ РБ 100832277.003-2002, СТБ ЕН 1434-1-2004.

Примеры схем установки теплосчетчика приведены на рис. 8.4 и 8.5.

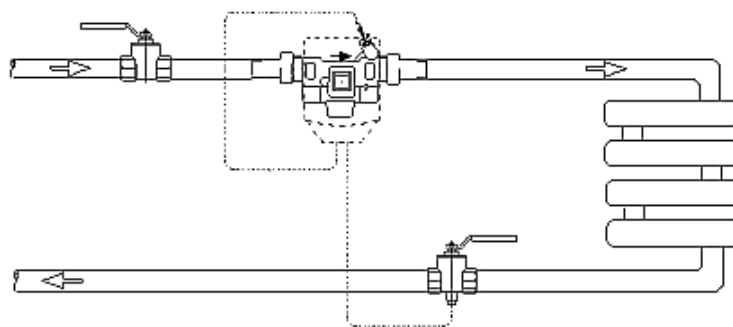


Рис. 8.4. Теплосчетчик «Струмень ТС-07» исполнения ТС-07 30.X-1110-K6 M-X

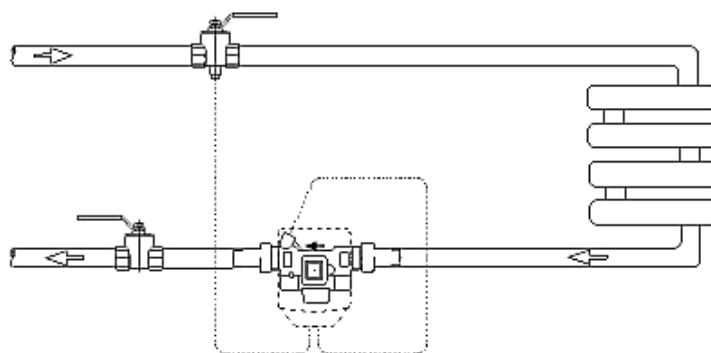


Рис. 8.5. Теплосчетчик «Струмень ТС-07» исполнения ТС-07 40.X-1110-KX

8.2. Организация учета энергии

Учет выработанной и отпущенной потребителю энергии для денежного расчета за нее называют расчетным учетом электроэнергии. Счетчики, предназначенные для расчетного учета, называют расчетными счетчиками (коммерческими); их устанавливают, как правило, на границе балансовой принадлежности энергосети энергоснабжающей организации и потребителя. Количество расчетных счетчиков для каждого предприятия должно быть минимальным и обосновывается принятой схемой питающих сетей и тарифами на энергию для данного потребителя. Если расчетные счетчики устанавливают не на границе балансовой принадлежности электросети, потери энергии на участке сети от границы раздела до места установки расчетных счетчиков относят на счет организации, на балансе которой находится данный участок сети, и определяют расчетным путем. Потери электроэнергии в электросети предприятия, связанные с передачей электроэнергии субабонентам, относят на счет субабонентов пропорционально доле их потребления.

Расчетные приборы учета, то есть электросчетчики активной электроэнергии, реактивной мощности, а также суммирующие устройства и автоматизированные системы учета устанавливают в соответствии с «Правилами устройства электроустановок». Расчетные электросчетчики должны иметь на креплении кожухов пломбы заводскую, а также пломбу энергоснабжающей организации на крышке колодки зажимов электросчетчика. Периодическая поверка счетчика производится в объеме, изложенном в методике поверки, один раз в 6–8 лет. При положительных результатах поверки счетчик пломбируется представителем государственной метрологической службы. Энергоснабжающая организация обязана поддерживать на границе балансовой принадлежности электросети значения показателей качества электроэнергии, обеспечивающие соблюдение требований ГОСТ 13109-97. Требуемые показатели качества электроэнергии на границе балансовой принадлежности электросетей энергоснабжающей организации и потребителя определяют в соответствии с указанным ГОСТ и «Методическими указаниями по контролю и анализу качества электрической энергии в электрических сетях общего назначения». Виновная в снижении показателей качества электроэнергии (за исключением частоты) сторона несет материальную ответственность согласно «Правил пользования электрической и тепловой энергией».

В системе общего учета расхода электроэнергии на предприятии важное место занимает технический учет, т. е. контроль расхода электроэнергии по цехам, энергоемким агрегатам и линиям.

Приборы технического учета на предприятиях (счетчики и измерительные трансформаторы) должны находиться в ведении самих потребителей и удовлетворять следующим требованиям:

- 1) каждый установленный счетчик должен иметь на винтах, крепящих кожух счетчика, пломбы с клеймом госповерителя;
- 2) на вновь устанавливаемых трехфазных счетчиках должны быть пломбы государственной поверки с давностью не более 12 мес., а на однофазных счетчиках – с давностью не более 2 лет;
- 3) учет активной электроэнергии и реактивной мощности трехфазного тока должен производиться с помощью трехфазных счетчиков.

Количество тепловой энергии в сетевой воде, отпускаемой абонентам, с учетом тепловых потерь по трассе определяется:

- для абонентов, имеющих приборы учета тепловой энергии, – по приборам учета в соответствии с действующими нормативными документами;
- для безучетных абонентов – расчетным путем на основании проектных тепловых нагрузок, указанных в договоре теплоснабжения.

При пользовании тепловой энергией в сетевой воде абонент обязан возвращать обратную сетевую воду с температурой, не превышающей ее значение по утвержденному температурному графику.

При превышении абонентом среднесуточной температуры обратной сетевой воды более чем на 3 град. Цельсия (далее – град. С) против температурного графика энергоснабжающая организация после предупреждения абонента вправе снизить отпуск или полностью прекратить подачу тепловой энергии абоненту либо произвести перерасчет за отпущенную тепловую энергию по температурному графику, рассчитанному энергоснабжающей организацией и утвержденному в установленном порядке.

При разборе абонентом сетевой воды из открытой системы теплоснабжения, когда величина водоразбора не превышает установленную договором теплоснабжения, абонент оплачивает в однократном размере стоимость подпиточной воды по действующему тарифу, а также стоимость тепловой энергии, содержащейся в этой воде.

Энергоснабжающая организация отпускает абоненту тепловую энергию через присоединенную сеть в количестве, предусмотренном договором теплоснабжения на расчетный период, и с соблюдением режима подачи.

Количество отпускаемой потребителю тепловой энергии по параметрам теплоносителя, максимальные часовые тепловые нагрузки, максимальные расходы теплоносителей (в паре и сетевой воде) устанавливаются энергоснабжающей организацией исходя из заявки абонента, составленной на основании утвержденных норм расхода электрической и тепловой энергии на единицу продукции (работ, услуг), в пределах выполненных требований технических условий на присоединение и реальных технических возможностей теплоисточников и пропускной способности тепловых сетей.

Абонент вправе, по согласованию с энергоснабжающей организацией, изменять в течение месяца на основе заявки, поданной не позднее чем за 10 календарных дней до его окончания, величину потребления тепловой энергии, указанную в договоре теплоснабжения. Изменение этой величины при наличии у него задолженности за тепловую энергию в сторону увеличения не производится.

Увеличение потребителем количества потребляемой тепловой энергии, максимальных часовых расходов и параметров теплоносителя, проектных нагрузок, против указанных в договоре, допускается после получения технических условий, их выполнения и внесения соответствующих изменений в договор теплоснабжения.

В случае снижения абонентом без предварительного согласования с энергоснабжающей организацией часовой нагрузки ниже величины, указанной в договоре теплоснабжения, он возмещает энергоснабжающей организации убытки в виде неполученной прибыли из-за неэкономичного режима работы теплоисточника или принесенного ущерба от аварийного останова оборудования.

В случае отключения подачи тепловой энергии по инициативе абонента он обязан в 5-дневный срок до планируемого отключения уведомить энергоснабжающую организацию с составлением акта об отключении по инициативе абонента. Обратное включение производится в аналогичном порядке.

Абоненты обязаны выполнять требования энергоснабжающей организации о снижении (отключении) тепловых нагрузок или ограничении теплопотребления в соответствии с утвержденными графиками ограничений и аварийных отключений абонентов.

Правила технологического присоединения, организация учета электроэнергии

Приемку в эксплуатацию расчетных приборов учета осуществляет Гарантирующий поставщик (или Сетевая организация, далее – СО) по письму Потребителя в адрес Гарантирующего поставщика, при наличии у Потребителя следующей технической документации:

- однолинейной расчетной схемы электроснабжения объекта;
- паспортов приборов учета (счетчиков, трансформаторов тока и напряжения) с отметкой о проверке (или с приложением свидетельств о поверке специализированной организации, аккредитованной на право проведения государственной проверки);

- как разграничения сетей по имущественной (балансовой) принадлежности.

Параметры приборов учета и места их установки должны соответствовать согласованной Гарантирующим поставщиком или Сетевой организацией схеме электроснабжения энергообъекта.

На схеме должны быть указаны:

- сетевые объекты, к которым присоединены электрические сети Потребителя, их владельцы и точки присоединения;

- места размещения приборов учета и их параметры;

- длины и марки проводов и кабелей, проложенных от границ балансовой принадлежности электро-сетей, до мест установки приборов учета;

- типы и мощности трансформаторов и компенсирующих устройств (при их наличии);

- расчетные мощности и расчетные токи нагрузки электрической сети в местах установки приборов учета.

Однолинейная схема должна быть подписана Потребителем или уполномоченным представителем Потребителя и согласована с владельцами электрических сетей, к которым подключено электрооборудование Потребителя, и с Гарантирующим поставщиком.

Схема электроснабжения должна соответствовать фактическому электроснабжению энергообъекта и подтверждаться отметкой о проверке не реже 1 раза в 2 года, за подписью Потребителя или уполномоченного представителя Потребителя с указанием даты проверки, а все изменения в электроустановках, выполненные в процессе эксплуатации с указанием даты внесения изменения.

При изменении (увеличении, уменьшении), присоединенной мощности энергообъекта или перераспределении мощностей в точках учета, влекущих за собой изменения токов нагрузок электросети в местах расположения расчетных приборов учета и приводящих к перегрузке средств учета (при увеличении тока нагрузки) или недоучету электроэнергии (при уменьшении тока нагрузки), Потребитель обязан довести информацию об изменениях в схемах до Гарантирующего поставщика и согласовать с ним изменение параметров расчетных приборов учета.

Для замены и поверки расчетного прибора учета, на основании письменного обращения Потребителя или по результатам планового осмотра состояния приборов учета, представителем Гарантирующего поставщика (СО) производится осмотр состояния расчетного прибора учета, снятие пломб и оформляется акт проверки расчетного прибора учета в 2-х экземплярах, один из которых вручается Потребителю (его представителю).

В случае отсутствия Потребителя или его представителя в Акте делается соответствующая отметка. В этом случае Потребитель обязан получить 1 экз. акта у Гарантирующего поставщика или акт направляется Потребителю письмом.

Приемка в эксплуатацию расчетных приборов учета осуществляется Гарантирующим поставщиком (СО) в присутствии уполномоченного представителя Потребителя.

Гарантирующий поставщик (СО) проверяет соответствие приборов учета схеме и нормативно-технической документации, правильность присоединения приборов учета. По результату приемки составляет соответствующий акт.

В случае принятия расчетных приборов учета в эксплуатацию Гарантирующий поставщик (СО) пломбирует (опечатывает) клеммные крышки приборов учета (счетчиков, трансформаторов тока и напряжения, испытательных коробок), крышки клеммных соединений цепей учета, защитные кожуха контактов коммутирующих устройств, находящихся до приборов учета, а также все участки электрических проводов, имеющие возможность доступа к токоведущим частям электрических цепей, как в цепях учета, так и до точки измерения, и оформляет «Акт приемки в эксплуатацию средств учета электрической энергии».

В случае непринятия расчетных приборов учета Гарантирующий поставщик (СО) оформляет «Акт проверки средств учета». В акте указываются причины, по которым, средства учета не приняты в эксплуатацию. Повторная приемка средств учета производится после устранения замечаний по повторному письму Потребителя в адрес Гарантирующего поставщика.

Гарантирующий поставщик (СО) проводит плановые и внеплановые проверки технического состояния и правильности работы расчетных приборов учета, учитывающих электрическую энергию, потребляемую объектами Потребителя и установленных на объектах Потребителя или собственников энергообъектов, к которым присоединены объекты Потребителя. По результатам осмотра Гарантирующий поставщик (СО) составляет «Акт проверки средств учета».

Нарушение пломб или знаков визуального контроля, установленных Гарантирующим поставщиком (СО), лишает законной силы учет электроэнергии, осуществляемый данным расчетным прибором учета. По данному факту составляется акт о безучетном потреблении и объем безучетного потребления электрической энергии определяется согласно пункту 4.4. договора. Последующая приемка средств учета в эксплуатацию осуществляется в соответствии п. 2 Порядка приема в эксплуатацию приборов учета.

Снятие пломб со средств учета или коммутирующих устройств допускается только в присутствии представителя Гарантирующего поставщика или Сетевой организации и подтверждается актом проверки состояния прибора учета.

8.3. Схемные решения по учету и регулированию горячей воды

В зависимости от исполнения счетчики могут использоваться в качестве счетчика тепла, счетчика холода, комбинированного счетчика тепла-холода, расходомера. Счетчик тепла применяется в закрытых системах теплоснабжения при теплоносителе – вода. Возможно подключение 2-х дополнительных расходомеров для индикации накопленного объема (рис. 8.6–8.7).

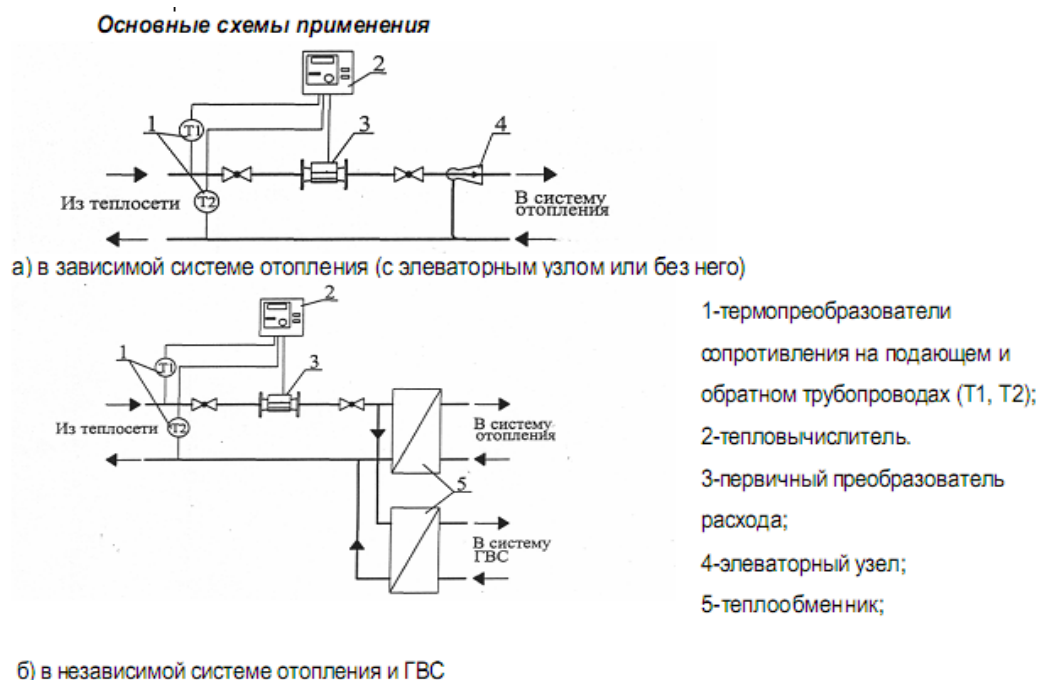


Рис. 8.6. Схемы применения теплосчетчика Ultraheat UH-50 в системах централизованного теплоснабжения

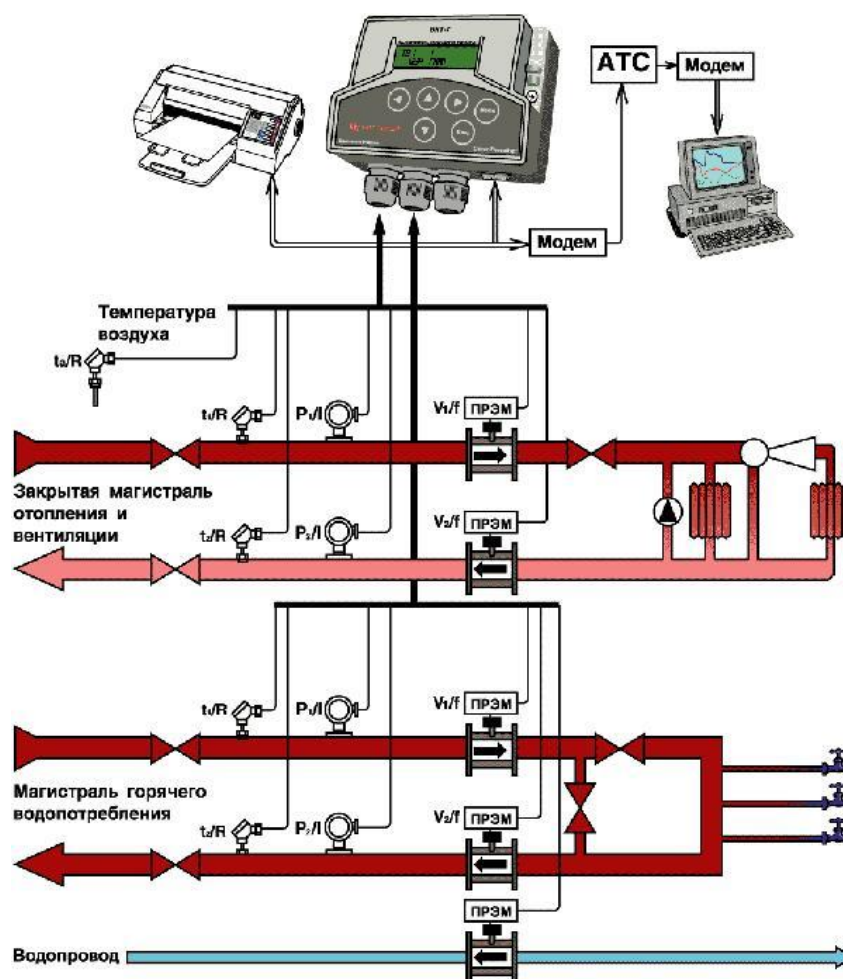


Рис. 8.7. Схема установки теплового счетчика и организации учета теплоты для систем отопления и горячего водоснабжения

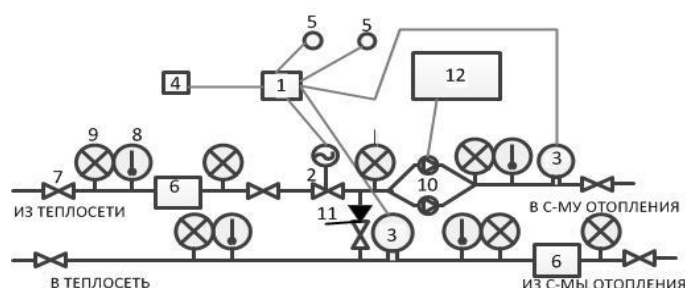


Рис. 8.8. Зависимая система отопления с запорно-регулирующим клапаном: 1 – регулятор температуры; 2 – клапан запорно-регулирующий; 3 – датчик температуры теплоносителя; 4 – датчик температуры наружного воздуха; 6 – фильтр сетчатый магнитный; 7 – запорная аппаратура; 8 – термометр; 9 – манометр; 10 – насос сдвоенный; 11 – клапан обратный; 12 – шкаф (шкаф пускозащитной аппаратуры) и управления нагрузками

Принцип действия. Регулирование температуры системы отопления происходит путем изменения пропускной способности клапана и подмешивания сетевой воды при помощи циркуляционного насоса, установленного на прямом трубопроводе системы отопления. В процессе работы контроллер периодически опрашивает датчики температуры теплоносителя, датчик воздуха внутри помещения (если он есть) и датчик наружного воздуха, обрабатывает полученную информацию и формирует выходные управляющие сигналы, дающие команду исполнительному механизму на открытие или закрытие. Управляющее воздействие от контроллера изменяет величину открытия проходного сечения регулирующего клапана. При

отсутствии датчика воздуха внутри помещения главным приоритетом регулирования является поддержание температурного графика (рис. 8.8).

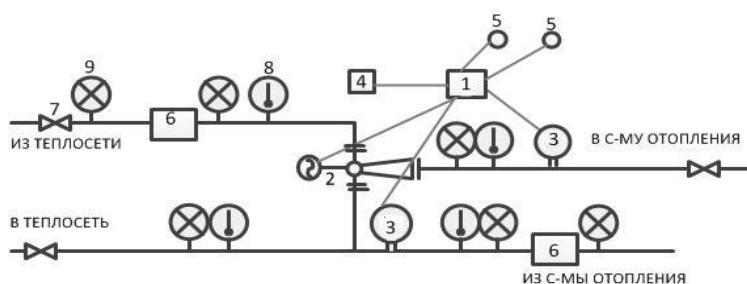


Рис. 8.9. Зависимая система отопления с регулирующим гидроэлеватором: 1 – регулятор температуры; 2 – регулирующий гидроэлеватор; 3 – датчик температуры теплоносителя; 4 – датчик температуры наружного воздуха; 6 – фильтр сетчатый магнитный; 7 – запорная аппаратура; 8 – термометр; 9 – манометр; 10 – насос сдвоенный; 11 – клапан обратный; 12 – шкаф (шкаф пускозащитной аппаратуры и управления нагрузками)

Принцип действия. Регулирование температуры системы отопления в зависимости от температуры наружного воздуха происходит при перемещении конусной иглы и изменения площади проходного сечения отверстия воронки гидроэлеватора. В процессе работы контроллер периодически опрашивает датчики температуры теплоносителя, наружного воздуха и воздуха внутри помещения (если он есть). При увеличении (уменьшении) температуры наружного воздуха контроллер формирует выходной управляющий сигнал, дающий команду исполнительному механизму на закрытие (открытие). Шаговый двигатель приходит в движение. Конусная игла, перемещаясь, уменьшает (увеличивает) площадь проходного сечения. Результатом этого является то, что в суммарный поток поступает больше теплоносителя из обратного трубопровода для уменьшения температуры теплоносителя или подающего трубопровода для увеличения температуры. Регулирующий элеватор не требует применения дополнительного клапана, одним из элементов его конструкции является струйный насос (рис. 8.9).

Зависимая система отопления со смесительным трехходовым клапаном и циркуляционным насосом. Все аналогично первой схеме, кроме 2, где ставится клапан смесительный трехходовой. **Принцип действия** аналогичен первому.

Независимые системы отопления – схема присоединения системы теплоснабжения к тепловой сети, при которой теплоноситель, поступающий из тепловой сети, проходит через теплообменник, установленный на тепловом пункте потребителя, где нагревает вторичный теплоноситель, используемый в дальнейшем в системе теплоснабжения. Пример: Независимая система отопления с запорно-регулирующим клапаном (рис. 8.10).

Принцип действия – регулирование температуры системы отопления происходит путем изменения пропускной способности клапана. Следовательно, происходит изменение количества теплоносителя из сети теплоснабжения, проходящего через теплообменник. В процессе работы контроллер периодически опрашивает датчики температуры теплоносителя, датчик наружного воздуха и воздуха внутри помещения (если он есть), обрабатывает полученную информацию и формирует выходные управляющие сигналы, дающие команду исполнительному механизму на открытие или закрытие. Управляющее воздействие от контроллера изменяет величину открытия проходного сечения регулирующего клапана. При отсутствии датчика воздуха внутри помещения главным приоритетом регулирования является поддержание температурного графика.

Преимущества:

- эффективная регулировка параметров теплоснабжения в широких пределах, поскольку потребитель отвечает перед теплоснабжающей организацией только за параметры обратного теплоносителя;
- равномерная циркуляция теплоносителя по всем отопительным приборам.

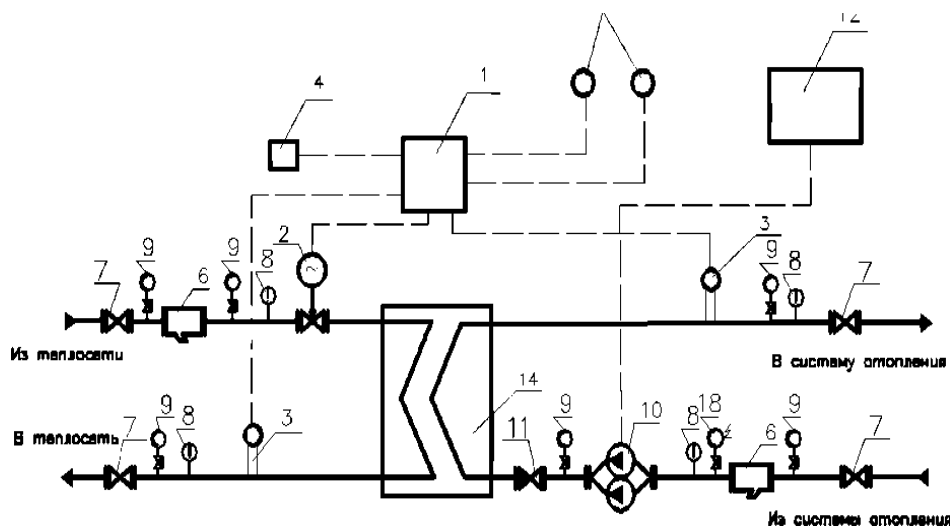


Рис. 8.10. Независимая система отопления с регулирующим клапаном: 1 – регулятор температуры; 2 – клапан запорно-регулирующий; 3 – датчик температуры теплоносителя; 4 – датчик температуры наружного воздуха; 5 – датчик температуры воздуха внутри помещения; 6 – фильтр сетчатый магнитный; 7 – запорная арматура; 8 – термометр; 9 – манометр; 10 – насос циркуляционный сдвоенный; 11 – клапан обратный; 12 – шкаф ПЗА и управления нагрузками; 14 – теплообменник; 18 – манометр ЭКМ

Закрытые системы горячего водоснабжения. В закрытых системах воду из тепловых сетей используют только в качестве энергоносителя в теплообменниках для подогрева холодной водопроводной воды, поступающей в местную систему горячего водоснабжения. Подача воды на горячее водоснабжение в закрытых системах теплоснабжения осуществляется через водо-водяные теплообменники (рис. 8.11).

Пример: закрытая система горячего водоснабжения с запорно-регулирующим клапаном и циркуляционным насосом.

Принцип действия схемы Регулирование температуры системы ГВС происходит путем изменения пропускной способности запорно-регулирующего клапана.

В процессе работы контроллер опрашивает датчик температуры теплоносителя ГВС, обрабатывает полученную информацию и формирует выходные управляющие сигналы, дающие команду исполнительному механизму на открытие или закрытие. Управляющее воздействие от контроллера изменяет величину открытия проходного сечения регулирующего клапана.

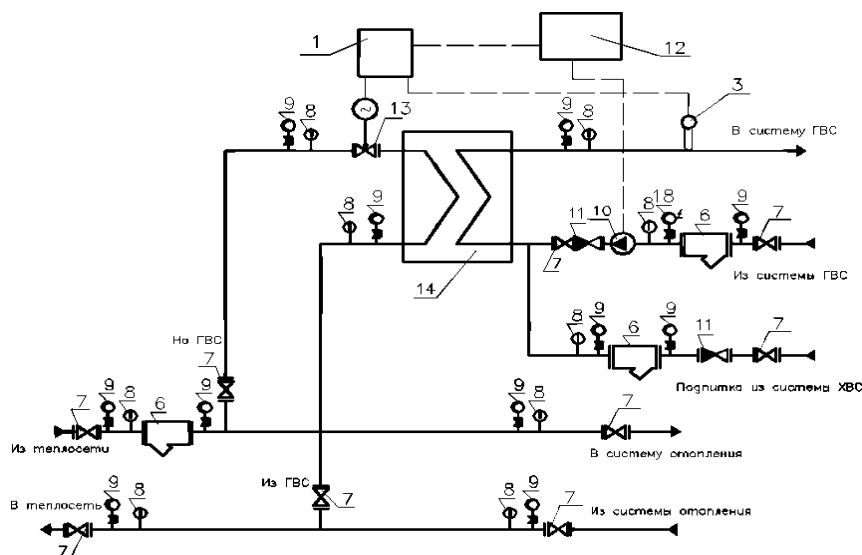


Рис. 8.11 Закрытая система горячего водоснабжения: 1 – регулятор температуры; 3 – датчик температуры теплоносителя; 6 – фильтр сетчатый магнитный; 7 – запорная арматура; 8 – термометр; 9 – манометр; 10 – насос циркуляционный; 11 – клапан обратный; 12 – шкаф; 13 – задвижка с электроприводом; 14 – теплообменник; 18 – манометр ЭКМ

Открытые системы горячего водоснабжения. Вода непосредственно из тепловой сети забирается для приготовления и подачи ее в систему горячего водоснабжения потребителя. Рассмотрим открытую систему теплоснабжения на примере открытой системы горячего водоснабжения со смесительным трехходовым клапаном и циркуляционным насосом (рис. 8.12).

Принцип действия схемы. Регулирование температуры теплоносителя ГВС происходит путем изменения пропускной способности клапана и подмешивания обратной сетевой воды. В процессе работы контроллер периодически опрашивает датчики температуры теплоносителя, обрабатывает полученную информацию и формирует выходные управляющие сигналы, дающие команду исполнительному механизму на открытие или закрытие.

Преимущества схемы:

- обеспечение гарантированного давления в трубопроводе горячей воды за счет возможности подпитки из обратного трубопровода в отопительный период;
- наличие дроссельной шайбы перед обратным трубопроводом обеспечивает минимальную циркуляцию в контуре ГВС при отсутствии водоразбора и не допускает перегрева обратного теплоносителя.

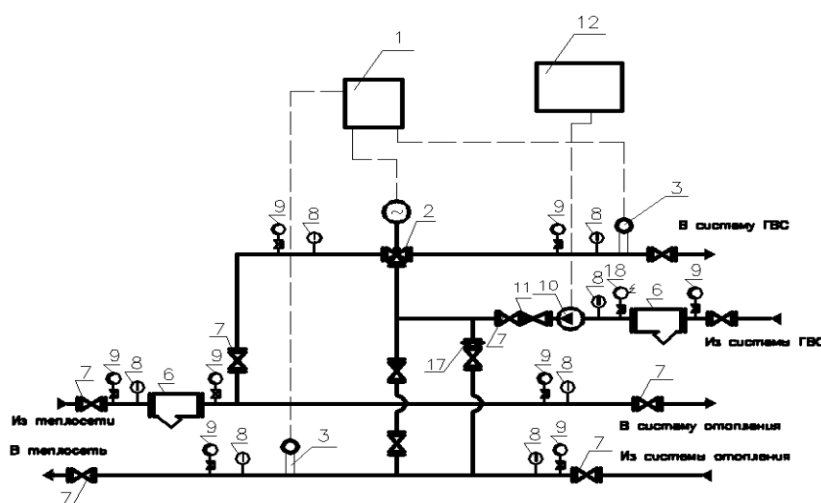


Рис. 8.12. Открытая система горячего водоснабжения: 1 – регулятор температуры; 2 – клапан смесительный трехходовой; 3 – датчик температуры теплоносителя; 6 – фильтр сетчатый магнитный; 7 – запорная арматура; 8 – термометр; 9 – манометр; 10 – насос циркуляционный; 11 – клапан обратный; 12 – шкаф ПЗА и управления нагрузками; 17 – дроссельная шайба; 18 – манометр ЭКМ

Системы регулирования температуры внутри помещений состоят из регулирующего блока, иногда называемого контроллером, клапана и электрического исполнительного механизма, иногда называемого приводом и датчиков температуры. Также в состав регуляторов могут входить насосы. Электронный блок собирает информацию о температурах (наружной, теплоносителя, в помещении) от датчиков, и иногда от клапана или электрического исполнительного механизма об их состоянии. На основании этой информации он рассчитывает управляющее воздействие, подаваемое на электрический исполнительный механизм (ЭИМ). ЭИМ посредством клапана устанавливает соответствующий расход теплоносителя. Насосы бывают необходимы для осуществления принудительной циркуляции в системе отопления (ГВС).

При выборе элементов систем регулирования тепловой энергии следует руководствоваться следующими принципами:

- температура в помещениях должна соответствовать санитарным нормам;
- система не должна потреблять тепловую энергию, когда в этом нет необходимости (например, в anomalно теплые периоды в начале и в конце отопительного сезона);
- соблюдение режимов теплоснабжения в соответствии с договором теплоснабжения;
- чтобы не возникало аварийных ситуаций;
- поддержание нескольких режимов работы – день / ночь / выходной день.
- контроль расхода теплоносителя с целью предотвращения превышения договорных значений, а также с целью предотвращения аварийных ситуаций в системе отопления.
- архивирование измеряемых параметров работы системы отопления и данных о процессе регулирования.

8.4. Учет расхода и регулирование пара и газов

Количество тепловой энергии в паре с учетом тепловых потерь, отпускаемой абонентам, определяется: для абонентов, имеющих приборы учета тепловой энергии, – по приборам учета и в соответствии с нормативными техническими документами;

для безучетных абонентов – расчетным путем на основании проектных тепловых нагрузок, указанных в договоре теплоснабжения.

Энергоснабжающая организация вправе без согласования с абонентом производить замену вида пара в случаях, если на теплоисточнике отсутствуют отборы необходимых для абонентов параметров пара или проектными схемами теплоисточников предусмотрена замена отпуска отборного пара редуцированным, а также если иное не предусмотрено договором.

Расчет за тепловую энергию с абонентом ведется отдельно за отборный и редуцированный пар, оплата за использованный пар производится по действующим тарифам.

Количество тепловой энергии в паре, потребляемой и оплачиваемой абонентом, определяется как разность между количеством тепловой энергии в паре, полученной абонентом, и количеством тепловой энергии, возвращенной с конденсатом на теплоисточник.

Количество конденсата, возвращаемого абонентами, определяется:

для абонентов, имеющих приборы учета тепловой энергии, – по приборам учета в соответствии с нормативными техническими документами;

для безучетных абонентов – расчетным путем на основании величин, указанных в проекте и внесенных в договор.

Количество конденсата, которое абонент обязан возвратить на теплоисточник, устанавливается в соответствии с проектными данными систем теплоснабжения, пароконденсатным балансом теплоснабжающей организации и определяется договором теплоснабжения энергией в паре.

При выполнении абонентом мероприятий по увеличению возврата конденсата норма возврата конденсата увеличивается с учетом предоставленных измененных проектных данных, после чего стороны вносят соответствующие изменения в действующий договор теплоснабжения в установленном порядке.

Качество конденсата, который абонент обязан возвращать на теплоисточник, должно соответствовать требованиям действующих норм технологического проектирования тепловых электростанций, тепловых сетей и договору теплоснабжения.

При поступлении на теплоисточник конденсата, качество которого не соответствует договорным условиям, но при возможности его использования на теплоисточнике энергоснабжающая организация вводит поправочный коэффициент к количеству возвращенного конденсата:

в случае использования конденсата для питания испарителей, паропреобразователей или подпитки теплосети – 0,8;

при приеме конденсата на доочистку, водоочистку – 0,5.

При отсутствии технической возможности использования загрязненного конденсата последний сливается в дренаж и считается невозвращенным.

Количество тепловой энергии в возвращенном абонентом конденсате определяется исходя из зачетного энергоснабжающей организацией количества конденсата и его параметров.

При повышенной загрязненности конденсата целесообразность его очистки на теплоисточнике или у абонента определяется энергоснабжающей организацией на основании технико-экономического расчета, предоставленного абонентом.

Отдельные абоненты, в случае экономической нецелесообразности очистки конденсата, могут быть освобождены энергоснабжающей организацией от возврата конденсата при условии представления абонентом обоснованного технико-экономического расчета и полного использования конденсата на собственные нужды.

При возникновении разногласий между энергоснабжающей организацией и абонентом в установлении количества и качества возвращаемого конденсата в 2-месячный срок абонентом с участием представителей энергоснабжающей организации проводится техническая экспертиза.

Если после проведения технической экспертизы стороны не придут к соглашению, спор по заявлению заинтересованной стороны разрешается в установленном законодательством порядке.

Для регулирования подачи (расхода) газов или пара применяют регуляторы:

1. Регулятор давления газа РДС-32 (в дальнейшем – **регулятор**), предназначен для понижения высокого входного давления до среднего и низкого, природных, искусственных, углеводородных и других не-

агрессивных газов, автоматического поддержания выходного давления на заданном уровне, автоматического отключения подачи газа при превышении выходного давления сверх установленного предела или при уменьшении выходного давления ниже установленной величины.

2. Регулятор РДС-32, (рис. 8.13–8.16), состоит из корпуса 1 (крестовина), на которой при помощи гайки 2, устанавливается регулирующее устройство 3 и, при помощи болтов, механизм настройки ПЗК 4. В корпусе 1 установлена втулка 5, правая часть которой является седлом предохранительно-запорного клапана 6, левая, седлом клапана 7, регулирующего устройства 3 с плоской мембраной 8 разделяющей его на две полости: А-соединенную импульсным трубопроводом с трубопроводом выходного давления, и Б-соединенную через отверстие в верхней крышке с атмосферой. Рычаг 9 шарнирно соединен с клапаном 7 и направляющей 10. Регулирующая пружина 11 устанавливается на тарелку 12 и поджимается гайкой 13. Регуляторы РДС-32-2, РДС-32-3, РДС-32-4, рисунок 8.14, отличаются от регулятора РДС-32-1 наличием дополнительного кольца 1, фигурной мембраной 2, тарелки 3 меньшего диаметра и регулировочной пружины большей жесткости. Регуляторы РДС-32-5, РДС-32-6, рисунок 8.14, 8.15, отличаются от регулятора РДС-32-1 наличием предохранительного сбросного клапана 1 и сбросного ниппеля 2. Механизм настройки ПЗК РДС-32-1, рисунок 8.16, состоит из двух корпусов 1 и 2, двух крышек 3 и 4, плоской мембраны 5, тарелки 6, штока 7, ролика 8, регулировочных пружин 9 и 10, регулировочных гаек 11 и 12, рычагов 13 и 14, оси 15, кнопки аварийного срабатывания 16, оси 17, рукоятки взвода 18.

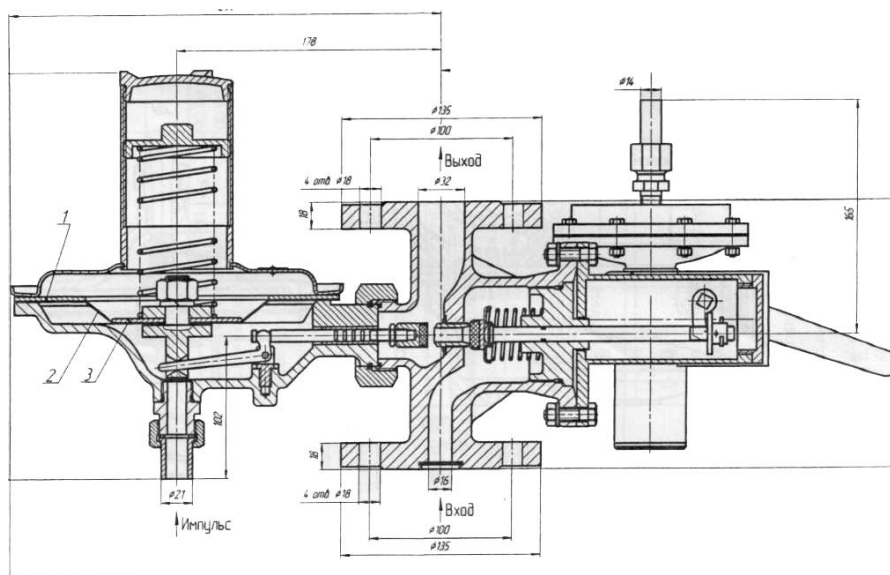


Рис. 8.13

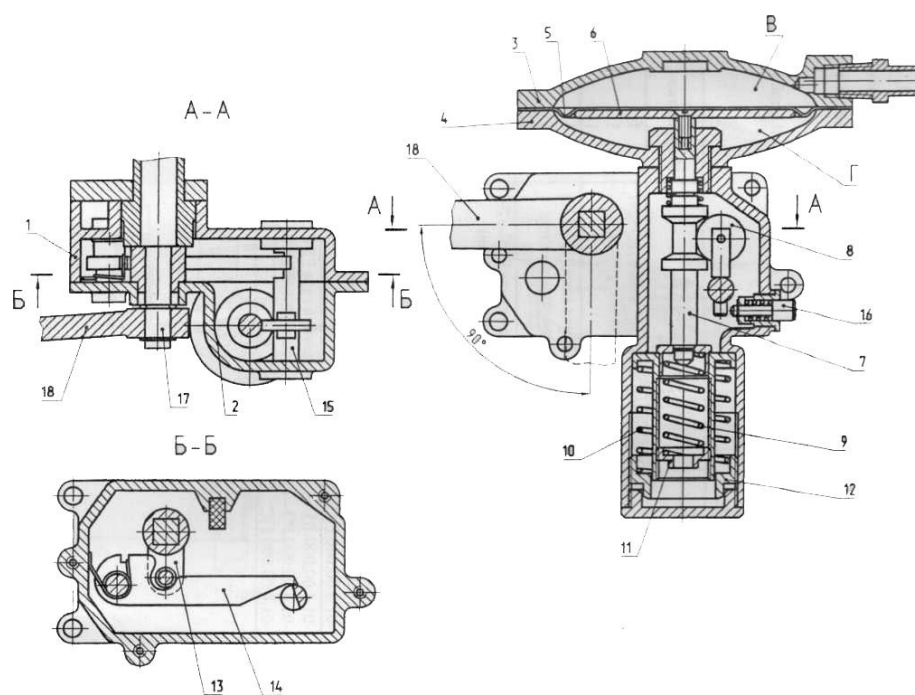


Рис. 8.16

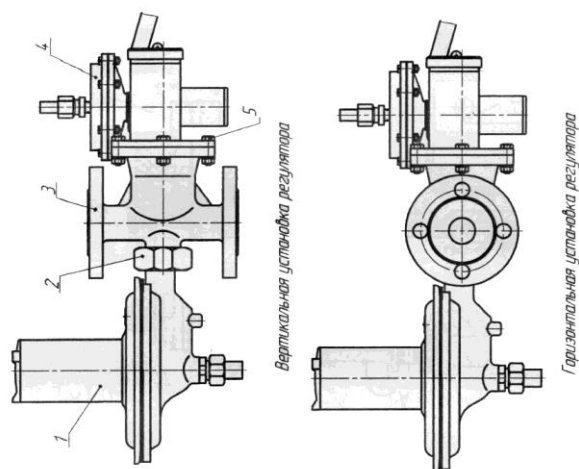
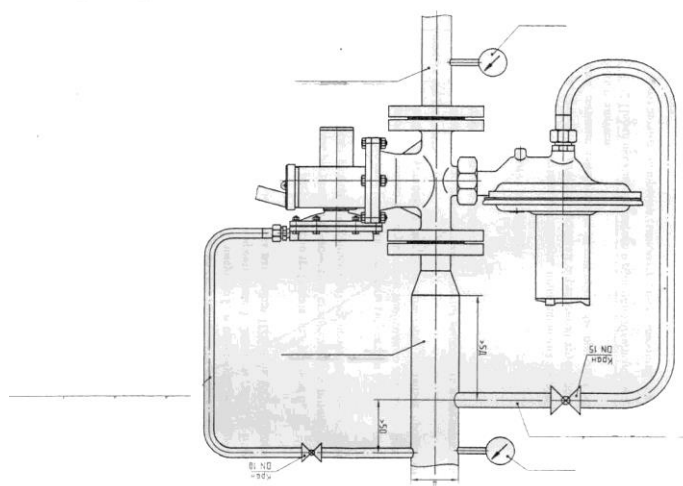


Рис. 8.17

Монтаж регулятора допускается производить как на горизонтальном участке трубопровода, так и на вертикальном (рис.8.17). Для использования регулятора на горизонтальном участке трубопровода необходимо ослабить гайку 2, рисунок 5, и повернуть регулирующее устройство 1 на 90° относительно крестовины 3. Затянуть гайку 2. Вывернуть болты 5 и повернуть механизм настройки ПЗК 4 на 90°. Установить болты 5.

Для обеспечения устойчивой работы регулятора и требуемых расходов газа, непосредственно за регулятором необходимо выполнить расширение газопровода с установкой запорной арматуры условным проходом, равным его диаметру. Выбор диаметра газопровода рекомендуется выполнить в соответствии с графиком, приведенным на рис.8.18.

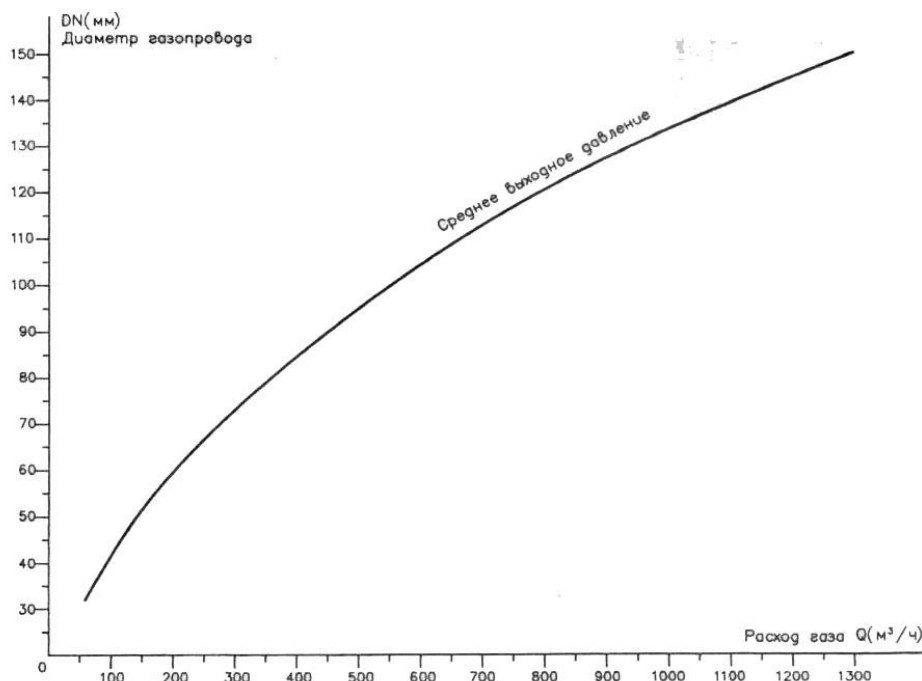


Рис. 8.18. Выбор диаметра газопровода



Рис. 8.19. Общий вид газорегуляторного пункта (ГРП)

8.5. Особенности учета и регулирования энергоресурсов в ЖКХ

Особенности требований к приборам учета энергоресурсов в ЖКХ обусловлены следующими особенностями:

1. Низкая квалификация или отсутствие эксплуатационного персонала, низкий уровень квалификации персонала, ведущего учет.
2. Рассредоточение и большое количество точек учета.
3. Влияние на приборы гражданских прав, законов, отношений.

Основные требования к приборам в ЖКХ:

- 1) приборы учета должны быть простыми и дешевыми;
- 2) относительно просто должны учитываться показания;
- 3) приборы должны иметь защиту от несанкционированного вмешательства.

Основные требования к приборам учета изложены в ТКП 45-4.04-149-2009, правилах пользования тепловой и электрической энергией, в памятке потребителю или в инструкции.

В качестве коммерческого учета должны применяться электронные приборы учета. Они должны иметь не менее 4 тарифов, интерфейсный выход, выпускаться серийно, наличие сертификата соответствия. Приборы должны быть внесены в госреестр средств измерений, и по отраслям – в отраслевой.

Для технического учета могут применяться не сертифицированные и не включенные в госреестр приборы учета, технически исправные и не имеющие повреждений.

Приборы учета должны устанавливаться на границе раздела балансовой и эксплуатационной ответственности. При питании от общего ввода несколько обособленный в правовом отношении потребителей допускается установка общего расчетного прибора, но с обязательным установлением средств учета у потребителя.

В соответствии с гражданским Кодексом потребители оформляются как субабоненты основного потребителя. Для предприятий и учреждений общего назначения (пристраиваемые к жилым домам) следует устанавливать расчетные счетчики на вводе каждого из потребителей, независимо от того, организован общий учет или нет. В общежитиях должен предусматриваться учет энергии на вводе в здание и при наличии электрических плит, отдельный учет электроэнергии, потребляемый электрическими плитами, местами общего пользования, лифтами. Расчетные счетчики для индивидуальных потребителей (квартир) должны устанавливаться в отдельном отсеке вводного устройства, этот отсек должен иметь внутренний замок и стеклянное окошко для контроля за показаниями.

В отсеке для счетчика не допускается установка никаких коммутационных аппаратов. При нагрузке до 100 А используют счетчик прямого включения, при больших нагрузках должны использоваться счетчики с включением через трансформатор тока (тогда перед счетчиком должны устанавливаться испытательные коробки, они должны иметь приспособление для опломбирования). При выполнении учета для индивидуальных потребителей (коттеджи, индивидуальные дома) должны быть оборудованы выносные ящики учета.

Существует поквартирный учет (организован по каждому потребителю, все счетчики – расчетные, а расходы на общедомовые нужды (подъезд, насосы, вентиляция, сигнализация) включены в расходы на техническое обслуживание) и общедомовой учет (расчетные счетчики устанавливаются на вводе в здание и потребленная энергия делится согласно договору о найме помещения пропорционально площади, количеству жильцов и др. критериям). Тепловые счетчики применяются для индивидуальных домостроений, или для объемных потребителей, в др. случаях общий учет с последующим делением на потребителя, пропорционально занимаемой площади или объему, или числу проживающих.

Транспортировка тепловой энергии, выработанной энергоснабжающей организацией, по тепловым сетям балансовой принадлежности транспортирующей организации абонентам (потребителям) на отопление и подогрев воды в жилищном фонде осуществляется на основании договора на транспортировку тепловой энергии, заключенного между энергоснабжающей и транспортирующей организациями.

Учет тепловой энергии, отпущенной энергоснабжающей организацией транспортирующей организации, оптовому потребителю-перепродавцу или жилищно-эксплуатационной организации, а также транспортирующей организацией или оптовым потребителем-перепродавцом жилищно-эксплуатационной организации, производится на основании показаний приборов учета тепловой энергии, установленных:

на границе раздела балансовой принадлежности тепловых сетей;

в жилых домах, тепловых пунктах, при отсутствии прибора учета тепловой энергии, установленного на границе раздела балансовой принадлежности тепловых сетей, с учетом потерь тепловой энергии на участках тепловых сетей от границы раздела балансовой принадлежности до места установки прибора учета тепловой энергии.

Расчет величины тепловых потерь ежемесячно выполняется в соответствии с нормативными техническими документами.

Учет фактического потребления тепловой энергии на отопление и подогрев воды в жилых домах, оборудованных приборами учета, производится жилищно-эксплуатационными организациями (иными организациями, осуществляющими эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда) на основании показаний приборов учета.

Расчет фактического потребления тепловой энергии на отопление и подогрев воды в жилых домах, системы централизованного теплоснабжения которых не оборудованы приборами учета ее расхода, производится по нормативам (исходя из нормативов на отопление 1 квадратного метра общей площади жилых помещений и подогрев 1 кубического метра воды, утвержденных местными исполнительными и распорядительными органами на расчетный период, общей площади жилых помещений каждого жилого дома и суммарного потребления горячей воды по каждому жилому дому за расчетный период), но не более фактического расхода тепловой энергии, рассчитанного исходя из баланса производства, передачи и потребления тепловой энергии за расчетный период, пропорционально проектным нагрузкам, зафиксированным в договорах теплоснабжения (согласно проектно-сметной документации на здания), приведенным к среднемесячной температуре наружного воздуха в расчетном периоде.

Порядок отпуска и учета фактического потребления тепловой энергии на собственные нужды транспортирующей либо жилищно-эксплуатационной организации (иной организации, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда) регулируется общими положениями настоящих Правил и является предметом договорных отношений между энергоснабжающей и указанными организациями, выступающими в качестве абонентов.

Технологический расход тепловой энергии, связанный с ее транспортировкой по тепловым сетям транспортирующей либо жилищно-эксплуатационной организации (иной организации, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда), определяется на основании фактического отпуска тепловой энергии для транспортировки, установленного в соответствии с пунктом 38, за вычетом суммарного фактического потребления в соответствии с пунктами 39–41 Правил теплоснабжения.

Транспортировка тепловой энергии, возмещение эксплуатационных затрат транспортирующей организации и на технологический расход тепловой энергии, связанный с транспортировкой, регламентируются договором, заключенным между энергоснабжающей и транспортирующей либо жилищно-эксплуатационной организацией (иной организацией, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда), и нормативными правовыми актами.

Энергоснабжающая организация отпускает тепловую энергию для транспортировки по участку тепловой сети жилищно-эксплуатационной организации (иной организации, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда) от границы раздела балансовой принадлежности тепловой сети энергоснабжающей организации с транспортирующей организацией, на которой установлен прибор учета, до границы раздела балансовой принадлежности тепловой сети жилищно-эксплуатационной организации (иной организации, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда), на которой установлен прибор учета, на условиях ведения раздельного учета потребления тепловой энергии в жилищном фонде, на собственные нужды жилищно-эксплуатационной организации (иной организации, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда) и на технологический расход тепловой энергии, связанный с ее транспортировкой.

Технологический расход тепловой энергии, связанный с ее транспортировкой по тепловым сетям жилищно-эксплуатационной организации (иной организации, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда), определяется на основании фактического отпуска тепловой энергии по показаниям прибора учета на границе раздела балансовой принадлежности тепловых сетей энергоснабжающей и транспортирующей организаций за вычетом фактического потребления тепловой энергии в жилищном фонде и на собственные нужды жилищно-эксплуатационной организации (иной организации, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда).

При отсутствии прибора учета на границе раздела балансовой принадлежности тепловых сетей энергоснабжающей и транспортирующей либо жилищно-эксплуатационной организации (иной организации, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда) порядок расчета технологического расхода тепловой энергии, связанного с ее транспортировкой по тепловым сетям жилищно-эксплуатационной организации (иной организации, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда), устанавливается в соответствии с нормативными правовыми актами и общими положениями Правил теплоснабжения.

Расчеты между энергоснабжающей и жилищно-эксплуатационной организацией (иной организацией, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда) за тепловую энергию, поставленную на отопление и подогрев воды в жилищном фонде, осуществляются в соответствии с договором теплоснабжения, заключенным между указанными организациями на основании фактического суммарного потребления тепловой энергии на отопление и подогрев воды за расчетный период по тарифам, установленным в соответствии с законодательством.

Расчетным периодом является календарный месяц, в течение которого учитывается тепловая энергия, поставленная на отопление и подогрев воды в жилищном фонде, для производства расчетов между сторонами договора.

Фактическое суммарное потребление тепловой энергии за расчетный период на отопление и подогрев воды по жилому дому (группе жилых домов), оборудованному приборами учета тепловой энергии, определяется на основании показаний приборов учета, снятых в последний день расчетного периода и зарегистрированных в формах первичного учета ее расхода установленной формы. Сроки представления показаний приборов учета устанавливаются договором теплоснабжения.

Снабжение тепловой энергией для нужд отопления и горячего водоснабжения физических лиц, проживающих в индивидуальных жилых домах, производится в соответствии с договором теплоснабжения на основании показаний приборов учета расхода тепловой энергии. В случае отсутствия в индивидуальных жилых домах приборов учета расхода тепловой энергии определение объема потребленной тепловой энергии производится по утвержденным в установленном порядке местными исполнительными и распорядительными органами нормативам для индивидуальных жилых домов (исходя из нормативов на отопление 1 квадратного метра общей площади жилых помещений и подогрев 1 кубического метра воды).

Порядок расчетов за тепловую энергию, потребленную на отопление встроенных (пристроенных) нежилых помещений жилого дома и подогрев воды, использованной в указанных помещениях, регулируется договорными отношениями между энергоснабжающей и жилищно-эксплуатационной организацией (иной организацией, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда).

Данные о фактическом потреблении тепловой энергии на отопление и подогрев воды по жилому дому (группе жилых домов) жилищно-эксплуатационная организация (иная организация, осуществляющая эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда) в сроки, предусмотренные договором, представляет в энергоснабжающую организацию для составления баланса производства и отпуска тепловой энергии на отопление и подогрев воды в жилищном фонде.

Энергоснабжающая организация имеет право на:

осуществление контроля обоснованности данных о фактическом потреблении тепловой энергии на отопление и подогрев воды по жилому дому (группе жилых домов), индивидуальному жилому дому, оборудованным приборами учета тепловой энергии;

внесение предложений в местные исполнительные и распорядительные органы по корректировке в расчетном периоде нормативов расхода тепловой энергии на отопление 1 квадратного метра общей площади жилых помещений и подогрев 1 кубического метра воды для индивидуальных жилых домов.

Данные о фактическом потреблении тепловой энергии на отопление и подогрев воды по жилому дому (группе жилых домов) на основании баланса производства и отпуска тепловой энергии на отопление и подогрев воды в жилищном фонде являются основанием для составления акта сверки расчетов за тепловую энергию между жилищно-эксплуатационной (иной организацией, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда) и энергоснабжающей организациями.

Расчеты за тепловую энергию, потребленную на отопление и подогрев воды в жилищном фонде за расчетный период, производятся жилищно-эксплуатационной организацией (иной организацией, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание жилищного фонда) на основании акта сверки расчетов за фактическое потребление тепловой энергии, в объеме и сроки, предусмотренные законодательством и договором теплоснабжения.

8.6. Хозяйственно-правовые взаимоотношения поставщиков и потребителей энергоресурсов

Хозяйственно-правовые взаимоотношения поставщиков и потребителей энергоресурсов определяются Правилами электроснабжения, Правилами пользования тепловой энергией и Гражданским кодексом. Правила определяют условия снабжения и пользования тепловой энергией потребителями (абонентами, субабонентами) и их взаимоотношения с энергоснабжающими организациями по заключению, исполнению, изменению, продлению и прекращению договоров теплоснабжения или электроснабжения. В качестве абонентов по договору теплоснабжения выступают юридические и физические лица, индивидуальные предприниматели.

В Правилах отражены особенности снабжения тепловой и электрической энергией, вытекающие из: непрерывной связи производства, передачи, распределения и потребления энергии, невозможности аккумуляирования энергии в больших объемах;

условий межгосударственных поставок энергоносителей;

государственной политики Республики Беларусь, направленной на энергосбережение; потенциальной опасности теплоустановок и электроустановок, электро-теплотехнического оборудования и сооружений энергетической отрасли.

В целях обеспечения единой технической политики осуществляется энергетический надзор. Государственный энергетический надзор осуществляют органы государственного энергетического надзора Министерства энергетики Республики Беларусь (далее – Госэнергонадзор).

Энергетический надзор за системами теплоснабжения, теплоустановками и тепловыми сетями потребителей, эксплуатируемыми по специальным правилам, согласованным с Госэнергонадзором, осуществляется соответствующими республиканскими органами государственного управления, иными государственными организациями, подчиненными Правительству Республики Беларусь.

Государственный надзор за рациональным использованием тепловой энергии потребителями независимо от их форм собственности и подчиненности осуществляют Комитет по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь (далее – Комэнергоэффективности) и его территориальные подразделения.

Энергоснабжающая организация и потребитель несут ответственность за соблюдение Правил технической эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей потребителей, Правил техники безопасности при эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей потребителей, настоящих Правил и других актов законодательства.

Снабжение и пользование тепловой и электрической энергией допускается только на основании договора теплоснабжения, заключенного между энергоснабжающей организацией и абонентом.

Для абонентов, на которых не распространяется установленный действующим законодательством порядок ограничения и (или) прекращения теплоснабжения, а также деятельность которых связана с предоставлением населению жилищно-коммунальных услуг, заключение договора теплоснабжения является обязательным.

Предложение об оформлении энергоснабжающей организацией договора теплоснабжения и (или) электроснабжения вносится абонентом в письменной форме.

Договор теплоснабжения и (или) электроснабжения энергоснабжающая организация заключает при представлении абонентом:

- копии учредительных документов (устава, положения и свидетельства о государственной регистрации), договора аренды или иной правоустанавливающий документ, на основании которого абонент находится на указанной территории;

- схемы систем теплоснабжения, теплоиспользующих установок и тепловых или электрических сетей, отвечающих установленным техническим требованиям;

- технических условий и справки энергоснабжающей организации на предъявителя о выполнении технических условий на присоединение к тепловым или электрическим сетям энергоснабжающей организации, выданных в установленном порядке, исполнительной и проектной документации на системы теплоснабжения с указанием нагрузок по видам;

- акта разграничения балансовой принадлежности тепловых или электрических сетей и эксплуатационной ответственности сторон между энергоснабжающей организацией и потребителем, при электроснабжении в акте указывается выполнение технических условий и тогда справка о их выполнении не требуется;

- данные приборов учета тепловой или электрической энергии, установленных и принятых в эксплуатацию в соответствии с действующими техническими нормативными правовыми актами, при необходимости указывается внесение пароля несанкционированного доступа и параметризация счетчика;

- письменного гарантийного обязательства на оплату потребляемой тепловой или электрической энергии;

- сведения о наличии подготовленного персонала (наличие которого подтверждается соответствующими документами) или договора со специализированной организацией на техническое обслуживание системы теплоснабжения;

- акта органов Госэнергонадзора допуска в эксплуатацию систем теплоснабжения, теплоустановок и тепловых сетей или сетей и установок электроснабжения и электрооборудования потребителя.

Договор теплоснабжения или электроснабжения заключается в письменной форме путем составления одного документа в двух экземплярах, подписанного сторонами в следующем порядке:

энергоснабжающая организация не позднее одного месяца после получения письменного предложения от абонента составляет договор теплоснабжения или электроснабжения с учетом требований Правил и иных актов законодательства, подписывает его и направляет абоненту;

абонент подписывает договор и в течение 10 календарных дней с момента получения возвращает его энергоснабжающей организации.

При возникновении разногласий по условиям договора абонент подписывает договор с протоколом разногласий.

Энергоснабжающая организация в течение 20 календарных дней со дня получения договора с протоколом разногласий рассматривает его и направляет предложения об урегулировании разногласий абоненту. Абонент в течение 20 календарных дней со дня получения возвращает энергоснабжающей организации подписанный протокол об урегулировании разногласий или передает неурегулированные разногласия для рассмотрения в судебном порядке.

Существенными условиями договора теплоснабжения или электроснабжения, заключаемого между абонентом и энергоснабжающей организацией, являются:

предмет договора – обязанность энергоснабжающей организации обеспечить подачу в договорные сроки электрической или тепловой энергии в количестве и по качеству, соответствующим условиям договора теплоснабжения, а обязанность абонента принять энергию и произвести оплату за нее в соответствии с условиями договора;

проектные максимальные часовые нагрузки по каждому виду электро-телопотребления и соответствующие расходы сетевой воды;

количество тепловой или электрической энергии с разбивкой за каждый расчетный период;

параметры теплоносителя;

режимы теплоснабжения и теплопотребления;

количество и продолжительность отключений систем теплоснабжения энергоснабжающих организаций и систем теплопотребления абонентов для проведения плановых работ по ремонту оборудования;

указание группы потребителя, по которой будет применяться тариф на тепловую энергию;

порядок, форма расчетов и сроки оплаты тепловой энергии;

обязательство абонента обеспечить приборный учет и контроль потребляемой тепловой энергии с измерением расхода и параметров теплоносителя;

обязанность абонента обеспечить доступ уполномоченных представителей энергоснабжающей организации при предъявлении служебного удостоверения к системам теплопотребления абонента, теплоиспользующим установкам и приборам учета для контроля исполнения условий договора теплоснабжения;

ответственность сторон за нарушение условий договора теплоснабжения;

величина нормируемых тепловых потерь в тепловых или электрических сетях потребителя в Гкал (%) на участке сети от границы раздела до установки прибора учета.

В договоре теплоснабжения или электроснабжения указываются меры по поддержанию гидравлических режимов, порядок введения ограничений и отключений при дефиците мощности генерирующих источников и пропускных способностей сетей.

В приложении к договору теплоснабжения указываются следующие сведения:

проектная максимальная часовая нагрузка, часовая нагрузка, ниже которой находится зона неустойчивой работы теплоисточника и тепловых сетей, расходы сетевой воды по видам теплопотребления: отопление, вентиляция, горячее водоснабжение, технологические нужды;

месячный, квартальный и годовой отпуск тепловой энергии и расходы теплоносителей (пара и сетевой воды), ожидаемые по климатологическим данным и технологическим нагрузкам;

параметры теплоносителя (давление и температура пара или сетевой воды);

количество возвращаемого конденсата (в процентах от отпуска пара) с разбивкой по месяцам;

нормируемые размеры утечек сетевой воды;

допустимые значения отклонения параметров теплоносителей (пара, сетевой воды) от договорных значений;

порядок учета и контроля потребления тепловой энергии и теплоносителей;

нормируемые потери тепловой энергии в тепловых сетях абонента.

При недостижении сторонами соглашения по вышеупомянутым существенным условиям договор теплоснабжения считается незаключенным.

В договоре теплоснабжения или электроснабжения указываются данные о субабонентах, арендаторах, ссудополучателях по договору безвозмездного пользования, присоединенных к сети абонента (наименование, мощность, теплопотребление, приборы учета тепловой энергии, вид деятельности, тарифы и другие сведения).

Субабоненты заключают с абонентом договор теплоснабжения или электроснабжения. Подключение тепловых установок субабонента к тепловым или электрическим сетям абонента осуществляется только после получения согласия энергоснабжающей организации. При этом абонент и субабонент в своих отношениях руководствуются требованиями Правил, предъявляемыми к энергоснабжающей организации и абоненту.

Условия договора теплоснабжения или электроснабжения сохраняют свою силу на весь срок действия договора. Изменение условий договора теплоснабжения, его расторжение допускаются по соглашению сторон, если иное не предусмотрено законодательством.

В случае, если во время срока действия договора теплоснабжения (электроснабжения) обязательным для исполнения сторонами актом законодательства установлено правило, исключающее действие какого-либо условия договора теплоснабжения, данное условие договора утрачивает силу со дня вступления в силу акта законодательства. Внесение изменений в договор производится по соглашению сторон, а также если того требует вновь принятый акт законодательства.

Договор теплоснабжения (электроснабжения), заключенный на определенный срок, считается продленным на тот же срок и на тех же условиях, если до окончания срока его действия ни одна из сторон не заявит о его изменении либо о заключении нового договора.

Если одной из сторон до окончания срока действия договора внесено предложение о заключении нового договора, то отношения сторон до заключения нового договора регулируются ранее заключенным договором. В случае досрочного отказа от исполнения договора, а также в случае отказа от продления действующего договора сторона должна предупредить другую сторону не позднее чем за один месяц.

Абонент при сдаче в аренду или передаче в безвозмездное пользование находящихся в собственности (хозяйственном ведении, оперативном управлении) помещений, зданий, сооружений, территорий, имеющих системы теплоснабжения, а также отдельные теплоустановки, обязан в течение 10 календарных дней с момента вступления в силу договора аренды (договора безвозмездного пользования) письменно сообщить энергоснабжающей организации наименование организации арендатора, ссудополучателя, характер деятельности, сроки аренды (безвозмездного пользования) и другие сведения, необходимые для внесения дополнений и изменений в действующий договор. Арендодатель (ссудодатель) заключает с арендатором (ссудополучателем) договор о взаимоотношениях в части электротеплоснабжения и производит расчеты за потребленную энергию с энергоснабжающей организацией по тарифам, установленным для него и арендатора (ссудополучателя).

При присоединении к сетям абонента субабонентов действует аналогичный порядок.

Абонент при наличии у него технической возможности присоединяет к своим сетям теплоустановки иного потребителя тепловой энергии по согласованию с энергоснабжающей организацией. Условия подключения данного потребителя к сетям абонента определяются в заключенном между ними договоре.

Субабонент вправе производить по согласованию с абонентом оплату за потребленную энергию на счета энергоснабжающей организации при наличии у него приборов коммерческого учета, принятых энергоснабжающей организацией в установленном порядке.

В случае заключения договора между энергоснабжающей организацией и абонентом, питающимся транзитом через тепловые или сети другого потребителя (транспортирующей организации), абонент должен представить энергоснабжающей организации помимо данных, указанных в пункте 9 Правил, согласие этого потребителя (транспортирующей организации) на присоединение. При этом взаимоотношения транспортирующей организации и абонента, а также транспортирующей организации и энергоснабжающей организации оформляются соответствующим договором.

Расчеты абонентов за тепловую энергию, отпускаемую на основании договора теплоснабжения, производятся по тарифам, утвержденным в установленном порядке в соответствии с действующим законодательством.

Информация об изменении тарифов доводится до абонентов энергоснабжающей организацией через средства массовой информации, если иное не оговорено договором теплоснабжения.

Расчеты за тепловую энергию производятся по тарифам соответствующих групп потребителей на основании показаний приборов учета за расчетный период в соответствии с действующим законодательством. При питании от одного источника теплоснабжения нескольких потребителей различных тарифных групп, при временном отсутствии раздельного учета тепловой энергии расчеты с ними производятся дифференцированно по соответствующим тарифам на основании договора теплоснабжения или акта, составляемого представителями энергоснабжающей организации и потребителей, в котором определяется доля участия

в суммарном теплоснабжении потребителей каждой тарифной группы, а также с учетом тепловых потерь в тепловой сети.

В случае неправильного отнесения абонента к той или иной тарифной группе перерасчет за тепловую энергию производится за весь период теплоснабжения, но не более срока исковой давности.

Тарифы на тепловую энергию установлены с учетом возврата конденсата и сетевой воды абонентами в полном объеме, с качеством, соответствующим государственным стандартам, и не учитывают затрат на химводоподготовку на теплоисточнике при невозврате абонентами конденсата или сетевой воды (при разборе горячей воды из открытых и закрытых систем теплоснабжения). Кроме оплаты тепловой энергии по тарифу абоненты тепловой энергии возмещают в однократном размере энергоснабжающей организации затраты, связанные с невозвратом конденсата или сетевой воды в полном объеме.

При снабжении тепловой энергией нескольких абонентов от одного теплоисточника и подключенных к одной тепловой сети, при отсутствии у них отдельного учета тепловой энергии расчеты производятся дифференцированно по соответствующим тарифам исходя из проектных тепловых нагрузок на основании акта, составленного представителями энергоснабжающей организации и абонентов, в котором определяется доля участия в суммарном теплоснабжении каждого абонента с учетом тепловых потерь в тепловой сети согласно границам балансовой принадлежности.

В случае непредставления абонентом энергоснабжающей организации в установленный договором теплоснабжения срок показаний приборов учета тепловой энергии, а также их неисправности абонент считается безучетным и расчет с ним производится по проектным тепловым нагрузкам, указанным в договоре, в соответствии с требованиями нормативных технических документов.

В случае неисправности приборов учета, вывода их на государственную поверку, других перерывов в работе приборов учета по независящим от абонента причинам сроком не более 15 суток расчет с абонентом производится по значению среднего расхода тепловой энергии по показаниям прибора учета за 5 предыдущих суток его работы. В последующий период расчет производится как с безучетным в соответствии с действующими нормативными правовыми актами.

Оптовый потребитель-перепродавец рассчитывается за тепловую энергию с энергоснабжающей организацией по тарифу, исчисленному как разница между сформированным у этого оптового потребителя-перепродавца средним отпускным тарифом на тепловую энергию (без учета льгот) и скидкой, установленной в соответствии с действующим законодательством.

Средний отпускной тариф на тепловую энергию оптового потребителя-перепродавца формируется по объему реализации тепловой энергии оптового потребителя-перепродавца его потребителям, равному объему отпуска энергоснабжающей организации за вычетом объема тепловой энергии на нормируемые потери.

Количество тепловой энергии учитывается на границе раздела тепловых сетей энергоснабжающей организации и абонента.

Все затраты по транспортировке и нормируемые потери тепловой энергии в тепловых сетях энергоснабжающей организации до границы раздела балансовой принадлежности тепловых сетей учтены в тарифах и дополнительной оплате сверх тарифов не подлежат.

Если приборы учета установлены не на границе раздела балансовой принадлежности тепловых сетей, расчет за тепловую энергию с абонентом производится с учетом потерь на участке тепловой сети от границы раздела до места установки приборов учета. Все затраты по транспортировке и потери тепловой энергии после границы раздела тепловых сетей относятся на счет абонента.

Расчет величины тепловых потерь ежемесячно выполняется в соответствии с нормативными техническими документами.

Субабоненты принимают долевое участие (пропорционально потреблению тепловой энергии) в покрытии затрат абонента, связанных с продажей им энергии, ее транспортировкой, а также затрат по эксплуатации тепловой сети.

Потери тепловой энергии в тепловых сетях абонента распределяются между ним и субабонентами пропорционально их доле потребления тепловой энергии и протяженности тепловой сети. Расчет потерь в письменной форме прилагается к договору теплоснабжения между абонентом и субабонентом.

Расчеты за тепловую энергию абоненты производят в форме предоплаты платежными поручениями в объеме и сроки, предусмотренные договором теплоснабжения:

потребители тепловой энергии с присоединенной нагрузкой 2 Гкал/ч (2,33 МВт) и более – в объеме десятидневного потребления;

остальные потребители тепловой энергии – в объеме потребления за расчетный период, предусмотренный договором теплоснабжения.

В случае непоступления от абонента предоплаты за тепловую энергию энергоснабжающая организация применяет меры воздействия к абоненту, предусмотренные законодательством, и имеет право направить в банк платежные документы на оплату потребленной абонентом тепловой энергии. Порядок выставления платежных документов в расчетном периоде устанавливается договором теплоснабжения в зависимости от объемов теплопотребления абонента.

Энергоснабжающей организацией могут быть направлены в банк дополнительные платежные документы за:

- перебор договорных величин теплопотребления;
- нарушение режимов теплопотребления;
- безучетное или самовольное потребление тепловой энергии;
- разбор и загрязнение сетевой воды;
- в других случаях, предусмотренных законодательством и настоящими Правилами.

Расчеты за тепловую энергию абоненты, содержащиеся за счет средств бюджета, производят в соответствии с законодательством, регулирующим порядок оплаты закупок товаров, работ и услуг за счет средств бюджета.

Особенности расчетов за тепловую энергию, поставляемую для нужд населения, приведены в главе 5 Правил теплоснабжения

Окончательный расчет абонента за потребленную тепловую энергию производится за фактически полученное им количество тепловой энергии за весь расчетный период на основании данных приборов учета с учетом поступившей от абонента предоплаты в сроки, оговоренные договором теплоснабжения.

При отсутствии приборов учета расхода тепловой энергии абонент считается безучетным и расчет с ним производится по проектным тепловым нагрузкам, указанным в договоре, в соответствии с требованиями нормативных технических документов.

Абонент оплачивает предъявленные платежные документы путем перечисления денежных средств на счет энергоснабжающей организации в порядке и на условиях в соответствии с законодательством.

Тепловая энергия считается оплаченной абонентом при поступлении денежных средств на счет энергоснабжающей организации. Абонент имеет право исполнить обязательство по оплате потребленной тепловой энергии иными способами в соответствии с законодательством по согласованию с энергоснабжающей организацией.

При нарушении абонентом предусмотренных договором теплоснабжения сроков платежей на сумму несвоевременного платежа начисляется пеня за каждый день просрочки в размере, предусмотренном договором теплоснабжения и действующим законодательством.

При обнаружении в платежном документе ошибок или сомнения в правильности показаний приборов учета абонент обязан немедленно в письменном виде заявить об этом энергоснабжающей организации.

Энергоснабжающая организация должна не позднее 10 календарных дней со дня подачи заявления абонентом проверить расчет, а если необходимо и техническое состояние приборов учета тепловой энергии, и результат проверки сообщить абоненту.

Подача заявления о проверке технического состояния приборов учета тепловой энергии или об ошибке в платежном документе не освобождает абонента от обязанности произвести оплату в установленный срок.

При обнаружении ошибки в платежном документе энергоснабжающая организация производит перерасчет за период не более срока исковой давности.

При обнаружении нарушений в работе приборов учета тепловой энергии, подтвержденных актом, составленным энергоснабжающей организацией и абонентом, энергоснабжающая организация производит перерасчет за последний расчетный период по тарифам, действующим на момент обнаружения нарушений.

Отклонения в показаниях приборов учета тепловой энергии считаются допустимыми и не влекут перерасчета, если они не превышают норм погрешностей приборов.

Если после проверки будет установлено, что необходим перерасчет, то он производится при выписке очередного платежного документа.

В случае расторжения договора теплоснабжения по инициативе абонента он обязан письменно известить об этом энергоснабжающую организацию не менее чем за один месяц, в течение которого произвести полную оплату потребленной тепловой энергии и отключить и опломбировать систему теплопотребления.

Энергоснабжающая организация и потребитель несут ответственность за соблюдение Правил технической эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей потребителей, Правил техники безопасности при эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей потребителей, настоящих Правил и других актов законодательства.

23 октября 2015 года Советом Министров Республики Беларусь принято постановление № 895 «О некоторых вопросах в области электроснабжения», которым предусматривается внесение изменений и дополнений в Правила электроснабжения, утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 октября 2011 г. № 1394, с изложением их в новой редакции. Постановлением также вносятся ряд изменений и дополнений в документы, имеющие непосредственное отношение к тем или иным положениям новой редакции Правил, в том числе:

Положение о порядке выдачи органами государственного энергетического надзора заключений на использование электрической энергии для целей нагрева, утвержденное постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24 февраля 2006 г. № 269;

единый перечень административных процедур, осуществляемых государственными органами и иными организациями в отношении юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, утвержденный постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 февраля 2012 г. № 156;

Правила пользования жилыми помещениями, содержания жилых и вспомогательных помещений, утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 21 мая 2013 г. № 399;

типовой договор на оказание услуг по техническому обслуживанию жилого дома, вывозу, обезвреживанию и переработке твердых коммунальных отходов и пользованию лифтом, утвержденный постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 27 января 2009 г. № 99.

Утверждение новой редакции документа обусловлено необходимостью гармонизации норм действующих Правил электроснабжения с правовыми предписаниями нормативных правовых актов, принятых за 2011–2015 годы и регулирующих смежные с предметом Правил электроснабжения отношения, а также необходимостью восполнения пробелов в правовом регулировании в области электроснабжения, выявленных по результатам анализа правоприменения на практике норм действующих Правил электроснабжения.

Так, документом предусматривается актуализировать и конкретизировать:

субъектный состав участников гражданско-правовых отношений в области электроснабжения, их права и обязанности, в том числе в отношении иностранных организаций, выполняющих по договору на территории Республики Беларусь работы и (или) оказывающих услуги, представительств иностранных организаций;

порядок подключения электроустановок заинтересованных лиц к электрическим сетям, в том числе с учетом проведенной Министерством энергетики работы по повышению рейтинга Республики Беларусь по показателю «Подключение к системе электроснабжения» ежегодного отчета Всемирного банка «Ведение бизнеса»;

порядок формирования договорных отношений с гражданами, использующими электрическую энергию для бытового потребления;

порядок и условия формирования и реализации договорных отношений в области электроснабжения между энергоснабжающими организациями, входящими в состав ГПО «Белэнерго» (РУП-облэнерго), и юридическими лицами (индивидуальными предпринимателями), имеющими в собственности, хозяйственном ведении или оперативном управлении электрогенерирующие источники (владельцы блок-станций), на электроснабжение электроустановок владельцев блок-станций от электрической сети РУП-облэнерго; поставку (для целей продажи) в электрическую сеть РУП-облэнерго электрической энергии, произведенной владельцами блок-станций; передачу указанной энергии по электрической сети РУП-облэнерго обособленным структурным подразделениям владельцев блок-станций; транзитный переток данной энергии;

порядок расчетов за услуги электроснабжения, в том числе документального оформления выявленных фактов самовольного (бездоговорного), безучетного потребления электрической энергии, с установлением общих правил перерасчета (расчета) за потребленную (потребляемую) электрическую энергию в случаях ее самовольного (бездоговорного), безучетного потребления и при иных нарушениях в работе средств расчетного учета электрической энергии (мощности);

порядок организации эксплуатации (ремонтное и метрологическое обслуживание, восстановление, проверка работоспособности, плановая замена) средств расчетного учета, включая автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ).

В соответствии с п. 66 действующих Правил электроснабжения договор электроснабжения заключается с нанимателем, собственником многоквартирного, блокированного жилого дома, других капитальных строений, в которых электрическая энергия используется для бытового потребления, а также с нанимателями, собственниками жилых помещений в многоквартирных жилых домах. При этом порядок формирования договорных отношений на электроснабжение жилых помещений (квартир) имеет отличие в зависимости от нахождения жилого помещения (квартиры) в составе:

частного либо государственного жилищного фонда;

многоквартирного либо многоквартирного (блокированного) жилого дома.

Исходя из общих правил гражданского законодательства договор энергоснабжения (электроснабжения) заключается с абонентом при наличии у него отвечающего установленным техническим требованиям энергопринимающего устройства, присоединенного к сетям энергоснабжающей организации, и другого необходимого оборудования, а также при обеспечении учета потребления энергии.

В соответствии с п. 3 действующих Правил электроснабжения, под абонентом следует понимать потребителя электрической энергии, электроустановки которого непосредственно присоединены к электрическим сетям энергоснабжающей организации, заключившего с энергоснабжающей организацией договор электроснабжения; под энергоснабжающей организацией – организацию независимо от организационно-правовой формы и формы собственности, осуществляющую продажу потребителям произведенной или купленной электрической энергии и имеющую в собственности, хозяйственном ведении или оперативном управлении электрические сети.

Таким образом, исходя из общих правил гражданского законодательства в многоквартирных жилых домах для граждан, являющихся собственниками жилых помещений (квартир), энергоснабжающей организацией должна являться организация, в чьей собственности, хозяйственном ведении или оперативном управлении находятся внутридомовые электрические сети общего пользования, а также товарищество собственников, организация застройщиков, уполномоченное лицо по управлению общим имуществом, то есть организация, имеющая общую границу балансовой принадлежности электрических сетей с собственниками жилых помещений (квартир).

В указанных условиях РУП-облэнерго должны формировать договорные отношения на электроснабжение многоквартирного жилого дома с организацией, в чьей собственности, хозяйственном ведении или оперативном управлении находятся внутридомовые электрические сети общего пользования, а также товариществом собственников, организацией застройщиков, уполномоченным лицом по управлению общим имуществом, с обеспечением расчетов за потребленную электрическую энергию на основании показаний средства группового расчетного учета электрической энергии, устанавливаемого во вводном распределительном устройстве многоквартирного жилого дома.

Вместе с тем наследуемая со времен распада СССР практика формирования в многоквартирном жилищном фонде прямых договорных отношений на электроснабжение между РУП-облэнерго и населением, а также отсутствие правоспособности РУП-облэнерго в одностороннем порядке расторгнуть эти отношения ограничивают практику формирования договорных отношений с обеспечением расчетов с РУП-облэнерго за потребленную электрическую энергию на основании показаний средства группового расчетного учета электрической энергии, устанавливаемого во вводном распределительном устройстве многоквартирного жилого дома.

В соответствии с п. 65 действующих Правил электроснабжения товариществам собственников, организациям застройщиков, а также уполномоченным лицам по управлению общим имуществом при наличии средств группового расчетного учета электрической энергии предоставлено право заключать с энергоснабжающей организацией договор электроснабжения многоквартирного жилого дома с обеспечением расчетов за потребленную электрическую энергию на основании показаний средств группового расчетного учета электроэнергии.

Следует отметить, что на практике при формировании в государственном многоквартирном жилищном фонде прямых договорных отношений с нанимателями жилых помещений (квартир) имеют место случаи, когда организации, в чьей собственности, хозяйственном ведении или оперативном управлении находятся жилые помещения (квартиры), при расторжении договоров найма жилых помещений (квартир) не производят сверку наличия либо отсутствия задолженности нанимателей за потребленные услуги электроснабжения и не уведомляют РУП-облэнерго о расторжении указанных договоров найма, что приводит к образованию у РУП-облэнерго дебиторской задолженности, взыскание которой зачастую ведет к необоснованным затратам.

В рамках деятельности Министерства энергетики по совершенствованию порядка формирования договорных отношений в области электроснабжения выработана согласованная с заинтересованными органами государственного управления позиция, предусматривающая, что в многоквартирном жилищном

фонде прямые договорные отношения на электроснабжение могут устанавливаться РУП-облэнерго только с собственниками квартир частного жилищного фонда или нанимателями квартир государственного жилищного фонда. Указанные подходы закреплены в новой редакции Правил электроснабжения.

В соответствии с п. 3 Правил электроснабжения в новой редакции под абонентом следует понимать в том числе потребителя электрической энергии, электрические сети и электроустановки которого присоединены к электрическим сетям РУП-облэнерго опосредованно через транзитные электрические сети и заключившего с РУП-облэнерго договор электроснабжения в соответствии с п. 74 Правил.

В соответствии с п. 74 Правил электроснабжения в новой редакции в многоквартирном жилищном фонде условием для заключения договора электроснабжения между РУП-облэнерго и собственниками квартир частного жилищного фонда или нанимателями квартир государственного жилищного фонда через внутридомовые (транзитные) электрические сети общего пользования является письменное предложение владельца внутридомовой (транзитной электрической сети) о заключении данных договоров, направленное в адрес РУП-облэнерго и содержащее обосновывающую информацию и ходатайство о заключении между РУП-облэнерго и владельцем внутридомовой (транзитной) электрической сети соглашения о транзите электрической энергии.

При этом в соглашении должны отражаться сведения о разграничении ответственности его сторон за обеспечение надежной и безопасной эксплуатации внутридомовых (транзитных) электрических сетей и электрооборудования, обеспечение требуемого качества электрической энергии, поставляемой собственникам квартир частного жилищного фонда или нанимателям квартир государственного жилищного фонда, порядок информирования указанных собственников или нанимателей квартир о плановых перерывах, причинах и сроках перерыва в оказании услуг электроснабжения, а также другие условия, предусмотренные Правилами электроснабжения и законодательством.

В части иных условий следует отметить, что в соответствии с п. 222 Правил электроснабжения в новой редакции при расторжении нанимателем договора найма жилого помещения государственного жилищного фонда или переоформлении договора найма на другого гражданина организация, в хозяйственном ведении, оперативном управлении которой находится жилое помещение государственного жилищного фонда, обязана в течение 5 календарных дней письменно сообщить об этом энергоснабжающей организации (РУП-облэнерго).

За товариществами собственников, организациями застройщиков, уполномоченными лицами по управлению общим имуществом многоквартирного жилого дома, а также организациями, в собственности, хозяйственном ведении или оперативном управлении которой находятся многоквартирные жилые дома, при наличии средства группового учета, прошедшего метрологический контроль в соответствии с законодательством в области обеспечения единства измерений, сохраняется право заключить с энергоснабжающей организацией договор электроснабжения многоквартирного жилого дома с обеспечением расчетов за потребляемую электрическую энергию на основании показаний средства группового расчетного учета (п. 76 Правил электроснабжения в новой редакции).

Зона ответственности за эксплуатацию внутридомовых электрических сетей уточнена в п. 38 Правил электроснабжения в новой редакции. В частности определено, что в многоквартирном жилом доме граница эксплуатационной ответственности сторон внутридомовых электрических сетей устанавливается:

- в групповом этажном электрощитке – на контактном соединении ответвления электропроводки в квартиру;
- в индивидуальном этажном (квартирном) электрощитке – на контактном соединении ответвления электропроводки в квартиру, расположенном до отключающей и защитной аппаратуры, установленной в данном электрощитке.

При этом ответственность за состояние и обслуживание указанных контактных соединений несет организация, осуществляющая эксплуатацию жилого дома. Собственник жилого помещения частного жилищного фонда или наниматель жилого помещения государственного жилищного фонда несет ответственность за состояние и обслуживание индивидуального этажного (квартирного) электрощитка, электропроводки ответвления в квартиру и внутриквартирной электропроводки.

Указанные уточнения также вносятся в Правила пользования жилыми помещениями, содержания жилых и вспомогательных помещений и типовой договор на оказание услуг по техническому обслуживанию жилого дома, вывозу, обезвреживанию и переработке твердых коммунальных отходов и пользованию лифтом.

В части требований к установке в многоквартирном жилищном фонде средств расчетного учета электрической энергии следует отметить следующее.

В жилых домах с разрешенной к использованию мощностью более 3,5 кВт на квартиру в качестве средств расчетного учета должно предусматриваться применение многотарифных (не менее четырех тарифов) статических счетчиков, обеспечивающих возможность их объединения в АСКУЭ по цифровым интерфейсам (п. 142 Правил электроснабжения в новой редакции).

В жилых домах, в том числе встроенных (пристроенных) помещениях, в которых расположены магазины, кафе, бары, парикмахерские, швейные мастерские и др., средства расчетного учета устанавливаются в индивидуальных вводных устройствах каждой из этих организаций, независимо от точки присоединения (п. 144 Правил электроснабжения в новой редакции).

В части требований к эксплуатации в многоквартирном жилищном фонде средств расчетного учета электрической энергии уточняющими являются следующие положения:

в многоквартирных жилых домах, оснащенных АСКУЭ, сохранность, целостность, ремонтное и метрологическое обслуживание, восстановление, проверку работоспособности, плановую замену средств расчетного учета, включая АСКУЭ, измерительные трансформаторы тока, счетчики граждан, использующих электрическую энергию для бытового потребления, счетчики, учитывающие расход электрической энергии на общедомовые нужды, устройства сбора и передачи данных, кабели связи в пределах объекта электроснабжения и другие устройства беспроводной связи для осуществления дистанционного сбора данных расчетного учета, обеспечивает организация, в собственности, хозяйственном ведении, оперативном управлении которой находятся указанные средства (приборы, устройства), или энергоснабжающая организация на договорной основе (п. 152 Правил электроснабжения в новой редакции);

в многоквартирных жилых домах без АСКУЭ ответственность за наличие и исправность запирающих устройств на (в) групповых этажных электрощитках, обеспечивающих сохранность средств расчетного учета граждан, возлагается на организацию, осуществляющую эксплуатацию жилого дома (п. 151 Правил электроснабжения в новой редакции).

Средства расчетного учета многоквартирных жилых домов, в том числе АСКУЭ, средства расчетного учета электрической энергии, потребляемой электроприемниками общедомовых нужд (освещение мест общего пользования, движение лифтов и работа другого оборудования, связанного с потреблением электрической энергии), средства группового учета дома (подъезда) – балансные счетчики, средства расчетного учета квартир, размещенные в групповых этажных электрощитках, устройства сбора и передачи данных, каналы связи в пределах объекта электроснабжения и другие устройства беспроводной связи для осуществления дистанционного сбора данных расчетного учета, могут безвозмездно передаваться на баланс энергоснабжающей организации.

В случае безвозмездной передачи указанных средств (приборов, устройств) на баланс энергоснабжающей организации ремонтное и метрологическое обслуживание, восстановление, проверка работоспособности, плановая замена таких средств (приборов, устройств) осуществляются энергоснабжающей организацией за счет средств, предусмотренных при формировании в установленном законодательством порядке тарифов на электрическую энергию (п. 156 Правил электроснабжения в новой редакции).

Граждане обязаны обеспечить в согласованное сторонами время доступ в занимаемые ими или находящиеся в их владении и пользовании жилые и (или) нежилые помещения уполномоченным представителям энергоснабжающей организации и (или) органов госэнергонадзора (при предъявлении служебного удостоверения) к электроустановкам и средствам расчетного учета для снятия показаний, контроля за выполнением требований технических нормативных правовых актов к устройству, надежной и безопасной эксплуатации электроустановок, настоящих Правил и условий договора электроснабжения, а также для приостановления предоставления услуг электроснабжения в случае их неоплаты (п. 162 Правил электроснабжения в новой редакции).

8.7. Ответственность за сохранность и исправность приборов и систем учета энергоресурсов. Методы и системы защиты приборов учета и регулирования от несанкционированного вмешательства

Приборы коммерческого учета и системы регулирования устанавливаются за счет потребителя и после приемки в эксплуатацию находятся на балансе потребителя, который несет ответственность за их сохранность и работоспособность, а также за эксплуатацию, сохранность пломб, комплектность эксплуатационной документации и своевременность проведения их ремонта и госповерок. Ответственность за сохранность и исправность коммерческих приборов учета, установленных в водомерных узлах и тепловых пунктах (общедомовых узлах учета) и учитывающих расход тепловой энергии и воды на общедомовые нужды, возлагается на их владельца

Допуск (прием) в эксплуатацию узлов учета осуществляет представитель энергоснабжающей или водоснабжающей организации (по принадлежности) с участием представителя монтажной организации и потребителя с оформлением акта и пломбировкой всех приборов. Вызов потребителем представителя энергоснабжающей или водоснабжающей организации для приема в эксплуатацию узла учета производится на основании письменной заявки. Инспектор (представитель) энергоснабжающей или водоснабжающей организации должен прибыть для приема узла учета не позднее 5 дней после получения заявки. Для допуска в эксплуатацию узла учета потребитель должен представить нормативно-техническую документацию в соответствии с требованиями Правил отпуска тепла и воды, предъявить для осмотра смонтированный и прошедший госповерку узел учета, выполнить в присутствии представителя энергоснабжающей или водоснабжающей организации поверку узла учета на работоспособность. В случае, если при проверке узла учета выявлены нарушения требований Правил учета отпуска тепла и воды, отступления от согласованного проекта, некачественный монтаж и т. д., в акте допуска указывается полный перечень этих нарушений, и до их устранения узел учета в эксплуатацию не принимается. Перед началом отопительного сезона владелец узла учета обязан совместно с представителями энергоснабжающих организаций произвести проверку готовности узла учета к эксплуатации и оформить соответствующий акт. В сроки, предусмотренные в договорах на поставку тепловой энергии или воды, но не реже 1 раза в месяц показания приборов передаются владельцем узла в расчетные группы энергоснабжающих или водоснабжающих организаций. Отсутствие клейма государственного поверителя или истечение срока поверки приборов, входящих в состав узла учета, лишает права данный прибор считать коммерческим, потребитель считается безучетным, и расчеты с ним производятся по проектным нагрузкам (для теплоснабжения) или действующим нормативам (для водоснабжения). В случае обнаружения повреждения приборов, выхода их из строя, возникновения сомнений в правильности их показаний, нарушения пломб потребитель обязан немедленно сообщить об этом тепло- или водоснабжающей организации.

Электроэнергия – это тоже товар, вследствие этого у ее потребителей есть определенный перечень прав. Права потребителей электроэнергии также подпадают под действие закона о защите прав потребителей. Следовательно, у потребителей электроэнергии есть такие же права, как и у всех потребителей, а именно:

- на качество;
- на безопасность;
- на информацию;
- на возмещение ущерба.

Право потребителей электроэнергии на качество: электроэнергия, как и любой товар имеет характеристики качества, основные из которых это напряжение и частота, а также другие показатели: несинусоидальность напряжения, провал напряжения, перенапряжение и др. Электроэнергия должна соответствовать установленным параметрам качества. В случае отклонения параметров качества электроэнергии от установленных параметров, потребитель вправе требовать приведение их в соответствие, а также требовать возмещения реального ущерба с поставщика электроэнергии, которое произошло по причине низкого качества электроэнергии. К сожалению, многие потребители часто и безуспешно борются с поставщиками электроэнергии на предмет приведения ее качества в соответствие с нормативными документами. Однако вопросы компенсации затрат потребителей электроэнергии и снижения тарифа на электроэнергию, если она будет низкого качества, в действующем законодательстве не определены, поэтому необходимо особое внимание уделять указанным вопросам еще на этапе заключения договора энергоснабжения с поставщиком электроэнергии.

Также к правам потребителей электроэнергии, относящимся к качеству, можно причислить право на бесперебойность энергоснабжения. Бесперебойность энергоснабжения зависит от таких факторов, как категория надежности или ввод графиков аварийных ограничений. Но в любом случае этот вопрос также должен быть четко урегулирован в договоре энергоснабжения.

Право потребителей электроэнергии на безопасность: любой потребитель электроэнергии имеет право требовать безопасность в процессе его энергоснабжения, а также безопасность для жизни и здоровья, имущества и окружающей среды. Электроэнергия – источник повышенной опасности, поэтому сетевая компания обязана обеспечить безопасность энергоснабжения. Однако не стоит забывать, что в случае, если непосредственно состояние энергопринимающих устройств потребителя электроэнергии угрожает его безопасности, то сетевая компания может по решению технадзора отключить электроэнергию до приведения потребителем своих энергопринимающих устройств в соответствие.

Право потребителей электроэнергии на информацию: в соответствии со Стандартами раскрытия информации субъектами оптового и розничного рынка электроэнергии, сетевые компании, генерирующие компании, гарантирующие поставщики, обязаны раскрывать информацию о своей деятельности: информацию о технологическом присоединении, основных условиях договоров, ценах на электроэнергию и др. Право потребителей электроэнергии на возмещение ущерба: при возникновении ущерба, вызванного нарушением условий договора поставщиком (который может быть вызван низким качеством электроэнергии, перебоями в электроснабжении, завышением цены и многое другое), потребитель имеет право требовать возмещения причиненного ему ущерба и морального вреда в досудебном или судебном порядке.

Защита прав потребителей, при нарушении вышеперечисленных прав, электроэнергии может быть организована следующим образом:

- проверка соответствия Правилам технологического присоединения, организации учета электроэнергии;
- обращение в органы прокуратуры; подача исковых заявлений в суды различных инстанций;
- защита прав потребителей энергии является очень важным делом, поэтому, при возникновении нарушений, необходимо обращаться к специалистам.

Системы обеспечения защиты от несанкционированного вмешательства (СОЗНВ) представляют собой систему кодировки и систему пломбировки. Система кодировки предполагает присвоение сугубо индивидуального кода. Система пломбировки предусматривает обеспечение соотв. визуально различимых пломб с соотв. нормировкой, кодировкой, нарушается в случае несанкционированного вмешательства. При введении СОЗНВ в работу устройств контроля, учета и регулирования различных энергоресурсов различают:

- программные;
- визуальные;
- противовзломные;
- антивандальные.

Антивандальные системы – предусматривают создание специальных устройств повышения устойчивости взломам, несанкционированным вмешательствам, хищению приборов УНР (отдельные металлоконструкции повышенной прочности, бетонные оболочки, применение специальных ключей, применение систем видеонаблюдения, систем блокировок и сигнализации). Толщина стенки выносного прибора учета не менее 2 мм, замок должен быть скрыт и открывается спецключом.

Визуальные системы защиты – системы видеонаблюдения и сигнализации, а также различные блокировочные устройства.

Программные системы могут включать в себя введение пароля несанкционированного доступа, сброс показаний при несанкционированном вмешательстве, передача сигналов по системе АСКУЭ о несанкционированном вмешательстве. В этих системах независимо от типа счетчика, вводится личный номер счетчика (или пароль). При опросе в системе АСКУЭ происходит счет показаний только по присваемому номеру. Если каким-то образом учет нарушается, то при сопоставлении передаваемых данных в систему АСКУЭ будет выбивать «Ошибка».

ЛЕКЦИЯ 9. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ (АСКУЭ) (4 ч)

9.1. Цели и задачи АСКУЭ

АСКУЭ – автоматизированная система контроля и учета электроэнергии – система технических и программных средств для автоматизированного дистанционного измерения, сбора, передачи, хранения, накопления, обработки, анализа, отображения и документирования результатов потребления электроэнергии в территориально распределенных точках учета, расположенных на объектах энергоснабжающей организации и (или) потребителей.

Цель АСКУЭ – снизить затраты на передачу и распределение энергии, предотвратить хищения, вести обработку и передачу информации, вести постоянный контроль за потреблением энергоресурсов.

На сегодняшний день выделяют следующие виды автоматизированных систем учета:

- системы для использования у бытовых потребителей;
- системы для использования в жилых домах;
- системы для садовых товариществ и дачных кооперативов;
- системы для обслуживания до 50 абонентов;
- системы для обслуживания до 1000 абонентов.

Функции АСКУЭ: автоматизированный контроль и измерение параметров; сбор и учет данных по каждому счетчику индивидуально; хранение параметров учета в базе данных устройства; обеспечение контроля за соблюдением установленных режимов энергопотребления; формирование отчетов для расчетов и анализа; вывод расчетных параметров на устройство печати.

Преимущества внедрения автоматизированных систем АСКУЭ:

- рациональное энергопотребление и повышение эффективности использования энергоресурсов;
- возможность использования различных тарифов за пользование электроэнергией;
- автоматизированная обработка информации, хранение и представление данных в удобном для пользователя виде;
- построение многоуровневых систем и возможность передачи данных на другие уровни системы;
- возможность получения оперативных данных в удобном виде для анализа;
- возможность получения информации удаленно, через Интернет; контроль и защита от хищения;
- возможность анализа потребления, что позволяет выявить допущенные просчеты в организации энергопотребления и разработать мероприятия по снижению расходов.

9.2. Состав и структура АСКУЭ

АСКУЭ – автоматизированная система контроля и учета электроэнергии – система технических и программных средств для автоматизированного дистанционного измерения, сбора, передачи, хранения, накопления, обработки, анализа, отображения и документирования результатов потребления электроэнергии в территориально распределенных точках учета, расположенных на объектах энергоснабжающей организации и (или) потребителей.

Уровни автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов:

первый уровень – первичные измерительные приборы (ПИП) с телеметрическими или цифровыми выходами, осуществляющие непрерывно или с минимальным интервалом усреднения измерение параметров энергоучета потребителей (потребление электроэнергии, мощность, давление, температуру, количество энергоносителя, количество теплоты с энергоносителем) по точкам учета (фидер, труба и т. п.);

второй уровень – устройства сбора и подготовки данных (УСПД), специализированные измерительные системы или многофункциональные программируемые преобразователи со встроенным программным обеспечением энергоучета, осуществляющие в заданном цикле интервала усреднения круглосуточный сбор измерительных данных с территориально распределенных ПИП, накопление, обработку и передачу этих данных на верхние уровни.

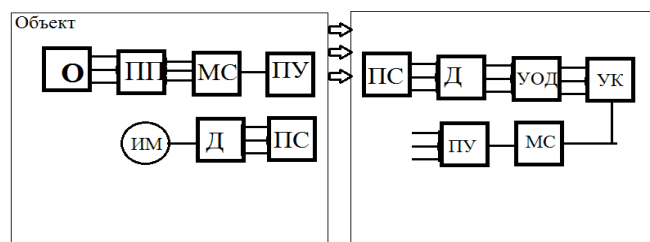


Рис. 9.1. Основные объекты телемеханики системы АСКУЭ: О – объект; ПП – первичный преобразователь; МС – модулятор сигналов; ПУ – передающее устройство; ПС – приемник сигналов; Д – дешифратор; ИМ – исполнительный механизм; УОД – устройство обработки данных; УК – устройство контроля и сравнения текущих значений

Передача сигналов может осуществляться по специальным радиорелейным сетям, по существующим сетям воздушных линий, по оптоволоконным линиям связи, по системам сотовой, спутниковой связи.

В низкочастотной воздушной линии накладываются высокочастотные сигналы. Во избежание ложных сигналов элементов системы на входе в силовое оборудование (подстанцию) устанавливаются специальные заградительные фильтры.

Оптоволоконные линии связи достаточно высоконадежны, но дорогостоящие.

Передача на JSM-каналах достаточно развита, есть договоренность между Энергосбытом И Велком, выделяется определенный участок частотного диапазона для Велком. На передающее устройство устанавливается обычно сим-карта на общий номер техподдержки Энергосбыта.

Классификация сигналов для передачи данных:

- токовые системы;
- системы с фиксацией напряжения;
- частотные системы;
- системы с использованием фактора времени;
- кодоимпульсные системы;
- методы и системы последовательной передачи;
- методы и системы параллельной передачи.

Токовые системы основаны на том, что измеряемая величина преобразуется в ток (параметр фиксируется по значению тока). Для систем передачи используется постоянный ток величиной 50 мА.

Общий недостаток токовых систем – значительные потери при передаче на большое расстояние. чтобы исключить потери, применяют компенсационные методы (измеряется отклонение измеряемого тока от большей величины). Применяются токовые системы для маломощных локализованных измерительных систем (максимум в пределах предприятия) – дистанционные измерения (имеющие ограничения по расстоянию)

Системы с использованием напряжения основаны на измерении изменения напряжения в зависимости от измеряемой величины, недостатки и области применения такие же, как и у токовых систем.

Частотные системы основаны на изменении частоты сигнала величины в зависимости измеряемой величины. Частотные методы: с синусоидальной характеристикой, время-импульсной характеристикой, с фазо-импульсной характеристикой, то есть выходной сигнал (частота) может быть представлен в виде набора пачки прямоугольных импульсов, набора синусоид, набора синусоид с различным фазовым смещением.

Преимущества: позволяют выполнять измерения достаточно точно, практически без потерь и передавать на значительные расстояния. Короткоимпульсные системы (цифровые) основаны на том, что передача сигналов осуществляется кодом в двоичной, десятичной и т. д. системах. сигнал оцифровывается и подается на любые расстояния без потерь и помех.

Последовательная передача сигнала происходит последовательно по времени или по каналам.

Если передача сигнала осуществляется одновременно по нескольким каналам или по одному каналу с модуляцией по частоте – это *системы параллельной передачи*.

9.3. Особенности передачи данных в различных системах АСКУЭ

Для передачи информационных потоков используются различные каналы:

– **GSM/GPRS:** передача данных посредством GSM-сети. Применяется для передачи данных об энергопотреблении как от УСПД в Энергосбыт, так и от счетчиков в УСПД.

Типы оборудования: в системах применяются как внешние GSM/GPRS-модемы (Cinterion MC52i, Conel ER75i (Siemens), УСД-01 (02), коммуникатор GSM/GPRS, GSM-GPRS коммуникатор «Гран-GPRS» и др.).

Достоинства: уже сформированная инфраструктура сотовой сети с достаточно большим покрытием территории, большой выбор оборудования.

Недостатки: взимаемая оператором сотовой связи плата за услугу передачи данных (за исключением закрытых абонентских групп и некоторых тарифных планов), зависимость от работоспособности оборудования оператора сотовой связи, уровень GSM-сигнала в спецпомещениях (ТП, РП, подвальные помещения и др.) зачастую низок, что требует дополнительных монтажных мероприятий по установке внешних антенн.

– **PLC:** передача данных посредством силовой сети 0,4кВ, канал связи S-SFSK (PLC), полоса частот 20–148кГц (чаще 70–90 кГц). Применяется для передачи данных об энергопотреблении от счетчиков в УСПД. Чаще всего используется в системах АСКУЭ административных зданий и жилищно-коммунальном секторе.

Типы оборудования: в системах применяются как внешние PLC-модемы («Электронный модем CCSDI-0005», «Коммуникатор ШМ-16» и др.).

Достоинства: передача данных от счетчиков к УСПД осуществляется непосредственно по существующей силовой сети 0,4 кВ, что сокращает трудозатраты и стоимость внедрения системы, поскольку отпадает необходимость прокладывать всевозможные информационные кабели.

Недостатки: на передачу данных в сети может повлиять любое устройство с реактивной составляющей в нагрузке – люминесцентные лампы, импульсные блоки питания (начиная от блоков питания мобильных телефонов, заканчивая бытовой техникой), двигатели и др. PLC-оборудование дает помехи по коротковолновым радиовещательным и радилюбительским диапазонам. Дальность передачи не более 500м (обычно – меньше и зависит от состояния сети), скорость передачи (до 1000 бод).

– **RADIO 433, 866 МГц:** передача данных посредством радиоканала на безлицензионной частоте 433МГц или 866МГц. Применяется для передачи данных об энергопотреблении от счетчиков в УСПД. Применяется в случаях, когда прокладка информационного кабеля либо технически невозможна, либо экономически нецелесообразна. Преимуществами данного вида связи являются: отсутствие каких-либо платежей за передачу данных, не требуется получение разрешений. Дальность связи может достигать нескольких километров.

Типы оборудования: в системах применяются как внешние Радиомодемы («Коммуникатор ШМР-16U», «Радиомодем М-433», «Спектр 433» и др.).

Достоинства: передача данных от счетчиков к УСПД осуществляется по радиоканалу, что сокращает трудозатраты и стоимость внедрения системы, поскольку отпадает необходимость прокладывать информационные кабели.

Недостатки: в системах со встроенными в счетчики радиомодемами есть необходимость в прокладке нескольких кабелей, соединяющих УСПД и радиоретрансляторы. Радиоретрансляторы устанавливаются в ключевых точках и к ним необходимо прокладывать информационный кабель. Данные точки расположены, как правило, на одной отметке с УСПД (подвал, первый этаж) и кабель прокладывается по существующим лоткам.

– **ETHERNET, INTERNET:** передача данных посредством технологии TCP-IP (вычислительные сети). Применяется для передачи данных об энергопотреблении как от УСПД в Энергосбыт, так и от счетчиков в УСПД. Применяется в системах, где требуется передача больших объемов информации, а также когда требуется организовать автоматизированное рабочее место, которое глобально удалено от УСПД или сервера сбора данных.

Типы оборудования: коммутаторы ETHERNET, различные xDSL-модемы и др.

Достоинства: передача больших объемов информации на большой скорости. Зачастую, инфраструктура Ethernet (в т. ч. с доступом в сеть Internet) уже существует на объекте автоматизации.

Недостатки: необходимость прокладки кабелей. Для подключения к промышленному оборудованию с последовательными интерфейсами необходимо устанавливать преобразователи интерфейсов.

– **RS-485, RS-232, M-BUS:** передача данных посредством проводных последовательных интерфейсов. Применяется для передачи данных об энергопотреблении как от счетчиков в УСПД, так и от УСПД в АРМ-Энергетика.

Типы оборудования: счетчики электроэнергии, УСПД, модемы, преобразователи и др.

Достоинства: надежная передача данных между устройствами низкого, среднего и верхнего уровня. Параллельное объединение большого количества устройств с использованием малого количества проводов.

Недостатки: необходимость прокладки кабелей.

В состав системы АСКУЭ входят:

- счетчики, обеспечивают учет количества киловатт-часов расходуемой и выработанной электроэнергии;
- устройства, обеспечивающие сбор и передачу данных со счетчиков (УСПД). К ним можно отнести шкаф АСКУЭ – совокупность элементов, предназначенных для сбора информации со счетчиков и ее передачи посредством различных каналов связи для дальнейшей переработки;
- средства телекоммуникации между объектами систем АСКУЭ и Центрами сбора и обработки информации;
- вычислительные средства структурирования информации Центров сбора и обработки информации.

Технические данные оборудования АСКУЭ и примеры реализации для различных потребителей приведены на цветных заставках.

КАНАЛ GSM

GSM модем «Коммуникатор GSM»



Технические характеристики

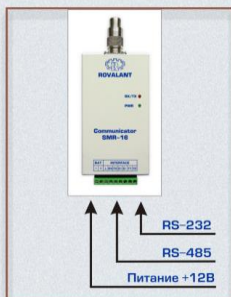
Частотный диапазон, МГц	GSM/GPRS 900/1800/1900
Совместимость с GSM	Phase 2/2+
Номинальное напряжение питания, В	12.0 ±1.2
Выходная мощность, 1 класс	1Вт (1800/1900МГц)
Выходная мощность, 4 класс	2Вт (900МГц)
Управление	AT-команды GSM 07.07, 07.05
Скорости передачи данных	GPRS class 10^ max 85/6 kbps
Рабочий диапазон температур	-20 °C до +55 °C
Габаритные размеры, мм	87x70x60

Функциональные особенности

- широкий спектр последовательных интерфейсов: RS485, RS232, USB, Serial TTL;
- эффективное использование канального ресурса при передаче асимметричного неоднородного трафика в виде относительно коротких пакетов;
- возможность выбора транспортного протокола (TCP или UDP);
- доступ к сетям пакетной передачи данных (IP, X.25) минуя сети PSTN/ISDN.

РАДИО КАНАЛ

Радиомодем «Коммуникатор ШМР-16»



Технические характеристики

Частотный диапазон, МГц	433.050- 434.790
Частотный разнос между каналами, кГц	12.5 / 25
Номинальное напряжение питания, В	12.0 ±1.2
Чувствительность, мкВ	0.25
Рабочий диапазон напряжения питания, В	10,8 – 13,2
Вид модуляции	Частотная
Потребляемый ток, А, не более	0,4
Сопrotивление антенно-фидерного тракта, Ом	50
Габаритные размеры, мм	135x65x25

Функциональные особенности

- подавление импульсных помех;
- повышенная устойчивость к нелинейностям АЧХ и ФЧХ;
- амплитудное, помехоустойчивое кодирование;
- прозрачность канала, что не требует от пользователя поддержки и обслуживания модема на программном уровне;
- программная поддержка, позволяющая быстро и качественно ориентировать на местности антенны модемов.

PLC КАНАЛ

PLC модем «Коммуникатор ШМ-16»



Технические характеристики

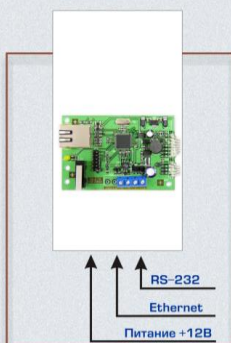
Технология связи	ШПС
Канал передачи данных	Электросети ~220В
Диапазон рабочих частот, кГц	20-60
Канальная скорость, бит/с	400-800
Отношение сигнал/шум, дБ	-20
Скорость обмена по RS232, RS485, бит/с	1200, 2400
Количество кодов линий, шт	до 5
Пароль доступа к каналу, разрядов	24
Количество ШМ-16 на одной фазе, шт	до 500

Функциональные особенности

- повышенная устойчивость к нелинейностям АЧХ и ФЧХ;
- не требует предварительной настройки;
- типы доступа к каналу (бесприоритетный, приоритетный, случайный);
- назначение пароля для доступа к данным;
- назначение фиксированных частот приема-передачи сигнала
- возможность программирования любого из модемов как ретранслятора;
- организация в сети до 4-х уровней ретрансляции данных.

КАНАЛ ETHERNET

Модуль согласования «ИС-Ethernet»



Технические характеристики

Протокол передачи данных	UDP или TCP
Скорость передачи данных, Мб/с	10
Номинальное напряжение питания, В	12.0 ±1.2
Ток потребления модуля (прием/передача), мА	не более 250
Масса модуля, г	не более 75
Рабочий диапазон температур, гр. С	-10 до +55
Габаритные размеры, мм	174x90x28

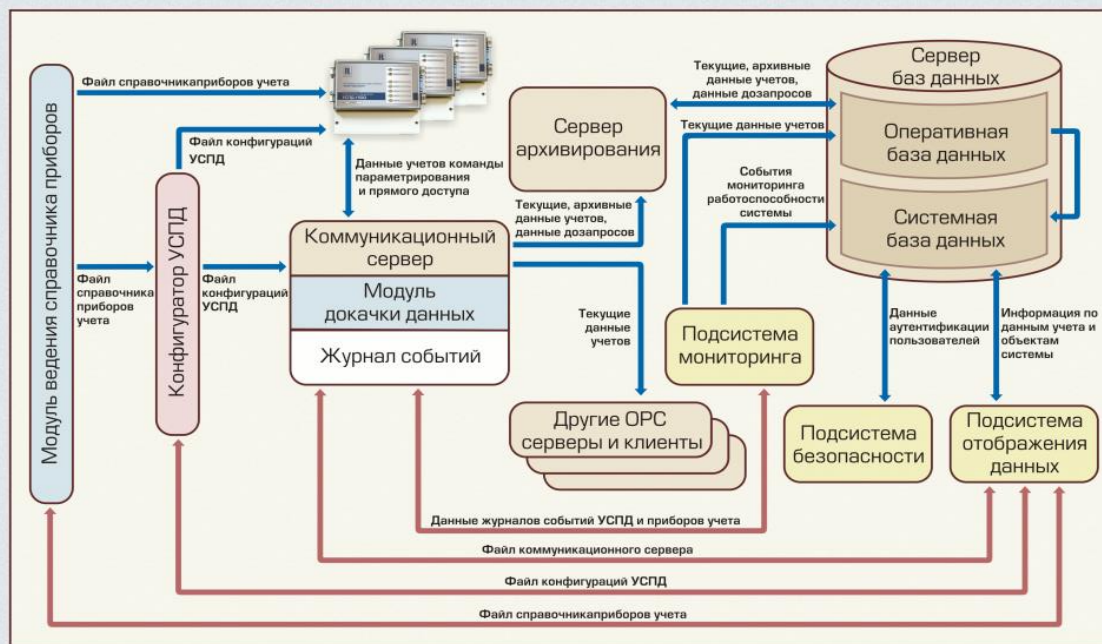
Функциональные особенности

- наличие режима сквозной передачи данных (RS485-Ethernet-RS485);
- возможность выбора транспортного протокола (TCP/IP или UDP);
- гибкая настройка любых параметров порта RS485 (скорость передачи данных, количество бит данных, проверка на четность, количество стоповых бит);
- наличие прозрачного протокола обеспечивает прямое передачу данных в любом направлении.

Использование технологии Ethernet позволяет при монтаже на объекте обойтись без дорогостоящей прокладки большого количества кабелей, а так же, имеется возможность построения систем на основе уже имеющейся локальной сети, а использование в качестве среды передачи данных Wi-Fi радиоканала позволит минимизировать затраты на монтаж проблемных точек системы.

Программный комплекс «Энергобаланс» обеспечивает администрирование технических средств передачи данных, электронных приборов учета, настройку и тестирование системы удаленного опроса средств учета, автоматический сбор, обработку и хранение данных с приборов учета и отображение полученной информации в удобном для пользователя виде.

СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА



УСПД-1500 реализовано в трех вариантах:

- ♦ аппаратное УСПД, микропроцессорное устройство, выполненное на базе DIM-PC и предназначенное для установки в жилых помещениях и ТП;
- ♦ виртуальное УСПД, выполненное в виде отдельного программного модуля и устанавливается на одном ПК с сервером сбора данных;
- ♦ программное «УСПД-1500», устанавливаемая на промышленные ПК, для работы в жестких климатических условиях.

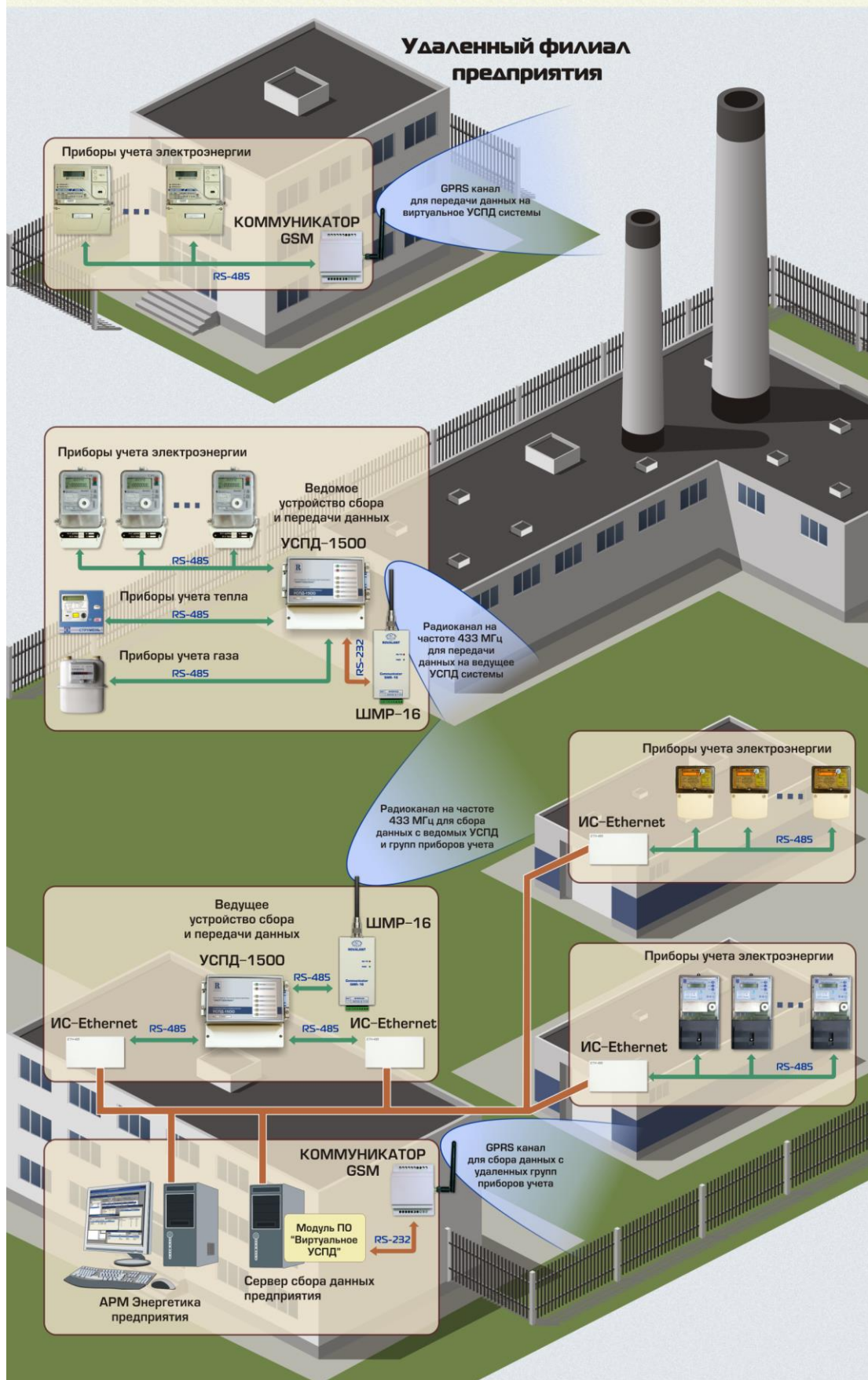
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



Тип интерфейса для связи с приборами учета и верхним уровнем системы	4xRS485, 2xRS232, Ethernet
Количество точек (счетчиков) учета, шт	до 1500
Количество сезонов, шт	12
Количество тарифов, шт	8
Количество тарифных зон, шт	48 (шаг 30 мин.)
Учет электроэнергии	Активная/Реакт.
Глубина хранения данных, месяцев	12
Время сохранения информации при отсутствии питания	3 года
Потребляемая мощность, Вт	менее 30
Питание, В	+12В
Рабочий диапазон температур	От 0° до +60°С
Исполнение корпуса	IP65
Срок службы	Не менее 10 лет

Удаленные объекты в зоне покрытия мобильной связи









Преимущества системы:

- контроль энергоресурсов четырех типов: электроэнергия, тепловая энергия, вода и газ;
- сочетание функций контроля, учета и управления;
- работа с любыми электронными приборами учета энергоресурсов;
- построение локальных и распределенных иерархических систем учета потребления энергоресурсов;
- адаптация к любым объектам и схемам энергосбережения;
- привычная среда работы операторов системы (Windows, WEB – интерфейс);
- простота модернизации и наращивания;
- использование уже имеющейся инфраструктуры (электросеть, радиоканал, выделенные линии);
- решение вопросов «последней мили» для любых систем;
- высокая помехоустойчивость за счет применения шумоподобных сигналов и специальных алгоритмов обработки;



ЛЕКЦИЯ 10. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИБОРОВ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ (8 ч)

10.1. Организация метрологической службы в мире и в Республике Беларусь

Основными приоритетными направлениями международной метрологии являются:

- поиск более точных технических возможностей по реализации размеров единиц величин Международной системы единиц;
- создание новых систем сотрудничества международных и межправительственных организаций в области метрологии;
- решение проблемы прослеживаемости измерений в области здравоохранения;
- получения надежных биометрических данных;
- достоверные и сравнимые измерения в области испытаний пищевой продукции для обеспечения пищевой безопасности продукции (в частности измерение содержания генетически измененных организмов);
- измерения, связанные с качеством жизни, биотехнологией и мониторингом окружающей среды;
- измерения в области правоохранительных органов, суда, антидопинга, безопасности.

Наиболее известными международными организациями в области метрологии являются:

1. Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ) – межправительственная организация, созданная по инициативе СССР в 1956 году, объединяющая более 80 государств.

Главные цели МОЗМ:

- установление классов точности СИ;
- обеспечение единообразия определения типов и образцов систем СИ;
- разработка рекомендаций по испытаниям;
- определение поверки и калибровки средств измерений.

МОЗМ издает международные рекомендации, охватывающие следующие вопросы:

- терминологию в области метрологии;
- требования к метрологическим характеристикам СИ;
- способы выражения погрешностей СИ и результатов измерений;
- требования к метрологической деятельности, которые касаются испытаний, поверки, сертификации, калибровки, метрологического контроля и надзора.

Документы МОЗМ носят рекомендательный характер.

2. Международная организация мер и весов (МОМВ) была создана в 1875 г. на основе Метрической конвенции, подписанной 17 государствами. В настоящее время ее членами являются 50 стран мира.

Цель МОМВ – унификация национальных систем единиц измерений физических величин и установление единых фактических эталонов длины и массы (м и кг).

В соответствии с Конвенцией было создано Международное бюро мер и весов (МБМВ) – международная научно-исследовательская лаборатория, которая хранит и поддерживает международные эталоны. Бюро расположено в г. Севр близ Парижа. В практическом плане главной задачей МБМВ является сличение национальных эталонов с международными. Научное направление работы Бюро – совершенствование метрической системы измерения и международных эталонов, разработка и применение новых методов и средств точных измерений, координация научно-исследовательских работ стран-членов в области метрологии.

Высшим органом МОМВ является Генеральная конференция мер и весов, которая собирается не реже одного раза в 4 года. В промежутках между конференциями работой МОМВ руководит Международный комитет мер и весов, который входят крупнейшие физики и метрологи мира. В свою очередь, он состоит из консультативных комитетов (по определению метра, по массе, по определению секунды, по электричеству, термометрии, фотометрии, эталонам для ионизирующих излучений, по единицам физических величин), которые готовят материалы для Генеральной конференции.

Наиболее важный результат работы МОМВ – Международная система единиц (СИ).

В целях обеспечения единства измерений в Республике Беларусь создана метрологическая служба, которую возглавляет Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь. В состав Государственной метрологической службы входят Национальный метрологический институт, в качестве которого определен Белорусский государственный институт метрологии (БелГИМ), и 15 региональных центров стандартизации, метрологии и сертификации.

Метрологическая служба в Республике Беларусь создана в 1925 году. Возглавляет ее Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь. Головным научно-практическим центром республики является Белорусский государственный институт метрологии. Задачи по обеспечению единства измерений реализуют на местах 15 региональных центров стандартизации, метрологии и сертификации. Работы по обеспечению единства измерений в Республике Беларусь осуществляются на основе Закона «Об обеспечении единства измерений». Госстандарт обеспечивает выработку и реализацию технической политики в области обеспечения единства измерений, осуществляет координацию деятельности и научно методическое взаимодействие с метрологическими службами других органов государственного управления, зарубежными метрологическими службами. Нормативная база государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ) – комплекс нормативных документов, включающих в себя государственные стандарты и другие нормативные документы, определяющие порядок передачи размера единиц величин предприятиям и организациям, организацию и порядок проведения испытаний, поверки и калибровки средств измерений. Решением правительства в Республике Беларусь введена Метрическая система единиц СИ. Технической основой ГСИ является государственная эталонная база, сосредоточенная в Белорусском государственном институте метрологии. Госстандарт Республики Беларусь осуществляет руководство:

- Государственной службой времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ);
- Государственной службой стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО);
- Государственной службой стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД).

Госстандарт ведет Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь. Госстандарт Республики Беларусь осуществляет государственный метрологический контроль и надзор. Государственный метрологический контроль включает:

- утверждение типа средств измерений;
- поверку средств измерений;
- лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, поверке, продаже и прокату средств измерений.

Государственный метрологический надзор осуществляется: за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, соблюдением метрологических правил и норм. Государственной метрологической службой ежегодно поверяется более трех миллионов средств измерений, большая часть которых входит в законодательно регулируемую область и связаны с учетом материальных ценностей, охраной труда и здоровья граждан, охраной окружающей среды. Республика Беларусь с 1994 г. является членом Международной организации законодательной метрологии. Метрология в Беларуси способствует инновационному развитию экономики и общества. Об этом сообщил в Минске на международной научно-практической конференции «Метрология-2009» председатель Государственного комитета по стандартизации Беларуси Валерий Корешков.

Практически ни одна государственная научно-техническая программа сегодня не реализуется без метрологического обеспечения. Измерения создают доказательную базу, которая служит инструментом подтверждения всех технических характеристик создаваемого продукта. Беларусь является участником Метрической конвенции, что позволяет стране применять у себя международную систему измерений. Это обеспечивает потребности экономики, точность, надежность и сопоставимость результатов измерений. В то же время это дает признание результатов испытаний на международном уровне. Приоритетными направлениями, которыми занимаются метрологи Беларуси, являются ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии, информационные и телекоммуникационные, применение новых материалов, источников энергии, экология, рациональное природопользование. Сейчас в Беларуси ведется большая работа по созданию технических нормативно-правовых актов. «Мы переходим на систему технических регламентов и добровольных стандартов», – отметил Валерий Корешков. Это международная практика, на такую систему работы сейчас переходят во многих странах. Уже принят один из самых важных техрегламентов – единицы измерения, допущенные к применению на территории Беларуси. Идет разработка других техрегламентов, в частности в области метрологии обеспечения единства измерений, приборов контроля фасованных товаров. Требуется создание новых точных стабильных и исходных эталонов. Это закладывает основу для инноваций в промышленности и науке, подчеркнул председатель Госстандарта.

В международной научно-практической конференции «Метрология-2009» приняли участие более 150 ученых и специалистов из 10 стран. Среди иностранных участников – представители национальных организаций по стандартизации, метрологии и оценке соответствия, а также институтов Болгарии, Германии, Казахстана, Кубы, Польши, России, Словакии, Украины и Узбекистана. Конференция посвящена

175-летию со дня рождения великого ученого-химика Д. И. Менделеева, который внес значительный вклад и в развитие метрологии. В настоящее время в Беларуси действует 15 национальных и 15 исходных эталонов. Они позволяют осуществлять воспроизведение и передачу размеров единиц длины, массы, температуры, времени и частоты, плотности потока энергии, мощности экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучения и т. д.

Сегодня страна располагает новыми эталонами электрической мощности, расхода жидкости, лазерного излучения, единицы массы. «Современное состояние национальной эталонной базы характеризуется высоким научно-техническим потенциалом и в целом соответствует потребностям важнейших отраслей отечественной науки и промышленности. Это повышает доверие наших зарубежных партнеров по научно-техническому сотрудничеству и торговым операциям и содействует более активному и плодотворному товарообмену с другими странами», – отмечает пресс-служба. По мнению специалистов, «метрология в Беларуси способствует инновационному развитию экономики и общества. Повышение точности и достоверности измерений – одна из государственных задач. Практически ни одна государственная научно-техническая программа сегодня не реализуется без метрологического обеспечения. Основу для инноваций в промышленности и науке закладывает созданная в республике эталонная база». Белорусский государственный институт метрологии (БелГИМ) является одним из звеньев Системы обеспечения единства измерений Республики Беларусь. В 2000 году БелГИМ получил статус национального института метрологии, имеет прочный фундамент и давние традиции, так как его создание началось в 1924 году с основания Белорусской Палаты мер и весов, выполнявшей государственную поверку весов и гирь, простейших приборов. Сфера деятельности института постоянно расширялась и охватывает в настоящий момент разработку и изготовление эталонов и стандартных образцов; испытания, метрологическую аттестацию, поверку, калибровку средств измерений; создание и поддержание эталонной базы республики; проведение высокоточных измерений; разработку технических нормативных правовых актов; испытания и сертификацию продукции, услуг, персонала и систем качества; исследования в области метрологии; аккредитацию лабораторий; стажировку специалистов и обучение метрологов; госнадзор за стандартами и средствами измерений.

С 2003 г. в БелГИМ внедрена система менеджмента качества, которая разработана в соответствии с требованиями международного стандарта ИСО 9001 версии 2000 г., реализованного через стандарт Республики Беларусь СТБ ИСО 9001-2001. Система менеджмента качества БелГИМ сертифицирована Национальным органом по сертификации. Форум качества региональной метрологической организации КООМЕТ подтвердил доверие к Системе менеджмента качества БелГИМ (в соответствии с ИСО/МЭК 17025). В настоящее время значительно активизировалось участие БелГИМ в международных сличениях эталонов, в деятельности международных и региональных метрологических организациях – МКМВ, МОЗМ (Международной организацией законодательной метрологии), КООМЕТ (Азиатским сотрудничеством государственных метрологических учреждений), Международной организацией по стандартизации. Многолетний опыт работы, большой технический потенциал, современные методы и технологии работы позволяют нам надеяться на дальнейшее успешное развитие метрологии в республике и гарантировать высокий уровень оказываемых услуг. В соответствии с Законом Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений» Госстандартом Республики Беларусь на БелГИМ возложены функции:

- Главного центра национальных эталонов Республики Беларусь;

- Главного центра времени и частоты;

- Головной организации по стандартизации в области метрологии;

- Головной организации Государственной службы стандартных образцов;

- Головной организации – исполнителя по научно-технической программе «Эталоны Беларуси»;

- Уполномоченного органа по аккредитации поверочных, калибровочных и испытательных лабораторий;

- Научно-технического центра по аккредитации.

Республиканской головной организации по стандартизации в области метрологии БелГИМ осуществляет функции территориального органа Госстандарта по стандартизации, метрологии и сертификации.

Госстандартом Республики Беларусь БелГИМ поручено ведение Государственных Реестров:

- национальных и исходных эталонов Республики Беларусь; средств измерений и стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;

- аккредитованных поверочных, калибровочных и испытательных лабораторий.

БелГИМ аккредитован как Орган:

- 1994 г. – по аккредитации поверочных, испытательных и калибровочных лабораторий (BY/112 01.5.0.0001).

2000 г. – по сертификации систем качества в TGA (TGA -ZM-06-99-00).

2001 г. – по сертификации продукции, услуг и персонала (BY/112 01.1.0.0117).

2002 г. – по сертификации систем качества (BY/112 01.3.0.0004).

2003 г. – по сертификации систем управления качеством пищевых продуктов на основе принципов НАССР (BY/112 01.3.0.0012).

2004 г. – по экологической сертификации управления окружающей средой (BY/112 00.3.1.01.3.0.0004).

2005 г. – по испытаниям в системе ГОСТ Р (РОСС BY.0001.21ИМ40).

2006 г. – по сертификации систем управления охраной труда (BY/112 01.3.0.0034).

2006 г. – по сертификации систем управления (BY/112 01.3.0.0004).

Подразделения БелГИМ аккредитованы на проведение:

1994 г. – испытаний средств измерений, техники и товаров народного потребления (BY/112 02.1.0.0025).

1994 г. – испытаний пищевой и сельскохозяйственной продукции (BY/112 02.1.0.0008).

1995 г. – испытаний на радиационную безопасность (BY/112 02.1.0.0074).

1996 г. – поверки средств измерений (BY/112 02.3.0.0055).

2000 г. – испытаний пищевой и сельскохозяйственной продукции в DAP GmbH (DAP-PL-4101.00).

2000 год – сертификация пищевой и сельскохозяйственной продукции в DAP GmbH (DAP-ZE-3120/00).

2009 г. – испытаний в системе ГОСТ Р по показателям, установленными Федеральными законами РФ от 12 июня 2008 г. № 88-ФЗ «Технический регламент на молоко и молочную продукцию» и от 24 июня 2008 г. № 90-ФЗ «Технический регламент на масложировую продукцию» (РОСС BY.0001.21 ПШ02).

Подразделения БелГИМ аккредитованы в соответствии с требованиями СТБ ИСО/МЭК 17025 на проведение:

2003 г. – калибровки средств измерений (BY/112 02.5.0.0100).

2004 г. – испытаний средств измерений, техники и товаров народного потребления (BY/112 02.1.0.0025).

2004 г. – испытаний пищевой и сельскохозяйственной продукции (BY/112 02/1/0/0008).

2004 г. – испытаний на радиационную безопасность (BY/112 02/1/0/0074).

Основные научно-практические направления деятельности РУП «БелГИМ»:

- проведение фундаментальных и прикладных научных исследований в области обеспечения единства измерений;
- разработка, исследования, поддержание, хранение и сличения национальных и исходных эталонов;
- исследования в области передачи размера единиц физических величин;
- системные исследования по разработке правовых, экономических и организационных основ метрологической деятельности, включая деятельность Государственной метрологической службы, разработка соответствующих организационно-методических документов;
- разработка и исследования новых методов и средств измерений, стандартных образцов, поверочных газовых смесей;
- сертификация и государственные испытания средств измерений с целью утверждения типа;
- поверка средств измерений и калибровка измерительного оборудования;
- разработка и метрологическое подтверждение пригодности методик выполнения измерений и программных средств по обработке и автоматизации измерений;
- разработка технических нормативных правовых актов по обеспечению единства измерений, включая методики испытаний, поверки, калибровки;
- метрологическая экспертиза проектов нормативно-технических документов, научно-технических программ и проектов;
- аккредитация испытательных, поверочных, калибровочных лабораторий; сертификация продукции, услуг, персонала и систем менеджмента качества;
- испытания пищевой, сельскохозяйственной и иной продукции;
- информационное обслуживание по метрологии, аккредитации, стандартизации и сертификации;
- государственный надзор за стандартами, средствами измерений, качеством сырья, материалов, комплектующих изделий и готовой продукции;

- разработка учебных программ и методических материалов по профессиональной подготовке кадров метрологов.

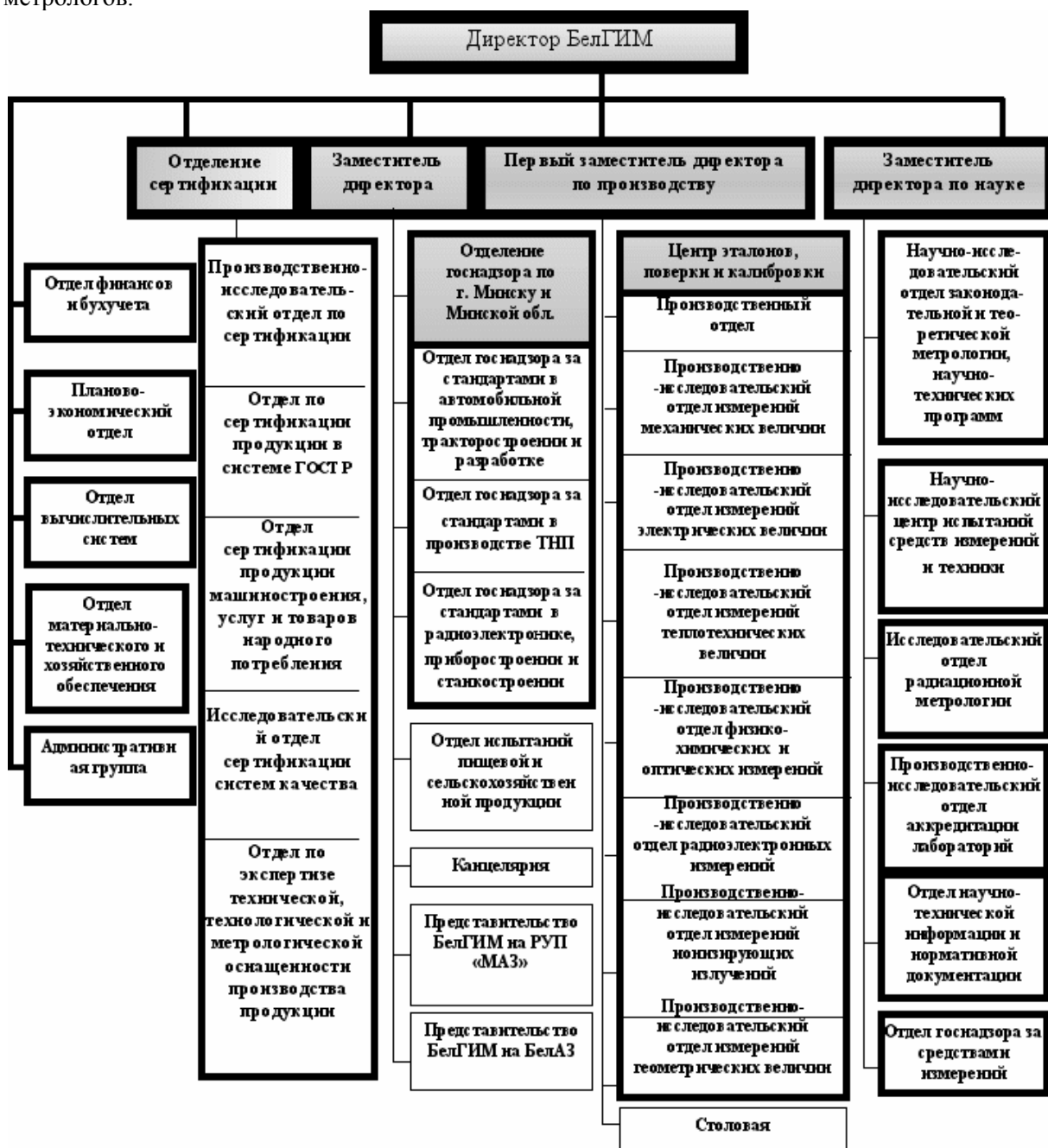


Рис. 10.1. Структура Белорусского государственного института метрологии

10.2. Поверка приборов, стандартизация и сертификация товаров и услуг

Работы по обеспечению единства измерений в Республике Беларусь осуществляются на основе Закона Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений» от 5 сентября 1995 г. № 3848-XII с изменениями и дополнениями и других нормативных документов.

Основные принципы законодательной метрологии:

- приоритетное применение единиц измерений Международной системы единиц;
- применение национальных эталонов единиц величин;

– прослеживаемость результатов измерений до единиц измерений Международной системы единиц, воспроизводимых национальными эталонами единиц величин и (или) международными эталонами единиц величин;

- открытость и доступность информации в области обеспечения единства измерений, за исключением информации, отнесенной в установленном порядке к категории информации с ограниченным доступом;
- гармонизация национальных и международных требований об обеспечении единства измерений.

Государственный метрологический надзор представляет собой деятельность по проверке соблюдения юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями и иными физическими лицами требований законодательства Республики Беларусь об обеспечении единства измерений. Государственный метрологический надзор осуществляется Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь.

Непосредственное осуществление государственного метрологического надзора возложено на уполномоченных должностных лиц Госстандарта, являющихся государственными инспекторами.

Государственный метрологический надзор осуществляется в сфере законодательной метрологии и включает в себя надзор за:

- применением единиц измерений;
- применением средств измерений;
- применением методик выполнения измерений;
- деятельностью юридических лиц и индивидуальных предпринимателей по производству средств измерений, их ремонту, реализации, передаче в аренду, в том числе прокат;
- проведением государственных испытаний средств измерений, осуществлением метрологической аттестации средств измерений, поверки, калибровки, метрологического подтверждения пригодности методик выполнения измерений;
- количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;
- соблюдением требований, предъявляемых к фасованным товарам, при их фасовке и реализации;
- иными объектами в случаях, предусмотренных законодательными актами Республики Беларусь.

Основные **задачи** государственного метрологического надзора:

- реализация в Республике Беларусь единой государственной политики в области обеспечения единства измерений;
- предотвращение и пресечение нарушений требований законодательства об обеспечении единства измерений;
- защита интересов государства и граждан от последствий неточных и неправильно выполненных измерений.

Поверка приборов и средств измерений осуществляется в соответствии с действующими нормами и правилами с периодичностью, указанной в паспортах приборов. Для практической реализации поверки приборы и средства измерений предоставляются в БелГИМ или региональные центры или осуществляются на месте при выезде госповерителя. При положительных результатах поверки госповеритель наносит номерное клеймо или выдает свидетельство о госповерке.

Стандартизация и сертификация товаров и услуг осуществляется Белорусским институтом стандартизации и сертификации (БелГИСС) или его региональными структурами, а также другими уполномоченными структурами (МЧС, Стройтехнорм, Белстройцентр и т. д.) по отдельным направлениям (пожарная безопасность, качество стройматериалов, аттестация персонала и предприятий в области строительства и др.)

10.3. Организация эксплуатации приборов и систем учета и контроля энергоносителей

На предприятиях, в зависимости от объема контрольно-измерительных приборов:

- 1) может создаваться специальная метрологическая служба;
- 2) могут возлагаться функции метрологической службы службу КИПиА (контрольно измерительных приборов и автоматизации);
- 3) возлагаться на службу главного энергетика (или для небольших по объему хозяйств на инженера-энергетика или инженера электрика).

Объем контрольно-измерительных приборов и устройств определяется в условных единицах.

Условная единица – годовые трудозатраты на техническое обслуживание, ремонт, поверку и испытания ПУКРЭР. Годовые затраты на 1 усл. ед. = 18,6 чел*ч. В качестве базового комплекта измерительных устройств применяют комплект устройств теплового узла.

В случаях, когда отсутствуют достоверные данные по приборам УКРЭР в справочной и нормативной литературе, то проводится хронометраж. Для повышения достоверности хронометража необходимо выполнить несколько операций различными исполнителями. После определения общего объема хозяйства (ПУКРЭР) определяют количество исполнителей (монтеров). Считается условно, что один монтер может обслуживать 100 условных единиц.

После определения количества условного персонала, в соответствии с рекомендациями Комитета по метрологии и стандартизации, составляется примерная схема структуры метрологической службы.

После составления структуры службы и численного состава, составляется график ТО и ТР. График представляет собой таблицу, в которой перечислены приборы, трудоемкость (отдельно выделяются ТО и ТР), периодичность (ТО и ТР), а также календарный график на год (поквартальный, недельный) при большом количестве приборов:

ТО – технич. обслуживание (раз в месяц) – О;

ТР – текущий ремонт – Δ.

Потом составляется график

При составлении графика необходимо учитывать сезонность потребителей (когда они не работают)

При планировании необходимо руководствоваться бюджетом времени исполнителей. Желательно оставлять до 25 % резерва.

Не допускается изменение периодичности обслуживания. Отклонения не должны превышать 10 %.

График ТО и ТР утверждается главным инженером предприятия. На графике воспроизводятся все обслуживаемые службы.

Существуют два метода определения численности персонала:

1. По объему условных единиц (определяем объем обслуживаемого хозяйства в УЕЭ:

$$\sum Q = \sum m_i q_i,$$

где m – количество оборудования; q – коэффициент перевода в УЕЭ.

Тогда численность персонала:

$$N = \frac{\sum Q}{100(УЕ)}.$$

2. По трудоемкости. Определяем трудоемкость общей годовой производственной программы:

$$T(ГПП) = T(П) + T(Р) + T(ССЭ),$$

где $T(П)$ – трудоемкость плановых работ; $T(Р)$ – развитие; $T(ССЭ)$ – трудоемкость совершенствования службы эксплуатации:

$$T(П) = \sum (m_i T_{pi} + m_i T_{ni} + m_i T_{to}),$$

где T_p – ремонт; T_n – поверка; T_{to} – тех обслуживание.

Тогда численность:

$$N = \frac{T(ГПП)K_3}{T_1},$$

где K_3 – коэффициент запаса, учитывающий возможные переезды, неравномерность фронта работ; T_1 – годовой фонд времени работы 1 работника (1900 чел*ч/год).

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Республики Беларусь №3848-ХІІ от 5.09.1995. Об обеспечении единства измерений. С изм. Закон Республики Беларусь от 4 января 2010 г. № 109-З (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2010 г., № 17, 2/1661).
2. Положение о комитете по стандартизации, метрологии и сертификации при СМ РБ. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31.10.2001 № 1571.
3. Правила электроснабжения. Утверждены Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 октября 2011 г. № 1394 в редакции постановления № 895 от 23.10.2015 г.
4. Правила пользования тепловой энергией (Республика Беларусь). – Минск: Минэнерго, 2006.
5. Правила промышленной безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь.
6. Правила пользования централизованными системами водоснабжения и канализации. Постановление СМ РБ от 30 сентября 2016 года №788
7. Елизаров, А. С. Электрорадиоизмерения. – Минск: Высшая школа. 1986. – 316 с.

ТЕСТЫ

1. Измерение это:

1.1. Нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

1.2. Нахождение значения физической величины расчетным путем с помощью специальных технических средств.

1.3. Нахождение значения физической величины с помощью специальных технических средств.

1.4. Нахождение значения физической величины расчетным путем.

1.2. Нахождение значения физической величины опытным путем.

2. Приведите классификацию измерений по способу получения измерительной информации:

2.1. Абсолютные и относительные.

2.2. Прямые, косвенные, совокупные, совместные.

2.3. Статические и динамические.

2.4. Абсолютные, относительные прямые, косвенные, совокупные, совместные.

2.5. Абсолютные: прямые, косвенные и относительные: совокупные, совместные.

3. Физическая величина – это:

3.1. Характеристика одного из свойств физического объекта (явления, процесса), общая в количественном отношении для многих физических объектов.

3.2. Характеристика одного из свойств физического объекта (явления, процесса), общая в качественном и количественном отношении для многих физических объектов.

3.3. Характеристика одного из свойств физического объекта (явления, процесса), общая в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальная для каждого объекта.

3.4. Характеристика свойств физического объекта (явления, процесса), общая в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальная для каждого объекта.

3.5. Характеристика одного из свойств физического объекта.

4. Обработка измерений – это:

4.1. Определение относительного значения измеряемой величины как суммы математического ожидания $\pm$ доверительного интервала.

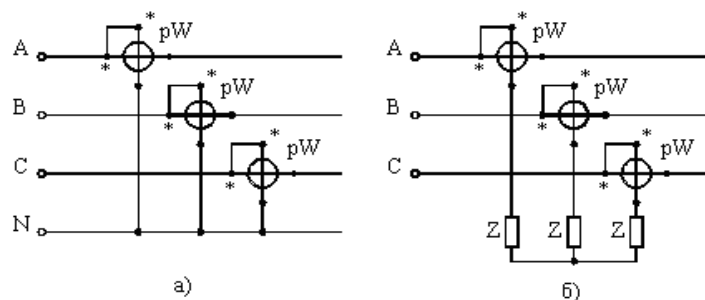
4.2. Определение абсолютного значения искомой величины.

4.3. Определение относительного значения искомой величины.

4.4. Определение измеряемой величины как суммы математического ожидания $\pm$ доверительного интервала.

4.5. Размещения результатов измерений в порядке возрастания.

5. Приведенная схема на рис. (а) является:



5.1. Схемой измерения реактивной мощности в трехфазной сети с нулевым проводом.

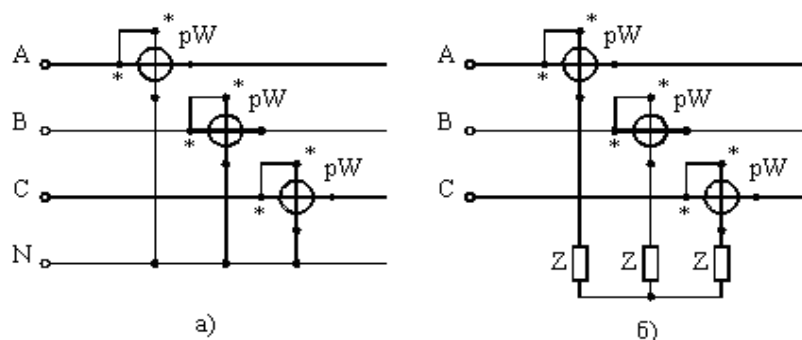
5.2. Схемой измерения реактивной мощности в трехфазной сети без нулевого провода.

5.3. Схемой измерения активной мощности в трехфазной сети с нулевым проводом.

5.4. Схемой измерения активной мощности в трехфазной сети без нулевого провода.

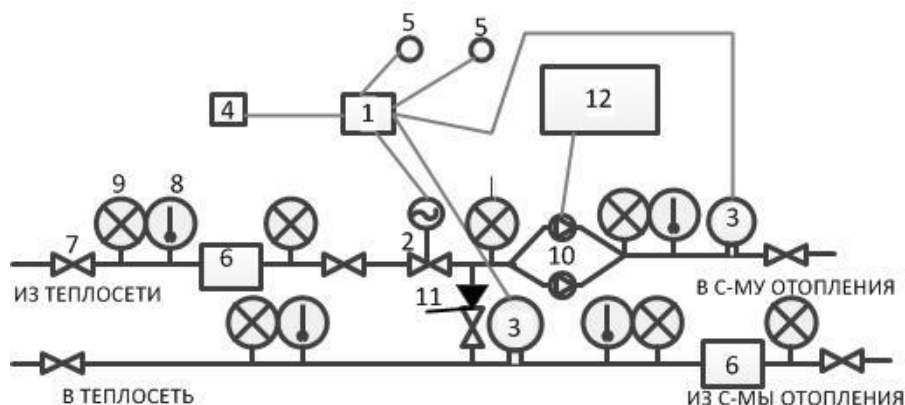
5.5. Схемой измерения активной мощности в трехфазной сети с нулевым проводом при несимметричной нагрузке.

6. Приведенная схема на рис. (б) является:



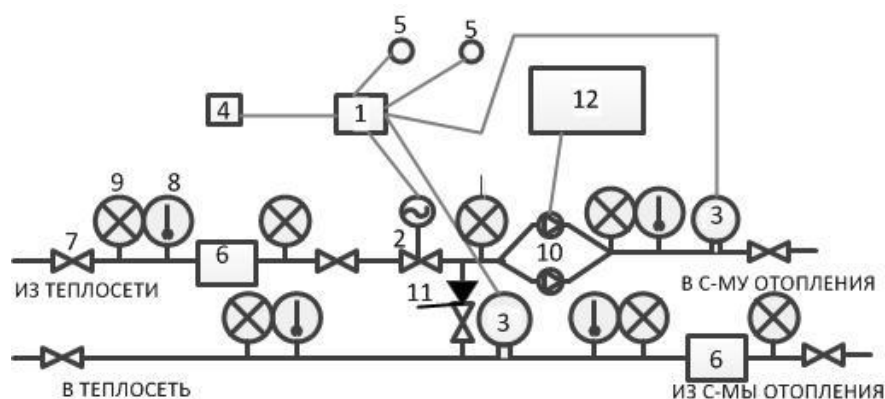
- 6.1. Схемой измерения реактивной мощности в трехфазной сети с нулевым проводом.
- 6.2. Схемой измерения реактивной мощности в трехфазной сети без нулевого провода.
- 6.3. Схемой измерения активной мощности в трехфазной сети с нулевым проводом.
- 6.4. Схемой измерения активной мощности в трехфазной сети без нулевого провода.
- 6.5. Схемой измерения активной мощности в трехфазной сети с нулевым проводом при несимметричной нагрузке.

7. Приведенная ниже схема является:



- 7.1. Схемой установки приборов учета воды с запорно-регулирующим клапаном и циркулирующим насосом в зависимой системе отопления.
- 7.2. Схемой установки приборов учета воды с запорно-регулирующим клапаном и циркулирующим насосом в независимой системе отопления.
- 7.3. Схемой установки приборов учета воды с элеватором и циркулирующим насосом в зависимой системе отопления.
- 7.4. Схемой установки приборов учета воды с запорно-регулирующим клапаном и циркулирующим насосом в зависимой системе горячего водоснабжения.
- 7.5. Схемой установки приборов учета воды с запорно-регулирующим клапаном и циркулирующим насосом в независимой системе горячего водоснабжения.

8. Укажите на нижеприведенной схеме прибор учета и регулирования теплоты в системе отопления горячей водой:



8.1. 12.

8.2. 9.

8.3. 1.

8.4. 6.

8.5. 10.

9. Дайте классификацию приборов дистанционного измерения температуры:

9.1:

- радиационные, измеряющие температуру по яркости накаливаемого тела в заданном узком диапазоне длин волн;
- яркостные, измеряющие температуру по тепловому действию суммарного излучения нагретого тела (во всем диапазоне длин волн);
- цветковые, принцип действия которых основан на измерении отношений энергий, излучаемых телом в разных спектральных диапазонах.

9.2:

- яркостные, измеряющие температуру по отношению энергий, излучаемых телами;
- яркостные, измеряющие температуру по тепловому действию суммарного излучения нагретого тела (во всем диапазоне длин волн);
- радиационные, принцип действия которых основан на измерении отношений энергий, излучаемых телом в разных спектральных диапазонах.

9.3:

- яркостные, измеряющие температуру по яркости накаливаемого тела в заданном узком диапазоне длин волн;
- радиационные, измеряющие температуру по тепловому действию суммарного излучения нагретого тела (во всем диапазоне длин волн);
- цветковые, принцип действия которых основан на измерении отношений энергий, излучаемых телом в разных спектральных диапазонах.

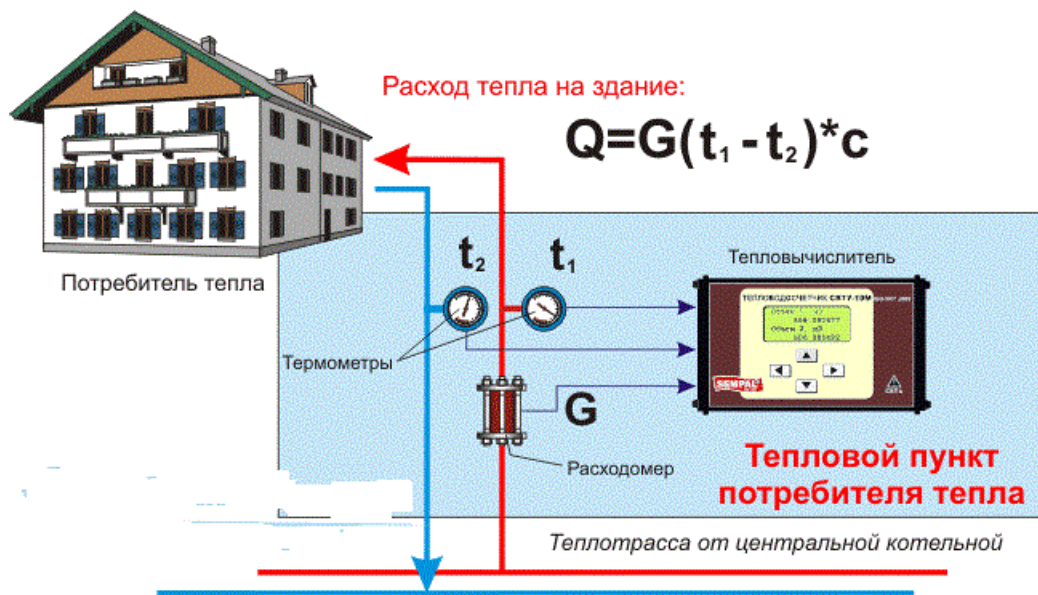
9.4:

- термометры сопротивления, измеряющие температуру по яркости накаливаемого тела в заданном узком диапазоне длин волн;
- радиационные, измеряющие температуру по тепловому действию суммарного излучения нагретого тела (во всем диапазоне длин волн);
- яркостные, принцип действия которых основан на измерении отношений энергий, излучаемых телом в разных спектральных диапазонах.

9.5:

- яркостные, измеряющие температуру по яркости накаливаемого тела в заданном узком диапазоне длин волн;
- термометры линейного расширения, измеряющие температуру по тепловому действию суммарного излучения нагретого тела (во всем диапазоне длин волн);
- цветковые, принцип действия которых основан на измерении отношений энергий, излучаемых телом в разных спектральных диапазонах.

10. Приведенная ниже схема – это:



10.1. Принцип работы теплового счетчика.

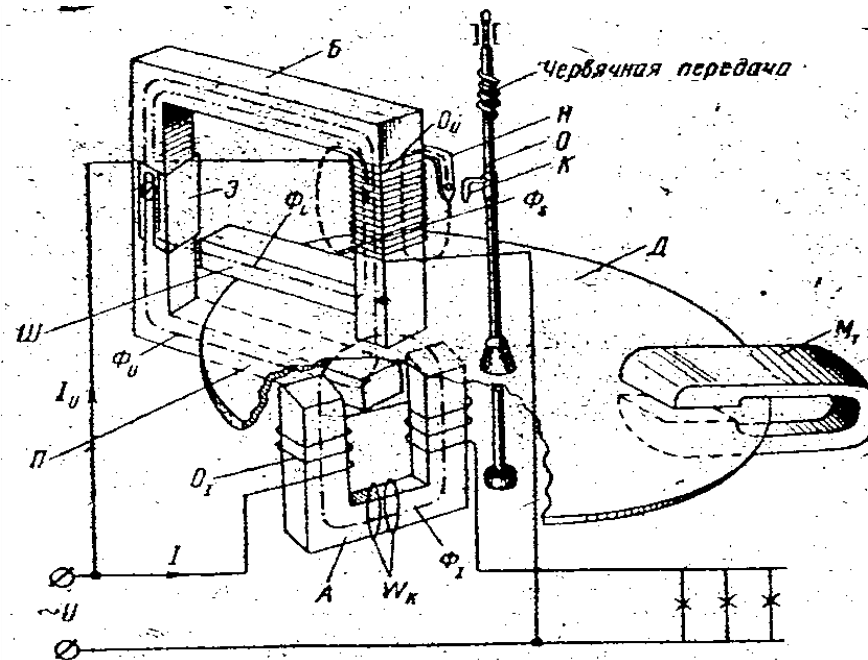
10.2. Принцип учета воды.

10.3. Система регулирования температуры.

10.4. Принципиальная схема горячего водоснабжения.

10.5. Система АСКУЭ.

11. На приведенной схеме индукционного счетчика укажите притормаживающий магнит:



11.1. Д.

11.2. Ш.

11.3. Н.

11.4. Б.

11.5. М1.

12. На приведенной схеме индукционного счетчика укажите магнитный поток токовой обмотки:

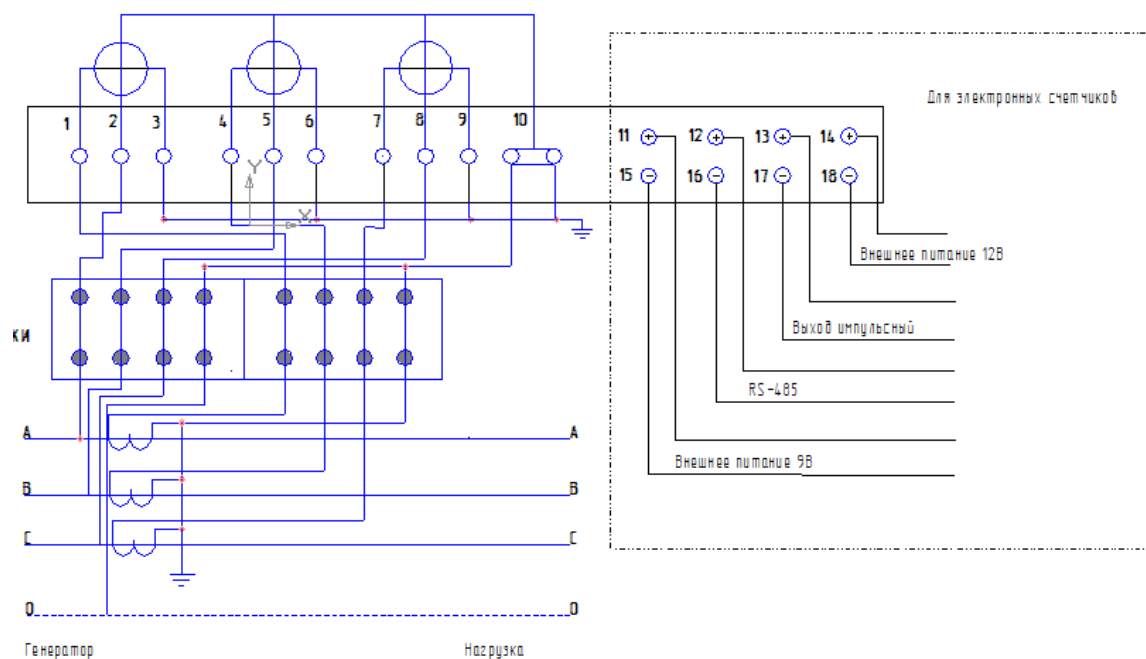


Рис. б

- 13.1. Рис. а;
- 13.2. Рис. б;
- 13.3. Обе схемы;
- 13.4. Ни одна из схем.

14. При включении счетчика электрической энергии по схеме с трансформаторами тока его показания составляют 100кВтч. Как найти истинное количество потребленной энергии?

- 14.1. Это показание и есть истинное значение.
- 14.2. Умножить на напряжение сети.
- 14.3. Умножить на коэффициент трансформации трансформаторов тока.
- 14.4. Разделить на коэффициент трансформации трансформаторов тока.
- 14.5. Умножить на коэффициент трансформации трансформаторов тока только для индукционных счетчиков.

15. На приведенных рисунках укажите роторный счетчик газов:

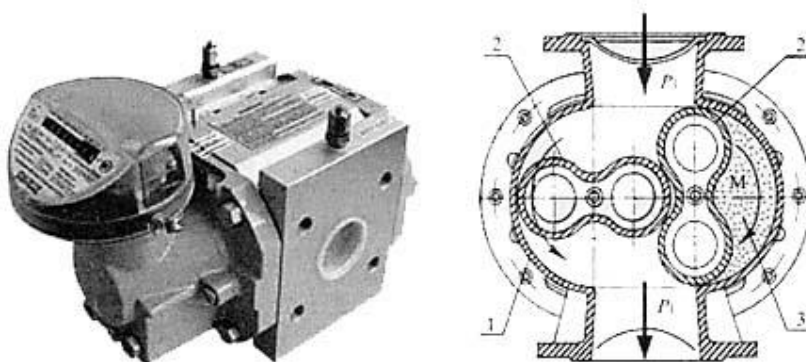


Рис. а

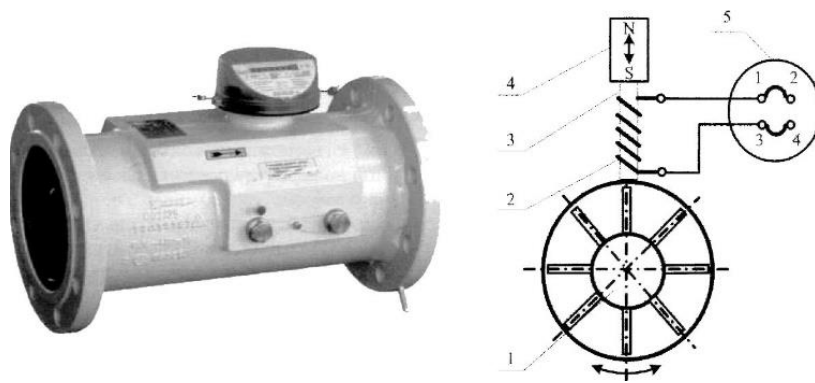


Рис. б



Рис. в



Рис. г

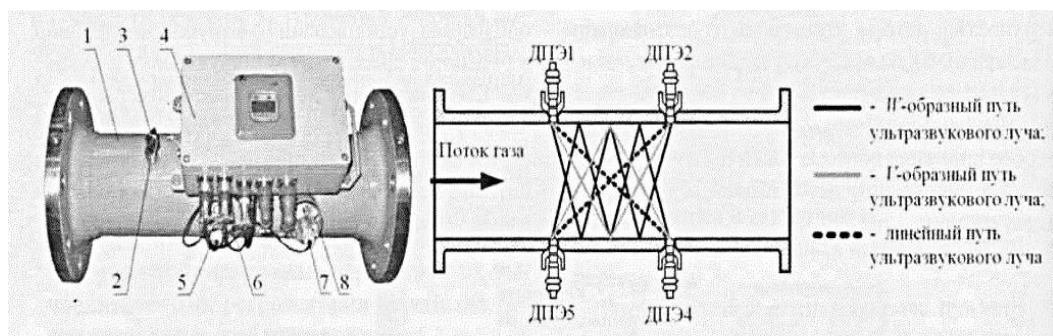
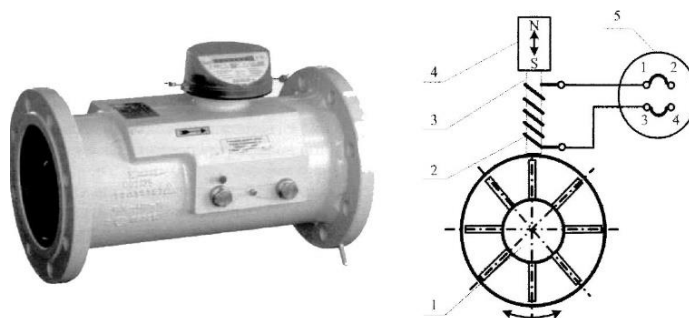


Рис. д

- 15.1. Рис. а.
- 15.2. Рис. б.
- 15.3. Рис. в.
- 15.4. Рис. г.
- 15.5. Рис. д.

16. Укажите на рисунке турбинного счетчика газов электромагнит:



16.1. Поз. 1.

16.2. Поз. 4.

16.3. Поз. 5.

16.4. Поз. 2.

16.5. Поз. 3.

17. Укажите, что обозначает позиция в структуре условного обозначения электронного счетчика **СЕ301ВУ X ?XX X...X**, обозначенная знаком «?»:

17.1. Тип корпуса.

17.2. Класс точности по активной энергии 0-0,5S;1-1.

17.3. Номинальное напряжение, В.

17.4. Номинальный, базовый ток, А.

17.5. Дополнительное исполнение.

18. Укажите, что обозначает позиция в структуре условного обозначения электронного счетчика **СЕ301ВУ X XX? X...X**, обозначенная знаком «?»

18.1. Тип корпуса.

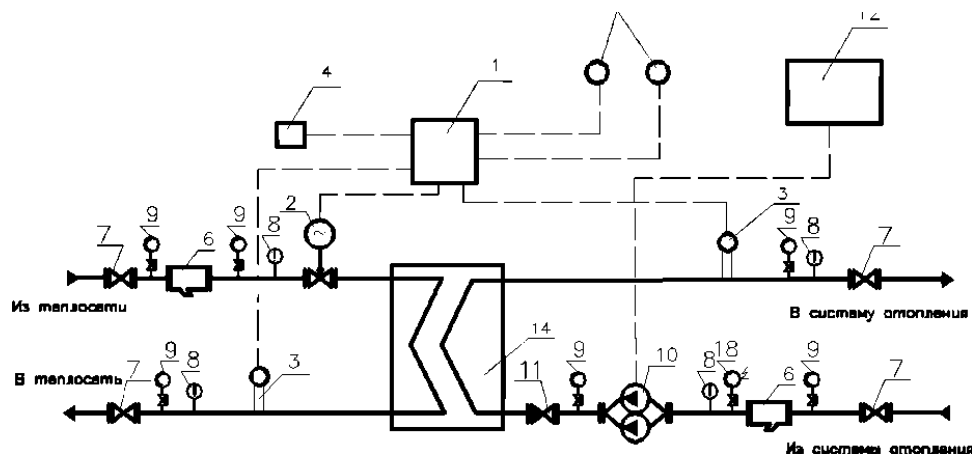
18.2. Класс точности по активной энергии 0-0,5S;1-1.

18.3. Номинальное напряжение, В.

18.4. Номинальный, базовый ток, А.

18.5. Дополнительное исполнение.

19. Нижеприведенная схема является:



19.1. Схемой установки приборов учета воды с запорно-регулирующим клапаном и циркулирующим насосом в зависимой системе отопления.

19.2. Схемой установки приборов регулирования и учета воды с запорно-регулирующим клапаном и циркулирующим насосом в независимой системе отопления.

19.3. Схемой установки приборов учета воды с элеватором и циркулирующим насосом в зависимой системе отопления.

19.4. Схемой установки приборов учета воды с запорно-регулирующим клапаном и циркулирующим насосом в зависимой системе горячего водоснабжения.

19.5. Схемой установки приборов учета воды с запорно-регулирующим клапаном и циркулирующим насосом в независимой системе горячего водоснабжения.

20. Дайте определение системы автоматического регулирования:

20.1. Система автоматического регулирования (САР) – это система, обеспечивающая поддержание регулируемого параметра заданному значению.

20.2. Система автоматического регулирования (САР) – это система, обеспечивающая защиту и блокировку объектов регулирования.

20.3. Система автоматического регулирования (САР) – это система, обеспечивающая автоматический контроль и сигнализацию о протекании технологического процесса.

20.4. Система автоматического регулирования (САР) – это система, обеспечивающая поддержание регулируемого параметра.

20.5. Система автоматического регулирования (САР) – это система, обеспечивающая включение и отключение оборудования.

21. Кто несет ответственность за сохранность и исправность приборов учета энергии?

21.1. Энергоснабжающая организация.

21.2. Субабонент.

21.3. Электрические сети.

21.4. Органы охраны.

21.5. Потребитель (абонент).

22. Где должен устанавливаться коммерческий учет энергии?

22.1. В любом удобном для эксплуатации месте.

22.2. Только в зоне энергоснабжающей организации.

22.3. Только на территории потребителя.

22.4. В комнате охраны.

22.5. На границе балансовой принадлежности или в местах, удобных для эксплуатации, но с компенсацией при расчетах потерь в питающих сетях.

23. Организация учета потребляемой электроэнергии и правила подключения абонентов определяется:

23.1. Правилами устройства электроустановок.

23.2. Правилами электроснабжения.

23.3. Правилами пользования электрической и тепловой энергией.

23.4. Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей.

23.5. Отраслевыми правилами техники безопасности при работе в электроустановках.

24. Перечислите основные системы передачи данных в системах АСКУЭ:

24.1. Интернет.

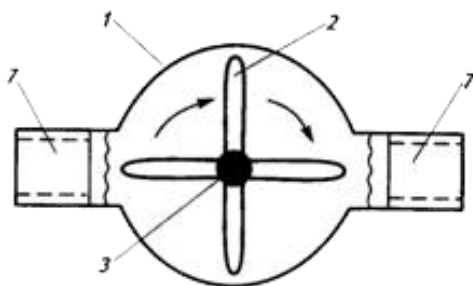
24.2. Оптоволоконные линии связи.

24.3. Почта.

24.4. Gsm-каналы, gprs и gps- системы, оптоволоконная связь, интернет.

24.5. Специальной службой курьеров.

25. На рисунке изображен:



25.1. Тахометрический счетчик горячей воды.

25.2. Ультразвуковой счетчик горячей воды.

25.3. Электромагнитный счетчик воды.

25.4. Тахометрический счетчик холодной воды.

25.5. Турбинный счетчик газов.

26. Классификация систем автоматического регулирования (САР) по принципу регулирования:

26.1. Приспосабливающиеся и не приспособляющиеся.

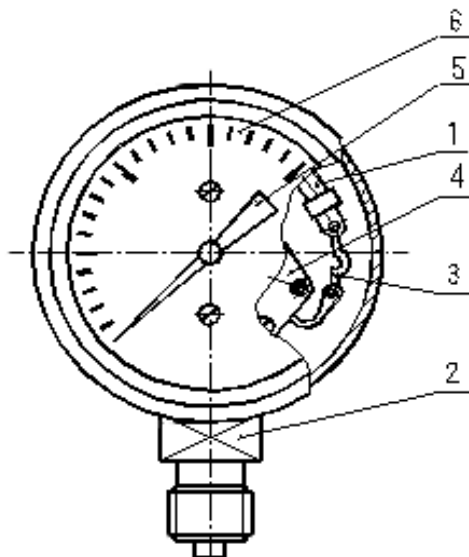
26.2. Автоматической стабилизации, программного управления, следящие системы.

26.3. Статические, астатические, изодромные.

26.4. Линейные, нелинейные, линеаризованные.

26.5. С воздействием по регулируемому параметру, с воздействием по возмущению, комбинированные.

27. Укажите на рисунке монотрическую трубку(пружину):



27.1. 1.

27.2. 2.

27.3. 3.

27.4. 4.

27.5. 5.

28. Тензометрические весы основаны на принципе:

28.1. Изменения давления на опорную поверхность.

28.2. На изменении температуры.

28.3. На изменении электрического сопротивления специального датчика.

28.4. На изменении (перемещении) пружины.

28.5. На изменении угла наклона.

29. Пирометр – это:

29.1. Прибор для измерения давления.

29.2. Прибор для измерения состава газов.

29.3. Прибор для дистанционного измерения температуры.

29.4. Устройство для определения удлинения тел.

29.5. Устройство для определения цвета тел.

30. По формуле $\Delta x = t\sigma$ определяют:

30.1. Относительное удлинение.

30.2. Абсолютное удлинение.

30.3. Доверительные интервалы при обработке результатов измерений.

30.4. Дисперсию при обработке результатов измерений.

30.3. Математическое ожидание при обработке результатов измерений.

31. Госреестр средств измерений – это:

31.1. Перечень приборов, выпускаемых промышленностью Республики Беларусь.

31.2. Перечень приборов, разрешенных к ввозу в Республику Беларусь.

31.3. Перечень приборов, запрещенных к ввозу в Республику Беларусь.

31.4. Перечень приборов и средств измерения, разрешенных для выполнения измерений в Республике Беларусь.

31.4. Перечень приборов и средств измерения, разрешенных для выполнения измерений в СНГ.

32. Ответственность за сохранность и исправность работы приборов учета энергии несет:

32.1. Предприятия, выпускающие приборы.

32.2. Энергонадзор.

32.3. Энергосбыт.

32.4. Потребитель энергии (абонент).

32.5. Электрические или тепловые сети.

33. Расчетный период – это:

33.1. Перечень приборов, выпускаемых промышленностью Республики Беларусь.

33.2. Период, за который надо рассчитать потребление энергоресурсов и произвести их оплату.

33.3. Перечень приборов, запрещенных к ввозу в Республику Беларусь.

33.4. Период (месяц), за который необходимо предоставить сведения о потребленной энергии для расчетов и оплаты.

33.5. Перечень приборов и средств измерения, разрешенных для выполнения измерений в СНГ.

Учебное издание

Баран Александр Николаевич

**УЧЕТ, КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ
ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

Курс лекций

Редактор *Л. М. Корневская*
Компьютерная верстка *Д. В. Головач*
Технический редактор *А. В. Красуцкая*

Подписано в печать 16.02.2018. Формат 60×90 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 28,13. Уч.-изд. л. 15,14.
Тираж 100 экз. Заказ № 78.

Республиканское унитарное предприятие «Информационно-
вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/161 от 27.01. 2014, № 2/41 от 29.01.2014.