

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ И ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

**Часть 1. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ АВТОМАТИКА ДЛЯ
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПОЖАРОВ И ВЗРЫВОВ.
ПОЖАРНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ**

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ И ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

**Часть 1. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ АВТОМАТИКА
ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПОЖАРОВ И ВЗРЫВОВ.
ПОЖАРНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ**

Москва 2005

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ
АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ

А.А. НАВАЦКИЙ, В.П. БАБУРОВ, В.В. БАБУРИН,
В.И. ФОМИН, А.В. ФЁДОРОВ

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ И ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

Часть 1. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ АВТОМАТИКА
ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПОЖАРОВ И ВЗРЫВОВ.
ПОЖАРНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ

Научный редактор кандидат технических наук, доцент
А.А. НАВАЦКИЙ

*Допущено Министерством Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий
в качестве учебника для высших образовательных
учреждений МЧС России*

Москва 2005

УДК 681.5:614.8
ББК 38.96
П–80

Навацкий А.А., Бабуров В.П., Бабуринов В.В. и др.

Производственная и пожарная автоматика. Ч. 1. Производственная автоматика для предупреждения пожаров и взрывов. Пожарная сигнализация: Учебник / Научн. ред. канд. техн. наук, доц. **А.А. Навацкий.** - М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. -335 с.

ISBN

Рецензенты: зав. лабораторией ФГУП «Гипроуглеавтоматизация» д-р техн. наук М.Д. Азбель, гл. инженер Московского НПЗ д-р техн. наук А.А. Абросимов, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики д-р техн. наук, проф. С.В. Пузач

В учебнике рассмотрена роль производственной автоматики в обеспечении взрывопожарозащиты промышленных объектов, изложены основы автоматизации, теории измерений, принцип действия и область применения приборов контроля технологических параметров потенциально взрывопожароопасных технологических процессов. Рассмотрены элементы теории и техники автоматического регулирования и управления производственными объектами и принцип действия и область применения систем противоаварийной и взрывозащиты. Приводится методика противопожарного надзора за проектированием, монтажом и эксплуатацией средств производственной автоматики. Рассмотрены принципы обнаружения пожара средствами сигнализации, принципы построения систем пожарной сигнализации и интегрированных систем пожарной безопасности.

Учебник написан в соответствии с программой курса "Производственная и пожарная автоматика". Предназначен для курсантов и слушателей Академии ГПС МЧС России и может быть полезен для преподавателей, курсантов и слушателей средних и высших пожарно-технических учебных заведений и проектных организаций.

Введение, гл. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 написаны канд. техн. наук, доц. **А.А. Навацким**; гл. 1 – канд. техн. наук **А.А. Навацким** и В.И. Фоминым; гл. 4 и 9 – канд. техн. наук **А.А. Навацким** и д-ром техн. наук А.В. Фёдоровым, гл. 11 – канд. техн. наук В.П. Бабуровым, В.В. Бабуриным, В.И. Фоминым.

Авторы выражают признательность нормативному отделу ГПС МЧС России, рецензентам за пожелания и советы, способствовавшие совершенствованию рукописи. Авторы благодарят также О.А. Членову за помощь в распечатке и оформлении книги.

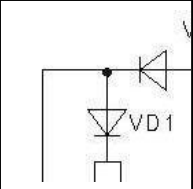
ISBN

© Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2005

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	8
1.1. Роль автоматизации в обеспечении взрывопожарозащиты промышленных объектов.....	8
1.2. Исторические сведения о производственной и пожарной автоматике.....	11
1.3. Классификация средств производственной и пожарной автоматики.....	12
1.4. Основные элементы автоматики.....	12
Глава 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЯ	22
2.1. Методы измерений.....	22
2.2. Характеристика средств измерения.....	23
2.3. Информационная характеристика процесса измерения.....	28
2.4. Надзор за измерительной техникой.....	31
Глава 3. ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	33
3.1. Контрольно-измерительные приборы температуры.....	33
3.2. Контрольно-измерительные приборы давления.....	33
3.3. Контрольно-измерительные приборы уровня.....	34
3.4. Контрольно-измерительные приборы расхода.....	35
3.5. Автоматический уравновешенный мост.....	37
3.6. Автоматический потенциометр.....	42
3.7. Многоканальные мосты и потенциометры.....	45
3.8. Дифференциально-трансформаторные приборы.....	47
3.9. Приборы с ферродинамическими измерительными схемами.....	49
Глава 4. АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВЗРЫВООПАСНОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	52
4.1. Автоматический аналитический контроль.....	52
4.2. Термохимические газоанализаторы.....	53
4.3. Газоанализаторы, основанные на физических принципах измерения.....	59
4.4. Динамические характеристики автоматических газоанализаторов.....	65
4.5. Условия эксплуатации и правила установки газоанализаторов.....	67
4.6. Автоматический контроль запылённости воздушной среды на промышленных объектах.....	73
Глава 5. ОСНОВЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	84
5.1. Автоматическое регулирование. Основные понятия и определения.....	84
5.2. Принципы регулирования.....	85
5.3. Основные виды автоматических систем регулирования.....	90
5.4. Типовые динамические звенья автоматических систем регулирования.....	91
5.5. Частотные характеристики динамических звеньев.....	100
5.6. Устойчивость автоматических систем регулирования.....	104
5.7. Качество регулирования.....	108
Глава 6. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ И РЕГУЛЯТОРЫ	111
6.1. Объект регулирования.....	111
6.2. Промышленные регуляторы.....	117
6.3. Выбор регуляторов.....	122

Глава 7. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	126
7.1. Особенности управления пожаро- и взрывоопасными технологическими процессами.....	126
7.2. Общие принципы построения систем автоматической защиты.....	128
7.3. Элементы теории логики устройств защиты.....	133
7.4. Системы аварийной сигнализации и защиты.....	137
Глава 8. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПОДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВОВ	146
8.1. Методы взрывозащиты.....	146
8.2. Автоматические системы подавления взрыва.....	154
8.3. Расчет устройств взрывоподавления.....	159
8.4. Взрывоподавляющие устройства.....	162
8.5. Область применения автоматических систем локализации и подавления взрывов.....	163
Глава 9. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	167
9.1. Автоматизированные системы управления предприятиями.....	167
9.2. Автоматизированные системы управления технологическими процессами	173
9.3. Автоматизированные системы управления взрывопожарозащитой (АСУВПЗ) промышленных объектов.....	184
Глава 10. ПОЖАРНЫЙ НАДЗОР ЗА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ АВТОМАТИКОЙ	193
10.1. Состав проекта автоматизации.....	193
10.2. Виды схем автоматизации.....	196
10.3. Оператор в человекомашинной системе.....	204
10.4. Внедрение производственной автоматики на промышленном объекте.....	208
10.5. Нормативные документы и порядок пожарного надзора за производственной автоматикой.....	217
10.6. Измерительная информация в пожарном надзоре технологических процессов производств	222
10.7. Диагностика и прогнозирование пожаро- и взрывоопасных состояний технологических процессов.....	228
10.8. Примеры автоматизации технологических процессов.....	231
Глава 11. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ	241
11.1. Основные принципы обнаружения пожара, принципы построения и размещения пожарных извещателей на объекте.....	241
11.1.1. Основные информационные параметры пожара и особенности преобразования их пожарными извещателями.....	241
11.1.2. Основные показатели и структура пожарных извещателей.....	246
11.1.3. Конструктивные особенности современных типов пожарных извещателей.....	251
11.1.4. Принципы построения и типы линейных оптико-электронных и объемных ультразвуковых пожарных извещателей.....	277
11.1.5. Оценка времени обнаружения пожара извещателями различного типа.....	279
11.1.6. Принципы размещения автоматических пожарных извещателей на объектах.....	288
11.2. Технические средства сбора и обработки информации.....	298



11.2.1. Основные функции и показатели приемно-контрольных приборов...	298
11.2.2. Основные принципы построения традиционных приемно-контрольных приборов и обеспечение контроля их работоспособности.....	302
11.2.3. Приемно-контрольные приборы, выпускаемые в Российской Федерации.....	303
11.2.4. Принципы построения приемно-контрольных приборов с применением микропроцессоров и методы обработки цифровой или аналоговой информации от пожарных извещателей.....	309
11.2.5. Понятие о системе передачи информации.....	318
11.3. Принципы построения систем пожарной сигнализации.....	320
11.3.1. Структурные схемы систем пожарной сигнализации.....	320
11.3.2. Принципы выбора систем пожарной сигнализации для защиты объекта.....	322
11.3.3. Компоновка оборудования в диспетчерских пунктах объекта.....	328
ЛИТЕРАТУРА.....	330

ВВЕДЕНИЕ

Автоматикой называется отрасль науки и техники, охватывающая теорию автоматического управления, принципы построения автоматических систем и образующих их технических средств.

Автоматизация – это внедрение технических средств, управляющих процессами без непосредственного участия человека.

Технологическая среда включает в себя сырьевые материалы, реакционную массу, полупродукты, готовые продукты, находящиеся и перемещающиеся в технологической аппаратуре.

Технологический процесс – совокупность физико-химических превращений веществ и изменений значений параметров материальных сред, целенаправленно проводимых в аппарате (системе взаимосвязанных аппаратов, агрегатов, машине и т.д.).

Совокупность технологического оборудования и реализованного на нем по соответствующим регламентам (режимам) технологического процесса есть технологический объект управления (ТОУ).

В автоматизированном технологическом процессе ТОУ разделяется по типу технологического процесса на *гидромеханические, тепловые, массообменные, механические, химические* и т.д.; по характеру технологического процесса, который определяется временным режимом, – на *непрерывные и дискретные (периодические)*; по информации параметров, участвующих в управлении, – на *минимальные* (10–40), *малые* (41–160), *средние* (161–650), *повышенные* (161–650) и *высокие* (2560 и выше).

Современные технологические процессы должны строго выдерживать технологический режим даже при постоянных воздействиях на него различного рода возмущений.

Внешние возмущения проникают в ТОУ извне. Внутренние возмущения возникают в самом объекте управления.

Особенности периодов пуска и остановки технологических установок, смены режимов технологического процесса в них приводят к ужесточению требований к автоматизации и резкому усложнению задач управления технологическими объектами.

Под управлением понимается совокупность действий, выбранных на основании определенной информации и направленных на поддержание или улучшение функционирования объекта в соответствии с имеющейся программой или целью управления. Разделяют управление автоматическое и автоматизированное.

Автоматическое управление – это управление технологическим процессом с использованием средств и элементов контроля и автоматики, вычислительной техники и управляемых ими исполнительных устройств без участия человека.

Автоматизированное управление – управление с использованием средств и элементов контроля и автоматики, вычислительной техники и управляемых ими исполнительных устройств при непосредственном участии человека.

Технологический объект управления, представляющий собой технологическую установку или целый производственный комплекс, должен удовлетворять ряду требований.

Оборудование ТОУ должно быть полностью механизированным, непрерывно действующим и безотказно работать в установленный регламентный период. Технологическая схема ТОУ должна быть составлена таким образом, чтобы он был управляем, т.е. разбит на определенные зоны в целях воздействия на технологический режим в каждой из них изменением материальных и энергетических потоков; чтобы была возможность воздействия на характеристики оборудования; чтобы был обеспечен доступ к устройствам автоматики и чтобы число возмущающих воздействий было сведено к минимуму. Технологический процесс в ТОУ характеризуется разнообразными параметрами. Некоторые из них – входные параметры – дают представление о материальных и энергетических потоках на входе в технологический аппарат (расход сырья, давление и температура исходных материалов). Их изменение приводит к изменению режимных параметров, характеризующих условия протекания процесса внутри аппарата (температура, давление, уровень, состав продуктов).

Значение режимных параметров непосредственно влияет на выходные параметры, характеризующие выходные потоки. К выходным параметрам относятся и сводные экономические показатели. Для осуществления технологического процесса значения параметров регламентируются. Регламентированные значения параметров технологической среды есть совокупность значений параметров технологической среды, характеризующих ее состояние, при которых технологический процесс может безопасно протекать в заданном направлении.

Пределно допустимые значения – докритические значения взрывопожароопасной среды, отличающиеся от критического значе-

ния параметров на величину, равную сумме ошибки его экспериментального или расчетного определения и погрешности измерения параметров в технологическом процессе.

Опасные значения – значения параметра, вышедшие за пределы регламентированного и приближающиеся к предельно допустимому значению.

Предупредительные значения – значения параметра на границе регламентированных (допустимых) значений параметра технологического процесса.

Сообщение об отклонении параметров и достижений ими предельных и запредельных значений представляется в виде сигнализации.

Совокупность значений всех параметров, обеспечивающих задачи, поставленные при управлении процессом, считают нормальным технологическим режимом. Его задают и оформляют в виде технологической карты. В ней приводят перечень параметров, значение которых необходимо поддерживать на определенном уровне, а также указывают допустимые диапазоны их изменения.

Система автоматизации должна обеспечить достижение цели управления за счет точности поддержания технологических регламентов в любых условиях производства при соблюдении надежной безаварийной работы оборудования.

Главной задачей при разработке системы автоматизации технологического процесса является выбор параметров, которые необходимо автоматизировать и по которым при необходимости можно получить полное представление о ТОУ.

Контролю подлежат те параметры, по значениям которых осуществляется оперативное управление технологическим процессом, а также его пуск и остановка. К таким параметрам относятся все режимные и выходные параметры, а также входные параметры, при изменении которых в объект будут поступать возмущения. Обязательному контролю подлежат параметры, значения которых регламентируются технологической картой. Параметры, характеризующие взрывоопасность ТОУ, должны не только контролироваться, но и регистрироваться.

Выбор параметров, подлежащих сигнализации, производится после анализа взрывопожароопасности технологического процесса.

Предаварийной, а при необходимости предупредительной сигнализации подлежат параметры, предельные значения которых могут привести к образованию взрывоопасных концентраций внутри технологических аппаратов и производственных помещений, технологических источников зажигания, разрушению технологического оборудования и в конечном счете к аварии, взрыву или пожару. Сигнализации подлежит также выход из строя

оборудования, конечные положения движущихся элементов, резкое изменение режима его работы, несанкционированный пуск и остановка аппаратов и агрегатов и т.п. Сигнализация наиболее ответственных параметров осуществляется от двух параллельно установленных приборов.

К параметрам регулирования относятся те параметры, которые по технологическому регламенту должны быть постоянны во времени или изменяться по заранее заданному закону, в том числе параметры, от которых в конечном счете зависит безопасность процесса и его оптимизация и которые при воздействии возмущений на объект могут привести к аварии, взрыву или пожару: температура, давление, уровень, расход.

Параметры, которые в случае их изменения не могут быть приведены к нормальному (регламентному) значению оперативным управлением персонала ТОО, должны быть изменены устройствами и системами противоаварийной защиты (СПАЗ), которые также автоматически по заданной программе перераспределяют материальные и энергетические потоки, переключают и отключают аппараты, вплоть до остановки технологического процесса. Особенности технологии различных производств, многообразие решаемых задач и условия эксплуатации требуют огромной номенклатуры датчиков, измерительных приборов, регуляторов, индикаторов, исполнительных механизмов и других средств автоматики для построения эффективных автоматизированных систем контроля, регулирования и управления.

Для изыскания новых принципов построения средств автоматизации была создана государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП), основанная на унификации, агрегатировании и совместимости.

В основе построения ГСП лежит применение определенных системотехнических принципов, позволяющих наиболее рациональным путем (с экономической и технической точек зрения) создавать системы контроля, регулирования и управления технологическими процессами, т.е. ГСП представляет собой организованную совокупность приборов и устройств автоматики.

Одна из главнейших задач, решаемых ГСП, состоит в создании ограниченной номенклатуры унифицированных устройств. Сокращение номенклатуры средств автоматизации достигается объединением их в отдельные функциональные группы путем сведения функций этих устройств к ограниченному числу типовых функций.

Существенное сокращение числа различных функциональных устройств достигается обеспечением их совместимости в автоматизированных системах управления. При этом резко сокращается потребность в переходных приспособлениях между различными функциональными устройствами.

Применительно к информационным связям термин "унификация" означает введение ограничений, налагаемых на сигналы, несущие сведения о контролируемой величине или команде.

Конструктивная совместимость изделий предусматривает, прежде всего, унификацию присоединительных размеров отдельных узлов, деталей, модулей, создание единой элементной базы, разработку общих принципов конструирования приборов.

Устройства ГСП по роду используемой энергии, применяемой для приема и передачи информации и команд управления, делятся на электрические (электронные), пневматические и гидравлические. Устройства, питающиеся при эксплуатации энергией одного рода, образуют единую структурную группу в государственной системе приборов, или ветвь ГСП.

Автоматизированные системы управления, комплектуемые из приборов электрической (электронной) ветви, имеют следующие преимущества. Электроника придает системе высокую чувствительность, точность, быстродействие, дальность связи, обеспечивает высокую схемную и конструктивную унификацию приборов.

Приборы пневматической ветви характеризуются безопасностью применения в легковоспламеняемых и взрывоопасных средах, высокой надежностью в тяжелых условиях работы, особенно при использовании в агрессивной атмосфере.

Гидравлические приборы позволяют получать точные перемещения исполнительных механизмов при больших усилиях. В ГСП входят также устройства, работающие без использования вспомогательной энергии (приборы и регуляторы прямого действия).

В автоматизированных системах наиболее эффективно комбинированное применение ветвей или их отдельных устройств в различных сочетаниях.

Глава 1

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

1.1. Роль автоматизации в обеспечении взрывопожарозащиты промышленных объектов

Управление крупнотоннажными высокопроизводительными и энергонасыщенными технологическими процессами и их взрывопожарозащита возможны лишь с привлечением приборов и компьютерной техники. Автоматизация технологических процессов производств позволяет оптимизировать управление, способствует повышению производительности труда и определенным образом меняет его характер. Многие технологические процессы сопровождаются опасными для человека воздействиями, могут быть взрывопожароопасны и склонны к переходам из устойчивого состояния в неустойчивое. Неустойчивое состояние может привести к работе устройства, агрегатов, аппаратов, технологической установки на предельных и вне регламентных режимах с непредсказуемыми последствиями (рис. 1.1).

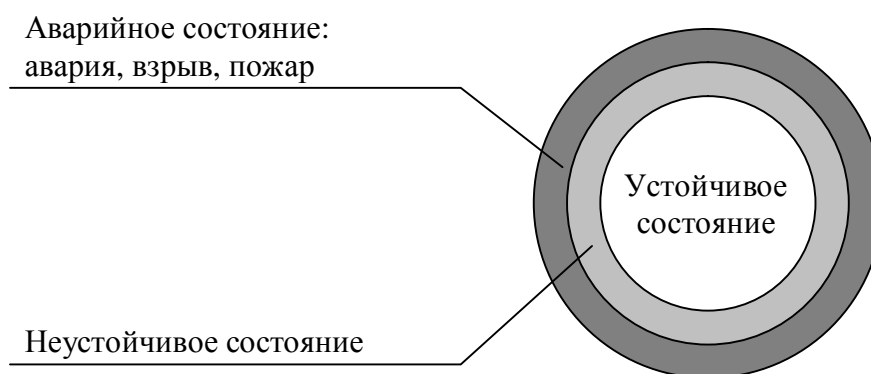


Рис. 1.1. Графическая модель состояний технологического процесса

Каждое из трех состояний технологического процесса – устойчивое (норма), переходное (неустойчивое, предаварийное), аварийное – характеризуется определенным уровнем взрывопожароопасности и требует соответствующего уровня автоматизации. Устойчивое состояние характеризуется определенными значениями параметров при нормальном режиме работы технологического оборудования, возможностью получения информации о протекании процессов в области регламента и поддержания его в заданных пределах. Неустойчивое (предаварийное) состояние характеризуется критически высокими или низкими значениями параметров, спонтанным развитием реакций, автоколебательными процессами с угрозой перехода в неуправляемое состояние. Необходимо быстрое и своевременное

его обнаружение, предупреждение выхода процесса в критическую область и возврат к его нормальному устойчивому состоянию. В противном случае возникает аварийное состояние, которое является угрозой жизни людей, уничтожения материальных ценностей, разрушения оборудования и т.п. Для борьбы с ним используются специальные средства автоматики (противоаварийные системы, установки обнаружения очага пожара, подавления взрыва и тушения пожара). Отсутствие таких устройств и систем приводит чаще всего к тяжелым последствиям.

Современные приборы и системы производственной автоматики, осуществляя контроль и управление технологическими процессами, решают одновременно и ряд задач автоматической взрывопожарной защиты:

- предупреждение аварий, взрывов и пожаров за счет поддержания объекта управления в устойчивом состоянии;

- диагностирование состояний технологического оборудования и коммуникаций;

- прогнозирование взрывопожароопасных состояний технологического процесса;

- обнаружение неустойчивых состояний управляемого объекта;

- противоаварийная защита технологических процессов;

- обеспечение оператора информацией о состоянии технологического процесса;

- обеспечение съема и хранения информации о состоянии технологического процесса.

Решением комплекса названных задач производственная автоматика обеспечивает поддержание взрывопожаробезопасных режимов технологических процессов, при необходимости устранение опасных, вне регламентных отклонений параметров с их регистрацией и оповещением обслуживающего персонала. Информация приборной техники и ЭВМ при этом используется для анализа опасных отклонений технологического процесса или выявления причин аварий, взрывов и пожаров.

Внедрение производственной автоматики как средства управления технологическими процессами и обеспечения его безаварийной работы регламентировано рядом документов. Основным из них для потенциально взрывопожароопасных производств являются "Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических и нефтеперерабатывающих производств" (М.: Металлургия, 1988).

Наиболее опасные последствия имеет переход защищаемого объекта в аварийное состояние. Борьба с пожарами и взрывами на объекте защиты осуществляется специальными средствами и системами автоматической противопожарной защиты (АППЗ). В целом же система пожарной безопасности промышленных объектов включает две функциональные подсистемы:

предотвращения пожара и противопожарной защиты людей и материальных ценностей. Место автоматической противопожарной защиты в системе пожарной безопасности промышленных объектов приведено на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Место АППЗ в системе пожарной безопасности:

- – возможность применения автоматики для предупреждения пожаров и взрывов;
- – возможность применения систем сигнализации и тушения пожаров

1.2. Исторические сведения о производственной и пожарной автоматике

У автоматики давняя и сложная история. Первые автоматические устройства появились около 20 тыс. лет назад. Первыми автоматами, принесшими пользу человеку, считают ловушку типа капкан. Автоматические мельницы, водяные часы, механические устройства автоматики, пневмо- и гидроустройства и другие технические новинки все шире применялись в практической деятельности человека, и понятно, что современный автомат – это техническое устройство, в принципе действия и конструкции которого воплощены накопленный веками жизненный опыт и знания многих поколений людей нашей планеты.

Идея создания машин, которые бы работали без участия человека, возникла также давно. Изобретение первого в мире промышленного регулятора относится к 1765 г. и принадлежит знаменитому русскому механику И.И. Ползунову.

Электромагнитный регулятор скорости вращения паровой машины разработан в 1854 г. выдающимся русским механиком и электротехником К.И. Константиновым.

Основы научного подхода к проектированию автоматических регуляторов были заложены знаменитым русским ученым и инженером И.Н. Вышеградским, работа которого "Об общей теории регуляторов", изданная в 1876 г., положила начало теории автоматического регулирования и управления.

Однако четкое понимание того обстоятельства, что работа любых автоматических устройств, независимо от их физической природы, основана на общих принципах и может быть рассмотрена с единых позиций, пришло значительно позднее, в 40-х гг. XX в. К этому моменту относится и окончательное формирование автоматики в самостоятельную научную дисциплину, базирующуюся на достижениях физики, математики, теории управления, игр, распознавания образов и т.п. Элементная база автоматики претерпела также этапные изменения – от релейно-контактных устройств и электронно-вакуумных приборов до полупроводниковых интегральных схем микро-ЭВМ и вычислительных комплексов.

В развитии автоматики как науки выдающуюся роль сыграли труды отечественных ученых. Великие русские математики А.М. Ляпунов и П.Л. Чебышев, знаменитый ученый Н.Е. Жуковский своими работами заложили фундамент стройной математической теории процессов, происходящих в автоматических устройствах, и намного опередили развитие зарубежной научно-технической мысли.

Велики заслуги ученых А.А. Андропова, В.С. Кулебакина, А.Н. Колмогорова, И.Н. Вознесенского, Н.Н. Боголюбова, А.В. Михайлова, Е.П. Попо-

ва, В.В. Солодовникова, А.Г. Ивахненко и многих других ученых и исследователей в решении теоретических и прикладных вопросов автоматизации.

1.3. Классификация средств производственной и пожарной автоматики

В технике автоматизации используется большое число разнообразных автоматических устройств и систем, отличающихся принципом действия, схемными и конструктивными решениями и т.д. Эти автоматические устройства, приборы и системы классифицируют по различным признакам. Чаще всего производственную автоматику классифицируют по функциональному признаку на следующие группы:

контрольно-измерительные приборы (КИП), предназначенные для контроля параметров технологических процессов. КИП производят и выдают информацию оператору (запись, отсчет, сигнализация);

приборы, устройства и системы автоматического регулирования (САР), предназначенные для поддержания параметров в режиме заданных безопасных пределов;

устройства и системы противоаварийной автоматической защиты (СПАЗ), предназначенные для обнаружения предаварийных ситуаций, оповещения оператора, осуществления защитных мероприятий, частичной или полной остановки технологического процесса;

автоматические блокировки, предназначенные для защиты от неправильных действий оператора при пуске и остановке технологического процесса, включения элементов защиты и резервных устройств;

автоматические и автоматизированные системы управления (АСУ, АСУТП) – это системы, осуществляющие совокупность воздействий, возможных на основании определенной информации и направленных на поддержание или улучшение функционирования управляемого объекта в соответствии с программой или целью управления (алгоритмом функционирования).

1.4. Основные элементы автоматики

Устройства, приборы и системы производственной и пожарной автоматики состоят из отдельных элементов.

Элемент – это конструктивно обособленная часть схемы, устройства или системы, выполняющий определенную функцию. Элементом может быть резистор, конденсатор, трансформатор, клапан и т.д. Несмотря на значительное разнообразие основных функций, выполняемых в разных автоматических системах, общим для элементов автоматики является передача поступающих на них воздействий (сигналов) в определенном направ-

лении, а также то или иное преобразование сигнала по значению, характеру или даже по физической природе. По виду выполняемых функций элементы автоматики можно разделить на следующие основные типы:

1. Датчики, преобразующие различные неэлектрические величины в электрические сигналы.

2. Усилители, усиливающие поступающие на них сигналы, но не изменяющие физической природы этих сигналов.

3. Реле, позволяющие с помощью сравнительно слабых электрических сигналов управлять более мощными электрическими цепями (включать или отключать эти цепи).

4. Стабилизаторы, поддерживающие постоянство выходного напряжения или тока при изменениях входного сигнала или сопротивления нагрузки.

5. Двигатели, преобразующие ту или иную энергию в перемещения (угловые или линейные) и приводящие в действие тот или иной механизм или объект.

6. Распределители, обеспечивающие поочередное подключение различных элементов или электрических цепей к какому-либо одному элементу или к одной точке электрической цепи.

7. Вычислительные элементы, выполняющие математические и логические операции над различными величинами.

8. Корректирующие элементы, улучшающие свойства системы или отдельных ее частей.

9. Исполнительные механизмы, предназначенные для изменения управляемых величин.

10. Командоаппараты, предназначенные для подачи в систему различных воздействий и команд.

Элементы, выполняющие те или иные функции, могут отличаться друг от друга по физическим принципам, лежащим в основе их действия. С этой точки зрения основные элементы автоматики можно разделить на следующие разновидности:

1. Электромеханические, в которых электрическая энергия преобразуется в механическую или, наоборот, механическая – в электрическую.

2. Электротепловые или электротермические, в которых происходит переход электрической энергии в тепловую или тепловой в электрическую.

3. Электромагнитные или ферромагнитные, в основе действия которых лежит электромагнитное явление и используются свойства ферромагнитных материалов.

4. Электронные, к которым относятся электронные лампы, полупроводниковые элементы, фотоэлементы и т.п.

5. Ионные, в которых используются процессы в ионизированных газах (газотроны, тиратроны и др.).

6. Радиоактивные, т.е. используются вещества, обладающие радиоактивным излучением.

7. Пневматические, использующие энергию сжатого воздуха или каких-либо иных газов под давлением.

8. Гидравлические, действие которых основано на использовании энергии жидкости под давлением.

В общем виде элемент (рис. 1.3) представляет собой преобразователь, на вход которого подается сигнал $X_{\text{вх}}$, а на выходе получается сигнал $X_{\text{вых}}$. Элементы могут быть *пассивными* и *активными*. В пассивных элементах (рис. 1.3, а) отсутствует вспомогательный источник энергии (ВИЭ), в них сигнал $X_{\text{вых}}$ получается за счет сигнала $X_{\text{вх}}$, а в активных элементах имеется вспомогательный источник энергии (рис. 1.3, б). В этих элементах входная величина только управляет передачей энергии от ВИЭ выходной величине. Если в пассивных элементах в результате потерь выходной сигнал меньше входного, то в активных элементах выходной сигнал может быть и больше входного сигнала, так как в данном элементе возможно усиление сигнала за счет ВИЭ. Величины $X_{\text{вх}}$ и $X_{\text{вых}}$ могут быть как электрическими (ток, напряжение, сопротивление), так и неэлектрическими (давление, скорость, температура, перемещение и т.д.).

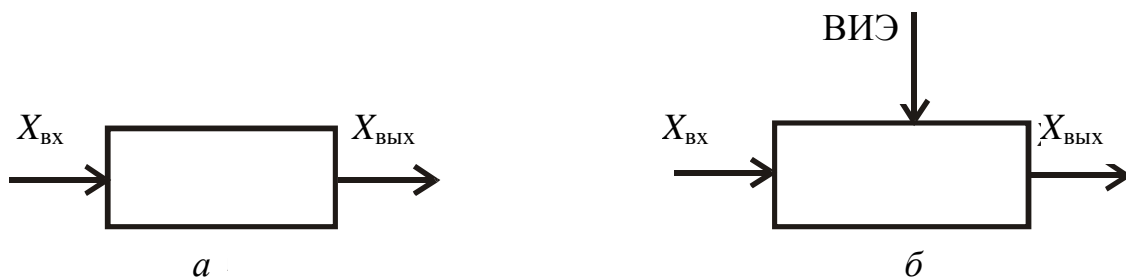


Рис. 1.3. Элементы автоматики:
а – пассивный элемент автоматики; б – активный элемент автоматики

Чтобы оценить свойства элементов автоматического устройства, необходимо знать их показатели. В автоматике свойства функциональных элементов оцениваются различными показателями, связанными с входной и выходной величинами. Если входная величина элемента с течением времени не изменяется, режим элемента называется *статическим*. Если же входная величина элемента изменяется с течением времени, то это сопровождается соответствующим изменением выходной величины. Подобный режим называется *динамическим*. В соответствии с этим различают статические и динамические показатели элемента. Важнейшим показателем статического режима элемента автоматики является его статическая характеристика, под которой понимается зависимость выходной величины эле-

мента от его входной величины, выраженная графически. Математическое выражение этой зависимости $X_{\text{вых}} = f(X_{\text{вх}})$ называется *уравнением статики элемента*. На рис. 1.4 приведены примеры различных статических характеристик элементов. Как видно из рисунка, характеристики могут быть линейными (рис. 1.4, а) и нелинейными (рис. 1.4, б), в соответствии с этим и элементы делятся на *линейные* и *нелинейные*. Линейная статическая характеристика есть прямая, проходящая под некоторым углом K к горизонтальной оси. Угол наклона характеристики есть величина постоянная, а его тангенс определяет передаточный коэффициент или коэффициент преобразования:

$$K = X_{\text{вых}}/X_{\text{вх}}. \quad (1.1)$$

Передаточный коэффициент является важным показателем элемента. Он может иметь ту или иную разность или быть безразмерной величиной. Применительно к разным функциональным элементам передаточный коэффициент носит разные названия. Так, для датчиков его часто называют чувствительностью, для усилителей – коэффициентом усиления, для стабилизаторов величину, обратную передаточному коэффициенту, – коэффициентом стабилизации.

Линейный элемент обладает постоянным передаточным коэффициентом, тогда как передаточный коэффициент нелинейного элемента в разных точках характеристик различен и характеризуется тангенсом угла наклона касательной, приведенной к нелинейной характеристике в интересующей нас точке. Иногда пользуются понятием дифференциального передаточного коэффициента

$$K_d = \Delta X_{\text{вых}}/\Delta X_{\text{вх}} = dX_{\text{вых}}/dX_{\text{вх}}, \quad (1.2)$$

где $\Delta X_{\text{вых}}$ и $\Delta X_{\text{вх}}$ – малые изменения выходной и входной величин относительно некоторой точки характеристики.

Для линейного элемента понятия K и K_d совпадают. Уравнение статики элемента, обладающего линейной характеристикой, является алгебраическим уравнением первой степени вида

$$X_{\text{вых}} = KX_{\text{вх}},$$

тогда как нелинейные элементы описываются алгебраическими уравнениями более высоких степеней. Другой важный показатель элемента – его порог чувствительности, под которым понимается минимальное значение входной величины, вызывающее изменение выходной величины. Практически все реальные элементы автоматики обладают тем или иным порогом чувствительности. Статическая характеристика элемента, обладающего порогом чувствительности, не проходит через начало координат, на оси абсцисс получается некоторый отрезок. Такая характеристика показана на

рис. 1.4, в. Отрезок $A'-A$, численно равный удвоенному значению порога чувствительности $0A$, называется *зоной нечувствительности элемента*. Если зона нечувствительности невелика и ею можно пренебречь, характеристика элемента может быть линеаризована. Такая характеристика на рис. 1.4, в показана штриховой линией. Возникновение зоны нечувствительности в различных элементах происходит по разным причинам.

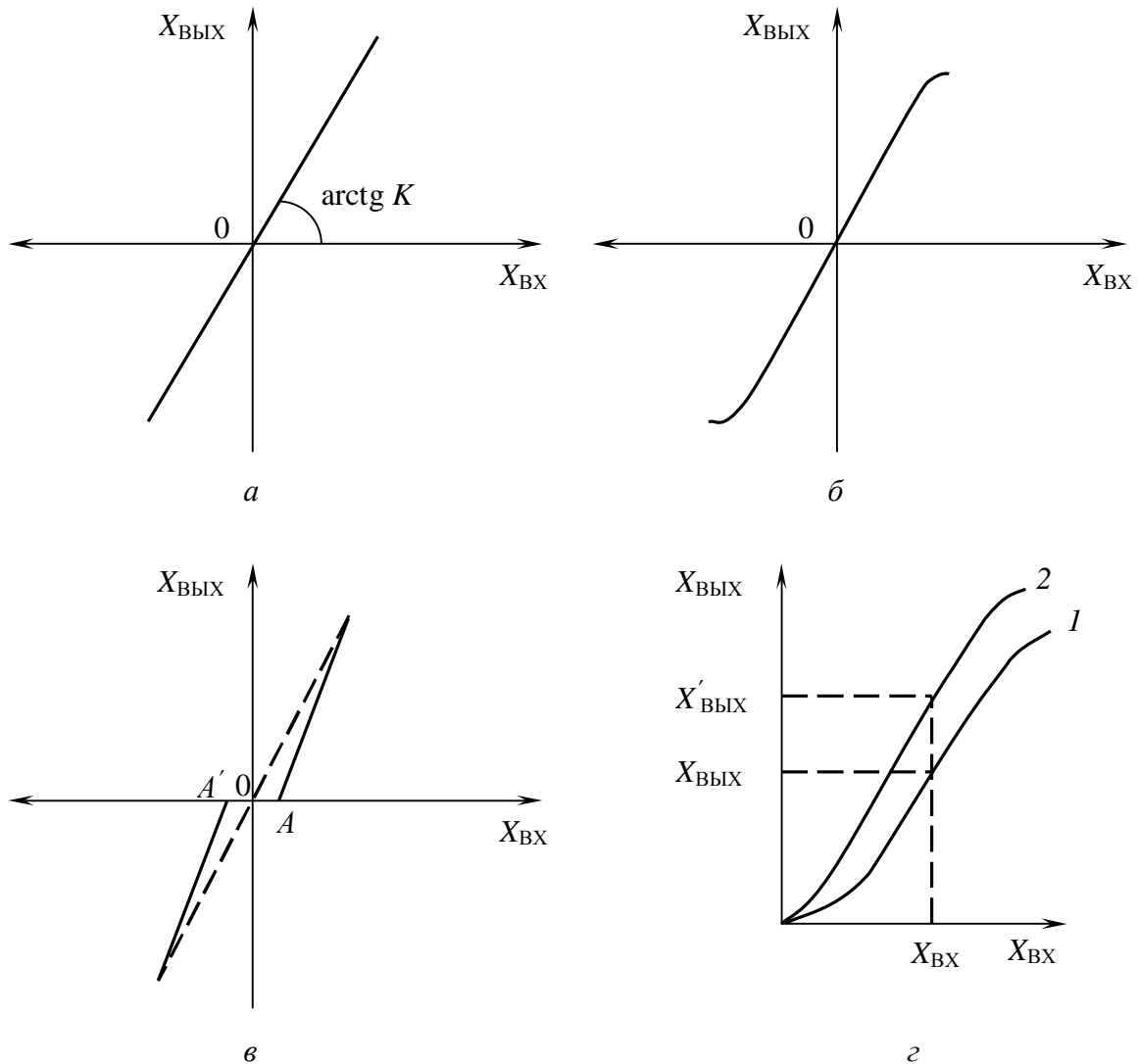


Рис. 1.4. Статические характеристики элементов автоматики

В таких элементах, как реле, редукторы, электродвигатели, существуют небольшие изменения входной величины из-за наличия люфта, трения, магнитного гистерезиса и т.п. В других элементах, таких, как датчики, усилители, стабилизаторы, может иметь место нестабильность характеристики, выражающаяся в том, что при неизменном значении входной величины выходная величина самопроизвольно изменяется в некоторых пределах. Самопроизвольное изменение выходной величины элемента при неизмен-

ном значении выходной величины может быть также в результате изменения внутренних свойств элемента (старение, износ) или при изменении внешних факторов (температуры, влажности, давления окружающей среды, питающего напряжения и др.). На рис. 1.4, 2 кривая 1 соответствует первоначальной характеристике элемента, а кривая 2 есть характеристика того же элемента, изменившаяся в результате влияния одного из перечисленных ранее факторов. Как видно, эта нестабильность приводит к погрешностям (см. далее гл.5). Передача сигналов от одного элемента к другому осуществляется посредством связей между ними. Связи могут быть *механическими, электрическими, пневматическими, гидравлическими* и др. Различают также *прямые и обратные* связи. Посредством прямых связей сигнал с выхода предыдущего элемента передается на вход последующего.

Под обратными связями понимают связи, посредством которых сигнал с выхода элемента передается на его вход или с выхода одного из последующих элементов передается на вход одного из предыдущих элементов (рис. 1.5). Сигнал, передаваемый по цепи обратной связи, называется сигналом обратной связи $X_{o.c}$. Алгебраическое суммирование сигналов принято изображать на структурных схемах специальным условным знаком. Обратные связи могут охватывать и всю систему в целом, т.е. передавать сигналы с выхода системы обратно на ее вход. Такие обратные связи называют *главными*, в отличие от *местных*, охватывающих отдельные элементы или часть системы.

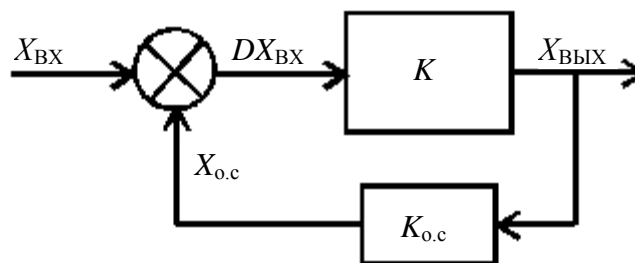


Рис. 1.5. Обратные связи

Величина $K_{o.c}$, показывающая, какая часть выходного сигнала V поступает обратно на вход в виде сигнала обратной связи $X_{o.c}$, называется *коэффициентом обратной связи*:

$$K_{o.c} = X_{o.c} / X_{ВЫХ} . \quad (1.3)$$

Обратные связи делятся на *положительные* и *отрицательные*. Положительными считаются такие обратные связи, когда сигнал обратной связи складывается с входным сигналом, т.е.

$$\Delta X_{ВХ} = X_{ВХ} + X_{o.c} . \quad (1.4)$$

Если же входной сигнал и сигнал обратной связи вычитаются, обратная связь называется отрицательной. В этом случае

$$\Delta X_{\text{вх}} = X_{\text{вх}} - X_{\text{о.с}}. \quad (1.5)$$

В общем случае сигнал, поступающий на вход элемента при наличии обратной связи,

$$\Delta X = X_{\text{вх}} \pm X_{\text{о.с}}. \quad (1.6)$$

Если сигнал обратной связи и выходной сигнал к входу элемента подключены параллельно, обратная связь называется *параллельной*. При последовательном подключении входного сигнала и сигнала обратной связи последняя называется *последовательной*. Обратные связи действуют, т.е. передают сигналы, как в установившихся, так и в переходных процессах и называются соответственно *жесткими* и *гибкими* обратными связями.

Различные обратные связи по-разному влияют на свойства охватываемых ими элементов. При наличии обратной связи сигнал на входе элемента выражается уравнением (1.6), где на основании формулы (1.3)

$$X_{\text{о.с}} = K_{\text{о.с}} X_{\text{вых}}.$$

Поэтому уравнение элемента, охваченного обратной связью, может быть записано в виде

$$X_{\text{вых}} = K (X_{\text{вх}} \pm K_{\text{о.с}} X_{\text{вх}}), \quad (1.7)$$

где K – передаточный коэффициент элемента без обратной связи.

Раскрывая скобки и группируя член с $X_{\text{вых}}$ слева, а члены с $X_{\text{вх}}$ справа, получаем

$$X_{\text{вых}} = [K/(1 \pm K_{\text{о.с}}K)] X_{\text{вх}}. \quad (1.8)$$

Член $K/(1 \pm K_{\text{о.с}}K)$ представляет собой передаточный коэффициент элемента, охваченного обратной связью. Введем обозначение

$$K/(1 \pm K_{\text{о.с}}K) = K. \quad (1.9)$$

В знаменателе этого выражения знак минус соответствует положительной, а знак плюс – отрицательной обратной связи. Отсюда следует, что положительная обратная связь увеличивает передаточный коэффициент элемента, а отрицательная уменьшает. Произведение $K_{\text{о.с}}K$ называют фактором обратной связи, а двучлен $1 \pm K_{\text{о.с}}$ – глубиной обратной связи. В плане практических рекомендаций следует иметь в виду, что положительная обратная связь увеличивает не только передаточный коэффициент охватываемого элемента, но в такой же степени увеличивает возникающие в элементе погрешности и искомые сигналы, влияние помех и собственных шумов, ухудшает стабильность передаточного коэффициента. Отрицательная же обратная связь наряду со снижением передаточного коэффици-

ента во столько же раз снижает влияние на сигнал помех, уменьшает искажение сигнала, повышает стабильность передаточного коэффициента, т.е. улучшает основные показатели элемента.

Для автоматических систем характерно наличие сигналов, изменяющихся с течением времени. При этом как входные величины, так и выходные для элементов и системы в целом не остаются постоянными. Такое состояние системы называем *динамическим*, а показатели, характеризующие поведение элементов в динамическом режиме, – *показателями динамики элемента* или его *динамическими показателями*. Процесс, протекающий в элементе при изменении его входной величины, называется *переходным процессом*. Поведение элемента в этом случае описывается дифференциальным уравнением того или иного порядка. Важнейшим динамическим показателем элемента автоматики является его динамическая характеристика, под которой понимается изменение выходной величины элемента с течением времени. Следует, однако, иметь в виду, что характер изменения выходной величины элемента зависит не только от свойств самого элемента, но и от характера изменения его входной величины. Чтобы можно было сравнивать динамические свойства различных элементов, пользуясь их динамическими характеристиками, следует подавать в ходе этих элементов сигналы, имеющие одинаковый характер, т.е. одинаково изменяющиеся с течением времени.

Общепринято в качестве таких сигналов использовать:

единичный скачок внешнего воздействия, представляющий собой функцию времени, которая отличается скачкообразным изменением в момент времени $t = 0$ и сохраняет свое постоянное значение при $t > 0$ (рис. 1.6, а);

единичный импульс внешнего воздействия, который представляет собой скачкообразно изменяющуюся функцию времени с бесконечно малой длительностью скачка ($t \rightarrow 0$) (рис. 1.6, б);

гармоническое воздействие и воздействие непрерывно возрастающее с постоянной скоростью (рис. 1.6, в, г).

Чаще других для исследования динамических характеристик элементов автоматики используется единичная функция. Такой сигнал позволяет выявить и оценить количественно важное свойство элемента – его инерционность, т.е. наличие некоторого запаздывания в изменении выходного сигнала по сравнению с изменением сигнала на входе элемента.

Зависимость $X_{\text{вых}} = f(t)$ при изменении входного сигнала $X_{\text{вх}}$, выраженная графически, называется *графиком переходного процесса элемента*. Эта кривая является графической интерпретацией решения дифференциального уравнения элемента, в котором входная и выходная величины являются функциями времени t . Разные элементы автоматики могут иметь различ-

ные графики переходных процессов (рис. 1.7). Переходный процесс, показанный на рис. 1.7, а, говорит о том, что элемент не обладает инерционностью, т.е. выходной сигнал изменяется одновременно с изменением входного сигнала без какого бы то ни было запаздывания.

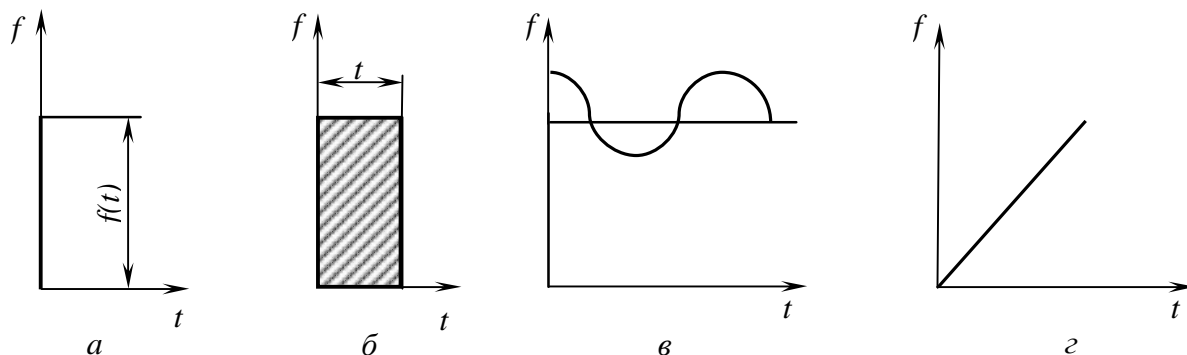


Рис. 1.6. Типовые внешние воздействия

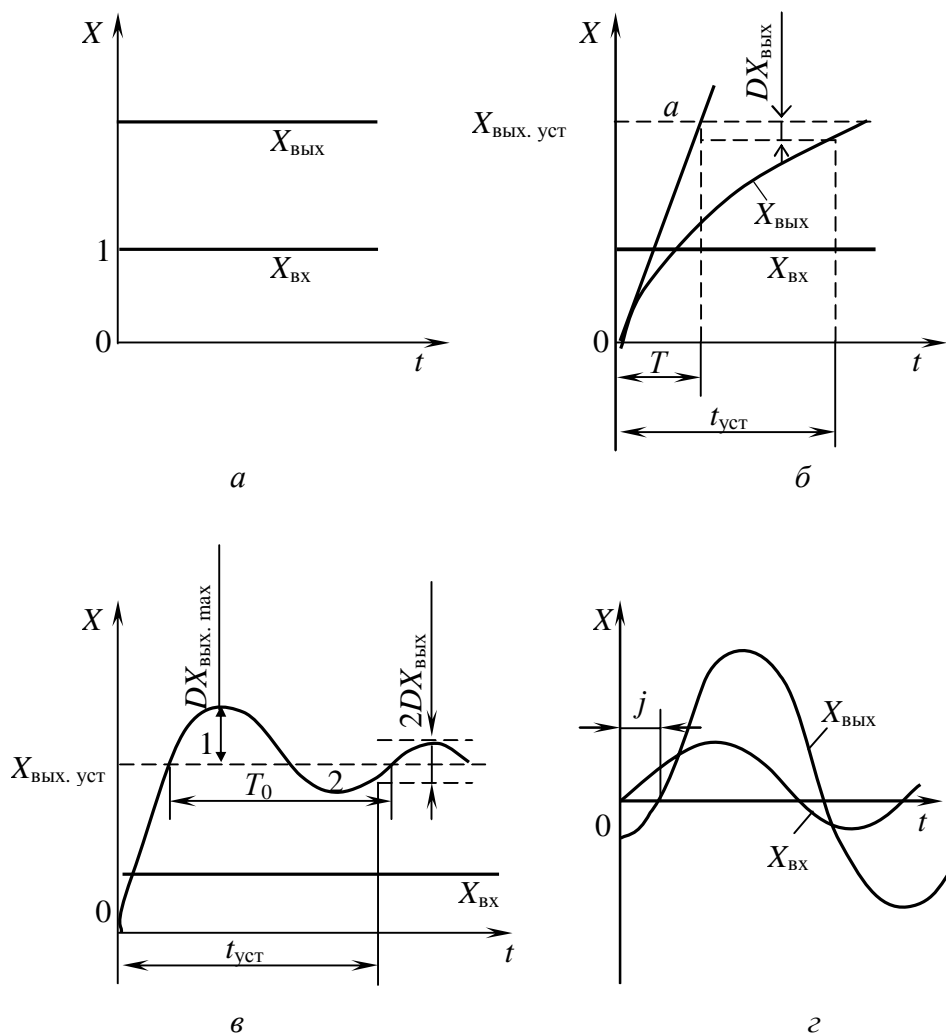


Рис. 1.7. Переходные процессы в элементах автоматики

Элемент, переходный процесс которого показан на рис. 1.7, б, обладает инерцией, вследствие чего его выходная величина $X_{\text{вых}}$ нарастает постепенно после скачкообразного изменения (нарастания) входной величины $X_{\text{вх}}$. Степень инерционности элемента оценивают постоянной времени T элемента. Если кривая $X_{\text{вых}} = f(t)$ является экспонентой, то значение постоянной времени соответствует абсциссе точки a и пересечения касательной к экспоненте Oa с установившимся значением выходной величины $X_{\text{вых.уст}}$. Постоянная времени T является одним из важнейших динамических показателей элемента. На рис. 1.7, в показан колебательно-затухающий переходный процесс, при котором выходная величина $X_{\text{вых}}$ совершает ряд колебаний около установившегося значения $X_{\text{вых.уст}}$ с постоянной частотой $f_0 = 1/T_0$, где T_0 – период колебаний с непрерывно убывающей амплитудой.

Колебательная частота f_0 или круговая частота W_0 называются *частотой собственных колебаний элемента*. Она зависит от внутренних свойств элемента и является важным показателем его динамических свойств. Время $t_{\text{уст}}$, в течение которого выходной сигнал достигает значения, незначительно отличающегося от $X_{\text{вых}}$ на величину $\Delta X_{\text{вых}}$, оговоренную техническими условиями элемента $t_{\text{уст}}$, называется *временем установления* или *длительностью переходного процесса*. В отдельных случаях входная величина $X_{\text{вх}}$ может изменяться периодически, например в элементах пожарной автоматики, вследствие чего и выходная величина $X_{\text{вых}}$ может меняться периодически (рис. 1.7, г). В этих случаях инерционность элемента сказывается на значении фазового сдвига кривой $X_{\text{вых}} = f(t)$ относительно кривой $X_{\text{вх}} = f(t)$.

Исследование переходных процессов элементов автоматики дает возможность установить и его динамические погрешности. Переходная характеристика элемента может быть получена экспериментально. Для этого входную величину изменяют скачкообразно, и с помощью регистрирующего устройства (осциллографа или самописца) записывают выходную величину, т.е. получают ее график $X_{\text{вых}} = f(t)$.

Глава 2

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЯ

2.1. Методы измерений

Вопросами теории измерений, средствами обеспечения их единства и способами достижения необходимой точности занимается наука метрология.

Метрология определяет измерение как познавательный процесс, заключающийся в нахождении соотношения между измеряемой величиной и другой величиной, условно принятой за единицу измерения. Так, если k – измеряемая величина, a – единица измерения, а m – числовое значение измеряемой величины в принятой единице, то

$$k = ma. \quad (2.1)$$

Это уравнение является основным уравнением измерения. Правая часть равенства (2.1) представляет собой результат измерения. Результат всякого измерения является именованным числом и состоит из единицы измерений, имеющей название, и числа m , показывающего, сколько раз данная единица содержится в измеряемой величине.

В теории измерений различают прямые, косвенные, совокупные и совместные измерения.

Прямые измерения, характеризуемые равенством (2.1), заключаются в непосредственном сравнении измеряемой величины с единицей измерения при помощи меры или измерительного прибора со шкалой, выраженной в этих единицах. Большую часть физических величин определяют не путем непосредственных измерений, а с помощью вычислений, пользуясь известными функциональными зависимостями.

Измерения, при которых искомую измеряемую величину определяют вычислениями по результатам прямых измерений, связанных с искомой величиной известной функциональной зависимостью, называют *косвенными измерениями*. При этом значение измеряемой величины определяют по формуле

$$Q = f(A, B, C, \dots), \quad (2.2)$$

где A, B, C – значения величин, полученные при прямых измерениях. Примерами косвенных измерений могут служить: определение объема тела по прямым измерениям его геометрических размеров, расхода вещества, протекающего в трубопроводе, по перепаду давлений на дроссельном устройстве и т.п. Косвенные измерения представляют самый многочисленный ряд измерений.

Совокупными измерениями называют такие, при которых искомые значения величин находят с помощью системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Совместными измерениями называются производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними.

Измерение определяется принципом и методом.

Под *принципом* измерений подразумевают совокупность физических явлений, на которых основаны измерения. Например, измерение температуры с использованием термоэлектрического эффекта.

Методом измерения называют совокупность приемов и средств измерения. В современной теории измерений различают следующие основные методы, принципиально отличные друг от друга.

Метод непосредственной оценки предусматривает определение искомой величины по отсчетному устройству измерительного прибора.

Метод сравнения основан на сравнении измеряемого значения величины со значением величины, воспроизводимой мерой¹. Разновидностями метода сравнения являются методы: дифференциальный, нулевой, замещения и совпадений.

Дифференциальный метод заключается в таком сравнении с мерой, при котором на измерительный прибор воздействует разность между измеряемой величиной и известной величиной, воспроизводимой мерой.

Нулевой метод заключается в таком сравнении с мерой, при котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводится до нуля.

Метод замещения основан на сравнении с мерой, когда измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой.

Метод совпадений также основан на сравнении с мерой, причем разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических отметок.

2.2. Характеристика средств измерения

В состав измерительной аппаратуры входят меры, измерительные приборы и вспомогательные устройства. По назначению меры и измерительные приборы бывают образцовыми и рабочими.

¹ Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

Образцовые меры и измерительные приборы служат для воспроизведения и хранения единиц измерения, а также для градуировки и поверки рабочих измерительных устройств.

Рабочие меры и измерительные приборы предназначены для прямого или косвенного сравнения измеряемых величин с соответствующими единицами измерения или мерами и разделяются на две группы – лабораторные и технические. *Лабораторные меры и измерительные приборы* характеризуются установленной точностью, и при их применении в результате измерения следует вносить поправки в соответствии с паспортными данными, а также учитывать влияние внешних факторов. Для *технических мер и измерительных приборов* точность принимается заранее заданной, и в результате измерения, который считается точным в установленных технических условиях или государственными стандартами пределах нормируемых метрологических характеристик, не требуется вносить какие-либо поправки.

В общем случае под измерительным прибором понимается средство измерения, предназначенное для выработки сигналов измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. По способу выдачи информации измерительные приборы могут быть показывающими или регистрирующими, а при наличии устройств сигнализации – сигнализирующими.

Метрологические характеристики измерительных устройств, определяющие достоверность получаемой информации, т.е. главную функцию средств измерений, служат основными критериями их качества. В число нормируемых метрологических характеристик средств измерений входят следующие показатели:

1. Пределы измерения (в виде номинальной статической характеристики, наименьшей цены деления неравномерной шкалы измерительного устройства, выходного кода или номинальной цены единицы измерения).
2. Нормы точности измерения (погрешности средств измерения, динамические характеристики, чувствительность, стабильность и вариация показаний и т.д.).
3. Виды, способы, выражения и методы нормирования погрешностей.
4. Методы аттестации и испытаний.

Под номинальной статической характеристикой средства измерения понимается функциональная зависимость выходного сигнала (перемещение отсчетного устройства и т.п.) от измеряемого параметра A (выходного сигнала) при заданных внешних условиях и в установившемся состоянии системы. Статическая характеристика будет линейной лишь в случае постоянства дифференциальной чувствительности S для всего рабочего диапазона значений A , когда

$$S = \frac{dN}{dA} = \frac{df(A)}{dA} = \text{const} . \quad (2.3)$$

Минимальное значение X_0 измеряемой величины, которое способно вызвать наименьшее заметное перемещение указателя или изменение выходной величины, называется *порогом чувствительности*.

Под постоянной прибора понимается число единиц измерения, на которое надо умножить отсчет (число, определяемое положением отсчетного устройства) для получения показания в определенных единицах измерения. В большинстве измерительных приборов отсчетные устройства выполнены в виде шкалы и указателя. Шкала представляет собой совокупность отметок, расположенных вдоль какой-либо линии. Начало и конец шкалы, соответствующие нижнему и верхнему пределам измерения, определяют диапазон измерения. Инерционность средств измерений в процессе перехода параметра от одного установившегося значения к другому оценивается динамическими характеристиками, такими, как постоянная времени, время установления показаний и т.п. Важными характеристиками измерительных устройств являются погрешности. *Погрешностью измерительного* устройства называется разность между результатом измерения X некоторой величины и ее действительным значением X_0 :

$$\Delta = X - X_0, \quad (2.4)$$

где Δ – есть основная количественная характеристика измерения, называемая *абсолютной погрешностью*. *Относительная погрешность*, равная отношению абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, выражается в процентах:

$$\delta = \frac{100}{X_0} \quad (2.5)$$

или с учетом Δ и X :

$$\delta = \frac{100\Delta}{X_0} = \frac{100}{X - \Delta} = \frac{100\Delta}{X\left(1 - \frac{\Delta}{X}\right)} \approx \frac{100\Delta}{X}. \quad (2.6)$$

При вычислении относительной погрешности абсолютную погрешность можно относить непосредственно к показанию прибора.

Погрешности измерительных устройств могут быть порождены несовершенством конструкции, условиями технологического процесса изготовления, а также условиями его эксплуатации. В связи с этим погрешности измерительных устройств могут быть классифицированы так:

статические и динамические, в зависимости от условий и режимов эксплуатации;

систематические, случайные и грубые, в зависимости от характера их проявления и возможностей устранения.

Статической погрешностью называется погрешность, возникающая при установившемся значении измеряемой величины и неизменных внешних условиях.

Динамической погрешностью называется погрешность, возникающая при изменении измеряемой величины и внешних воздействий.

Систематическими погрешностями называются постоянные по величине и знаку или изменяющиеся по определенному закону погрешности, повторяющиеся при многократных измерениях. Систематические погрешности определяются путем многократных измерений одной и той же величины при постоянных прочих условиях и устраняются посредством регулировочных устройств или введением коррекции с помощью специальных элементов. Систематические погрешности подразделяют на прогрессирующие и периодические. *Прогрессирующими* называются непрерывно возрастающие или убывающие погрешности. К ним относятся погрешности от износа деталей, контактов и т.п. *Периодическими* называются погрешности, изменяющиеся по величине и знаку, возникающие при функционировании измерительных устройств.

Случайные погрешности представляют собой погрешности, неопределенным образом изменяющиеся по величине и знаку. Они определяют точность измерительного устройства. По случайным погрешностям производится оценка точности как самих измерительных устройств, так и методов измерения. Вследствие случайной погрешности истинное значение измеряемой величины неизвестно, поэтому при подсчете случайных погрешностей за измеренное значение принимаю среднее арифметическое \bar{X} из полученных N измерений X_1, X_2, \dots, X_N , т.е.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i n_{x_i}}{N}, \quad (2.7)$$

где n_{x_i} – частота появлений значений x_i ; N – число измерений.

Случайные погрешности являются случайными величинами и так же, как последние, могут быть охарактеризованы с помощью понятий и характеристик теории вероятностей.

Среднее арифметическое является наиболее достоверным значением измеряемой величины:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i. \quad (2.8)$$

При $N \rightarrow \infty$ эта величина определяет математическое ожидание случайной величины. При большом числе независимых причин, вызывающих появление случайных погрешностей, плотность распределения выражается законом Гаусса (нормальное распределение (рис. 2.1)):

$$\omega(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(X - \bar{X})^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2.9)$$

где $\omega(X)$ – плотность распределения вероятности; σ – среднее квадратичное отклонение.

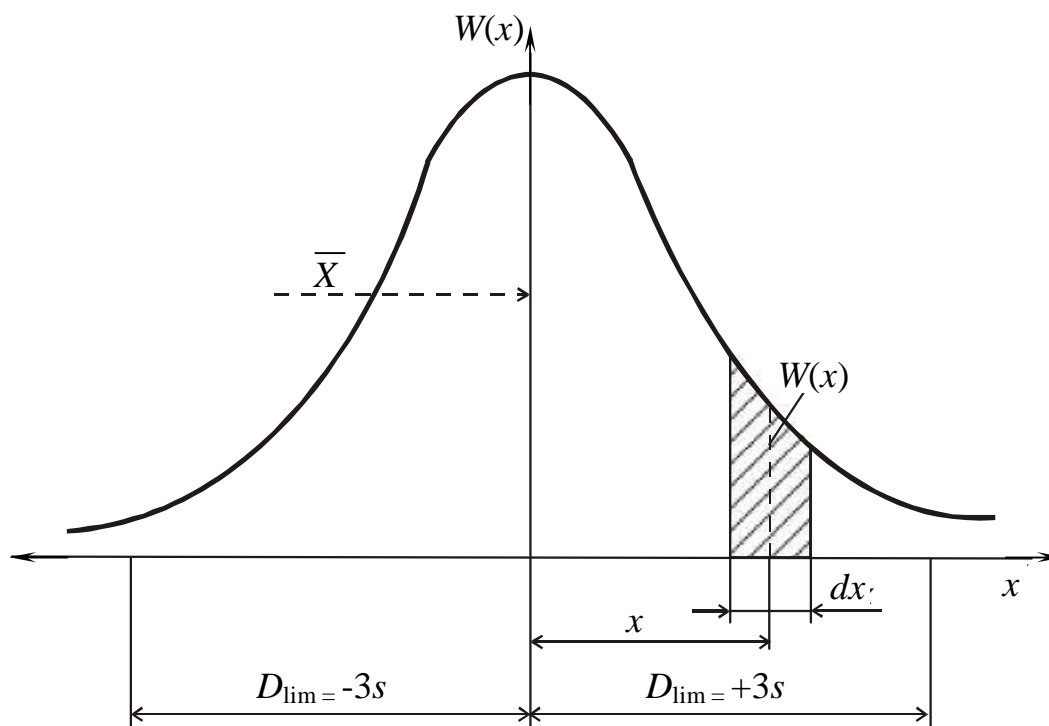


Рис. 2.1. Случайная погрешность с нормальным законом распределения:
 X – измеряемая величина; $W(x)$ – плотность распределения

Случайную погрешность принято оценивать либо средним квадратичным отклонением, либо вероятным значением E , либо предельным Δ_{lim} . Средняя квадратичная погрешность отдельных измерений определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}. \quad (2.10)$$

Средняя квадратичная погрешность является основной и исходной при подсчете других. Так, предельная погрешность определяется по формуле

$$\Delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma, \quad (2.11)$$

вероятная (средняя) погрешность – по формуле

$$E = 0,674\sigma.$$

На рис. 2.2 схематически показаны систематические и случайные погрешности. Первые определяются по величине среднего арифметического для данной точки, а вторые – через среднее квадратичное отклонение.

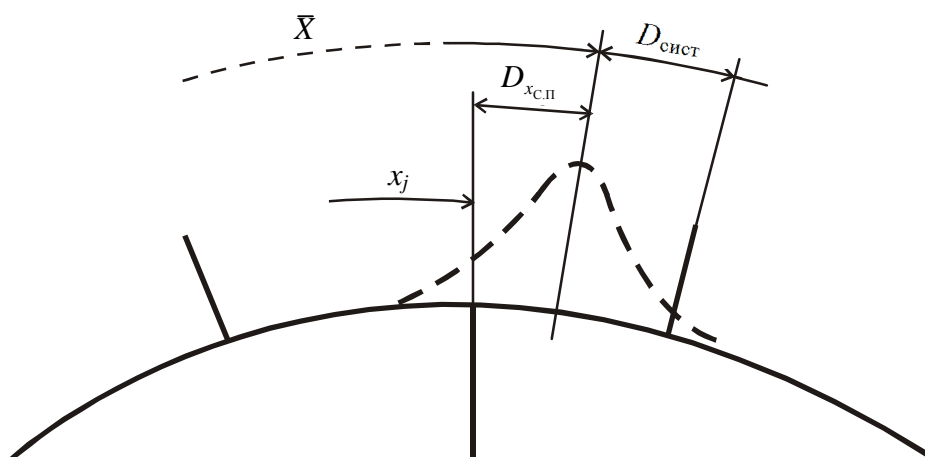


Рис. 2.2. Систематические и случайные погрешности

Грубые погрешности представляют собой погрешности, превосходящие предельное ($\pm 3\sigma$) значение случайной погрешности. Они происходят от резких изменений внешних условий измерения. Обобщенной метрологической характеристикой средств измерения является класс точности, определяемый, как правило, граничными значениями, допускаемыми ГОСТом основной приведенной погрешности. По приведенной допускаемой основной погрешности измерительные приборы делят на классы точности 0,01 – 4,0. Промышленные приборы в большинстве случаев выпускают с классом точности 0,5; 1,5.

2.3. Информационная характеристика процесса измерения

Всякое измерение можно рассматривать как цепь преобразований измеряемой величины до тех пор, пока результат измерений не будет представлен в том виде, который требовалось получить.

Процесс измерения характеризуется передачей информации о значении измеряемой величины от одного носителя ее к другому, т.е. преобразованием информации о значении измеряемой величины в результат измерений. Это означает, что в информационном аспекте измерение можно

рассматривать как процесс приема и преобразования информации от измеряемой величины в целях получения количественного результата путем сравнения с принятой шкалой или единицей измерения в форме, наиболее удобной для дальнейшего использования ее человеком и машиной. Для установления связи между точностью измерений и количеством получаемой при измерениях информации используют основные положения теории информации. При этом под термином "информация" понимают совокупность сведений о каком-либо объекте, процессе или явлении, в общем случае – о физической системе. Задачей получения информации является устранение неопределенности в наших представлениях о состоянии некоторой физической системы и установление количественных закономерностей, связанных с получением, обработкой и хранением информации. Рассмотрим характеристику процесса измерения с позиций теории информации. В теории информации получению абсолютной и относительной приведенной погрешностей придается вероятностный, статистический смысл, а итог проведенного измерения рассматривается как сокращение области неопределенности измеряемой величины. Предел измерения от X_1 до X_2 (рис. 2.3) с позиций теории информации означает, что вероятность получения отсчетов где-то в пределах X_1 и X_2 равна единице. Если считать, что плотность вероятности распределения различных значений измеряемой величины вдоль всей шкалы прибора одинакова, то наша осведомленность о значении величины до измерения может быть представлена графиком распределения плотности вероятности $P(x)$ вдоль шкалы (см. рис. 2.3). Плотность распределения вероятности в этом случае равна:

$$P(x) = \frac{1}{X_2 - X_1}. \quad (2.12)$$

Как показано на рис. 2.3, в результате измерения получено показание прибора X_n . Однако, учитывая погрешности измерения, мы принимаем результат $X_n \pm \Delta$. Это значит, что действительное значение измеряемой величины лежит где-то в пределах от X_{n-} до X_{n+} , т.е. в пределах участка 2Δ . Согласно теории информации, результат измерения можно характеризовать так: если до измерения область неопределенности находилась от X_1 до X_2 и имела малую плотность вероятности, то после измерения неопределенность сократилась до $2D$ и имеет значительную плотность $P(x) = 1/2\Delta$. Следовательно, получение какой-либо информации об интересующей нас величине заключается в уменьшении неопределенности ее значения. Математически это положение выражается формулой

$$M = H(X) - H(x/x_n), \quad (2.13)$$

где M – количество полученной информации,

$$H(x) = \int_{-\infty}^{\infty} P(x) \log P(x) dx = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{x_2 - x_1} \log \frac{1}{x_2 - x_1} dx = \log(x_2 - x_1) \quad (2.14)$$

исходная энтропия,

$$H(x/x_n) = - \int_{x_n - \Delta}^{x_n + \Delta} \frac{1}{2\Delta} \log \frac{1}{2\Delta} dx = \log 2\Delta . \quad (2.15)$$

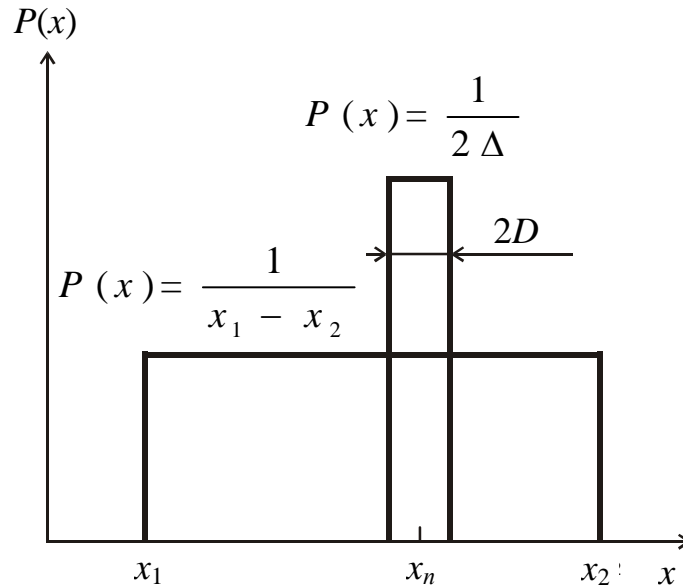


Рис. 2.3. График распределения плотности вероятности $P(x)$ вдоль шкалы x

Полученное количество информации, равное разности исходной и оставшейся энтропии, равно

$$M = H(x) - H(x/x_n) = \log(x_2 - x_1) - \log 2\Delta = \log \frac{x_2 - x_1}{2\Delta} = -\log \frac{2\Delta}{x_2 - x_1}, \quad (2.16)$$

т.е. количество информации M определяется уменьшением энтропии от значения $H(x)$, характеризующей неопределенность искомой величины перед измерением, до значения $H(x/x_n)$, которое остается после показания прибора.

Таким образом, получение любой информации, в том числе и измерительной, теория информации рассматривает как устранение некоторой неопределенности, а количество информации рассматривается как разность ситуации до и после получения данного сообщения. В настоящее время, по мнению специалистов, развивающих и использующих информационную теорию измерительных устройств, использование методов теории информации обеспечит более эффективную оценку качества приборов.

2.4. Надзор за измерительной техникой

Обеспечение единства измерений и поддержания в надлежащем состоянии средств измерений во всех отраслях народного хозяйства осуществляется единой метрологической службой страны, возглавляемой Госстандартом РФ и состоящей из государственной метрологической службы и ведомственных метрологических служб. Государственная метрологическая служба имеет ряд научно-исследовательских институтов и управлений Госстандарта РФ. В ведении последних находятся территориальные центры метрологии и стандартизации, межобластные, областные (краевые) и межрайонные лаборатории государственного надзора за стандартами и измерительной техникой.

Основными задачами государственной метрологической службы являются: осуществление государственного надзора за измерительной техникой, разработка нормативно-технических документов государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ) и контроль за их выполнением, создание и совершенствование эталонной базы и парка образцовых средств измерений, обеспечивающих передачу размера физических единиц от эталонов до исходных образцовых средств измерений органов ведомственных метрологических служб. ГСИ представляет собой комплекс установленных государственными стандартами правил, положений, требований и норм, определяющих организацию и методику работ по оценке и обеспечению точности измерений. Эти стандарты регламентируют: единицы физических величин, методы и средства воспроизведения этих единиц и передачи их размеров рабочим средствам измерений, способы выражения нормируемых метрологических характеристик средств измерений и показателей точности результатов измерений; требования к методике выполнения измерений; порядок и методику проведения государственных испытаний, поверки и ревизии средств измерений.

Одной из основных обязанностей государственной метрологической службы является обеспечение государственного надзора за измерительной техникой. Надзору подлежат: производство, состояние, эксплуатация и ремонт мер и измерительных приборов, а также деятельность ведомственных метрологических служб. Органы Госстандарта РФ имеют право запрещать выпуск в обращение средств измерений, не соответствующих требованиям государственных стандартов и технических условий, изымать из обращения непригодные меры и измерительные приборы, производить обязательную государственную поверку средств измерений, производить государственные испытания и аттестацию новых измерительных приборов. Все меры и измерительные приборы, предназначенные для серийного производства и выпуска в обращение, подвергаются государственным испытаниям. В процессе испытаний устанавливается соответствие приборов запросам народного хозяйства, современному уровню измерительной техники и тре-

бованиям стандартов. При положительных результатах государственных испытаний приборов Госстандарт РФ разрешает их производство и выпуск в обращение и включает в государственный реестр.

Для обеспечения необходимой точности измерений установлен определенный порядок организации и проведения поверки средств измерений. Все средства измерений подлежат государственной или ведомственной поверке.

Государственной поверке, выполняемой системой Госстандарта РФ, подвергаются средства измерения, применяемые в органах государственной метрологической службы, исходные образцовые приборы, используемые в органах ведомственных метрологических служб, а также рабочие средства измерений, применяемые для учета и взаимных расчетов, обеспечения техники безопасности охраны окружающей среды и здоровья населения. Перечень рабочих средств измерений, подлежащих обязательной государственной поверке, и периодичность этой поверки для отдельных групп приборов устанавливаются Госстандартом РФ.

Ведомственная поверка осуществляется органами ведомственных метрологических служб отдельных предприятий, организаций и учреждений, имеющих разрешение органов Госстандарта РФ на проведение поверочных работ. Этой поверке подлежат все средства измерений, используемые в народном хозяйстве, не охватываемые государственной поверкой. Поверка средств измерений проводится в соответствии с требованиями Государственных стандартов, инструкций и методических указаний Госстандарта РФ к методам и средствам поверки. Приборы, признанные в результате поверки не отвечающими своему классу точности или неисправными, не допускаются к дальнейшему применению до устранения выявленных недостатков. На приборы, признанные годными, наносятся клейма или выписываются свидетельства. При необходимости ограничить доступ к механизмам приборов. После их поверки корпуса приборов пломбируются. При участии в государственных комиссиях по приемке вновь смонтированного и реконструированного технологического оборудования взрывопожароопасных производств с наличием средств автоматики работникам пожарной охраны необходимо обращать внимание на выполнение требований соответствующих нормативных документов Госстандарта по поверке приборов и их клеймению. Это снижает возможность взрывопожароопасных ситуаций на объектах, а в случае пожара и взрыва приборы, прошедшие поверку, будут объективно отражать предаварийную ситуацию и ход развития аварии, приведшей к пожару.

Глава 3

ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

3.1. Контрольно-измерительные приборы температуры

Для измерения температуры используют изменение какого-либо физического свойства тела, однозначно зависящего от его температуры и легко поддающегося измерению.

К числу свойств, положенных в основу работы приборов для измерения температуры, относятся: объемное расширение тел, изменение давления вещества в замкнутом объеме, возникновение термоэлектродвижущей силы, изменение электрического сопротивления проводников и полупроводников, интенсивность излучения нагретых тел и др.

В зависимости от физических свойств, на которых основано действие приборов для измерения температуры, различают:

1. Термометры расширения, построенные по принципу изменения объема жидкости или линейных размеров твердых тел при изменении температуры. Применяются для измерения температуры от -190 до $+500$ °С.

2. Манометрические термометры, основанные на изменении давления жидкости, газа или пара в замкнутом объеме при изменении температуры. Применяются для измерения температур от -120 до $+600$ °С.

3. Термоэлектрические пирометры (термопары), принцип действия которых основан на возникновении электродвижущей силы при изменении температуры одного из спаев замкнутой цепи разнородных термоэлектродов. Применяются для измерения температуры от -200 до $+2000$ °С.

4. Термометры сопротивления, основанные на изменении электрического сопротивления проводника или полупроводника при изменении температуры. Применяются для измерения температуры от -200 до $+650$ °С.

5. Пирометры излучения, работающие по принципу изменения интенсивности излучения нагретых тел в зависимости от изменения температуры. Применяются для измерения температур от $+600$ до $+6000$ °С.

3.2. Контрольно-измерительные приборы давления

Давление определяется отношением силы, равномерно распределенной по площади и нормальной к ней, к размеру этой площади. В зависимости от измеряемой величины приборы для измерения давления делятся на:

манометры – для измерения средних и больших избыточных давлений;

вакуумметры – для измерения средних и больших разрежений;

мановакуумметры – для измерения средних и больших давлений и разрежений;

напоромеры – для измерения малых избыточных давлений;

тягомеры – для измерения малых разрежений;

тягонапоромеры – для измерения малых избыточных давлений и разрежений;

дифманометры – для измерения разности перепада давлений;

барометры – для измерения атмосферного давления.

По принципу действия различают следующие приборы для измерения давления: жидкостные, пружинные, поршневые, электрические радиоактивные.

Жидкостные приборы. В этих приборах измеряемое давление или разрежение уравнивается гидростатическим давлением столба рабочей жидкости, в качестве которой применяются ртуть, вода, спирт и др.

Пружинные приборы. Измеряемое давление или разрежение уравнивается силами упругого противодействия различных чувствительных элементов (трубчатой пружины, мембраны, сиффона и т.п.), деформация которых, пропорциональная измеряемому параметру, передается посредством системы рычагов на стрелку или перо прибора.

Поршневые манометры. Давление определяется по значению нагрузки, действующей на поршень определенной площади, перемещаемый в заполненном маслом цилиндре; поршневые манометры имеют высокие классы точности, равные 0,02; 0,05; 0,2 .

Электрические приборы. Действие этих приборов основано на изменении электрических свойств (сопротивление, емкость, индуктивность и т.п.) некоторых материалов при воздействии на них внешнего давления.

Пьезоэлектрические приборы. В этих приборах используется пьезоэлектрический эффект, заключающийся в возникновении электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллов (кварца, сегнетовой соли, турмалина) при приложении к ним силы в определенном направлении.

Радиоактивные приборы. Давление определяется изменением степени ионизации или степени поглощения γ -лучей при изменении плотности вещества.

3.3. Контрольно-измерительные приборы уровня

Уровнемеры для жидкостей по принципу действия делятся на указательные стекла, поплавковые, гидростатические, электрические и радиоактивные.

Указательные или уровнемерные стекла представляют собой вертикально расположенную стеклянную трубку, в которой жидкость, как в сообщающихся сосудах, устанавливается на той же высоте, что и в аппара-

те. Указательные стекла применяются для местного измерения уровня в аппаратах.

Поплавковые уровнемеры. В этих приборах чувствительным элементом является поплавков с меньшим (плавающий) или большим (погружной) удельным весом, чем жидкость. Изменение уровня жидкости в аппарате вызывает перемещение поплавка, которое при помощи системы рычагов, тяг и тросов передается указателю, движущемуся по шкале, или вторичному прибору для отсчета, записи.

Гидростатические уровнемеры служат для измерения гидростатического давления столба жидкости, уровень которой определяется. Различают гидростатические пьезометрические и дифманометрические уровнемеры. Действие *гидростатических пьезометрических уровнемеров* основано на использовании давления воздуха или газа, барботирующего через слой жидкости с измеряемым уровнем при изменении последнего.

Действие *гидростатических дифманометрических уровнемеров* основано на определении уровня по давлению столба измеряемой жидкости, которое уравнивается давлением постоянного столба жидкости.

Электрические уровнемеры. Наиболее широко распространены уровнемеры емкостные и омические.

В электрических *емкостных уровнемерах* чувствительным элементом является конденсатор, обкладки которого располагаются с противоположных сторон вертикальной трубки из диэлектрика, соединенной с аппаратом подобно сообщающимся сосудам. Если одной обкладкой конденсатора является электрод, то другой – стенка аппарата. При изменении уровня жидкости емкость конденсатора, включенного в одно из плеч моста переменного тока, изменяется, и на вход вторичного прибора подается сигнал, пропорциональный величине измеряемого уровня.

Действие электрических *омических уровнемеров*, применяемых для определения уровня электропроводных жидкостей, основано на измерении сопротивления между электродами соответствующей формы, введенными в жидкость. При этом сопротивление слоя жидкости между электродом и корпусом или между двумя электродами зависит от высоты уровня жидкости в аппарате.

Радиоактивные уровнемеры. Измерение уровня жидкости основано на измерении интенсивности поглощения γ -частиц при изменении уровня жидкости.

3.4. Контрольно-измерительные приборы расхода

Объемным расходом Q называют объемное количество вещества V , которое протекает через поперечное сечение трубопровода в единицу времени τ ,

$$Q = \frac{V}{\tau}.$$

Весовым (массовым) расходом G называется количество вещества G , протекающего через сечение трубопровода в единицу времени τ ,

$$G = \frac{V\rho}{\tau}.$$

Объемный расход можно выразить через весовой:

$$Q = \frac{G}{\rho}.$$

где ρ – плотность вещества, кг/м³.

Приборы, предназначенные для измерения расхода, называются расходомерами, а измеряющие количество вещества, которое протекает через поперечное сечение трубопровода в течение отрезка времени, – счетчиками.

По принципу действия расходомеры можно разделить на расходомеры переменного и постоянного перепадов давлений, переменного уровня.

Расходомеры переменного перепада давлений. Действие этих приборов основано на возникновении перепада давлений на установленном внутри трубопровода сужающемся устройстве постоянного сечения. Разность статических давлений до и после сужающегося устройства (перепад давлений), измеряемая дифференциальным манометром, зависит от расхода протекающего вещества и может служить мерой расхода.

Расходомеры постоянного перепада давлений (ротаметры). Действие этих приборов основано на перемещении чувствительного элемента (поплавка), установленного в вертикальной конической трубке; через нее снизу подается вещество, расход которого измеряется. При изменении расхода жидкости, газа или пара поплавки перемещаются вверх и изменяется проходное отверстие трубки. Высота подъема поплавка функционально связана с расходом. При этом перепад давления на поплавке при перемещении его вдоль оси трубки остается практически постоянным.

Расходомеры переменного уровня. Действие этих приборов основано на изменении высоты уровня жидкости в сосуде при непрерывном поступлении и свободном истечении ее из сосуда.

Существуют и другие виды расходомеров, действие которых основано на некоторых физических закономерностях (изменении электрических параметров, теплоотдачи к потоку, уменьшении интенсивности ультразвука или радиоактивного излучения в зависимости от расхода).

3.5. Автоматический уравновешенный мост

Уравновешенный мост предназначен для непрерывного измерения, записи и регулирования температуры. Он работает в комплекте с термометрами сопротивлений стандартных градуировок, т.е. имеет соответствие заданного предела измерения – градуировки термометра сопротивлений. Это означает, что каждому прибору соответствует определенная группа термометров сопротивлений единой градуировки. Сущность действия термометров сопротивления основана на зависимости его электрического сопротивления от температуры.

Принципиальная измерительная схема рассматриваемого прибора – *мостовая*. Измерения неэлектрических величин электрическими методами очень широко распространены в электротехнике и автоматике. Мостовой измерительной схемой пользуются более 100 лет, а возможность измерения и физическая сущность работы ее впервые рассмотрены в работах французского исследователя Шарля Кристи (1831 г.) и примерно в эти же годы английским исследователем Уинстоном.

Многообразие мостовых схем базируется на классической мостовой схеме, которая представляет собой кольцо сопротивлений (рис. 3.1). Сопротивления соединены так, что образуют вершины моста a , b , c и d , диагональ питания ac и диагональ измерения bd .

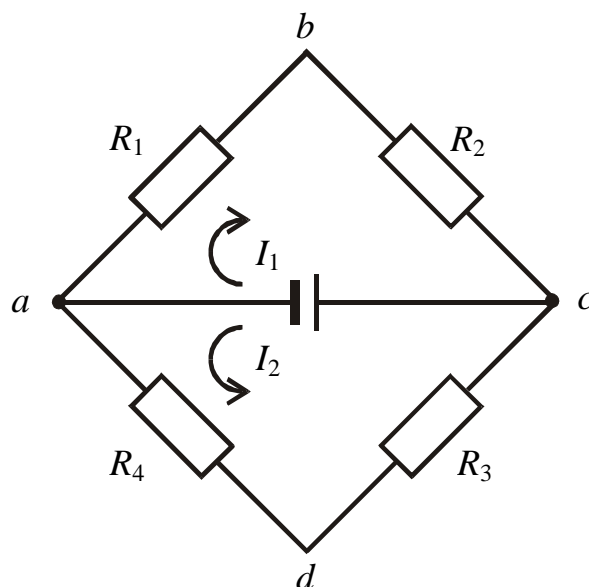


Рис. 3.1. Схема равновесного моста:
 R_1, R_2, R_3, R_4 – резисторы; ac – диагональ питания;
 bd – диагональ измерения

Измерение основано на соблюдении определенного соотношения между сопротивлениями (плечами) моста, называемого *условием равновесия*.

Под условием равновесия подразумевается такое соотношение сопротивлений моста, при которой на вершинах измерительной диагонали разность потенциалов $U_{bd} = 0$ и в цепи измерения отсутствует выходной сигнал. Состоянию $U_{bd} = 0$ соответствует равенство падений напряжений соответственно в прилежащих плечах, т.е.

$$U_1 = U_4 \text{ и } U_2 = U_3. \quad (3.1)$$

По закону Ома

$$U_1 = I_1 R_1; U_2 = I_1 R_2; U_3 = I_2 R_3; U_4 = I_2 R_4. \quad (3.2)$$

Подставляя в равенство падений напряжений (3.1) их значения, выраженные через токи и сопротивления (3.2), и поделив почленно, получаем:

$$I_1 R_1 / I_1 R_2 = I_2 R_4 / I_2 R_3 \quad (3.3)$$

или, сократив значения токов I_1 и I_2 , имеем равенство:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4, \quad (3.4)$$

которое называется *классическим условием равновесия мостовой схемы*, читаемое так: "Если произведения сопротивлений противолежащих плеч мостовой схемы равны между собой, то на вершинах измерительной диагонали отсутствует разность потенциалов". Этот метод называется *нулевым методом* измерения сопротивлений.

Принципиальная схема равновесного моста приведена на рис. 3.2.

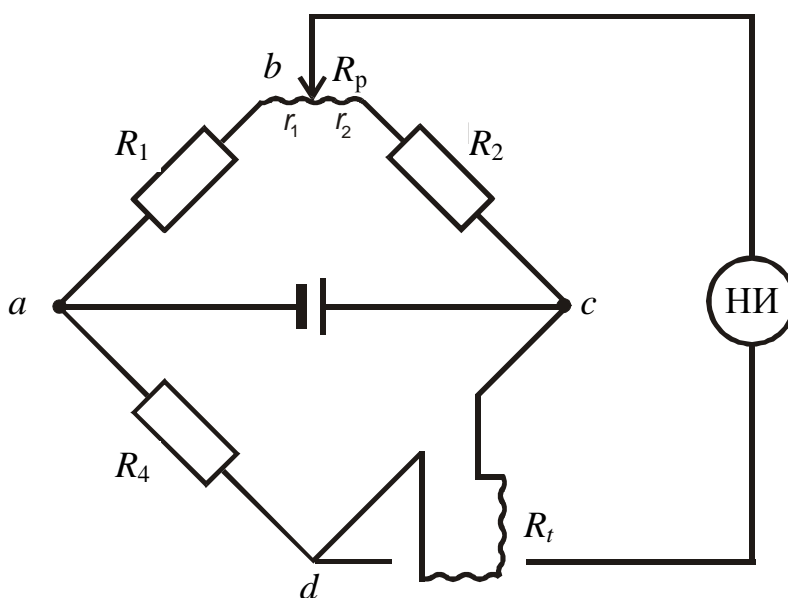


Рис. 3.2. Измерительный мост:
 R_p – реохорд; НИ – нуль-индикатор

Медный или платиновый термометр сопротивления R_t , электрическое сопротивление которого должно быть измерено, включается в одно из плеч

моста при помощи соединительных проводов, имеющих сопротивления R . Другие плечи моста состоят из постоянных манганиновых сопротивлений $R_{\text{мг}}$ и переменного калиброванного сопротивления реохорда R_p , выполненного также из манганга. К одной диагонали моста подведено питание постоянного или переменного тока, в другую включен нуль-индикатор. При равновесии моста удовлетворяется равенство:

$$R_1 R_t = R_2 R_4, \quad (3.5)$$

откуда с учетом сопротивлений реохорда запишем:

$$(R_1 + r_1) R_t = (R_2 + r_2) R_4. \quad (3.6)$$

В этом случае разность потенциалов между точками bd равна нулю, ток не протекает через нуль-гальванометр и его стрелка установится на нулевой отметке. При изменении температуры электрическое сопротивление термометра сопротивления изменится и мост разбалансируется. Чтобы восстановить равновесие, необходимо при постоянных сопротивлениях R_1 , R_2 и R_4 изменить величину сопротивления реохорда, переместив его подвижный контакт.

Таким образом, если откалибровать сопротивление реохорда, то по положению его движка при равновесии моста можно судить о величине сопротивления R_t , следовательно, об измеряемой температуре.

Рассмотрим принципиальную схему автоматического электронного самопишущего равновесного моста переменного тока (рис. 3.3).

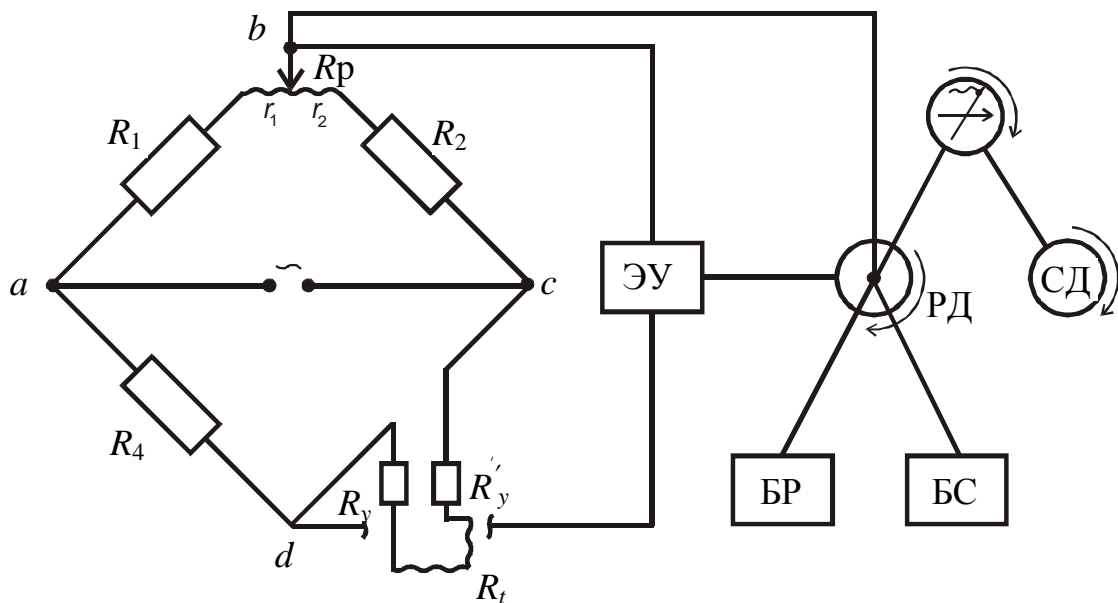


Рис. 3.3. Принципиальная схема электронного равновесного моста

При изменении температуры среды, в которой находится термометр сопротивления, изменится температура термометра и, следовательно, его

электрическое сопротивление. Измерительный мост, состоящий из постоянных и переменных сопротивлений (R_1 , R_2 и R_4) и питающийся напряжением (6,3 В) от одной из обмоток силового трансформатора, разбалансируется, и в диагонали моста между точками b и d появится напряжение небаланса U_{bd} . Последнее подается на вход электронного усилителя (ЭУ), где усиливается по напряжению и мощности, затем поступает на реверсивный двигатель РД и приводит в движение его ротор. Вращаясь в ту или иную сторону, в зависимости от знака разбаланса, ротор реверсивного двигателя перемещает механически с ним связанные движок реохорда R_p , стрелку и перо по шкале прибора до тех пор, пока измерительный мост не придет в состояние равновесия. Напряжение на входе электронного усилителя (ЭУ) в этом случае станет равным нулю, электродвигатель РД остановится, а прибор покажет измеряемую температуру.

Точность показаний прибора зависит от подгонки сопротивлений проводов, соединяющих термометр сопротивления с автоматическим равновесным мостом. Для подгонки сопротивлений соединительных проводов до градуировочного значения служат сопротивления R_y и R'_y величиной до 2,5 Ом каждое. При градуировке приборов сопротивление каждого провода, идущего от термометра до прибора, принято $(2,5 \pm 0,01)$ Ом. Если сопротивление каждого провода будет меньше 2,5 Ом, то в соединительную линию последовательно включается добавочное сопротивление, дополняющее сопротивление каждого провода до 2,5 Ом.

В производственных условиях термометр сопротивления может находиться на значительном удалении от вторичного прибора, при колебаниях температуры среды величина их сопротивления будет изменяться, что приведет к дополнительной погрешности в показаниях автоматического равновесного моста. Для устранения погрешности применяется трехпроводная схема соединений термометра сопротивления с вторичным прибором, заключающаяся в том, что точка c (рис. 3.4) переносится непосредственно к термометру сопротивления. При таком соединении сопротивление провода R_{l_1} прибавляется к плечу измерительного моста, а сопротивление R_{l_2} к плечу с постоянным сопротивлением. Тогда условие равновесия мостовой схемы будет иметь вид:

$$(R_1 + rR_1)(R_t + R_{l_1}) = (R_2 + rR_2 + R_{l_2})R_4. \quad (3.7)$$

Измерительная схема автоматического равновесного моста может также питаться от сухой батареи постоянного тока или от аккумулятора с напряжением 1,2–1,5 В. В таком случае электронный усилитель прибора должен иметь вибропреобразователь для преобразования сигнала небаланса постоянного тока в переменный с целью его последующего усиления.

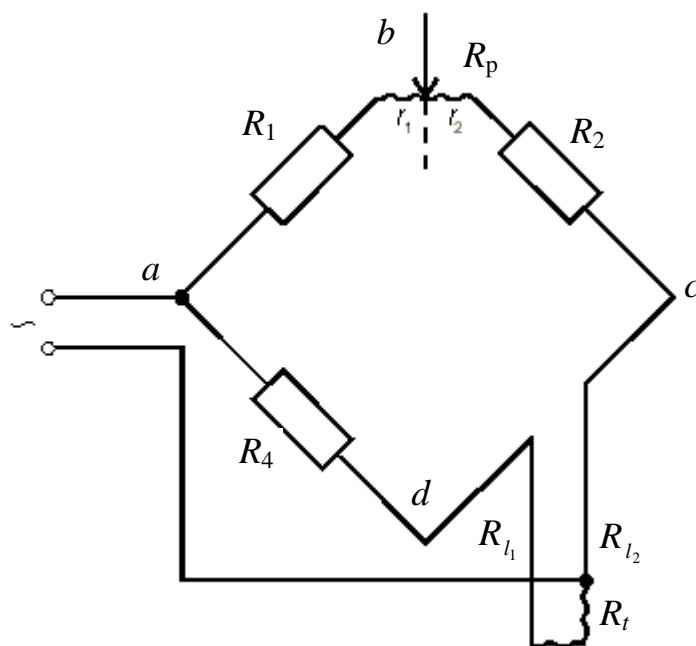


Рис. 3.4. Трехпроводная схема соединения термометра сопротивления

В связи с этим равновесные мосты постоянного тока применяются при возможном появлении в измерительной цепи различных наводок (например, при монтаже термометра сопротивления в электропечах или местах с большими магнитными полями). Кроме того, мосты постоянного тока используют в тех случаях, когда по условиям эксплуатации приборов и пожарной безопасности их питание осуществляется маломощными источниками постоянного тока.

Конструктивно автоматический самопишущий равновесный мост представляет собой стационарный прибор, все узлы которого размещены внутри стального корпуса. Запись показаний осуществляется на диаграммной бумаге, перемещаемой синхронным двигателем.

Промышленность выпускает показывающие и записывающие на дисковой диаграмме автоматические равновесные мосты, показывающие и записывающие на ленточной диаграмме мосты КСМ2, КСМ3, КСМ4, показывающие мосты с вращающейся шкалой и другие модификации. Принципиальные схемы их подобны рассмотренной схеме автоматического равновесного моста и отличаются только конструкцией отдельных узлов.

Однако рассмотренный выше тип электронного прибора имеет и ряд недостатков:

- малый диапазон измерения температуры (до 600 °С);
- термометр сопротивления, устанавливаемый в технологических аппаратах, должен размещаться в объеме продукта;
- вторичный прибор не имеет специальных средств взрывозащиты и устанавливается только в помещениях КИПиА.

3.6. Автоматический потенциометр

Автоматический потенциометр предназначен для измерения, записи и регулирования температуры. Работает он в комплекте с термопарами стандартных градуировок, применяется для измерения температур от -200 до $+2000$ °С. В качестве конструкционных материалов для электродов термопары используются: железо-копель, копель-алюмель, хромель-алюмель, платина-платинородий и др. Зависимость термоэлектродвижущей силы (ТЭДС) от изменения температуры носит линейный характер.

В электронных потенциометрах применяется потенциометрический (компенсационный) метод измерения, который основан на уравнивании (компенсации) измеряемой ТЭДС известной разностью потенциалов, образованной вспомогательным источником питания.

Из принципиальной схемы (рис. 3.5) видно, что термопара подключена так, что ее ток на участке R_{AD} идет в том же направлении, что и от источника питания B , а разность потенциалов между точкой A и любой промежуточной точкой D пропорциональна сопротивлению R_{AD} .

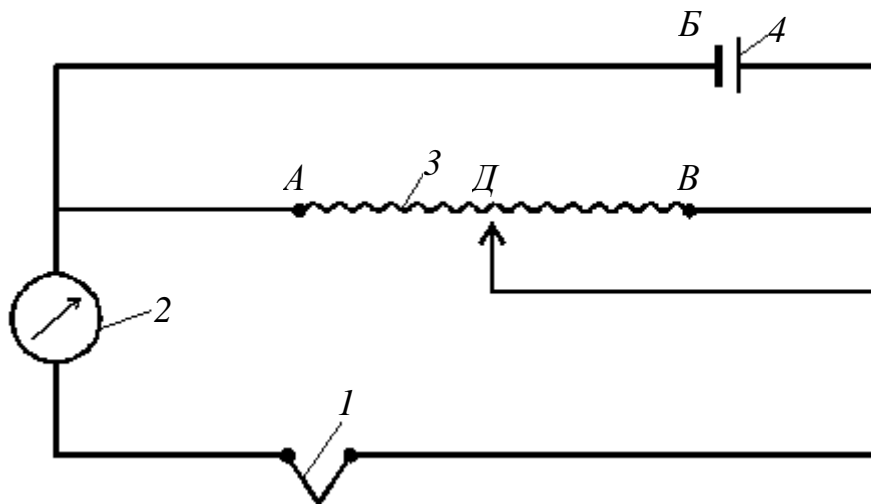


Рис. 3.5. Принципиальная схема компенсационного метода измерения:
1 – термопары; 2 – нуль-индикатор; 3 – реохорд; 4 – источник питания

Передвигая подвижный контакт D , при условии, что $E_{ТП} < E_B$, можно найти такое его положение, при котором ток в цепи термопары будет равен 0, т.е. ТЭДС термопары может быть измерена значением падения напряжения на участке сопротивления R_{AD} . Схема такого вида широко используется для измерения температуры в переносных приборах.

Недостаток рассмотренной схемы состоит в том, что ТЭДС зависит от постоянства тока в цепи реохорда.

Варьирование рабочего тока в цепи реохорда может вносить погрешности в результаты измерения. Установка необходимой величины рабочего

тока и контроль его постоянства производят также компенсационным методом (рис. 3.6).

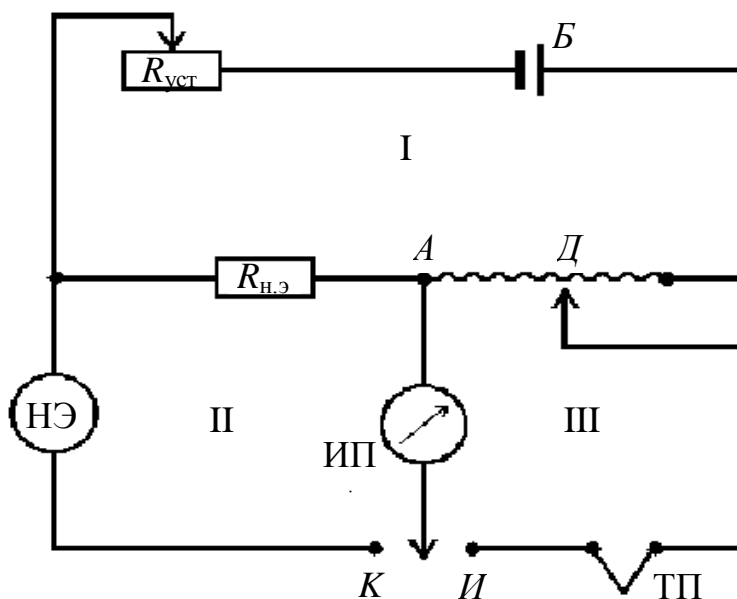


Рис. 3.6. Схема контроля и установки рабочего тока

Схема имеет три цепи:

цепь источника тока (источник тока B , установочное сопротивление, постоянное сопротивление, реохорд с подвижным контактом D);

цепь нормального элемента (нормальный элемент $HЭ$, постоянное сопротивление, измерительный прибор $ИП$);

цепь термопары (термопара $ТП$, измерительный прибор $ИП$, часть переменного сопротивления реохорда).

В режиме контроля переключатель устанавливают в положение K , подключая нормальный элемент к концам сопротивления $R_{HЭ}$ (ЭДС источника питания B направлена навстречу ЭДС нормального элемента). При снижении величины рабочего тока его регулируют установочным сопротивлением и добиваются такого положения, при котором разность потенциалов на концах сопротивления $R_{HЭ}$ не станет равна ЭДС нормального элемента. Ток в цепи измерительного прибора станет равным нулю. Если $R_{уст}$ не удастся установить рабочий ток, то батарею заменяют. В режиме измерения переключатель устанавливают в положение $И$, подключая тем самым термопару последовательно с нормальным элементом, реохордом в точке A и подвижным контактом D . ТЭДС термопары в этом случае будет направлена в противоположную сторону ЭДС источника B . Перемещая контакт D , находят такое его положение, при котором разность потенциалов между точкой A и контактом D реохорда равна ТЭДС термопары.

В приборах серии ГСП питание измерительной схемы осуществляется стабилизированным источником, что упрощает конструкцию и эксплуатацию.

Рассмотренные выше схемы используются в электронных автоматических стационарных потенциометрах (рис. 3.7).

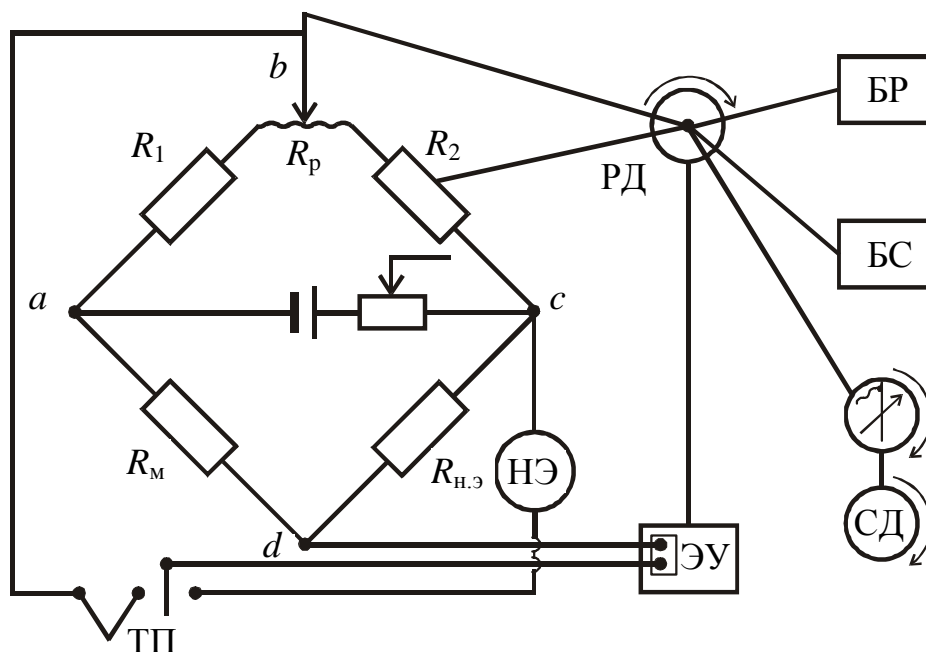


Рис. 3.7. Принципиальная схема автоматического потенциометра

В отличие от лабораторных переносных приборов движок реохорда автоматических электронных потенциометров перемещается не вручную, а автоматически с помощью специального устройства. При этом нулевой прибор, показывающий небалансный ток измерительной цепи потенциометра, заменен электронным нуль-индикатором, состоящим из электронного усилителя и реверсивного двигателя. При изменении ТЭДС термопары в цепи появляется постоянное напряжение небаланса, которое преобразуется и усиливается до величины, достаточной для вращения ротора реверсивного двигателя.

Двигатель посредством кинематического механизма перемещает движок реохорда в зависимости от знака напряжения небаланса в ту или другую сторону, автоматически уравнивая измерительную схему. Одновременно с движком реохорда перемещаются показывающая стрелка и записывающее перо. В потенциометре используется мостовая измерительная схема, обеспечивающая высокую точность и чувствительность прибора и позволяющая автоматически вводить поправку на изменение температуры холодных спаев термопары, а также легко изменять пределы измерения и градуировку шкалы прибора.

Все сопротивления измерительной схемы потенциометра, кроме R_M (см. рис. 3.7), выполнены из манганина. Сопротивление R_M и холодные

спай термопары должны находиться при одинаковой температуре и располагаться рядом с клеммами для включения термопары.

Измеряемая ЭДС термопары компенсируется падением напряжения на сопротивлении R_p , которое зависит от положения движка реохорда. Если ЭДС термопары не равна падению напряжения на указанных сопротивлениях, то разность напряжений, появляющаяся на вершинах измерительного моста b и d , подается на преобразовательный каскад, состоящий из вибрационного преобразователя и входного трансформатора.

В преобразовательном каскаде постоянный ток напряжением около нескольких милливольт преобразуется в переменный. Далее переменный ток усиливается по напряжению и мощности до значения, достаточного для вращения реверсивного двигателя.

Реверсивный двигатель, вращаясь по часовой стрелке или против нее (в зависимости от знака разбаланса), передвигает движок реохорда и тем самым устанавливается равновесие измерительной схемы. При этом компенсирующее напряжение измерительной схемы при изменении температуры изменяется на такую же величину, как и ЭДС термопары, но с обратным знаком. При равновесии измерительной схемы реверсивный двигатель вращаться не будет, так как на вход преобразовательного каскада напряжение не подается.

Для устранения помех, возникающих в цепи термопары, на вход потенциометра подключен фильтр, состоящий из сопротивлений и конденсаторов.

Конструктивно потенциометр представляет собой стационарный прибор, все узлы которого размещены внутри стального корпуса.

Автоматические потенциометры, выпускаемые промышленностью, имеют одинаковую принципиальную измерительную схему, но разнообразное конструктивное исполнение. Они отличаются по габаритам, типу диаграммы, градуировке, пределам измерения, видам дополнительных устройств и т.д. В настоящее время преимущественно выпускаются входящие в систему ГСП автоматические потенциометры серии КС: КСП1, КСП2, КСП3, КСП4, а также КПП1, КВП1, ПСМ2.

3.7. Многоканальные мосты и потенциометры

Автоматические мосты и потенциометры с дисковой диаграммой служат для измерения, записи и регулирования температуры в одной точке. При измерении в двух, трех и более точках применяются несколько одноточечных приборов. Это способствует удорожанию технологической установки, усложняет обслуживание и затрудняет сопоставление результатов выдаваемой информации.

Запись в полярных координатах менее наглядна, а скорость вращения диска диаграммы постоянна и относительно мала. Приборы с вращающейся и показывающей шкалой не предусматривают записи.

В целях исключения этих недостатков применяются многоточечные приборы с записью на ленточной диаграмме. Они предназначены для измерения, регулирования и записи температуры в 3, 6, 12, 24 точках.

Принципиальные измерительные схемы многоточечных автоматических мостов и потенциометров не отличаются от измерительных схем одноточечных приборов. В отличие от одноточечных приборов многоточечные имеют соответствующее число чувствительных элементов (ТС или ТП 3, 6, 12, 24...), которые с помощью многопозиционного двухполюсного переключателя поочередно включаются в измерительную схему и измеряют параметр в соответствующей точке.

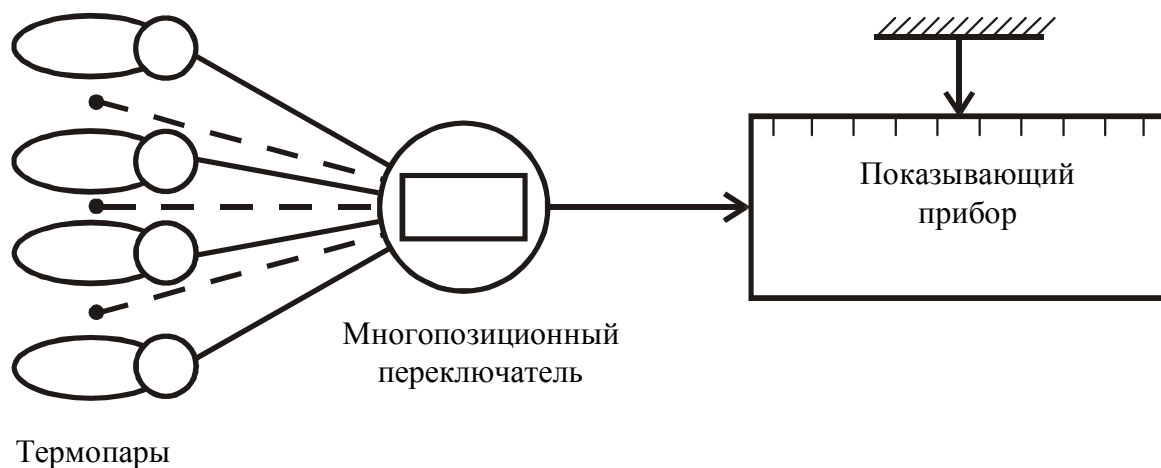


Рис. 3.8. Схема автоматического контроля опросного типа

Двухполюсный многопозиционный переключатель конструктивно выполнен из нескольких пар никелевых ламелей с двумя токосъемными кольцами, включенными в мостовую схему. Схема электросоединений определяется количеством точек измерения (1, ..., n). Панели с токосъемными кольцами соединяются при помощи подвижных серебряных контактов на обегавшем устройстве.

Многопозиционный переключатель может быть использован в системах автоматического контроля опросного типа (рис. 3.8). Более широкое применение он нашел в автоматических многоканальных приборах.

Многоканальный электронный автоматический мост (рис. 3.9) обеспечивает измерение температуры поочередно в каждом из термометров сопротивлений, подключаемых многопозиционным переключателем. Перемещение обегавшего устройства на включение термометров сопротивлений осуществляется автоматически синхронным двигателем. При включении любого из термометров сопротивлений измерение производится, как

одноточечным прибором. Некоторое отличие, наблюдаемое в работе системы выдачи информации, обусловлено особенностью ее конструкции:

шкала линейна и отсчет производится после уравнивания системы по расположению показывающей стрелки;

запись производится периодически в соответствии с заданным временем цикла измерения (1, 3, 5, 10, 25 с) печатающей кареткой;

печатающая каретка на профильной диаграммной ленте печатает символ (.1; .2 ...), что означает точки отсчета температуры и номер датчика.

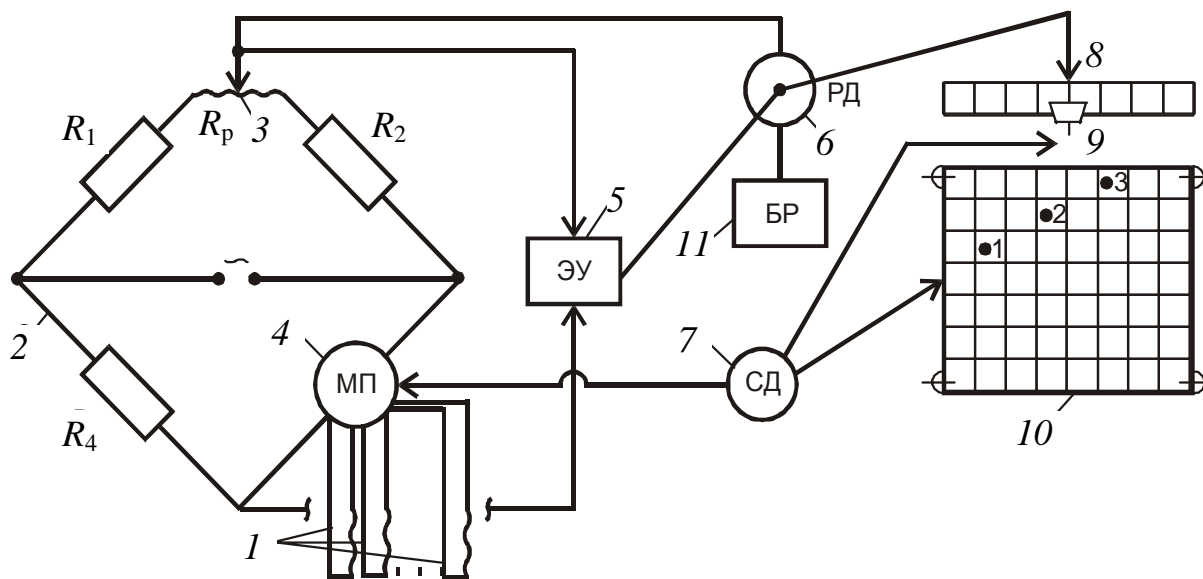


Рис. 3.9. Многоканальный электронный мост:

- 1 – термометр сопротивления; 2 – измерительный мост; 3 – реохорд;
- 4 – многопозиционный переключатель; 5 – электронный усилитель;
- 6 – реверсивный двигатель; 7 – синхронный двигатель; 8 – шкала отсчета;
- 9 – печатающая каретка; 10 – диаграммная лента; 11 – блок регулирования

Автоматические многоточечные потенциометры имеют в качестве датчиков термопары, а метод измерения потенциометрический. Несмотря на очевидные достоинства этих приборов и широкую распространенность их в практике автоматизации, периодичность измерения температуры и соответственно отсутствие у оператора времени для получения информации накладывает ограничения на их внедрение для автоматической защиты быстропротекающих пожаро- и взрывоопасных технологических процессов.

3.8. Дифференциально-трансформаторные приборы

Электронные дифференциально-трансформаторные приборы, предназначенные для автоматического измерения, записи и регулирования различных неэлектрических величин: давления, разрежения, уровня, расхода

и т.п., изменение которых может быть превращено с помощью чувствительных элементов: мембран, сильфонов, дифманометров, поплавков и т.п. в линейное перемещение. Приборы этого типа работают в комплекте с индукционным датчиком, который обеспечивает превращение неэлектрической величины в электрическую. Датчик с чувствительным элементом монтируется у объекта, на котором осуществляется автоматический контроль или регулирование. Измерительное устройство прибора выполнено по дифференциально-трансформаторной (индукционной) схеме (рис. 3.10), которая состоит из двух индукционных катушек, включенных соответствующим образом в одну схему и расположенных одна в индукционном датчике, вторая – в приборе.

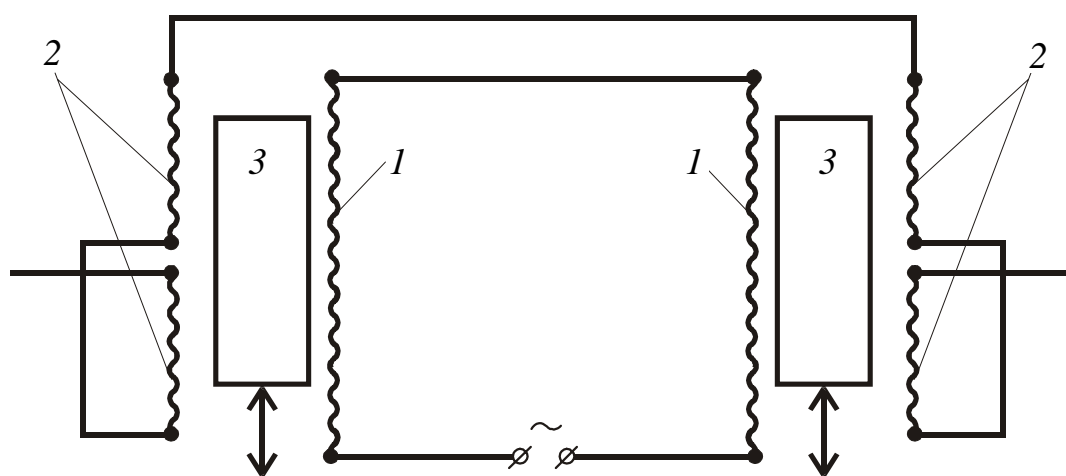


Рис. 3.10. Дифференциально-трансформаторная измерительная схема:
 1 – первичная обмотка; 2 – вторичная обмотка; 3 – сердечник

Каждая катушка имеет по одной первичной и вторичной обмотке. Первичная обмотка питается переменным напряжением 33 В от трансформатора-усилителя.

Вторичные обмотки выполнены в виде двух секций, каждая из которых расположена на половине всей длины катушки и имеет одинаковое количество витков. Концы каждой секции вторичной обмотки соединены между собой так, что ЭДС, индуцируемая в одной из секций, имеет направление, обратное ЭДС, индуцируемой в другой, т.е. индукция схемы электрически уравновешена. Если же сердечник сместится от среднего положения под воздействием чувствительного элемента (вследствие изменения регулируемой величины), то магнитный поток, пронизывающий вторичную обмотку, окажется различным для секций, в результате чего индуцируемые в них ЭДС не будут равны (ЭДС одной увеличивается, второй

уменьшается). Фаза и величина результирующей ЭДС зависит от направления смещения сердечника. При изменениях положений сердечников в катушках I и II появится напряжение небаланса, которое подается на вход электронного усилителя (рис. 3.11).

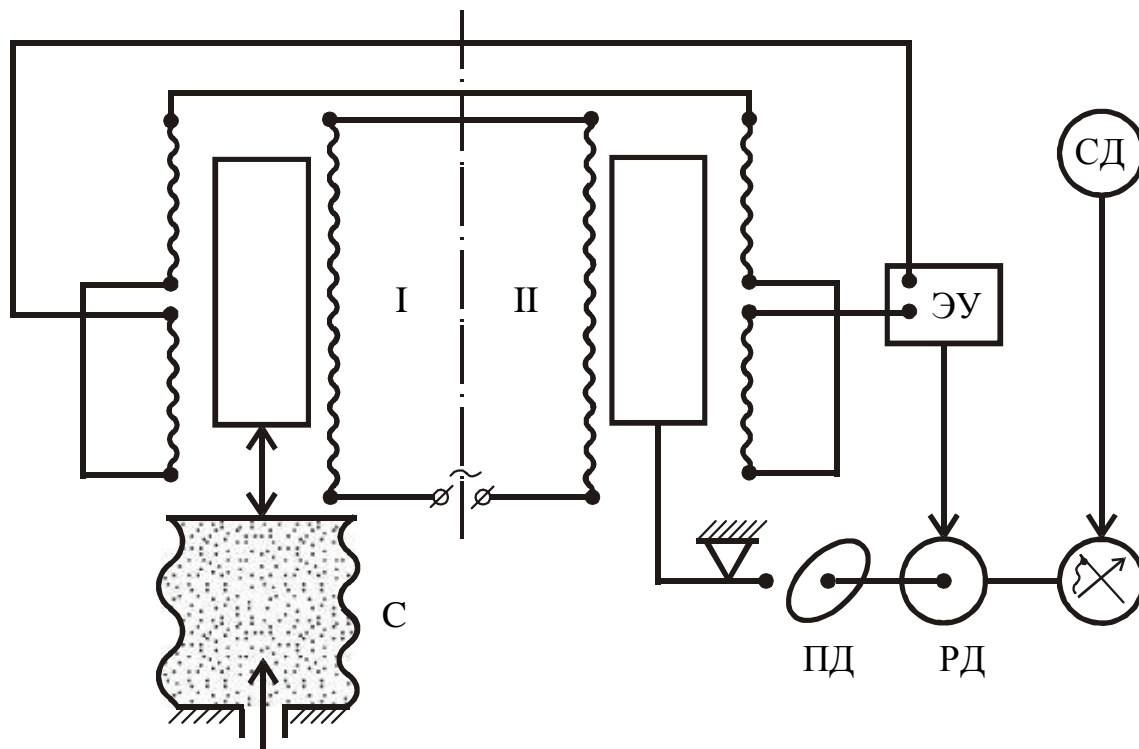


Рис. 3.11. Принципиальная схема прибора с индукционной схемой

Усиленный сигнал подается на управляющую обмотку реверсивного двигателя, ротор которого, вращаясь, приводит в действие укрепленный на его оси профилированный диск и сердечник катушки II в сторону уменьшения рассогласования до тех пор, пока ЭДС I и II катушек не будут равны. Одновременно реверсивный двигатель приводит в действие показывающую стрелку и записывающее перо. Синхронный двигатель производит вращение диска диаграммы.

Промышленностью выпускаются электронные потенциометры индукционного действия с записью на дисковой диаграмме с показывающей шкалой нормального или тропического исполнения: КСД1, КСД2, КСД3, КВПД (из серии ГСП).

3.9. Приборы с ферродинамическими измерительными схемами

Электронные приборы с ферродинамическими измерительными схемами предназначены для автоматического контроля и регулирования неэлектрических параметров, изменение значения которых может быть с по-

мощью чувствительных элементов преобразовано в перемещение рамки ферродинамического преобразователя (рис. 3.12).

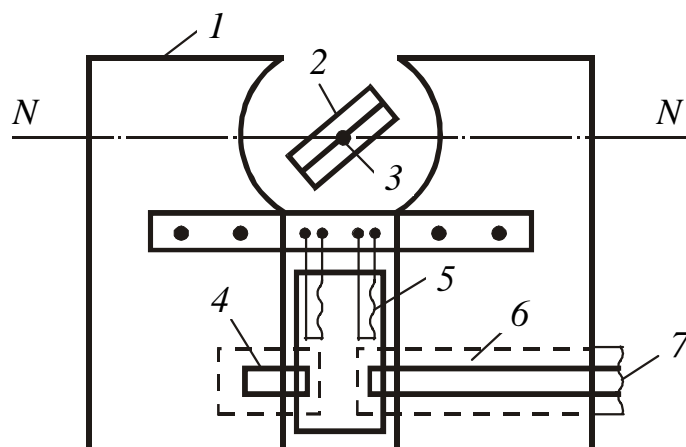


Рис. 3.12. Ферродинамический преобразователь:
1 – ярмо; 2 – рамки; 3 – сердечник; 4, 6 – плунжеры; 5 – катушка; 7 – контргайка

Ферродинамический преобразователь имеет магнитопровод, состоящий из ярма 1 и сердечника 3. В сердечнике на агатовых подпятниках установлена поворотная рамка 2. На магнитопроводе размещается катушка 5 с обмотками возбуждения ω_b и смещения ω_c . При питании обмотки возбуждения переменным током в магнитопроводе возникает магнитный поток, индуктирующий в рамке 2 и обмотке возбуждения ω_b . Величина магнитного потока зависит от воздушного зазора между плунжерами 4 и 6 в магнитопроводе. Изменяя этот зазор с помощью подвижного плунжера 4, можно изменить величину магнитного потока, а следовательно, и ЭДС рамки 2 (E_p) и обмотки возбуждения ω_b . Рамка связана с чувствительным элементом и может перемещаться в зазоре магнитопровода на угол 20° относительно нейтрали NN . Когда плоскость рамки совпадает с линией NN , магнитный поток не пересекает рамку и ЭДС в ней не индуктируется. При отклонении рамки от нейтрального положения в обе стороны наводимая в ней ЭДС будет пропорциональна углу поворота, т.е. значению измеряемого поворота параметра.

Введение в выходную цепь дополнительного сигнала от обмотки смещения позволяет получить различные характеристики преобразователя в тех же пределах изменения угла поворота рамки. Последовательное соединение нескольких ферродинамических преобразователей обеспечивает возможность сложения, вычитания и других действий с измерительными приборами. Принципиальная схема электронного прибора с ферродинамической измерительной схемой приведена на рис. 3.13.

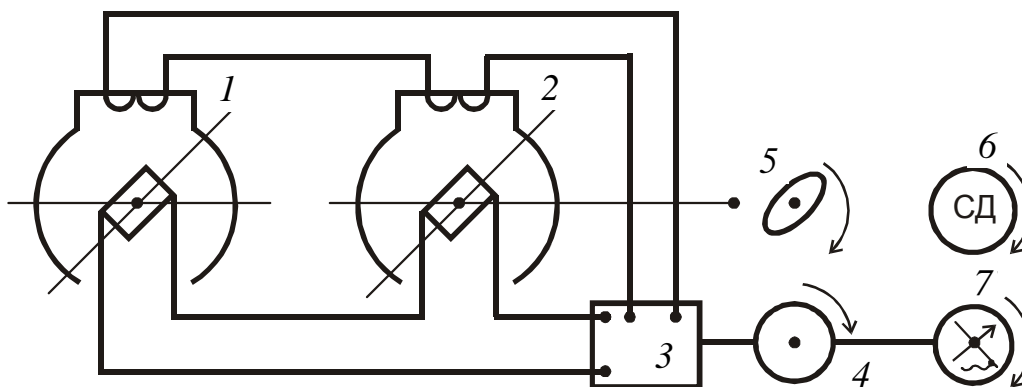


Рис. 3.13. Схема прибора с ферродинамическим преобразователем:
 1 – ферродинамический преобразователь датчика; 2 – ферродинамический преобразователь вторичного прибора; 3 – электронный усилитель; 4 – реверсивный двигатель; 5 – эксцентрик; 6 – синхронный двигатель; 7 – система записи и отсчета

Приборы с рассмотренной принципиальной схемой работают аналогично приборам с дифференциально-трансформаторной схемой. Как видно из схемы, угол поворота рамки 1 характеризует значение измеряемой величины, а соответствующее перемещение рамки 2 во вторичном приборе и приведенной схемы в равновесие осуществляются через эксцентрик. Данные приборы могут работать в комплекте с первичными преобразователями ферродинамическими или дифференциально-трансформаторными. Отечественной промышленностью выпускаются несколько типов рассмотренных приборов: КСФ1, КСФ3 и т.п.

Глава 4

АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВЗРЫВООПАСНОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

4.1. Автоматический аналитический контроль

Оснащение производства контрольно-измерительными и регулирующими приборами должно быть решено таким образом, чтобы оно представляло полную картину протекания технологического процесса. Среди средств автоматизации аналитические приборы занимают особое место, так как они позволяют автоматизировать производственные процессы не по косвенным показателям (температуре, расходу, уровню и т.п.), а непосредственно по составу сырья промежуточных и конечных продуктов, что особенно важно для производства, где обращаются горючие газы и жидкости.

Нарушение пропорции смеси этих веществ с воздухом или взаимного их соотношения (сероводород – воздух в печах дожига при производстве серы, кислород – этилен в реакторах при получении полиэтилена высокого давления и т.п.) может привести к взрыву, аварии, пожару. Существенное значение для таких производств имеет также контроль состава атмосферы с точки зрения токсичности и взрывоопасности, особенно в связи с интенсификацией технологических процессов и развитием нефтехимической и химической промышленности, в которых необходимо своевременное обнаружение горючих газов и паров в воздухе производственных помещений в концентрациях, значительно меньших взрывоопасных, и их локализация.

Обычные лабораторные анализы дают информацию только о промежуточном состоянии процесса, и, как правило, со значительным опозданием в отношении оперативной оценки сложившейся ситуации.

Автоматический аналитический контроль обеспечивает определение концентрации контролируемого компонента в анализируемой смеси, результат измерения прибор показывает или записывает, а в отдельных случаях выдает светозвуковой сигнал.

Прибор, автоматически или полуавтоматически определяющий количественный или качественный состав анализируемого вещества на основе измерения параметров, характеризующих его физические или физико-химические свойства, называется *анализатором*.

Полуавтоматический анализатор (индикатор) – устройство, предполагающее в своей работе наличие ручных операций по периодическому забору анализируемой смеси и в дополнительной обработке результатов анализа. Приборы такого типа не могут применяться в качестве элементов регулирующих систем и систем защиты.

Автоматический анализатор действует полностью автоматически и может служить в качестве элементов автоматических регулирующих систем, а также может быть использован в схемах автоматической защиты. Он представляет собой стационарное устройство непрерывного действия.

По принципу действия анализаторы разделяют на две группы. Анализаторы, основанные на физических принципах измерения, – это приборы, измеряющие некоторую физическую величину, зависимость которой от химического состава анализируемого вещества точно определена. Важным свойством этих анализаторов является то, что при измерении не происходит количественных изменений анализируемой смеси. Недостатком физических анализаторов является зависимость значений физических величин от давления, температуры и концентрации сопутствующих компонентов.

Анализаторы, основанные на физико–химических принципах измерения, измеряют параметры, сопровождающие химическую реакцию, в которой либо определяемое вещество участвует само, либо оно оказывает существенное влияние на химическую реакцию.

По числу определяемых компонентов анализаторы разделяются на одно- и многокомпонентные.

По физическому (агрегатному) состоянию анализируемого вещества анализаторы разделяются на анализаторы жидкостей, твердых веществ и газоанализаторы. Наиболее широко распространены газоанализаторы. Они могут быть объединены в зависимости от использования тех или иных физико-химических свойств определяемых веществ в следующие группы: тепловые, термохимические, термомагнитные, фотоколориметрические, оптико–акустические, спектральные, хроматографические.

4.2. Термохимические газоанализаторы

Для определения взрывоопасности газопаровоздушных сред пользуются газоанализаторами, определяющими концентрацию в воздухе того или иного горючего газа или пара. Оценка взрывоопасности среды производится путем сопоставления полученных данных со значениями нижних пределов воспламенения тех или иных газов или паров.

Среди методов, применяемых для определения горючих паров или газов, наибольшее распространение в мировой практике получил термохимический метод. Сущность термохимического метода заключается в том, что благодаря известному свойству некоторых металлов и окислов ускорять реакцию горючих газов и паров на своей поверхности удается выделить эти горючие газы и пары путем их каталитического сжигания.

Термохимические приборы, в основе которых лежит термохимический метод, могут быть разделены на три группы.

К *первой группе* относятся приборы, в которых реакция горения сопровождается выделением тепла, протекает на катализаторе (обычно платиновая нить), причем катализатор используется и как чувствительный элемент измерительной схемы.

К *второй группе* относятся приборы, в которых реакция протекает на насыпном катализаторе, а полезный тепловой эффект, сопровождающий реакцию, измеряется специальным термочувствительным элементом.

К *третьей группе* относятся приборы, в которых реакция протекает на твердых носителях, пропитанных каталитически активным раствором, а полезный тепловой эффект измеряется расположенным на носителе термочувствительным элементом (рис. 4.1).

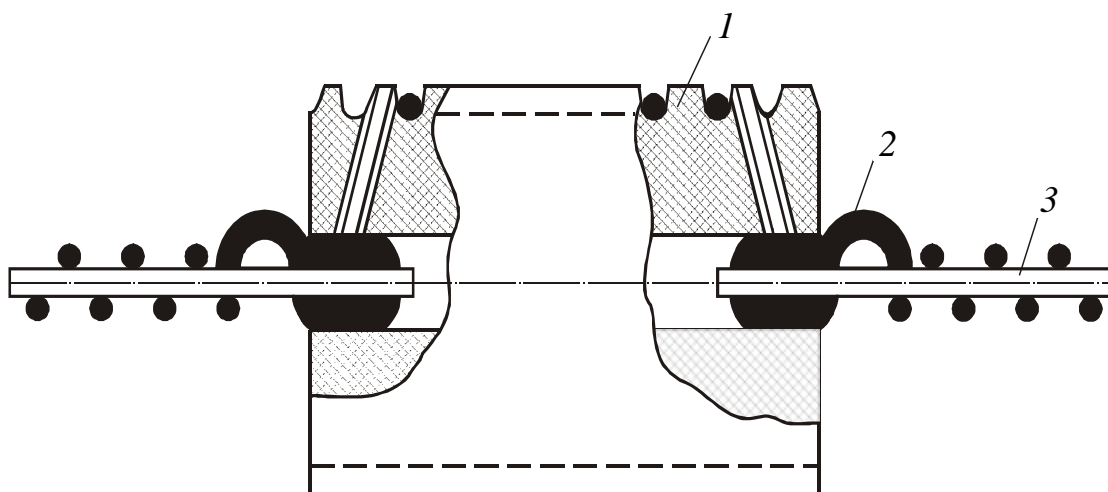


Рис. 4.1. Чувствительный элемент:

1 – цилиндр из γ -оксида алюминия; 2 – платиновая спираль; 3 – контактные выводы

Носителями обычно служат материалы, имеющие большую поверхность на единицу объема, такие, как активная окись алюминия, асбест. Для полного окисления газообразующих продуктов требуется температура более $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, катализаторы же снижают эту температуру.

Тепловой эффект и температуру измеряют компенсационным или нулевым методом измерения.

Первыми разработками в области приборов, определяющих степень загазованности производственных помещений горючими газами или парами, являются переносной газоанализатор горючих газов и паров типа ПГФ1 и в последующем его модификации ПГФ1-В1А, ПГФ2-В3Г в искробезопасном исполнении.

На основе ПГФ1 был разработан прибор ГБЗ для измерения концентраций этилированных бензинов. Для измерения концентраций бензина и метана разработан прибор МБ2. Первыми отечественными стационарными приборами были приборы типа СГГ – сигнализаторы горючих газов. Эти

приборы калибровались индивидуально на каждый анализируемый газ, что исключало их применение в случае наличия в воздухе смеси разных горючих газов и паров. Впервые примененные в шахтных условиях в качестве индикаторов взрывоопасных концентраций метана, эти приборы широко использовались в различных отраслях промышленности: химической, нефтяной, горнодобывающей, легкой и других, но в основном для определения концентраций в воздухе индивидуальных горючих веществ.

Потребности промышленности привели к разработке новых модификаций приборов, определяющих концентрации горючих паров или газов, независимо от того, какой горючий газ, пар или их смесь находится в воздухе. Принципиально новым в этих приборах является универсальная шкала, построенная на основе закономерностей горения различных горючих веществ в воздухе при нижнем концентрационном пределе воспламенения.

Повышение температуры платиновой нити при горении на ней газа выражается общей формулой, принятой при термохимических расчетах:

$$\frac{\alpha}{100} = \alpha_1 Q_n \left(1 - \frac{\beta}{100} \right) = \sum_{vc} \Delta t, \quad (4.1)$$

где α – полнота реакции; α_1 – число молей реагирующего вещества; Q_n – теплота сгорания; β – потери тепла в окружающую среду; Σ_{vc} – теплосодержание продуктов реакции и балластного газа; Δt – повышение температуры нити.

Из соотношения (4.1) имеем:

$$\Delta t = \frac{\alpha}{100} \alpha_1 \frac{Q_n}{\sum_{vc}} \left(1 - \frac{\beta}{100} \right). \quad (4.2)$$

При одних и тех же конструктивных параметрах камеры, где расположена рабочая спираль, коэффициент зависит только от теплопроводности газа и температуры нити.

Так как в анализируемой смеси находится небольшое количество горючих паров или газов, то без особой погрешности можно принять во всех случаях теплопроводность среды примерно одинаковой и мало отличающейся от теплопроводности воздуха.

Выражение Σ_{vc} при небольших примесях различных горючих паров и газов к воздуху также может быть принято постоянным, так как в основном оно определяется теплосодержанием воздуха, который во всех случаях составляет не менее 96 – 97 % смеси.

Следовательно, для прибора одного и того же типа формула (4.2) примет вид:

$$\Delta t = K\alpha\alpha_1 Q_n, \quad (4.3)$$

где K – константа, постоянная для данного типа газоанализатора.

Таким образом, при одинаковых конструктивных параметрах прибора повышение температуры платиновой нити при горении на ней различных горючих веществ является функцией теплоты сгорания данного вещества, его концентрации и полноты реакции:

$$\Delta t = f(Q_n, \alpha, \alpha_1). \quad (4.4)$$

Теплота сгорания Q_n многих паров горючих веществ близки между собой, а полнота реакции определяется условиями диффузии горючего вещества к нити, каталитической активностью нити, условиями конвекции и другими факторами.

Температура пламени для некоторых газозвудушных смесей на нижнем концентрационном пределе распространения пламени (НКПР) приведена в табл.4.1.

Таблица 4.1

Температура пламени для газозвудушных смесей на нижнем концентрационном пределе распространения пламени

Горючий газ	Нижний предел воспламенения, об. %	Температура пламени, °С
Метан	5,0	1225
Этан	2,9	1218
Пропан	2,1	1233
Бутан	1,8	1340
Пентан	1,4	1292
Гексан	1,3	1361
Гептан	1,0	1341

Как видно из табл. 4.1, температура пламени при горении различных горючих веществ в воздухе на нижнем концентрационном пределе распространения пламени – величина практически постоянная.

Установлено также, что на нижнем пределе воспламенения равные объемы смесей большого числа газов и паров выделяют одинаковое количество тепла.

Согласно законам теплового взрыва, достижение НКПР обуславливается равновесием между тепловыделением за счет экзотермичности процесса окисления и теплопотерями из зоны реакции. Так как основным содержанием смеси на НКПР является воздух, то можно полагать, что теплопотери для одних и тех же условий для любых газов будут определяться условиями теплоотвода практически через воздух, т.е. будут одинаковы.

Учитывая указанное выше условие предела теплового взрыва (равновесие между тепловыделением и теплопотерями из зоны реакции), можно

полагать, что для рассматриваемых смесей теплотворная способность элемента объема также будет одинакова. А если так, то и тепловой эффект, а значит, и повышение температуры будут на нижнем пределе воспламенения одинаковы для всех горючих паров и газов.

Более строго постоянство температуры горения газовых смесей на нижнем концентрационном пределе распространения пламени доказано Я.Б. Зельдовичем. Он получил количественное решение задачи определения пределов распространения пламени (пределов воспламенения), согласно которому температура горения на нижнем пределе воспламенения весьма слабо зависит от начальной температуры и состава смеси. Согласно этой теории, появление пределов распространения пламени (концентрационных пределов воспламенения) обуславливается неадиабатичностью процесса горения вследствие теплопотерь в окружающую среду. Наличие этих теплопотерь вызывает необходимость предположения конечных пределов значений скорости распространения пламени. Эти конечные значения определяют концентрационные пределы распространения пламени.

Если скорость пламени с учетом теплопотерь обозначить U , скорость пламени без учета теплопотерь \bar{U} и максимальную теоретическую температуру горения T , то соотношение между скоростями пламени при адиабатическом протекании процесса и учете теплопотерь выразится так:

$$U = U_0 e^{-\frac{\alpha E}{RT_{\text{теор}} - U^2}}, \quad (4.5)$$

где E – энергия активации; α – константа.

Я.Б. Зельдович установил, что уравнение (4.5) имеет нетривиальное решение только при

$$\frac{\alpha E}{2RT_{\text{теор}}^2} < \frac{U_0^2}{2e}. \quad (4.6)$$

Следовательно, распространение пламени возможно только при условии, если $U > \frac{U_0}{\sqrt{e}}$ или на пределе

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{e}}. \quad (4.7)$$

Дальнейшие преобразования приводят к тому, что

$$e^{-\frac{E}{2R}\left(\frac{1}{T_{\text{теор}}} - \frac{1}{T}\right)} = \sqrt{e}, \quad (4.8)$$

где T – истинная температура горения. Отсюда

$$\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{теор}}} \right) = 1 \quad (4.9)$$

или

$$T_{\text{теор}} - T = \frac{RT_{\text{теор}}^2}{E}. \quad (4.10)$$

Из уравнения (4.10) следует, что максимальное падение температуры горения на пределе от теоретической составляет:

$$\Delta T = \frac{RT_{\text{теор}}^2}{E}. \quad (4.11)$$

Это условие и есть количественное решение задачи пределов распространения пламени. Если в уравнении (4.11) T выразить через скорость химической реакции и константы, характеризующие теплоотдачу и т.п., то в результате для температуры горения на пределе получится трансцендентное уравнение. Поскольку в уравнении (4.11) есть экспонента, то решение его приводит к выводу, что температура горения на пределе весьма слабо зависит от начальной температуры и состава смеси, т.е. равные объемы смесей большого числа горючих паров и газов выделяют одинаковое количество тепла.

Теоретические предпосылки были экспериментально подтверждены, что послужило основанием для разработки универсальных приборов, определяющих суммарное содержание горючих газов и паров, модификаций СВК, СТХ, "ЩИТ", СТМ. Сравнительные характеристики современных стационарных термохимических газоанализаторов приведены в табл. 4.2. Схема принудительного забора контролируемой среды на анализ показана на рис. 4.2.

Таблица 4.2

Характеристики современных стационарных термохимических газоанализаторов

Тип газоанализатора	Количество датчиков/ взрывозащита	Вид забора смеси на анализ	Вид анализируемой смеси
СТХ - 18	1 1ExdibIIAT3	Диффузионный	Сумма горючих паров и газов в воздухе (C_x/H_y)
ЩИТ - 2	1 или 5 1ExdibIICT6	Принудительный и диффузионный	То же
СГГ-4М-4	1 1ExibdsIICT6	Диффузионный	«
СТМ-10	от 1 до 10 (1ExdIICT4)	Принудительный и диффузионный	«
СТМ-30 (4-20 мА, RS-232)	от 1 до 16 в группе (1ExdibIICT3)	Принудительный и диффузионный	«
ГАЗОТЕСТ-3001/3003	от 1 до 3 1ExibdsIICT6	Диффузионный	«

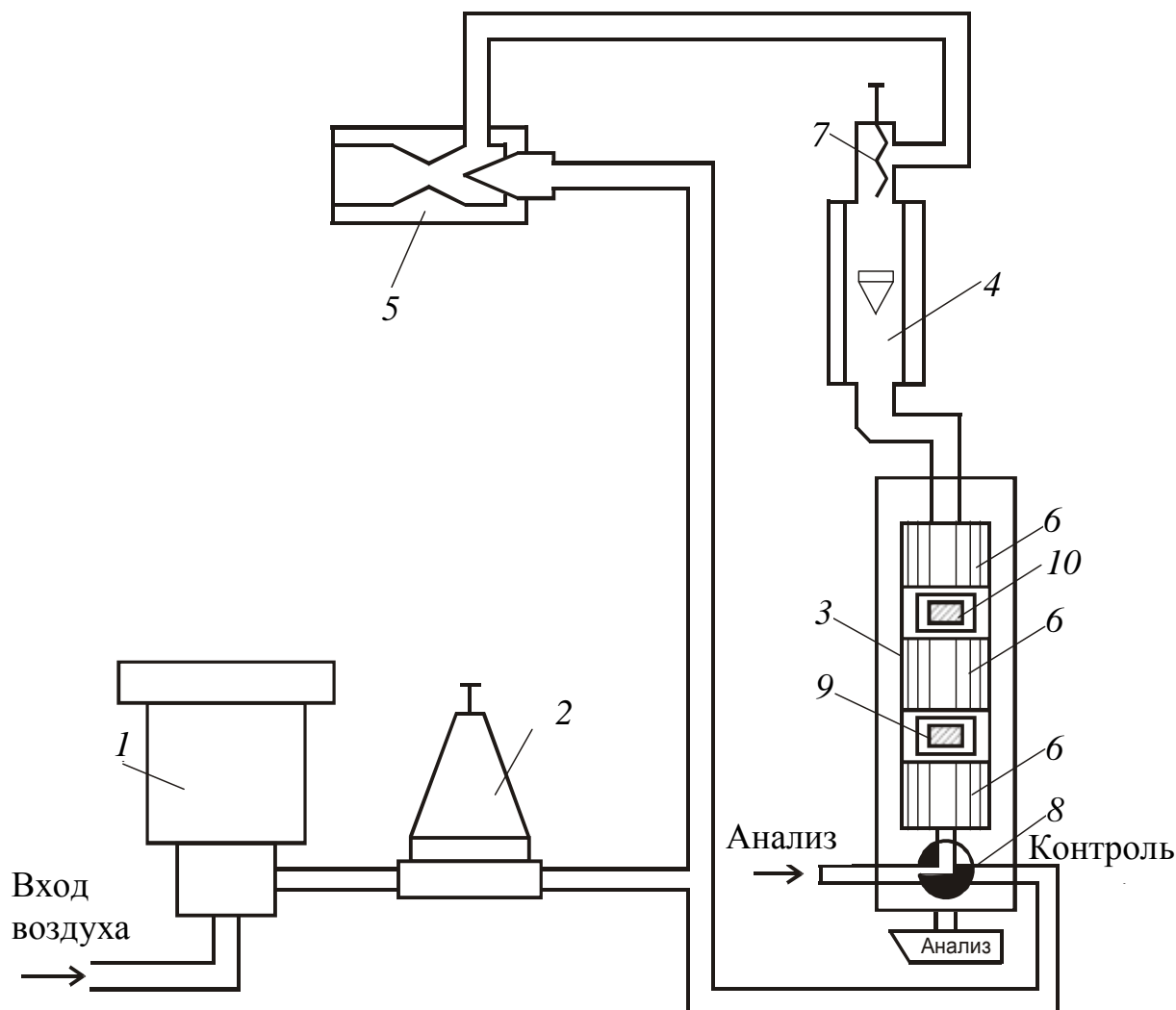


Рис. 4.2. Схема принудительного забора анализируемой смеси на анализ:
 1 – фильтр; 2 – редуктор давления; 3 – датчик; 4 – ротаметр; 5 – воздушный эжектор;
 6 – взрывозащитное устройство; 7 – вентиль ротаметра; 8 – кран-переключатель;
 9 – сравнительный чувствительный элемент; 10 – рабочий чувствительный элемент

4.3. Газоанализаторы, основанные на физических принципах измерения

Рассмотренные в п. 4.2 термохимические газоанализаторы наряду с очевидными достоинствами имеют и существенные недостатки: сравнительно большую величину запаздывания, потерю платиной, входящей в чувствительный элемент, своих свойств при наличии в анализируемой смеси примесей хлора, фтора и сернистых соединений и т.д. Эти обстоятельства привели к необходимости разработки газоанализаторов типа СВИ и СДК, обладающих более широкими возможностями в измерении концентраций горючих паров и газов.

Газоанализатор-сигнализатор типа СВИ представляет собой стационарное устройство периодического действия, предназначенное для сигнализации о наличии дозврывоопасных концентраций (до 20 % от НПВ) горючих газов, паров и их смесей в воздухе производственных помещений.

В работе сигнализатора используется принцип искусственного воспламенения горючей смеси во взрывной камере датчика. Метод искусственного воспламенения обеспечивает высокую универсальность сигнализатора за счет аддивности горючих свойств компонентов сложной газовой смеси и полноты прохождения реакции сгорания при взрыве. Схема газоанализатора приведена на рис. 4.3.

В функции устройств газовой смеси входят:

обеспечение и индикация прохождения исследуемого воздуха через датчик взрыва;

обогащение исследуемого воздуха горючим газом в строго определенном соотношении и поддержание этого соотношения постоянным;

обогащение исследуемого воздуха горючим газом до взрывной концентрации при автоматической и ручной проверках работоспособности прибора;

выдача пневмоимпульса при взрыве в датчике.

Сжатый воздух под давлением подается к эжектору. Исследуемый воздух, очищенный от пыли и механических примесей в фильтре 1, с расходом 90 л/ч \pm 10 % просачивается через диафрагму 9, нормально открытый клапан 10 и диафрагму 11 под действием разряжения, создаваемого эжектором (режим–анализ). Давление потока исследуемого воздуха воспринимается мембраной пневматического стабилизатора 7.

Обогащенный горючий газ из баллона или трубопровода, очищенный от пыли и механических примесей фильтром 2, поступает на редуктор (РГ–2А) 5, которым устанавливается необходимое рабочее давление, проходит через управляющий орган сопло–заслонку пневматического стабилизатора и диафрагму 8.

Пневматический стабилизатор поддерживает давление обогащающего горючего газа, равным давлению исследуемого воздуха, вследствие чего на диафрагмах 8, 9, 11 обеспечивается одинаковый перепад давлений, а следовательно, и постоянное соотношение расходов. Значение соотношения определяется размерами отверстий диафрагм.

Контролируемая смесь, обогащенная горючим продуктом, поступает через ротаметр 12 в камеру взрыва 4, а оттуда через эжектор на сброс в атмосферу. Количество добавляемого горючего газа выбирается такое, чтобы обеспечить заданную сигнальную точку прибора.

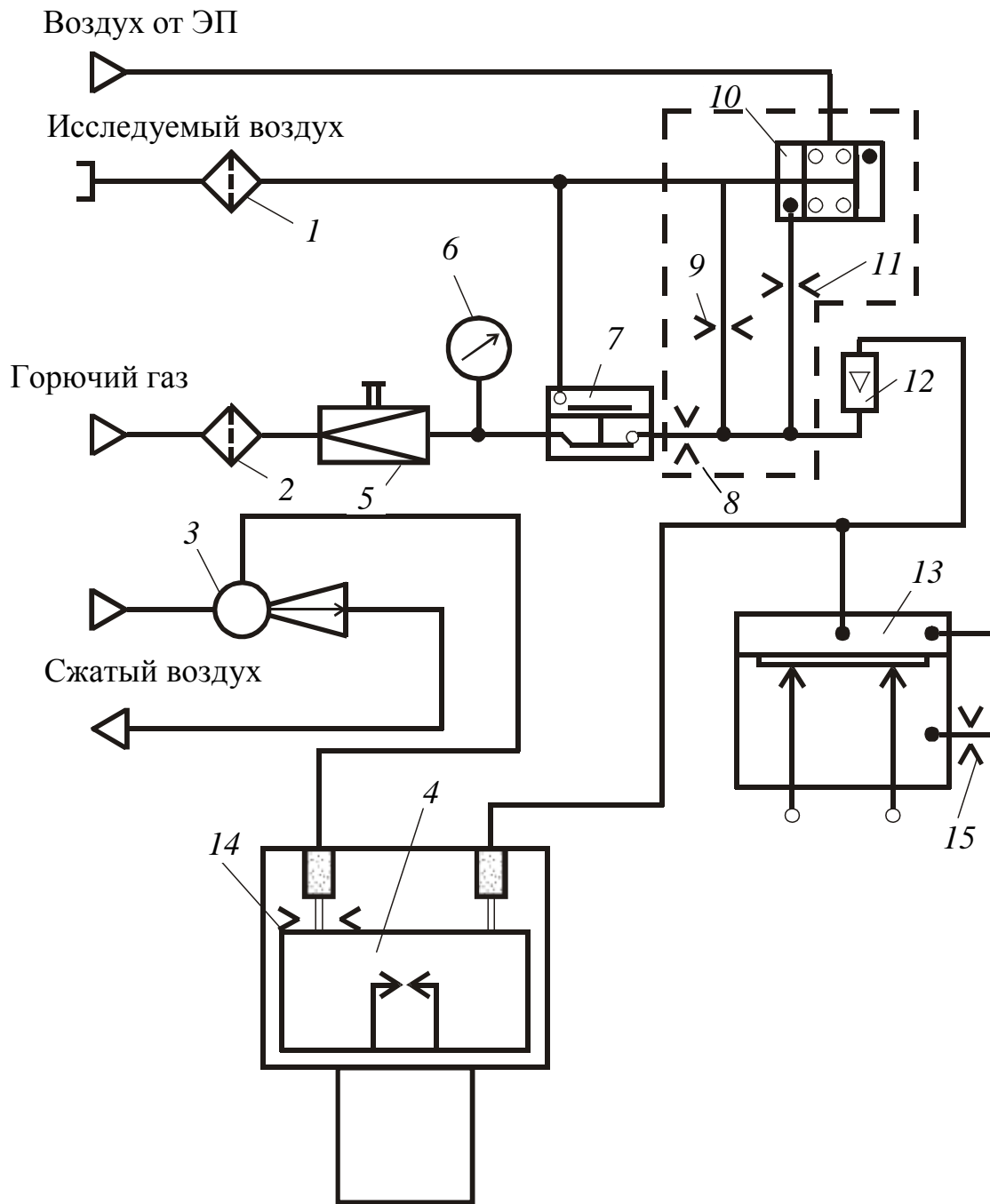


Рис. 4.3. Принципиальная схема СВИ:
 1, 2 – фильтры; 3 – эжектор; 4 – камера сгорания (взрыва);
 5 – редуктор газовый; 6 – манометр; 7 – пневматический стабилизатор;
 8, 9, 11, 14, 15 – диафрагмы; 10 – клапан; 12 – ротаметр; 13 – детектор взрыва

Таким образом, если горючие продукты содержатся в воздухе в количестве, соответствующем сигнальной точке прибора, то газоанализатор обеспечивает сигнализацию при взрыве в камере.

Давление, возникающее в камере взрыва, воспринимается мембраной детектора 13, жесткий центр которой замыкает выходные контакты. При этом срабатывает сигнализация "опасность".

При проверке работоспособности основных узлов сигнализатора (автоматическая и ручная проверка) подается пневмосигнал от электропневматического клапана "воздух от ЭП" на клапан 10, который закрывается и поток контролируемого воздуха через диафрагму 11 не проходит.

В связи с уменьшением количества исследуемого воздуха (поток идет только через диафрагму 9) концентрация обогащающего горючего газа в смеси повышается до взрывной и при поджигании его в камере происходит взрыв.

При наличии неисправности в каком-либо узле прибора контрольного взрыва не происходит, и в этом случае срабатывает сигнализация "НЕИСПРАВНО".

Электрическая схема газоанализатора выполнена на полупроводниках. В функции устройств электрической схемы входит:

- периодическая подача искры во взрывную камеру датчика;
- фиксация взрыва в датчике и выдача сигнала "ОПАСНОСТЬ";
- автоматическая и ручная проверки работоспособности основных узлов изделий;

- отключение питания датчика при неисправности системы искрообразования.

Периодическая подача искры во взрывную камеру датчика производится по сигналам от командного устройства, которое один раз в 30 с включает на 0,2-0,5 с управляемый диод, и выпрямленный ток напряжением 350 В поступает в систему искрообразования. Фиксация взрыва в датчике осуществляется детектором взрыва нормального исполнения, который выдает сигнал в виде замкнутого контакта. При этом в цепи, соединяющей детектор взрыва с блоком управления, протекает ток искробезопасного значения, поступающий на вход усилителя мощности.

Усилитель мощности выполнен на транзисторе и магнитоуправляемом контакте, который замыкается при срабатывании детектора взрыва.

При включении магнитоуправляемого контакта срабатывает реле, которое блокируется и одновременно включается лампа индикатора "ОПАСНОСТЬ".

Ручная и автоматическая проверки работоспособности газоанализатора осуществляются следующим образом. Если при подаче в камеру датчика взрыва взрывоопасной смеси происходит контрольный взрыв, то это свидетельствует о работоспособности прибора, если взрыва нет, то выдается сигнал "НЕИСПРАВНОСТЬ".

Газоанализатор–сигнализатор типа СДК представляет собой стационарный прибор промышленного изготовления, предназначенный для

непрерывного контроля и автоматической сигнализации о наличии дозрывоопасных концентраций горючих паров или газов органических веществ, а также их смесей в воздухе производственных помещений. В зависимости от условий работы сигнальная концентрация варьируется в пределах 20–50 % от нижнего предела воспламенения. Поскольку чувствительность газоанализатора связана с величинами НКПР органических веществ, он отградуирован на дозрывоопасную концентрацию метана и сигнализирует о близких по значению дозрывоопасных концентрациях контролируемых органических веществ.

Газоанализатор состоит из блока преобразователя датчика и электронного блока. Работа датчика основана на ионизации молекул органических веществ в пламени водорода, созданном в ионизационной камере с последующим измерением ионизационного тока.

При отсутствии органических веществ водородное пламя обладает очень низкой электропроводностью, а возникающий при этом фоновый ионизационный ток составляет 10^{-12} А. Появление в водородном пламени органических веществ и последующая их ионизация приводят к резкому увеличению ионизационного тока по сравнению с его фоновым значением до 10^{-7} А. Изменение ионизационного тока пропорционально количеству органических веществ, поступивших в пламенно–ионизационную камеру датчика (рис. 4.4).

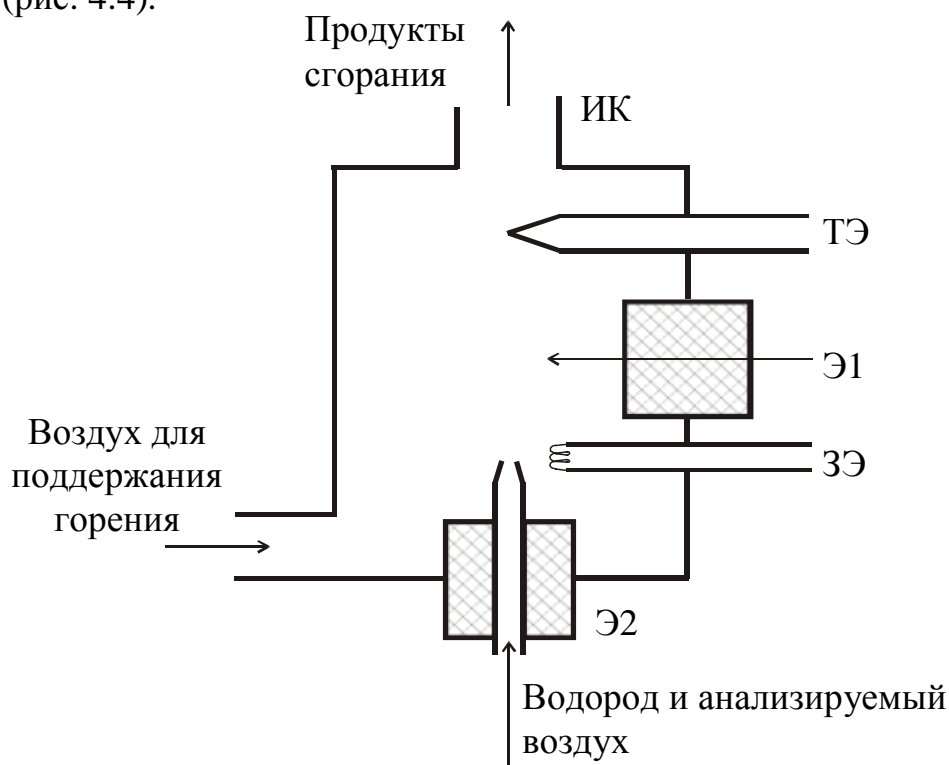


Рис. 4.4. Пламенно-ионизационная камера:

ТЭ – термочувствительный элемент; ЗЭ – зажигающий элемент; Э1, Э2 – электроды

Пламенно-ионизационная камера содержит коллекторный электрод Э1, электрод Э2, зажигающий элемент ЗЭ и термоэлемент ТЭ. На электрод Э2 с блока электроники подается стабилизированное напряжение постоянного тока, равное 300 В. На зажигающий элемент в момент включения подается переменное напряжение, равное 6,3 В. Термоэлемент связан с миллиамперметром, который служит индикатором горения пламени. К ионизационной камере подводятся два газовых потока: поток смеси водорода с анализируемым воздухом и поток воздуха для поддержания горения.

Электропневматическая схема газоанализатора приведена на рис. 4.5.

Блок преобразователя-датчика (ПД) (см. рис. 4.5) представляет собой панель 1, на которой размещены: датчик типа ДКО (датчик контроля органики) 2 и элементы формирования, очистки и стабилизации газовых потоков, манометры 3, редуктор давления воздуха 4, фильтры контрольные 5, насос-осушитель 6, дроссель 7, регулятор перепада давлений 8, электронный блок 9.

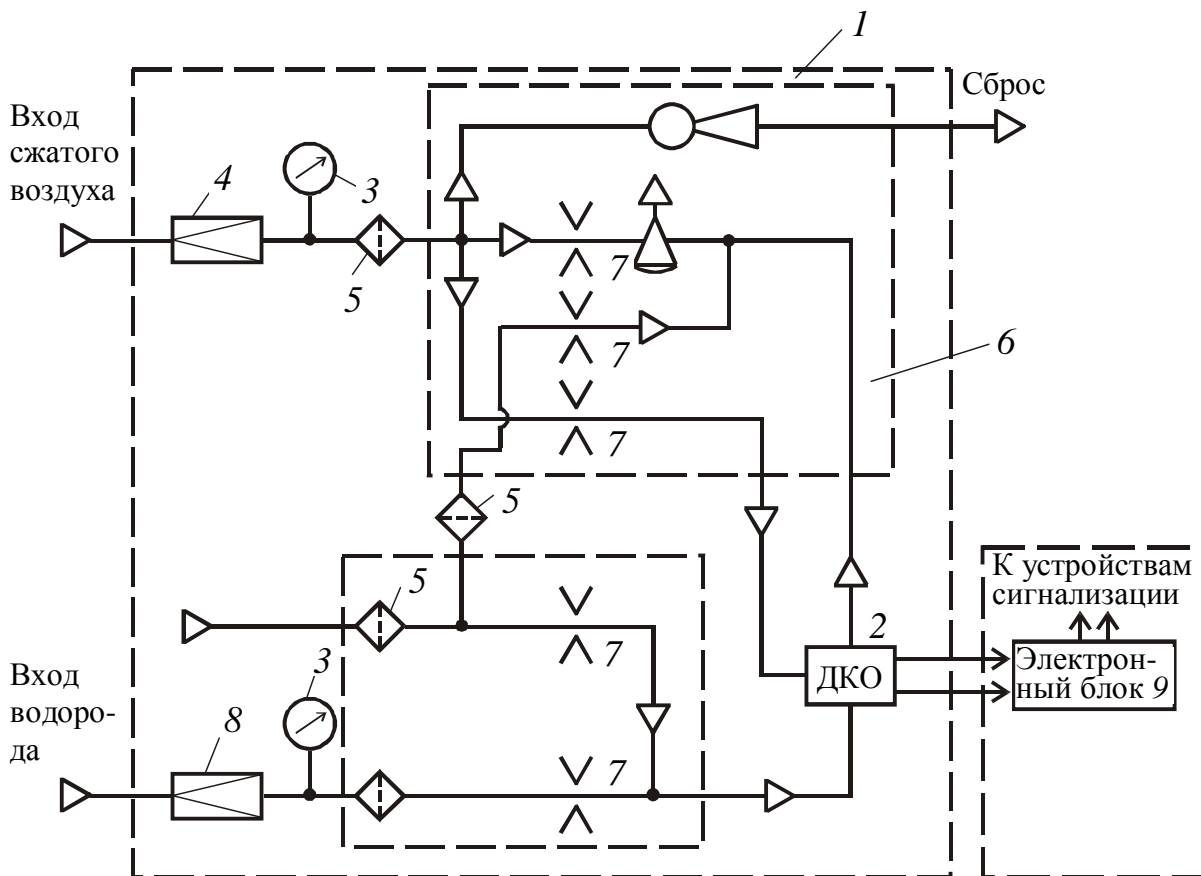


Рис. 4.5. Электропневматическая схема СДК:

- 1 – блок преобразователя-датчика; 2 – датчик контроля; 3 – манометры;
 4 – редуктор давления; 5 – фильтры; 6 – насос-осушитель; 7 – дроссель;
 8 – регулятор перепада давлений; 9 – электронный блок

Газовые потоки между элементами блока ПД имеют следующее назначение:

- подача водорода из регулятора перепада давлений в дроссель;
- подача водорода и контролируемого воздуха из дросселя в датчик;
- увеличение скорости отбора воздуха из помещения и уменьшение времени запаздывания газоанализатора (безопасный поток);
- подача сжатого воздуха из редуктора давления воздуха в насос-осушитель;
- подача воздуха для поддержания горения из насоса-осушителя в датчик;
- выброс продуктов сгорания из датчика в насос-осушитель.

Ионизационный ток измеряется полупроводниковым усилителем постоянного тока с пороговой регистрацией сигнала, выполненным по схеме с преобразованием сигнала постоянного тока в сигнал переменного тока с последующим детектированием.

Усилитель состоит из измерительного резистора автогенераторного преобразователя, представляющего собой генератор с модулятором в цепи обратной связи, усилителя напряжения переменного тока, детектора, нагруженного на электромагнитное реле, и источника компенсационного опорного напряжения.

В электронном блоке, смонтированном в корпусе, расположены: усилитель постоянного тока, выпрямители питания ионизационной камеры и усилителя, источник питания зажигающего элемента и индикатор пламени. На панели блока расположены: тумблер "ВКЛЮЧЕНА СЕТЬ" с сигнальной лампой, кнопка зажигания и индикатор пламени.

Датчик газоанализатора СДК выполнен взрывобезопасным с уровнем взрывозащиты 1ExdibsIICT5. Электронный блок имеет нормальное исполнение и должен устанавливаться в невзрывоопасных помещениях на расстоянии от датчика до 100 м.

4.4. Динамические характеристики автоматических газоанализаторов

Показание газоанализатора должно соответствовать действительной концентрации измеряемого компонента. Однако на результаты измерения большое влияние оказывают параметры состояния: прежде всего температура, давление, а также изменение концентрации сопутствующих компонентов. В некоторых случаях на показание газоанализатора влияет изменение расхода. Для многих анализаторов необходимо стабилизировать напряжение электрического питания и исключить влияние колебаний частоты сети.

Влияние температуры на показания анализатора обычно устраняется термостатированием или дифференциальным измерением. В некоторых случаях применяются специальные способы для устранения влияния колебаний температуры и давления на показания прибора.

Влияние температуры будет тем слабее, чем больше дополнительное сопротивление по сравнению с внутренним сопротивлением измерительной системы. Обычно газоанализаторы и измерительные приборы устанавливаются в местах, наиболее защищенных от колебаний температуры. Если показания газоанализатора зависят от давления, то необходимо учитывать изменения барометрического давления, а в отдельных случаях и влияние высоты над уровнем моря. Например, при разнице высоты над уровнем моря по сравнению с местом, где газоанализатор был отградуирован, в 10 м атмосферное давление воздуха изменится примерно на 0,12 %, и на такое же значение может измениться показание газоанализатора. При изменении высоты над уровнем моря на 500 м ошибка составляет около 5 %.

Количество подаваемой на анализ смеси является также важным фактором, сказывающимся на точности анализатора. Выбором конструкций газоанализаторов удается исключить влияние расхода на показания. Особенно это касается газоанализаторов, работающих по принципу теплопроводности или теплоты реакции. Если применены так называемые диффузионные камеры, то влияние расхода будет минимальным. Наоборот, при использовании проточных камер необходимо обеспечить точное поддержание расхода.

Газоанализаторы предназначены для измерения величин, которые изменяются во времени. Между отбором пробы и достижением конечного (установившегося) значения всегда проходит время, которое нежелательно при использовании анализаторов в схемах автоматического регулирования, поскольку оно ухудшает устойчивость регулирования при сигнализации о наличии горючих паров или газов в производственных помещениях и на открытых площадках. В общее время запаздывания анализатора входит транспортное запаздывание и время запаздывания показаний анализатора [11]:

$$\tau_{\text{зап}} = \tau_{\text{тр}} + \tau_{\text{зап.газ}}, \quad (4.12)$$

где $\tau_{\text{зап}}$ – общее время запаздывания; $\tau_{\text{тр}}$ – транспортное запаздывание; $\tau_{\text{зап.газ}}$ – время запаздывания газоанализатора.

Транспортное запаздывание – это время, необходимое для транспортирования анализируемой смеси от места отбора пробы до входа в корпус газоанализатора.

Транспортное запаздывание $\tau_{\text{тр}}$ определяется по формуле

$$\tau_{\text{тр}} = \frac{Spl}{Q}, \quad (4.13)$$

где l – длина подводящего трубопровода, м; p – давление в трубопроводе, Па; S – площадь сечения трубопровода, м²; Q – расход пробы, л/с.

В общем запаздывание входит и запаздывание показаний газоанализаторов. Каждый газоанализатор обладает определенным запаздыванием показаний, которое зависит от принципа его действия и от его конструкции.

Газоанализатор можно представить в виде многоемкостного звена, образованного последовательно соединенными емкостями и сопротивлениями. Динамические свойства такого звена можно с достаточной точностью выразить линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами. Для звена с n емкостями, т.е. для системы n -го порядка можно написать следующее дифференциальное уравнение:

$$a_n y^n + a_{n-1} y^{n-1} + \dots + a_1 y^1 + a_0 y^0 = x, \quad (4.14)$$

где y – выходная величина (показание анализатора); x – входная величина (например, у анализатора – это концентрация); a_n, a_{n-1}, a_1, a_0 – постоянные коэффициенты; y^n, y^{n-1}, y^1, y^0 – соответствующие производные выходной величины.

Каждый газоанализатор является статической системой, т.е. при скачкообразном изменении измеряемой величины до некоторого значения показание анализатора также устанавливается на соответствующем новом значении.

4.5. Условия эксплуатации и правила установки газоанализаторов

Условия эксплуатации, особенности монтажа и порядок установки автоматических стационарных газоанализаторов-сигнализаторов регламентированы "Правилами пожарной безопасности при эксплуатации предприятий химической промышленности" (ВНЭ 5-79), "Общими правилами взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (ПБ-09-170-97)", "Требованиями к установке сигнализаторов и газоанализаторов" (ТУ-газ-86) и инструкциями заводов-изготовителей. В соответствии с этими документами проектные организации определяют тип, количество газоанализаторов и места отбора проб газопаровоздушных смесей с учетом местных условий, физико-химических и взрывопожароопасных свойств обращающихся веществ и технологических особенностей производства.

Блоки сигнализации и питания газоанализаторов изготавливаются в обыкновенном исполнении с маркировкой IP00 или IP20 по ГОСТ 12997-84 и должны быть установлены за пределами взрывоопасных зон. Датчики и блоки датчиков выполнены взрывозащищенными с маркировкой взрывозащиты IExdIICT4 или IExdibIICT6 по ГОСТ 12.2.020-76 и могут эксплуатироваться во взрывоопасных зонах помещений всех классов и наружных

установок согласно "Правилам устройства электроустановок" (ПУЭ) и другим документам, регламентирующим применение электрооборудования во взрывоопасных условиях.

Содержание механических, агрессивных примесей: хлора, серы, фосфора, мышьяка, сурьмы и их соединений в окружающей и контролируемой среде, отравляющих каталитически активные элементы датчика, не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК).

Автоматические газоанализаторы могут эксплуатироваться в следующих условиях:

температура окружающей и контролируемой среды:

от -45 до $+50$ °С – для датчиков;

от $+1$ до $+50$ °С – для блока датчика и блока сигнализации и питания;

относительная влажность окружающей и контролируемой среды до 90 % при температуре 25 °С.

Газоанализаторы, укомплектованные датчиками с принудительной подачей контролируемой среды, требуют наличия в месте установки датчика линии сжатого воздуха давлением от 0,25 до 0,6 МПа (от 2,5 до 6 кгс/см²). Объемный расход контролируемой среды через датчик, в соответствии с техническим описанием прибора, устанавливается в пределах 25 – 48 л/ч.

Согласно ТУ-газ-86, сигнализаторы дозврывоопасных концентраций необходимо устанавливать во взрывоопасных зонах классов В-1а, В-1б, В-1г, а также в заглубленных помещениях с нормальной средой, куда возможно затекание горючих газов и паров. Вторичные приборы газоанализаторов должны автоматически включать светозвуковую сигнализацию, оповещающую о наличии опасных концентраций взрывоопасных и вредных веществ.

В случаях необходимости, определяемой проектной организацией, от импульса датчиков дозврывных концентраций предусматривается автоматическое отключение технологического оборудования или включение системы защиты.

Световой и звуковой сигналы о наличии взрывоопасных концентраций подаются для постоянно обслуживаемых помещений – в загазованное помещение, для периодически обслуживаемых помещений – у входа в помещение. Данные сигналы также одновременно подаются в операторную или пункт управления производственным комплексом.

Сигналы о срабатывании датчика сигнализатора дозврывных концентраций, установленного на открытой площадке, необходимо подавать в операторную или пункт управления производственным комплексом – световой и звуковой; на открытую площадку – только звуковой.

Световая сигнализация оформляется в виде светового табло, устанавливаемого в хорошо обозреваемом месте, отдельно от сигнализации параметров технологического контроля.

В производственных помещениях с наличием аварийной вытяжной вентиляции блоки сигнализации и питания блокируются с пуском аварийной вентиляции. Она должна автоматически включаться в работу при срабатывании датчиков газоанализаторов.

Монтаж газоанализаторов и подвод электрических цепей к ним проводится в строгом соответствии с действующими "Инструкцией по монтажу электрооборудования силовых и осветительных цепей взрывоопасных зон ВСН-332-74/ММС-СССР", гл.4.3 ПУЭ-2000, гл.ЭЗ-13 "Электроустановки взрывоопасных производств ПТЭ ПТБ" и с техническим описанием на приборы. Для соединения датчика с блоком сигнализации и питания рекомендуется использовать кабель типа РПШЭ 4×1,5 (РПШЕ 4×1,5) или любой другой четырехжильный кабель с наружным диаметром не менее 0,8 и не более 12,5 мм и сопротивлением каждой жилы не более 8 – 10 Ом при длине, равной расстоянию от датчика до блока сигнализации и питания. Электрическое сопротивление изоляции цепей датчика должно быть не менее 20 МОм.

Каждый блок сигнализации и питания заземляется с помощью заземляющего зажима медным проводом сечением 2 – 3 мм². Сопротивление цепи заземления должно составлять не более 4 Ом.

Устанавливаются газоанализаторы в наиболее опасных производственных помещениях с точки зрения возможности образования взрывоопасных смесей (компрессорные горючих газов, насосные сжиженных газов, насосные и складские помещения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей). Поэтому отбор проб контролируемого воздуха к датчикам сигнализаторов и газоанализаторов предусматривается в местах наиболее вероятного выделения и скопления газов и паров в зависимости от их свойств, количества, а также конструктивных особенностей технологического оборудования с соблюдением при этом указаний, изложенных в гл.2 ТУ-газ-86.

В помещениях компрессорных датчик сигнализатора устанавливается у каждого компрессорного агрегата в районе возможных источников утечек перекачиваемой среды (сальники, лабиринтные уплотнения и т.д.) на расстоянии не более 1 м (по горизонтали) от них.

В помещениях насосных сжиженных газов монтируется один датчик сигнализатора довзрывных концентраций на насос или группу насосов при условии, если расстояние от датчика до наиболее удаленного места возможных утечек в этой группе насосов не превышает 3 м (по горизонтали).

В помещениях насосных легковоспламеняющихся жидкостей, а также в других взрывоопасных помещениях предусматривается одно пробоотборное устройство сигнализатора довзрывных концентраций на группу насосов, аппаратов или другого оборудования, при этом расстояние от пробоотборного устройства до наиболее удаленной точки возможных утечек в этой группе насосов, аппаратов или другого оборудования не должно превышать 4 м (по горизонтали). Пример размещения датчиков сигнализаторов во взрывоопасных помещениях приведен на рис. 4.6.

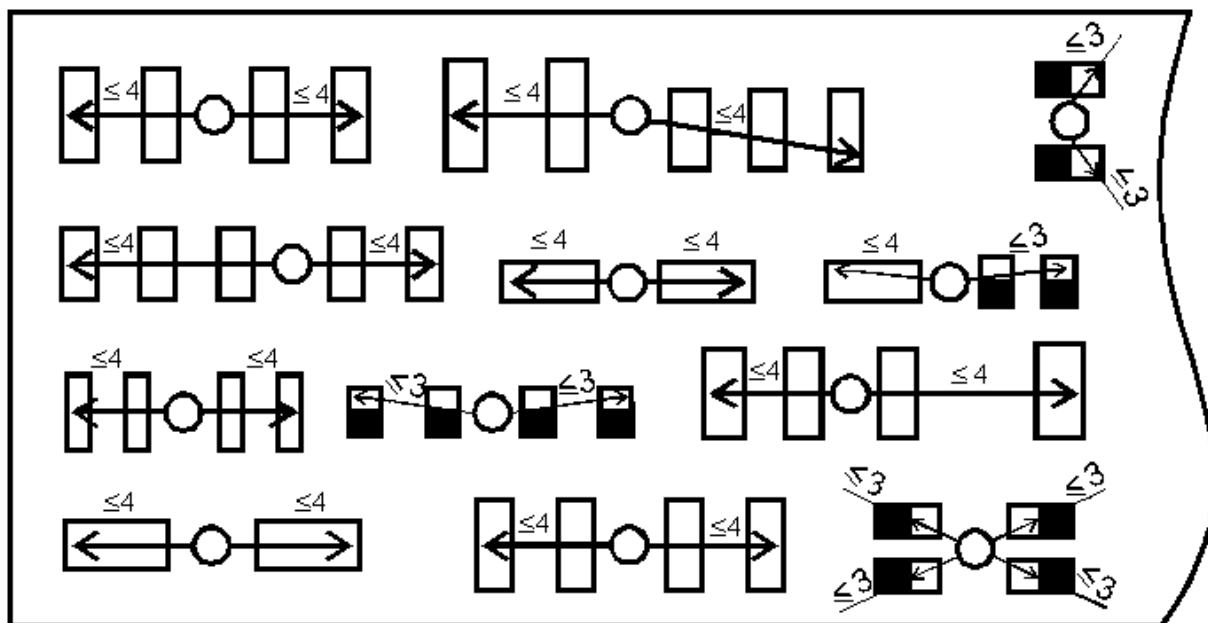


Рис. 4.6. Пример расположения датчиков сигнализаторов довзрывоопасных концентраций в насосных сжиженных газов и ЛВЖ (М:100):

- – места установки датчиков; □ – насосы, перекачивающие ЛВЖ;
- □ – насосы, перекачивающие сжиженные газы

В заглубленных помещениях насосных сточных вод, оборотного водоснабжения и др., куда возможно затекание взрывоопасных газов и паров извне, а также складских помещениях при хранении в них ЛВЖ и горючих газов устанавливается по одному пробоотборному устройству на каждые 100 м^2 площади помещения, но не менее одного датчика на помещение.

Пробоотборные устройства сигнализаторов довзрывных концентраций размещаются по высоте помещений в соответствии с плотностью газов и паров по воздуху (приложение 1 ТУ-газ-86) следующим образом:

при выделении легких газов с плотностью по воздуху не менее 1 – над источником;

при выделении газов с плотностью по воздуху от 1 до 1,5 – на высоте источника или ниже его;

при выделении газов и паров с плотностью по воздуху более 1,5 – не выше 0,5 м от пола.

При наличии в производственном помещении смеси горючих газов и паров с различными плотностями пробоотборные устройства сигнализаторов размещаются по высоте, исходя из плотности того компонента смеси, для которого величина соотношения $C/НКПР$ –наибольшая, где C – концентрация компонента в смеси. НКПР и C независимо друг от друга могут быть в любых единицах измерения, но одинаковых для всех компонентов смеси.

Если установка сигнализаторов и газоанализаторов производится в помещениях с неплотными или решетчатыми междуэтажными перекрытиями, каждый этаж следует рассматривать как самостоятельное помещение. Допускается (за исключением компрессорных и насосных сжиженных газов) применять автоматические переключатели для попеременной подачи проб контролируемого воздуха от нескольких точек отбора к одному датчику. При этом периодичность анализа для каждой точки отбора не должна превышать 10 мин.

Газоподводящие линии к датчикам сигнализаторов и газоанализаторов выполняются из коррозионно–устойчивых труб с внутренним диаметром от 6 до 12 мм. В месте отбора проб анализируемого воздуха они заканчиваются обращенными вниз воронками высотой от 100 до 150 мм и диаметром от 50 до 100 мм. Время запаздывания поступления проб к датчику за счет длины газоподводящих линий не должно превышать 60 с.

Правила размещения датчиков газоанализаторов на открытых технологических установках (ОТУ) несколько отличаются от правил размещения датчиков в производственных помещениях. Это обусловлено, во-первых, высокой вероятностью образования зон взрывоопасных концентраций на промышленной территории ОТУ как при нормальном (регламентном) режиме работы технологического оборудования, так и при аварийной разгерметизации (полной или частичной) аппаратов, технологических трубопроводов, приводящей к мгновенному выбросу большого количества углеводородного топлива, загазованности территории и образованию облака топливовоздушной смеси (ТВС). Во-вторых, большим числом факторов, влияющих на рассеивание взрывоопасного облака (скорость и направление ветра на момент аварии, характеристика и производительность источника выброса, рельеф местности, состояние атмосферы и т.д.) и, следовательно, невозможностью точно предсказать время образования и координаты области сигнальной концентрации (5 – 50 % НКПР).

Критерием рационального размещения датчиков на промышленной территории является исключение неконтролируемого передвижения облака ТВС за границу технологической установки и предотвращение цепного механизма развития аварии.

Радиус обслуживания датчика R конвекционно–диффузионного типа характеризуется аналитической зависимостью

$$R = \left[\frac{r_D^2 V_f - V_f^3}{U_V r_D \sin \gamma} \right]^{0,5} \left[K \frac{\rho - \rho_a}{\rho_a} g H \right]^{0,25}, \quad (4.15)$$

где r_D – расстояние от места аварийного выброса до датчика, м; V_f – расстояние от места аварийного выброса до границы установки, м; U_V – скорость ветра, м/с; γ – угол направления ветрового потока; ρ – плотность вещества в ТВС, кг/м³; ρ_a – плотность воздуха, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – высота облака ТВС, м; K – безразмерный коэффициент.

Результаты исследования данной зависимости показали, что величина радиуса обслуживания R датчика газоанализатора конвекционно–диффузионного типа в среднем составляет 10 м. Данная величина зафиксирована и в действующем нормативном документе ТУ-газ-86, определяющем требования к установке сигнализаторов–газоанализаторов. Согласно этому документу, при размещении датчика на промышленной территории ОТУ необходимо соблюдать следующие требования:

1. Размещать датчики только на той части площади открытой установки, где расположено оборудование с взрывопожароопасными продуктами.

2. Ближайшие датчики не должны удаляться более чем на 6 м от внешнего периметра открытой установки в сторону расположения на ней оборудования, за исключением случаев, когда оборудование не имеет взрывопожароопасных продуктов. Датчики каждого последующего ряда по отношению к предыдущему ряду датчиков должны быть сдвинуты на величину их радиуса обслуживания, т.е. расположены в шахматном порядке (рис. 4.7).

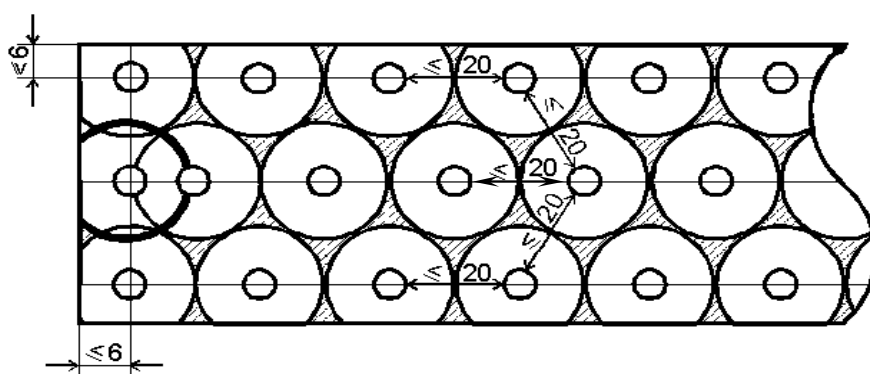


Рис. 4.7. Примерный порядок расположения датчиков сигнализаторов довзрывоопасных концентраций на открытой установке (М:500):

○ – места установки датчиков; // – пространства ("мертвые") зоны, которые не следует учитывать при расстановке датчиков

3. Датчики сигнализаторов дозрывных концентраций следует устанавливать в местах наиболее вероятного выделения и скопления горючих паров и газов, но во всех случаях радиус обслуживания одного датчика не должен превышать 10 м. При графическом определении требуемого количества датчиков образующиеся между кругами зон защиты пространства («мертвые зоны»), не обслуживаемые датчиками, учитывать не следует.

4. Датчики сигнализаторов следует располагать на высоте 0,5 – 1 м от нулевой отметки.

5. На многоярусных открытых этажерках датчики устанавливаются только на нулевой отметке.

6. По периметру наружной установки, обращенному к печам, должно быть установлено не менее одного датчика на печь, при этом датчики сигнализаторов устанавливаются против каждой стороны печи, обращенной к открытой установке.

7. Расстояние от места расположения датчиков сигнализаторов до печей должно быть не менее 15 м.

8. В открытых компрессорных горючих газов, насосных сжиженных газов и легковоспламеняющихся жидкостей, насосов, рассредоточенных по установке датчики сигнализаторов дозрывных концентраций устанавливаются аналогично датчикам в компрессорных и насосных, расположенных в производственных помещениях.

К открытым насосным и компрессорным относятся:

а) насосные и компрессорные, расположенные на открытых площадках или под навесами с частичным ограждением боковых сторон;

б) насосные с частичным ограждением боковых сторон, расположенные под постаментом открытых этажерок;

в) неотапливаемые компрессорные со съемным или раздвигающимся ограждением боковых сторон.

9. На сливноналивных эстакадах следует устанавливать один датчик на две цистерны на нулевой отметке вдоль каждого фронта налива и слива. При двухстороннем фронте налива или слива датчики располагать в шахматном порядке.

4.6. Автоматический контроль запыленности воздушной среды на промышленных объектах

Одним из источников загрязнения воздушного бассейна промышленных объектов и воздуха производственных помещений (цехов, складов и т.п.) является пыль. Пылью называют дисперсную систему, состоящую из мельчайших твёрдых частиц, находящихся в газовой среде во взвешенном состоянии. Можно выделить атмосферную и промышленную пыль. *Промышленная пыль* образуется в результате производственных процессов.

Атмосферная пыль включает промышленную (образующуюся вследствие загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий) и естественную, возникающую при выветривании горных пород, вулканических извержений, ветровой эрозии земель и т.п. К промышленным предприятиям, выбрасывающим пыль в атмосферу и в объём производственных помещений, относятся предприятия чёрной металлургии, теплоэнергетики, химической, нефтеперерабатывающей, керамической, горнорудной, текстильной, пищевой и ряда других отраслей промышленности.

Большое количество взвешенной пыли образуется в результате работы механизмов ударного действия (дробилок, мельниц, разрыхлителей), а также машин и установок, действие которых сопряжено с наличием воздушных потоков (пневмотранспорта, сепараторов и т.п.), узлов загрузки и выгрузки измельченной продукции, транспортёров и др.

Пыль в воздухе может быть причиной ряда заболеваний человека и приносит значительный социальный ущерб. Многие пыли во взвешенном состоянии способны образовывать взрывоопасные концентрации. Величины концентрационных пределов воспламенения пылевоздушных смесей зависят не только от химического состава вещества, но и в значительной мере от степени измельченности пыли, её влажности, зольности и т.д. Наиболее важное значение имеет нижний концентрационный предел распространения пламени пылевоздушных смесей, так как величина верхнего предела очень высока и практически редко достижима.

Значительную опасность представляет и осевшая пыль, при взвихрении создающая взрывоопасные смеси. Самовозгорающая пыль может вызвать очаги самовозгорания.

Измерение концентрации пыли является трудной задачей. Это обусловлено тем, что пыль представляет собой сложную систему, которую в противоположность газовоздушной среде нельзя описать в достаточной степени одним или двумя параметрами. Прежде всего, пыль почти всегда является полидисперсной, т.е. характеризуется более или менее широким спектром размеров частиц (от 1^{-2} до 10^2 мкм). Интервал концентраций является ещё более широким (от 1^{-8} до 10^5) мг/м³. Кроме того, форма и физико-химические свойства частиц пыли могут быть самыми разнообразными. Возможно и временное изменение свойства пыли. Всё это исключает возможность создания универсального метода измерения концентрации пыли. Более того, пылегазовая среда является неустойчивой аэродисперсной системой, а это создаёт существенные трудности при определении пылевых эталонов. В отличие от газоанализаторов, которые основаны как на химических, так и на физических методах измерения, для пылемеров предпочтительными являются физические методы как наиболее полно соответствующие условиям измерения и метрологическим требованиям.

Для измерения концентрации пыли в потенциально взрывопожароопасных помещениях и технологических аппаратах пылемеры должны отвечать и ряду специфических требований: взрывозащищённости, представительности пробы, точности количественной оценки пробы и концентрации, минимальному транспортному запаздыванию, наличию предупредительной аварийной сигнализации и обратной связи для воздействия на источник запыления.

При изменении концентрации пыли важной стадией анализа является отбор проб, так как необходимо обеспечить представительность пробы и её идентичность по дисперсности, химическому составу и концентрации той пыли, из которой проба взята.

Методы измерения концентраций пыли разделяют на две группы: методы, основанные на предварительном её осаждении, и методы без предварительного осаждения пыли.

Преимуществом методов и приборов измерения концентрации пыли, основанных на предварительном её осаждении, является возможность измерения массовой концентрации пыли. К недостаткам следует отнести циклический характер измерения, высокую трудоёмкость, низкую чувствительность анализа. К основным методам измерения концентрации пыли, основанным на предварительном её осаждении, относятся: весовой, радиоизотопный, оптический, пьезометрический и ряд других.

Весовой метод измерения концентрации пыли заключается в выделении из полевоздушного потока частиц пыли и определении их массы путем взвешивания.

Концентрацию пыли рассчитывают по формуле

$$C = \frac{m}{V_{\text{в}} t}, \quad (4.16)$$

где m – масса пыли на фильтре; $V_{\text{в}}$ – объемная скорость просасывания воздуха через фильтр; t – время отбора пробы.

Измерение концентрации пыли весовым методом включает отбор пробы запыленного воздуха, измерение ее объема, полное улавливание содержащейся в пробе пыли и взвешивание осажденной пыли.

Весовой метод широко используется для измерения запыленности как атмосферного воздуха и воздуха производственных помещений, так иходящих газов промышленных выбросов.

Радиоизотопный метод измерения концентрации пыли основан на использовании свойства радиоактивного излучения поглощаться частицами пыли. Запыленный воздух предварительно фильтруют и затем определяют массу осевшей пыли по ослаблению радиоактивного излучения при

прохождении его через пылевой осадок. Концентрацию пыли рассчитывают по формуле (4.16), массу m осевшей на фильтре пыли определяют, исходя из зависимости

$$I_{\text{рад}} = I_{0\text{рад}} \exp(-\mu_m - m), \quad (4.17)$$

где $I_{\text{рад}}$ и $I_{0\text{рад}}$ – интенсивность радиоактивного излучения после прохождения через пылевой осадок на фильтре и через чистый фильтр; μ_m – массовый коэффициент поглощения радиоактивного излучения, равный $\mu_m = aE_{\text{max}}^{-b}$; E_{max} – максимальная энергия радиоактивного излучения; a и b – константы.

При определении концентрации пыли радиоизотопным методом наиболее широко используют β -излучение, так как оно обладает наиболее широко проникающей способностью. При расчете массы осадка пыли на фильтре необходимо учитывать толщину фильтра, неоднородность его структуры, вследствие чего поглощение β -излучения вдоль фильтра происходит неравномерно. С учетом этих факторов уравнение (4.17) примет вид:

$$I_{\text{рад}} = I_{0\text{рад}} \exp(-\mu_m m - \mu_\phi m_\phi), \quad (4.18)$$

где μ_ϕ – массовый коэффициент поглощения для фильтра; m_ϕ – масса единицы площади фильтра.

Выразив в формуле (4.17) массовые коэффициенты поглощения через слой половинного поглощения β -излучения, получим следующую формулу для определения массы пыли:

$$m = \frac{m_{1/2}}{0,693} \left[\ln \frac{I_{0\text{рад}}}{I_{\text{рад}}} - \frac{0,693}{m_{1/2\phi}} m_\phi \right], \quad (4.19)$$

где $m_{1/2}$ и $m_{1/2\phi}$ – слои половинного поглощения β -излучения в осадке пыли и фильтре соответственно.

Следует отметить некоторое преимущество радиоизотопного метода измерения концентрации пыли в атмосферном воздухе по сравнению с весовым. Так как радиоизотопным методом определяют массу пыли, отнесенную к единице поверхности фильтра, то уменьшение площади последнего не снижает точности измерения, тогда как в весовом методе точность измерения снижается с уменьшением площади фильтра.

В радиоизотопном методе площадь фильтра определяется размерами источника излучения и не превышает 1 см^2 .

Схема радиоизотопного пылемера приведена на рис. 4.8.

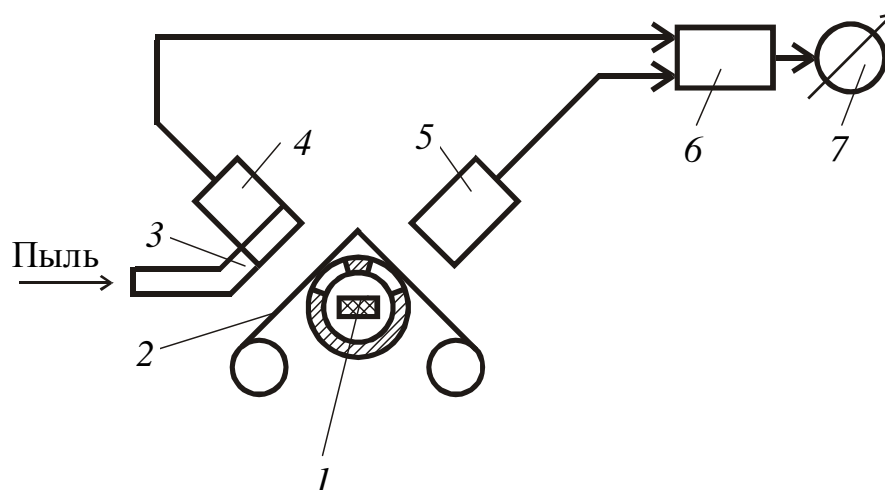


Рис. 4.8. Функциональная схема радиоизотопного пылемера:
 1 – источник β -излучения; 2 – фильтрующая лента; 3 – газовый канал;
 4 – измерительная ионизационная камера; 5 – компенсационная камера;
 6 – усилитель; 7 – измерительный прибор

Оптический метод измерения концентрации пыли основан на предварительном ее освещении в фильтре и определении оптической плотности пылевого осадка. Метод включает операции, аналогичные операциям весового метода, но вместо взвешивания пылевого осадка проводят его фотометрирование. Оптическую плотность пылевого осадка можно определить путем измерения поглощения или рассеяния им света. Измерение оптической плотности пылевого слоя основано на определении снижения интенсивности света I , прошедшего через слой пыли:

$$I = I_0 \exp(-ECl), \quad (4.20)$$

где I_0 – интенсивность нанесенного светового потока; C – концентрация пыли, накапливаемой на фильтре; E – показатель поглощения света, проходящий на единицу концентрации пыли; l – толщина слоя пыли.

Оптическая плотность D пылевого слоя равна

$$D = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right) = 0,434ECl. \quad (4.21)$$

Поскольку при осаждении пыли на фильтр изменяются как её концентрация C , так и толщина слоя l , то при измерении оптической плотности пылевого слоя можно определить суммарную величину Cl , являющуюся поверхностной концентрацией $C_{\text{пов}}$ пыли на фильтре:

$$C_{\text{пов}} = Cl, \quad (4.22)$$

отсюда

$$D = 0,434EC_{\text{пов}},$$

т.е. между оптической плотностью образовавшегося пылевого слоя и поверхностной концентрацией пыли существует линейная зависимость. Измерив D и зная показатель E , можно определить $C_{\text{пов}}$:

$$C_{\text{пов}} = D/0,434E. \quad (4.23)$$

Концентрация пыли может быть также определена через коэффициент пропускания $\tau = I/I_0$, который связан с оптической плотностью следующим выражением:

$$D = \lg(l/\tau). \quad (4.24)$$

Подставив значение D в уравнение, получим:

$$C_{\text{пов}} = \lg(l/\tau)/0,434E. \quad (4.25)$$

Схема фотометрического пылемера приведена на рис. 4.9.

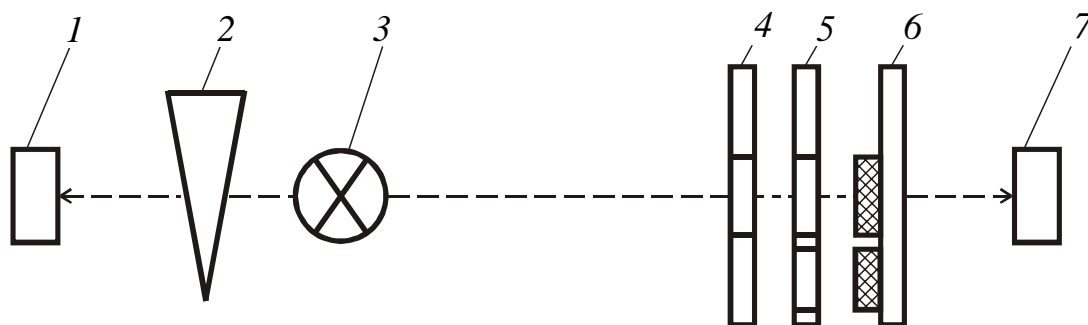


Рис. 4.9. Оптическая схема пылемера:

1 – фотоприемник сравнения; 2 – регулирующий винт; 3 – источник света; 4 – заслонка; 5 – классификатор; 6 – фильтр; 7 – измерительный фотоприемник

Пьезометрический метод измерения концентрации пыли имеет два варианта:

Пьезокристаллический метод. Измерение изменений частоты колебаний пьезокристалла при осаждении на его поверхности частиц пыли и подсчет электрических импульсов, возникающих при соударении частиц пыли с пьезокристаллом. Пьезокристалл включают в контур резистора, настроенного на определенную частоту f . За измеренным кристаллом устанавливают компенсационный пьезокристалл, изолированный от пылевоздушного потока. Этот кристалл включен в контур резонатора, частота которого f_k отлична от f . Выходные колебания обоих резисторов подают на блок сравнения, выходной сигнал которого пропорционален разности $\Delta f = f - f_k$.

При осаждении пыли на измерительный кристалл частота колебаний последнего уменьшается на Δf_k , при этом изменяется разность

$$\Delta f_2 = f - f_k = \Delta f - \Delta f_1. \quad (4.26)$$

Установлено, что при малых амплитудах колебаний

$$\Delta f_1 = Am, \quad (4.27)$$

где A – коэффициент пропорциональности, т.е. изменение частоты измерительного кристалла прямо пропорционально массе m осевшей на нем пыли. Схема пьезокристаллического пылемера приведена на рис. 4.10.

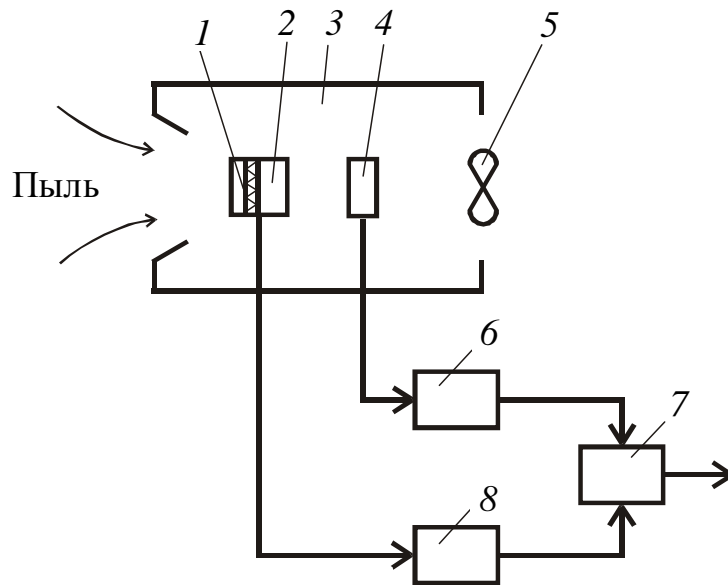


Рис. 4.10. Схема пьезокристаллического пылемера:
 1 – липкое покрытие; 2 – измерительный пьезокристалл; 3 – корпус;
 4 – компенсирующий кристалл; 5 – вентилятор; 6, 8 – резонаторы;
 7 – блок сравнения

Существенным преимуществом пьезокристаллического метода является то, что он позволяет измерить массовую концентрацию пыли.

Методы и приборы измерения концентрации пыли без предварительного ее осаждения также основаны на целом ряде методов.

Оптический метод основан на явлении поглощения света при прохождении его через пылевоздушную среду. Согласно закону Бугера–Ламберта – Бера, оптическая плотность D слоя пылевоздушной среды заданной толщины l прямо пропорциональна коэффициенту поглощения E и концентрации пыли C в этой среде. Данное утверждение справедливо, если предположить, что пыль состоит из абсолютно черных сферических частиц одинакового диаметра и коэффициент поглощения не зависит от концентрации.

Как следует из уравнения (4.20), чувствительность оптического метода равна

$$\frac{\Delta T}{\Delta C} = -EIl_0 \exp(-ElC) = -EI. \quad (4.28)$$

Таким образом, чувствительность метода тем выше, чем больше коэффициент поглощения E , толщина поглощаемого слоя l и интенсивность изменения светового потока t , прошедшего через пылевоздушную среду. При измерении малых концентраций пыли для повышения чувствительности используют зеркальные системы, чтобы световой поток дважды проходил через измеряемую пылевоздушную среду. Для каждого вида пыли следует определить оптимальное значение l , при котором чувствительность измерения будет максимальной.

Интенсивность прошедшего светового потока при заданных E и l можно увеличить, используя мощный источник света, например лазер.

Оптический метод измерения концентрации пыли, использующий ослабление света, также имеет преимущества: малую трудоемкость, практически безинерционность измерения и возможность измерения непосредственно в пылевоздушной среде при полной автоматизации процесса. Метод позволяет определять мгновенные значения концентрации пыли без внесения возмущений в исследуемую среду (рис. 4.11).

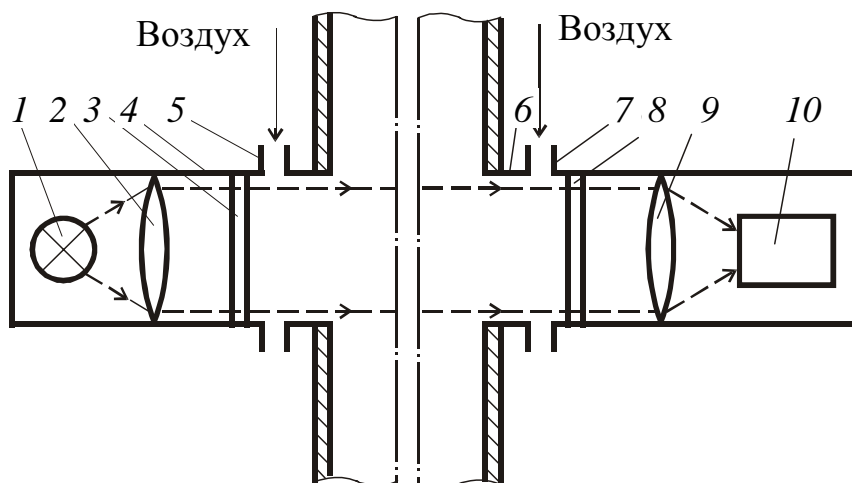


Рис. 4.11. Схема пылемера непрерывного действия:

1 – источник света; 2 – линза; 3, 8 – защитные окна; 4, 6 – патрубки; 5, 7 – отверстия для подачи чистого воздуха; 9 – объектив; 10 – фотоприемник

Голографический метод. Анализ аэрозольных частиц был одной из первых областей применения голографии (1964 г.). Голографический метод основан на получении голограммы, которая представляет собой нало-

жение дифракционной картины поля частиц и поля источника света. Метод позволяет получить информацию о счётной концентрации частиц, их размере и положении в пространстве. На рис. 4.12 дана схема установки для получения голограммы.

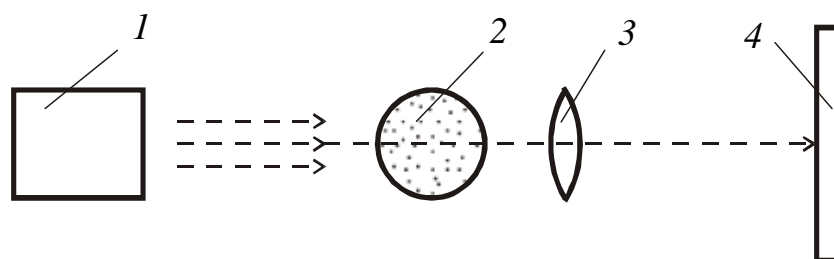


Рис. 4.12. Установка для получения голограмм частиц пыли:
1 – лазер; 2 – измерительная камера; 3 – линза; 4 – голограмма

Для восстановления изображения по голограмме используют тест – неоновый кадр с непрерывным излучением, который освещает голограмму (рис. 4.13). Восстанавливаемое изображение помещают в фокус линзы, которая проецирует с увеличением одну из изображённых плоскостей на трубку телевизионной камеры. Изображение этой плоскости наблюдается на телевизионном экране. Общее увеличение достигает 300.

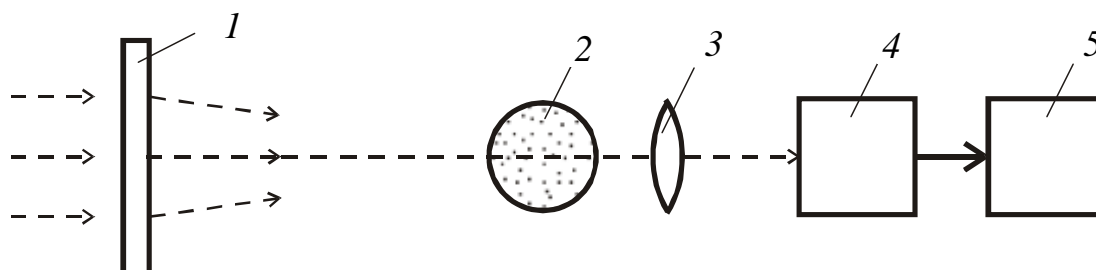


Рис. 4.13. Установка для восстановления изображения по голограмме частиц пыли:
1 – голограмма; 2 – восстанавливаемое изображение; 3 – линзы;
4 – телевизионная камера; 5 – телевизионный экран

Смещая голограмму по направлению к линзе и телевизионной камере, можно исследовать любую плоскость голографического изображения, анализируя при этом распределение частиц пыли в контролируемом пространстве. С помощью метода голографии можно измерить частицы в интервале 0,1 – 1000 мкм, при котором загрязнение атмосферного воздуха измеряется на больших расстояниях.

Съёмка частиц в любом объёме с помощью голографической установки осуществляется за время освещения 10^{-8} с.

Метод лазерного зондирования. Для измерения концентрации атмосферной пыли на больших пространствах и пыли, выбрасываемой в атмосферу промышленными предприятиями, удалёнными от места измерения на расстояние до 10 км, используют оптические дистанционные методы. Наиболее пригодны для этой цели оптические методы анализа в видимой и ближней инфракрасной области спектра с применением лазерных роботов-лидаров.

Схема прибора приведена на рис. 4.14.

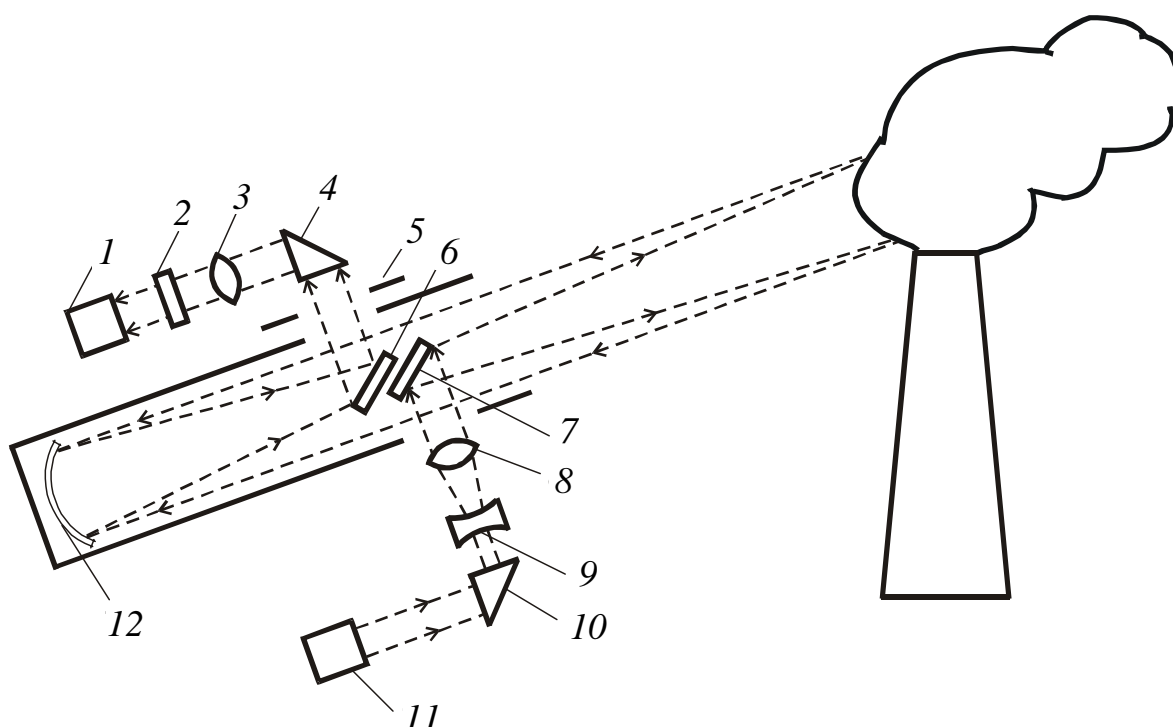


Рис. 4.14. Оптическая схема лазера:

1 – фотоумножитель; 2 – светофильтр; 3, 8, 9 – линзы; 4, 10 – призмы;
5 – диафрагма; 6, 7, 12 – зеркала; 11 – лазер

Лазерное зондирование атмосферы впервые было осуществлено в 1963 г. Пылевые слои были обнаружены на высоте 60 – 120 км. Метод лазерного зондирования основан на свойствах частиц поглощать или рассеивать лазерное излучение. При изменении света, рассеянного частицами, лазер и фотоприёмник располагают рядом и последний регистрирует интенсивность обратнорассеянного излучения (метод обратного рассеяния). Измерение поглощения лазерного излучения частицами можно проводить двумя способами. Когда лазер и фотоприёмник удалены на значительное расстояние или когда лазер и фотоприёмник расположены рядом, а лучи

лазера отражаются от зеркального отражателя, удалённого на значительное расстояние. Принцип действия лазера аналогичен принципу действия радиолокатора. Основным элементом его является лазер, используемый в качестве источника импульсного излучения. Обычно применяются рубиновые или неодимовые лазеры. Мощность в импульсе этих лазеров достигает десятков мегаватт. Длительность зондирующих импульсов лежит в пределах $(1 - 2)10^{-8}$ с. Импульсы направляются на исследуемый объект с помощью соответствующей оптической системы. Обратное излучение, рассеиваемое объектом, собирается с помощью линзовой и зеркальной системы и направляется на фотоумножитель и после усиления подаётся на осциллограф или для записи на магнитные диски. Метод лазерного зондирования имеет существенные преимущества перед другими методами измерения концентрации пыли, так как он позволяет исследовать пространственно-временную структуру запылённости воздуха и выявить источники пылевыделения.

Для измерения концентрации пыли в воздухе в непрерывном режиме используются и электрические методы.

Индукционный метод. В основу индукционного метода положено определение индуцированного на электроде измерительной камеры заряда, возникающего при движении через камеру заряженных пылевых частиц, что является мерой массовой концентрации пыли.

Контактно-электрический метод основан на способности пылевых частиц электризоваться при соприкосновении с твёрдым материалом. Основным элементом пылемера, основанного на контактно-электрическом методе, является электризатор, в котором электроду частицы пыли передают свой заряд.

Сила тока в цепи токосъёмного электрода является мерой концентрации частиц пыли.

Ёмкостный метод основан на измерении ёмкости конденсатора при введении частиц пыли между его пластинами. Если конденсатор включить в цепь колебательного контура, частота собственных колебаний которого сравнивается с эталонной, то по разности частот можно судить о концентрации пыли. При использовании ёмкостного метода следует учитывать электрические свойства пыли, так как проводящая пыль может изменить ёмкость конденсатора.

Акустический метод определения концентрации пыли основан на измерении изменений параметров акустического поля при наличии частиц пыли в пространстве между источником и приёмником звука. Потери ультразвуковой энергии, обусловленные влиянием взвешенных твёрдых частиц, зависят от ряда физических параметров: радиуса частиц, их плотности и концентрации и т.п.

Глава 5

ОСНОВЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

5.1. Автоматическое регулирование. Основные понятия и определения

Автоматическим регулированием называется изменение какой-либо физической величины по требуемому закону без непосредственного участия человека.

Физическая величина, подлежащая регулированию, называется регулируемой величиной, а технический агрегат (аппарат), в котором осуществляется автоматическое регулирование, – регулируемым объектом (объектом регулирования).

Обозначим через $y(t)$ функцию, описывающую изменение во времени регулируемой величины, и пусть $g(t)$ – функция, характеризующая закон ее изменения. Тогда основная задача автоматического регулирования сводится к обеспечению равенства $y(t)=g(t)$ за время работы системы с заданной степенью точности. Функция $g(t)$ называется *задающим воздействием*.

В реальных объектах регулирования всегда существуют причины, отклоняющие регулируемую величину от требуемого закона изменения. Эти причины называются *возмущающими воздействиями (возмущениями)* и обозначаются:

$$f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t).$$

Для борьбы с возмущениями объект регулирования (ОР) снабжается регулирующим органом (РО), воздействуя на который (вручную или автоматически) можно изменять регулируемую величину, компенсируя нежелательное ее изменение. Воздействие на регулирующий орган называется *регулирующим воздействием* и обозначается буквой μ (рис. 5.1, а).

Устройство, автоматически решающее задачу регулирования в данном объекте, называется *автоматическим регулятором*. Объект регулирования и автоматический регулятор в совокупности образуют автоматическую систему регулирования (АСР) (рис. 5.1, б).

Если $y(t) = g(t)$, а $n = \text{const}$, то АСР находится в стационарном, или установившемся режиме.

Если $y(t) = g(t)$, а $n = \text{var}$, то АСР находится в нестационарном, или переходном режиме работы.

На рис. 5.2 приведены графики $y(t)$ и $x(t)$ в стационарном и переходном режимах работы АСР.

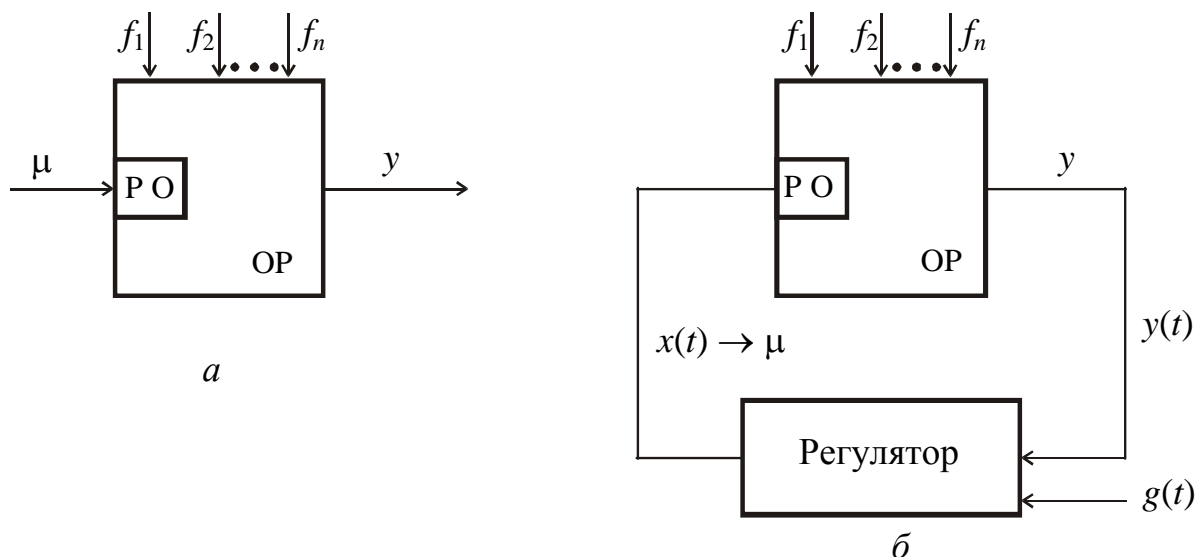


Рис. 5.1. Объект (а) и система автоматического регулирования (б)

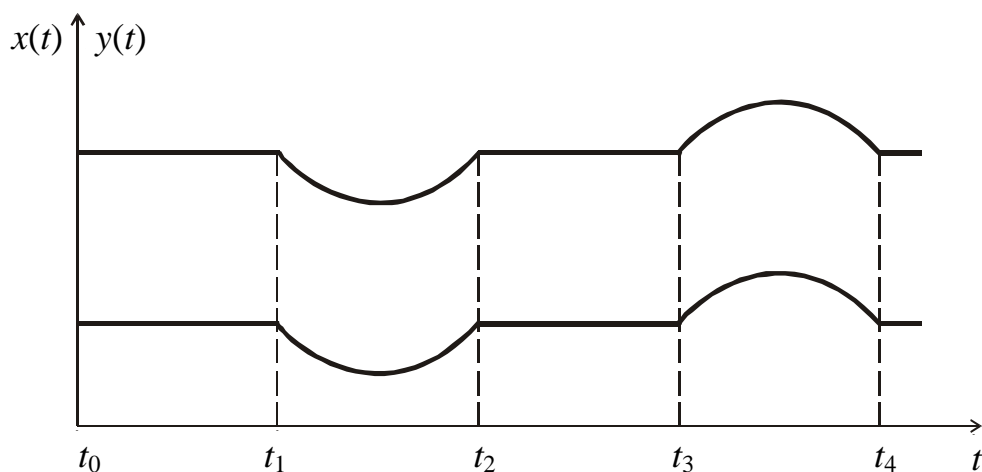


Рис. 5.2. Режимы работы АСР:
 $(t_0 - t_1)$ и $(t_2 - t_3)$ – установившийся режим;
 $(t_1 - t_2)$ и $(t_3 - t_4)$ – неустановившийся режим;
 t_1, t_3 – момент воздействия возмущения

5.2. Принципы регулирования

Разнообразные, используемые в современной технике, регуляторы строятся на базе одного из двух основных принципов регулирования:

- по возмущению (по внешнему воздействию);
- по отклонению (по ошибке).

Принцип регулирования по возмущению. Этот принцип был предложен французским ученым Понселе и впервые реализован во второй половине XIX в. русским электротехником В.Н. Чиколевым в раз-

работанных им регуляторах силы света дуговых ламп. Принцип регулирования по возмущающему воздействию называют также *принципом компенсации возмущений*.

Основной величиной, отклоняющей регулируемую величину от требуемого закона, являются всякого рода возмущающие воздействия.

Для компенсации вредного влияния какого-либо возмущающего воздействия после его измерения можно осуществить регулирующие воздействия на объект, обеспечивающие изменение величины по требуемому закону. Для технической реализации данного принципа в состав автоматического регулятора должны входить устройства, позволяющие измерить возмущающее воздействие, и устройства, предназначенные для создания регулирующего воздействия на объект регулирования. Первые называются *чувствительными элементами (ЧЭ)*, а вторые – *исполнительными элементами (ИЭ)* регулятора. Между чувствительными элементами и исполнительными могут быть включены промежуточные элементы (ПЭ), предназначенные для усиления или преобразования сигнала чувствительного элемента.

Общая схема АСР, реализующая принцип регулирования по возмущению, приведена на рис. 5.3.

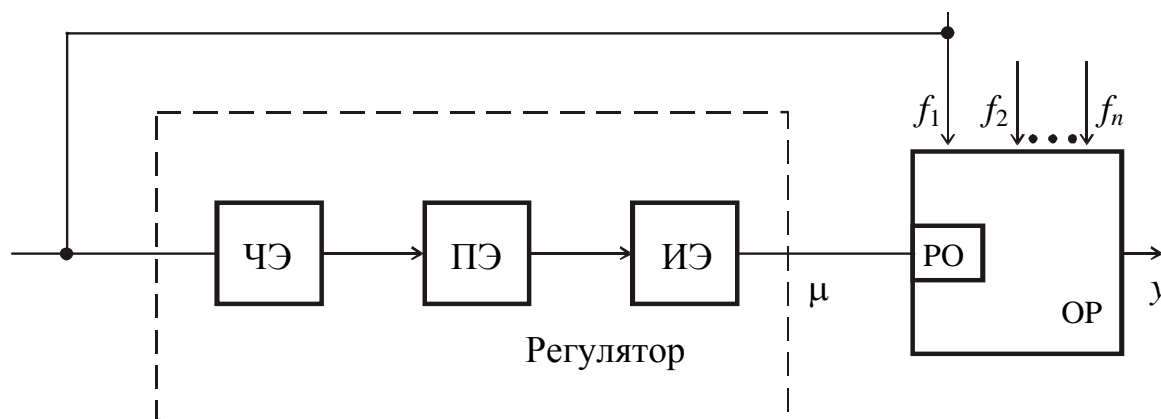


Рис. 5.3. АСР по возмущению

Из рис. 5.3 видно, что регулятор такого типа обеспечивает независимость (инвариантность) регулируемой величины от возмущающего воздействия АСР, работающих по возмущению, имеет ряд недостатков:

1. В АСР, работающих по возмущению, инвариантность регулируемой величины обеспечивается лишь по отношению к тому возмущающему воздействию, которое измеряется чувствительным элементом регулятора. Наличие большого числа других, не контролируемых регулятором, возмущающих воздействий приводит к тому, что регулируемая величина отличается от требуемого значения, т.е. задача регулирования не выполняется.

2. Инвариантность по отношению к возмущению, измеряемому чувствительным элементом регулятора, в рассматриваемых АСР обеспечивается только при условии строгого соответствия параметров регулятора и объекта их расчетным значениям. Изменение параметров регулятора или объекта (вследствие старения, влияния внешних условий и т.д.) приводит в таких системах к отклонению регулируемой величины от требуемого значения.

Оба отмеченных недостатка АСР, работающих по возмущению, обусловлены тем, что в таких системах истинное значение регулируемой величины не измеряется и не контролируется. Регулирующее воздействие u от регулируемой величины y не зависит. Система работает по разомкнутому циклу.

Из-за отмеченных выше недостатков системы, работающие по разомкнутому циклу, для решения задач автоматизации применяются только в качестве составной части более сложных, комбинированных АСР.

Принцип регулирования по отклонению. Этот принцип построения автоматических регуляторов предложен и впервые осуществлен в 1765 г. русским механиком И.И. Ползуновым в регуляторе уровня воды в котле изобретенной им паровой машины. Несколько позже (независимо от И.И. Ползунова) этот принцип использовал английский механик Дж. Уатт при разработке центрального регулятора скорости вращения выходного вала паровой машины. В связи с этим принцип регулирования по отклонению часто называют *принципом Ползунова – Уатта*.

Основная задача АСР состоит в выполнении равенства $y(t) = g(t)$, причем чем точнее соблюдается равенство, тем лучше АСР. Разность между требуемым законом изменения регулируемой величины $g(t)$ и действительным законом ее изменения $y(t)$ характеризует качество работы АСР:

$$x(t) = g(t) - y(t), \quad (5.1)$$

при идеальной работе $x(t) = 0$.

Для оценки качества работы АСР используют так называемое отклонение:

$$y(t) = y(t) - g(t). \quad (5.2)$$

Принцип регулирования по отклонению состоит в том, что тем или иным путем определяется отклонение параметра и соответственно осуществляется регулирующее воздействие на объект регулирования, сводящее отклонение к нулю. Для определения сигнала отклонения используются три элемента: *задающий, чувствительный и сравнивающий*. Задающий элемент формирует воздействие $g(t)$.

Чувствительный элемент измеряет действительное значение.

Сравнивающий элемент представляет собой простейшее вычислительное устройство.

Функциональная схема АСР, работающая по отклонению, приведена на рис. 5.4.

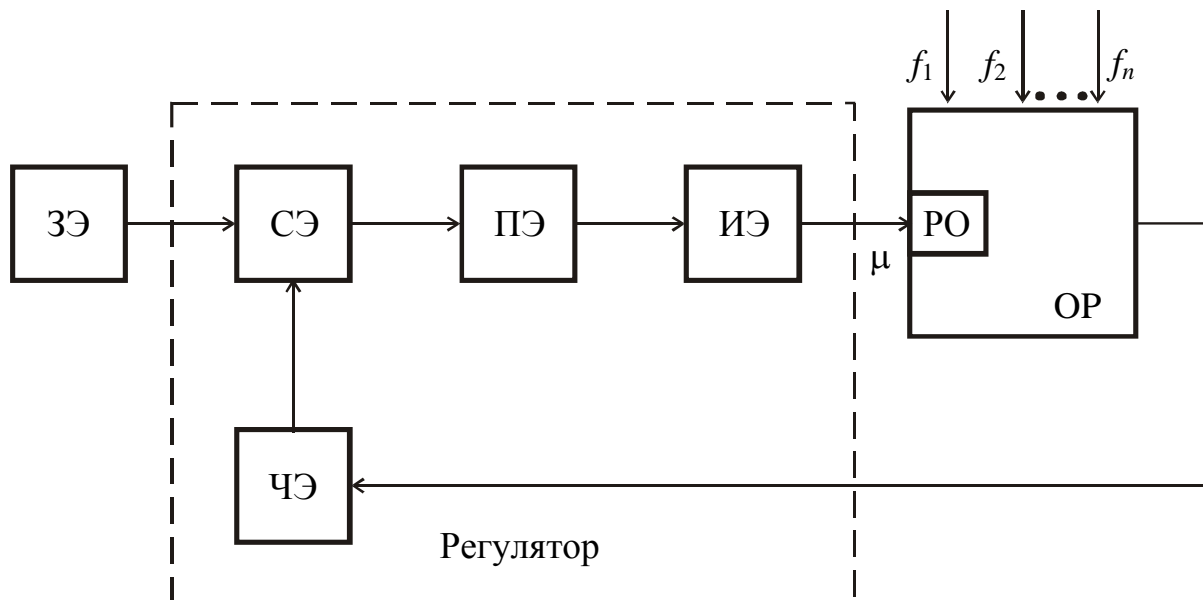


Рис. 5.4. АСР по отклонению

В этой схеме регулируемая величина y измеряется чувствительным элементом и подается на вход сравнивающего элемента (СЭ). На другой вход сравнивающего элемента поступает задающее воздействие g , выработанное в задающем элементе (ЗЭ). На выходе сравнивающего элемента образуется сигнал отклонения. После преобразования в промежуточных элементах (ПЭ) сигнал ошибки поступает на исполнительный механизм, перемещающий регулирующий орган таким образом, чтобы свести сигнал ошибки к нулю. Чувствительный, промежуточный и исполнительный органы в совокупности образуют автоматический регулятор. На рис. 5.4 видно, что АСР, работающая по отклонению, состоит из соединенных между собой автоматического регулятора (АР) и объекта регулирования (ОР). На вход регулятора поступают задающие воздействия g и регулируемая величина y . Выходной величиной является регулирующее воздействие, приложенное к регулирующему органу.

В отличие от регулирования по возмущению при регулировании по отклонению ни одно из возмущающих воздействий не измеряется.

Основным преимуществом АСР, работающих по отклонению, перед АСР, реализующими принцип регулирования по возмущению, является их способность выполнять задачу регулирования при любом числе возмущающих воздействий. Объясняется это тем, что в АСР, работающих по от-

клонению, ни одно возмущение не измеряется; работа системы не связана ни с какими конкретными возмущениями. Вместо возмущения в таких системах непрерывно измеряется отклонение, характеризующее соответствие действительного закона изменения регулируемой величины требуемому. Вторым преимуществом АСР, работающих по отклонению, является отсутствие местных требований к стабильности характеристик элементов регулятора и объекта. Обусловлено это тем, что изменение параметров регулятора и объекта приводит к появлению отклонения, которое немедленно обнаруживается системой и ликвидируется.

Таким образом, АСР, работающие по отклонению, лишены основных недостатков АСР, работающих по возмущению. Это обстоятельство явилось причиной того, что в настоящее время регулирование по отклонению является основным принципом построения регуляторов в самых различных областях техники.

АСР, работающие по отклонению, представляют собой системы с обратной связью. Под обратной связью понимают подачу сигнала, когда сигнал обратной связи складывается с входным сигналом, обратная связь называется положительной, если вычитается, – отрицательной. Для систем регулирования входным устройством является задающее воздействие g , выходным – регулируемая величина y .

Наличие обратной связи в АСР, работающих по отклонению, приводит к образованию замкнутого контура передачи воздействий. Регулятор действует на объект, объект, в свою очередь, воздействует на регулятор. В связи с этим АСР, реализующие принцип регулирования по отклонению, называют системами, работающими по замкнутому циклу, или замкнутыми системами. Однако системам с обратной связью присущи и некоторые недостатки.

Так как регулирующее воздействие, направленное на ликвидацию отклонения, появляется только при $y = 0$, то, следовательно, прежде чем ликвидировать отклонение, необходимо допустить его возникновение. Кроме того, замкнутые системы склонны к колебаниям.

Оба отмеченных недостатка АСР, работающих по отклонению, отсутствуют у систем, работающих по возмущению. В то же время, как уже указывалось, системы, работающие по отклонению, лишены основных недостатков систем, работающих по возмущению. Поэтому целесообразно использовать оба основных принципа регулирования в одной системе. Системы, в которых одновременно используется как регулирование по отклонению, так и регулирование по возмущению, называются *системами комбинированного регулирования*. Такие системы обычно представляют собой сочетание двух систем, одна из которых работает по замкнутому, а вторая – по разомкнутому циклу, обеспечивает инвариантность регулируемой вели-

чины по отношению к одному из основных возмущений (рис. 5.5), наиболее сильно влияющему на регулируемую величину.

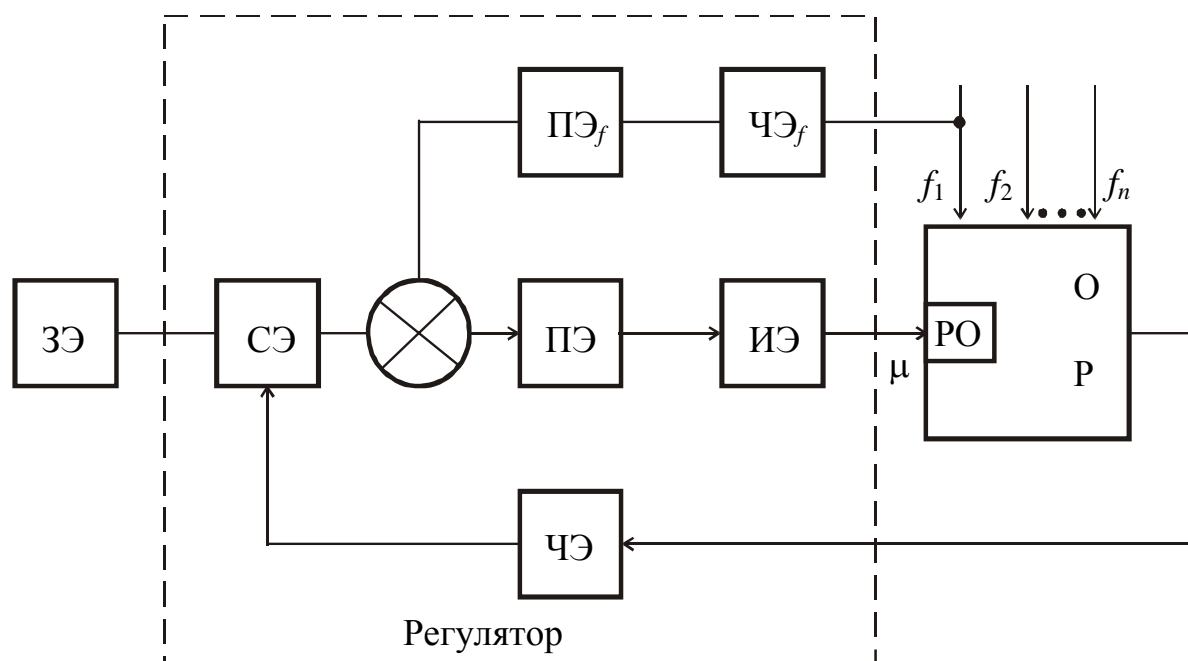


Рис. 5.5. Комбинированная АСР

Система, работающая по замкнутому циклу, снимает вредное влияние всех других возмущающих воздействий. Промежуточные и исполнительные элементы у обеих систем являются общими.

5.3. Основные виды автоматических систем регулирования

В зависимости от закона $g(t)$ изменения регулируемой величины $y(t)$ все АСР принято делить на системы стабилизации, программного регулирования и следящие.

Системы стабилизации предназначены для поддержания постоянного значения регулируемой величины $y(t)$. В этих системах

$$g(t) = \text{const.}$$

Системы программного регулирования предназначены для изменения регулируемой величины $y(t)$ по известному закону в функции времени или какой-либо другой величины. В таких системах задающее воздействие представляет собой заранее известную функцию времени $g(t) = g_0(t)$ или $g = g_0(z)$ и ее часто называют *программой регулирования*. Программы вида $g(t) = g_0(t)$ называются *временными*, а программы вида $g = g_0(z)$ – *параметрическими*.

Следящие системы предназначены для изменения регулируемой величины $y(t)$ по закону, который заранее неизвестен. В таких системах воздействие $g(t)$ представляет собой случайную функцию времени.

В зависимости от наличия статических свойств все системы автоматического регулирования разделяют на статические и астатические.

Система автоматического регулирования, в которой в установившемся состоянии существует однозначная зависимость между значением регулируемой величины и положением регулирующего органа, называется статической.

Астатической называют систему автоматического регулирования, в которой положение регулирующего органа не связано с установившимся значением регулируемой величины.

В зависимости от способности приспосабливаться (адаптироваться) к изменяющимся внешним условиям и перестраиваться таким образом, чтобы компенсировать указанные изменения, системы автоматического регулирования разделяются на экстремальные, самообучающиеся и обучаемые.

В экстремальных системах автоматически поддерживается экстремальное (минимальное и максимальное) значение регулируемого параметра, соответствующее оптимальным условиям протекания регулируемого процесса.

Самообучающейся системой называется такая система, в которой самообучение при отыскании оптимального режима работы объекта регулирования все время автоматически совершенствуется по мере накопления в системе опыта регулирования.

Обучаемой системой называется такая система, в которой для нормального функционирования в процессе работы накапливается опыт, а обучающее воздействие система получает извне или со стороны человека – оператора, или со стороны автоматического обучающего устройства, не входящего в состав этой системы.

5.4. Типовые динамические звенья автоматических систем регулирования

В теории автоматического регулирования решаются две задачи: определение степени удовлетворения системы предъявляемым к ней требованиям (анализ системы);

проектирование системы по заданным требованиям (синтез системы).

Для получения кривой регулирования необходимо решить систему уравнений, описывающих свойства элементов АСР и их связи при начальных условиях и для определенного возмущения. Так как речь идет об изменениях во времени, требуется решать систему дифференциальных уравнений, что весьма сложно, а иногда и невозможно. Однако можно пользо-

ваться рядом упрощений при решении задач синтеза или анализа АСР с получением точности, достаточной для практических целей. Прежде всего необходимо разбить АСР на элементарные звенья, и не обязательно, чтобы звенья совпали по функциональному или конструктивному признакам, но были бы идентичны по динамическим свойствам. Общих правил выполнения этого шага не существует, но звенья не должны быть слишком крупными и сложными, иначе трудно математически их описать, и если разбивка слишком мелкая, то резко увеличивается число уравнений.

Элементы автоматических систем регулирования, имеющие различную конструкцию и принципы действия, использующие разные виды энергии и выполняющие разные функции, описываются одинаковыми дифференциальными уравнениями, т.е. обладают аналогичными динамическими свойствами. Например, два различных устройства (рис. 5.6) описываются однотипными дифференциальными уравнениями.

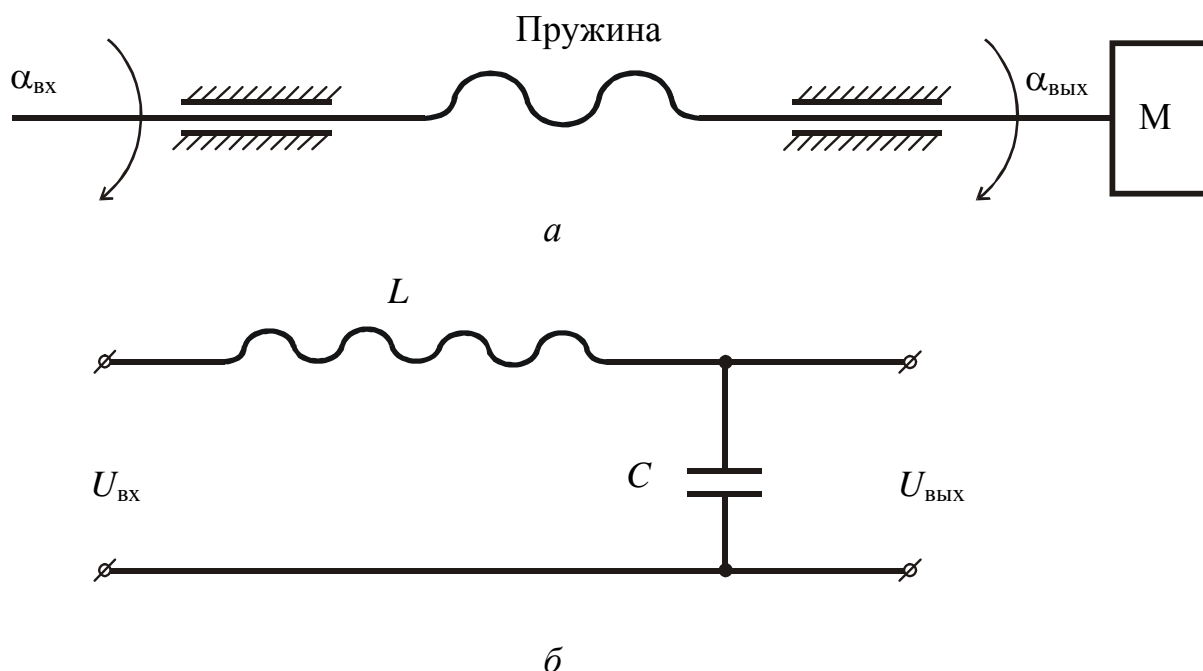


Рис. 5.6. Устройство с однотипным переходным процессом

Поведение механического устройства (рис. 5.6, а) описывается уравнением

$$J(d^2\alpha_{\text{ВЫХ}}/dt^2 + K\alpha_{\text{ВЫХ}}) = \alpha_{\text{ВХ}}, \quad (5.3)$$

где $\alpha_{\text{ВЫХ}}$ и $\alpha_{\text{ВХ}}$ – углы поворота выходного и входного валов устройства соответственно; J – момент инерции маховика; K – коэффициент упругости пружины.

Поведение электрической цепи (5.6, б) описывается уравнением

$$LC(d^2U_{\text{ВЫХ}})dt^2 + U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}}, \quad (5.4)$$

где $U_{\text{ВХ}}$ и $U_{\text{ВЫХ}}$ – напряжение на входе и выходе цепи соответственно; L – индуктивность катушки; C – емкость конденсатора.

Оба уравнения можно привести к виду

$$a(d^2x_{\text{ВЫХ}}/dt^2 + bx_{\text{ВЫХ}}) = cx_{\text{ВХ}}, \quad (5.5)$$

где $x_{\text{ВХ}}$ и $x_{\text{ВЫХ}}$ – входная и выходная величины соответственно; a , b , c – постоянные коэффициенты.

Однотипные звенья дают отклик одного и того же вида на одинаковые входные воздействия, поэтому если известен вид звена, известно и его поведение. Благодаря этому свойству можно идентифицировать звено (т.е. установить его тип) и определить его параметры (значения коэффициентов в дифференциальном уравнении) по отклику звена на стандартное воздействие.

Кривые отклика на такие воздействия, т.е. изменения выхода звена $y = f(t)$, называются *временными характеристиками*, причем отклик на единичный скачок называется *кривой разгона*.

При разбивке АСР на звенья они должны остаться по своей природе детектирующими, иначе говоря, иметь направленное действие. При этом связь между сигналами на входе и выходе в каждом звене односторонняя, направленная.

После разбивки системы регулирования на звенья получают их уравнение. С этой целью для каждого звена записывают уравнение баланса (материального, теплового и т.д.), уравнение кинетики и т.п. Из системы уравнений звена получают его дифференциальное уравнение.

Примерный порядок составления дифференциального уравнения звена заключается в следующем:

определяют входную и выходную величины звена и устанавливают дополнительные факторы, от которых зависит выходная величина;

выбирают начало отсчета и положительные направления всех входящих переменных;

вводят те или иные упрощения (допущения);

используют основные законы той отрасли науки и техники, к которой относится исследуемое звено: законы Кирхгофа для электрических звеньев; законы Ньютона – для звеньев механической природы, законы сохранения энергии и вещества – для гидравлических и пневматических звеньев и др.

Дифференциальное уравнение звена отражает его свойства. Все звенья, которые имеют аналогичные дифференциальные уравнения, имеют аналогичные динамические и статические свойства, независимо от физической природы звена (химический аппарат, цепочка электрических элемен-

тов и т.п.), процесса, протекающего в нем, его входа и выхода. Это позволяет выделить небольшое число динамических звеньев и отнести любое линейное звено к определенному виду.

Решение дифференциальных уравнений типовых звеньев представляет определенную сложность. В связи с этим используется операторная форма их записи, которая дает возможность осуществить операции дифференцирования и интегрирования и заменить их на более простые алгебраические операции над некоторым оператором P . Оператор P заменяет операцию дифференцирования по времени, т.е. d/dt . В результате можно решить дифференциальное уравнение алгебраически, т.е. не используя сложную операцию интегрирования. Необходимо отметить, что при решении дифференциальных уравнений операторным методом осуществляется переход от данных функций (оригиналов) к их изображениям. Указанный переход и обратный, т.е. переход от изображений к оригиналам, осуществляется с помощью формулы Лапласа – Карсона:

$$x(P) = P \int_0^{\infty} e^{-pt} x(t) dt, \quad (5.6)$$

где e – основание натурального логарифма; $x(t)$ – исходная функция времени; P – комплексная переменная, называемая *оператором*.

На практике переход от оригиналов к изображениям и обратно производится по таблице изображений типовых функций, вычисленных по формуле (5.6).

Функция $x(P)$, как видно из выражения (5.6), получается умножением $x(t)$ на экспоненциальную функцию и интегрированием полученного произведения в пределах от нуля до бесконечности. В выражении (5.6) P рассматривается уже не как функция времени, а как функция комплексного числа

$$P = \sigma - j\omega, \quad (5.7)$$

где σ и $j\omega$ – соответственно действительная и мнимая части.

Функция времени, которая преобразуется, называется *оригиналом*, а функция, полученная в результате преобразования, – *изображением*.

Операция перехода от функции $xZ(t)$ к ее операторному изображению $x(P)$ называется *прямым преобразованием Лапласа*. Обратная операция, т.е. нахождение функции $x(t)$ по ее операторному изображению $x(P)$, называется *обратным преобразованием Лапласа*. Преобразование Лапласа позволяет находить решение дифференциального уравнения без непосредственного его интегрирования. В этом случае сначала находят изображение исходного уравнения, а затем решают изображение относительно интересующей величины. Полученное уравнение будет изображением по Лапла-

су. Чтобы найти решение дифференциального уравнения, т.е. функцию времени, следует по изображению найти оригинал. Эта операция выполняется с помощью обратного преобразования Лапласа.

По дифференциальному уравнению звена можно найти его передаточную функцию. Использование передаточных функций звена упрощает рассмотрение отдельных звеньев и систем автоматического управления в целом. Передаточная функция звена выражает связь между его выходом и входом: она показывает, какую операцию совершает звено над входным воздействием. Таким образом, *передаточной функцией звена называется отношение операторного изображения функции сигнала на выходе звена $y(P)$ к операторному изображению функции возмущающего воздействия на входе того же элемента $x(P)$.*

По дифференциальному уравнению звена можно найти его передаточную функцию. Например, если звено описывается дифференциальным уравнением

$$T \frac{dy}{dt} + y = Kx \quad (5.8)$$

или в операторной форме

$$T^{y+1} y(P) = Kx(P).$$

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = K / (TP + 1). \quad (5.9)$$

Передаточная функция служит для анализа свойств звеньев и АСР. Передаточная функция линейного звена по внешнему воздействию не зависит от закона изменения воздействия и определяется только свойствами самого звена.

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся динамические звенья и определим для каждого из них основные характеристики: дифференциальное уравнение, передаточную функцию, временную и др.

Безынерционное звено (идеальное). Безынерционным звеном называется такое звено, в котором выходная величина y пропорциональна входной x , т.е. выходная величина изменяется по тому же закону, что и входная, и воспроизводит без искажений и запаздываний входную величину:

$$y = Kx. \quad (5.10)$$

Переходный процесс в усилительном звене отсутствует. Примером безынерционного (усилительного) звена может служить рычажное устройство (рис. 5.7).

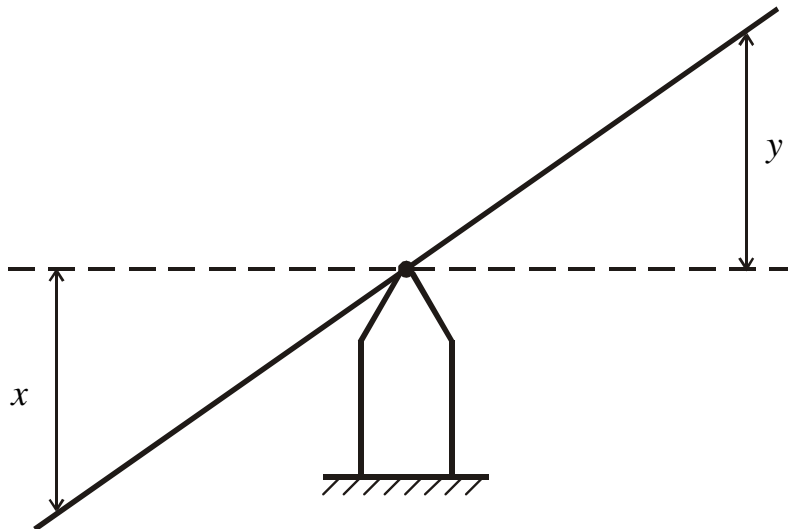


Рис. 5.7. Рычажное устройство

Перемещение одного конца рычага вызывает соответствующее перемещение второго. Коэффициент усиления K определяется величиной отношения плеч рычага. Характерной величиной таких звеньев служит только одна величина – коэффициент усиления K .

К усилительным звеньям можно отнести усилитель напряжения, усилительную лампу, транзистор, редуктор, трансформатор и т.п.

Передаточная функция безынерционного звена имеет вид:

$$W(P) = K. \quad (5.11)$$

Апериодическое (инерционное) звено. Апериодическим (инерционным, релаксационным, одноемкостным) называется звено, в котором при скачкообразном изменении входной величины x выходная величина y по экспоненциальному закону стремится к новому установившемуся значению. Данное звено имеет свойство накопления, как два соединённых между собой элемента, один из которых запасает энергию или вещество, а второй создаёт сопротивление протеканию энергии или вещества, в результате чего поданный на вход такого звена сигнал вызывает изменение выходной величины с некоторым запаздыванием. Описывается звено уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами:

$$Tdy/dt + y = Kx, \quad (5.12)$$

где T и K – постоянные коэффициенты (T – постоянная времени, K – передаточный коэффициент), которые зависят от принципа действия элемента и его конструкции.

Решение дифференциального уравнения звена при единичном входном воздействии даёт выражение для переходной функции звена

$$y = Kx \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

или, учитывая, что $x = 1$,

$$y = K \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right). \quad (5.13)$$

В качестве примеров апериодических звеньев можно привести устройства, показанные на рис. 5.8.

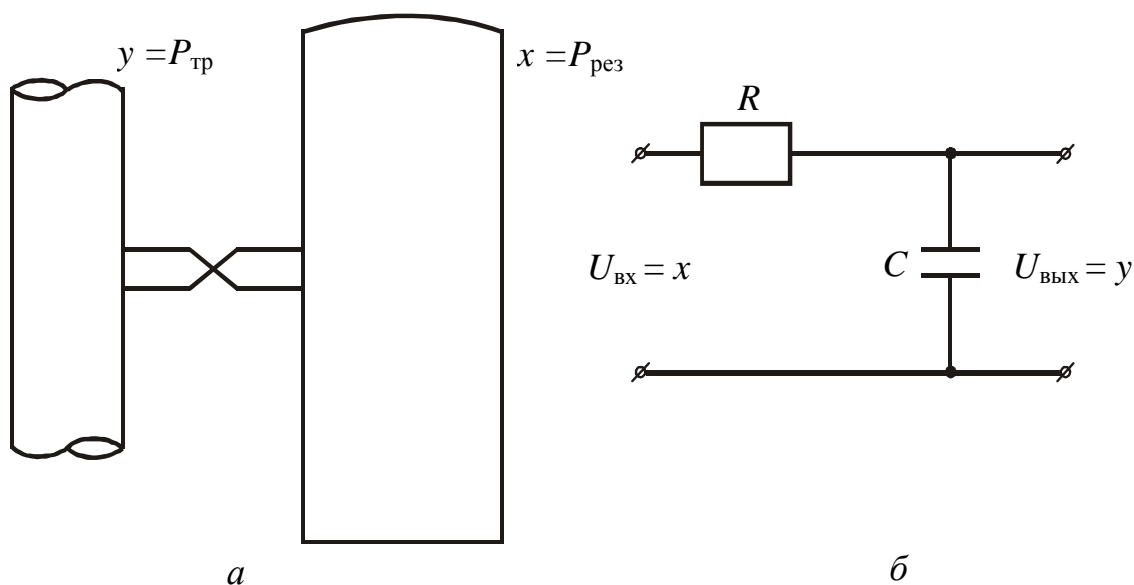


Рис. 5.8. Примеры апериодических звеньев:
 а – емкость периодического заполнения;
 б – колебательный контур

Таким образом, постоянная времени T апериодического звена численно равна отрезку времени, за который выходная величина изменилась от 0 и достигает 63 % от установившегося значения.

Дифференциальное уравнение (5.12) в операторной форме записывается в следующем виде:

$$TPY(P) + Y(P) = KX(P), \quad (5.14)$$

откуда передаточная функция апериодического звена

$$W = K/(TP+1). \quad (5.15)$$

При последовательном соединении двух апериодических звеньев первого порядка получают апериодическое звено второго порядка, уравнение динамики которого можно записать в следующем виде:

$$T^2 d^2y/dt^2 + 2\sigma dy/dt + y = Kx, \quad (5.16)$$

где T – постоянная времени; σ – коэффициент затухания; K – коэффициент передачи.

Уравнение в операторной форме имеет вид:

$$(T^2 P^2 + 2\sigma TP + 1) Y(P) = KX(P), \quad (5.17)$$

откуда передаточная функция звена

$$W(P) = K/(T^2 P^2 + 2\sigma TP + 1). \quad (5.18)$$

Колебательное звено. Колебательным называется такое звено, у которого после скачкообразного изменения его входной величины выходная величина стремится к установившемуся значению, совершая колебания.

Это звено представляет собой устройство из двух элементов, которые способны запасать энергию и взаимно обмениваться ею (рис. 5.9).

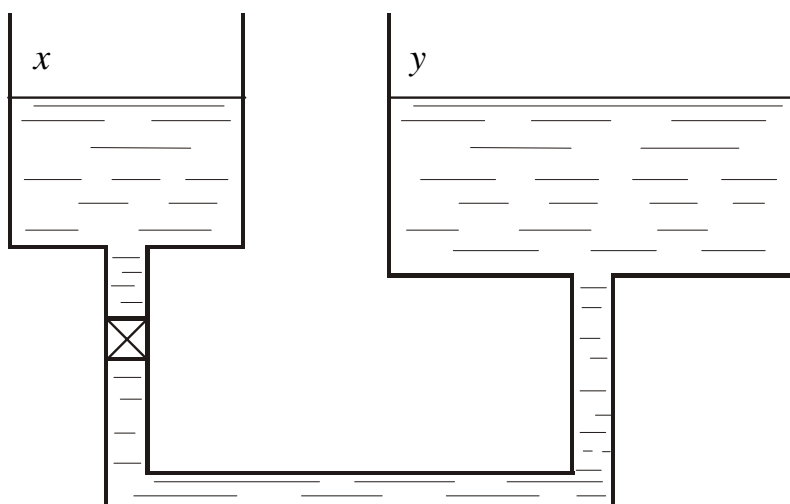


Рис 5.9. Колебательное звено

Динамические свойства такого звена выражаются дифференциальным уравнением

$$T_0^2 \left(\frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y \right) = Kx, \quad (5.19)$$

где T_0 и T_1 – постоянные времени звена; K – передаточный коэффициент.

В операторной форме уравнение это принимает вид:

$$(T_0 P^2 + T_1 P + 1) Y(P) = KX(P). \quad (5.20)$$

Передаточная функция звена

$$W(P) = \frac{K}{T_0^2 P^2 + T_1 P + 1}. \quad (5.21)$$

Интегрирующее звено. Интегрирующим звеном называется такое звено, в котором выходная величина y пропорциональна интегралу по времени от входной величины (т.е. скорость изменения выходной величины пропорциональна входной величине):

$$y = K \int x dt \quad \text{или} \quad \frac{dy}{dt} = Kx, \quad (5.22)$$

где K – коэффициент усиления звена.

Для таких устройств нет определённого соотношения между значениями выходной и входной величин в установившемся режиме и передаточный коэффициент характеризует соотношение между значениями входной величины и скоростью изменения выходной величины.

Уравнение в операторной форме будет иметь вид:

$$P(Y)P = KX(P), \quad (5.23)$$

а передаточная функция

$$W(P) = K/P. \quad (5.24)$$

Дифференцирующее звено. Дифференцирующее звено – звено, в котором выходная величина пропорциональна скорости изменения входной величины, т.е. выходная величина пропорциональна производной от входной величины. Различают два вида дифференцирующих звеньев: идеальное и реальное.

Дифференциальное уравнение для *идеального дифференцирующего звена* записывается в виде:

$$y = K dx/dt, \quad (5.25)$$

где dx/dt – скорость изменения входной величины.

Запишем уравнение (5.25) в операторной форме:

$$Y(P) = KPX(P). \quad (5.26)$$

Из уравнения (5.26) найдём передаточную функцию идеального звена:

$$W(P) = KP. \quad (5.27)$$

При скачкообразном изменении входной величины на конечное значение её скорость бесконечно велика. При достижении входной величиной нового постоянного значения скорость её изменения становится равной нулю. Следовательно, выходная величина получает в момент $x_{\text{вх}}$ мгновен-

ный импульс, величина которого изменяется от нуля до бесконечности и снова возвращается к нулю.

Идеальное звено осуществить на практике невозможно, поэтому принимают реальные дифференцирующие звенья как звенья, обладающие инерционностью и потерей энергии. Их дифференциальное уравнение

$$T \, dy/dt + y = KT \, dx/dt. \quad (5.28)$$

Уравнение в операторной форме

$$(TP + 1)y(P) = KTPx(P), \quad (5.29)$$

откуда передаточная функция звена

$$W(P) = KTP/(TP + 1). \quad (5.30)$$

Примером *реального дифференцирующего звена* может быть *RC* контур.

5.5. Частотные характеристики динамических звеньев

Временными характеристиками удобно пользоваться при определении характера переходного процесса в системах автоматического регулирования. Однако в реальных системах очень часто входной сигнал изменяется по гармоническому или близкому к нему закону заданной амплитуды или частоты, поэтому при исследовании АСР ставится задача нахождения параметров колебаний на выходе системы по известным параметрам колебаний на входе. Решение этой задачи с помощью временных характеристик представляет определённые трудности. Рассматриваемый ниже частотный метод позволяет получить реакцию звена (системы) на любой периодический сигнал.

Частотная характеристика описывает установившиеся вынужденные колебания на выходе звена, которые вызваны гармоническим воздействием на входе (рис. 5.10).



Рис. 5.10. Метод получения частотных характеристик

Подадим на вход звена гармоническое воздействие, изменяющееся по синусоидальному закону:

$$x = A_1 \sin \omega t, \quad (5.31)$$

где A_1 – амплитуда; ω – угловая частота воздействия.

По окончании переходного процесса на выходе звена будут существовать гармонические колебания той же частоты, что и входные колебания, но они будут отличаться по амплитуде и форме. В установившемся режиме выходная величина звена равна

$$y = A_2 \sin(\omega t + \gamma), \quad (5.32)$$

где A_2 – амплитуда установившихся выходных колебаний; γ – фазовый сдвиг между входными и выходными колебаниями.

График гармонических колебаний входной и выходной величин приведён на рис. 5.11.

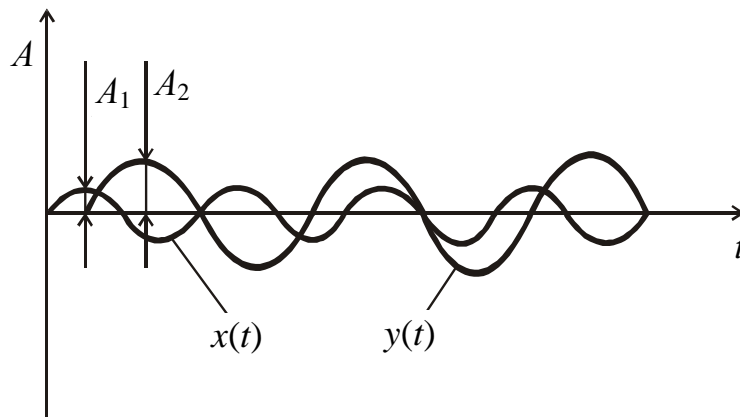


Рис. 5.11. Графические характеристики входной и выходной величин

При фиксированной амплитуде входных колебаний амплитуда и фаза установившихся колебаний на выходе звена зависят от частоты входных колебаний. Запишем входную и выходную величины в комплексной показательной форме:

$$\begin{aligned} y &= A_2 e^{j(\omega t + \gamma)}; \\ x &= A_1 e^{j\omega t}, \end{aligned} \quad (5.33)$$

где $j = \sqrt{-1}$.

Разделив выходную величину звена на входную, получим выражение частотной функции:

$$W(j\omega) = \frac{A_2 e^{j(\omega t + \gamma)}}{A_1 e^{j\omega t}} = \frac{A_2 e^{j\omega t} e^{j\gamma}}{A_1 e^{j\omega t}} = A(\omega) e^{j\gamma}, \quad (5.34)$$

где $A(\omega) = A_2 / A_1$ – модуль частотной функции (отношение амплитуд выходного и входного колебаний); e – основание натурального логарифма;

$\gamma(\omega)$ – аргумент частотной функции (разность фаз выходного и входного колебаний).

Модуль A и аргумент γ зависят от угловой частоты, т.е. при повторении опыта с входными колебаниями другой частоты изменяются амплитуды и фазовый сдвиг звена.

Зависимость $A = A_2 / A_1 = f(W)$ называется амплитудно-частотной характеристикой звена (АЧХ). Совмещенную же характеристику $W(j\omega)$ принято называть амплитудно-фазовой характеристикой (АФХ), т.е. если в выражении передаточной функции звена $W(P) = y(P)/x(P)$ заменить P на $j\omega$, то полученная частотная функция $W(j\omega) = y(j\omega)/x(j\omega)$ будет являться совмещенной характеристикой звена, которую называют амплитудно-фазовой (АФХ).

Такую характеристику, подобно любому комплексному числу, можно представить в прямоугольных координатах как сумму вещественной Re и мнимой Im частей:

$$W(j\omega) = ReW(j\omega) + jImW(j\omega). \quad (5.35)$$

$ImW(j\omega) = jV(\omega)$ – мнимая частотная характеристика звена; $ReW(j\omega) = U(\omega)$ – вещественная частотная характеристика звена.

Подставляя в выражение (5.34) различные значения W , лежащие в пределах от 0 до ∞ , получим множество векторов с различными амплитудами и фазами. Если построить эти векторы и концы их соединить плавной кривой, то получим график совмещенной характеристики, т.е. если частотную функцию представить на комплексной плоскости в виде вектора $W(j\omega_1)$, имеющего длину $A(\omega_1)$ и угол наклона к действительной оси $\varphi(\omega_1)$, то при изменении частоты от 0 до ∞ конец вектора $W(j\omega)$ описывает кривую, называемую *годографом* или *графическим изображением* (АФХ) совмещенной характеристики (рис. 5.12).

Стрелка указывает направление увеличения частоты. Знаки j и ω обозначают мнимую и действительную оси комплексной плоскости.

Таким образом, *совмещенной характеристикой* (амплитудно-фазовой характеристикой) называется геометрическое место концов радиусов векторов (длины которых равны отношениям амплитуд выходной величины к входной, а угол по отношению к оси равен разности фаз) при изменении частоты от 0 до ∞ . Амплитудно-фазовая характеристика показывает, как изменяются амплитуда и фаза сигнала при его прохождении через данное звено при различных частотах.

Частотные методы исследования линейных систем автоматического регулирования упростились после того, как для построения графиков частотных характеристик были введены логарифмические шкалы.

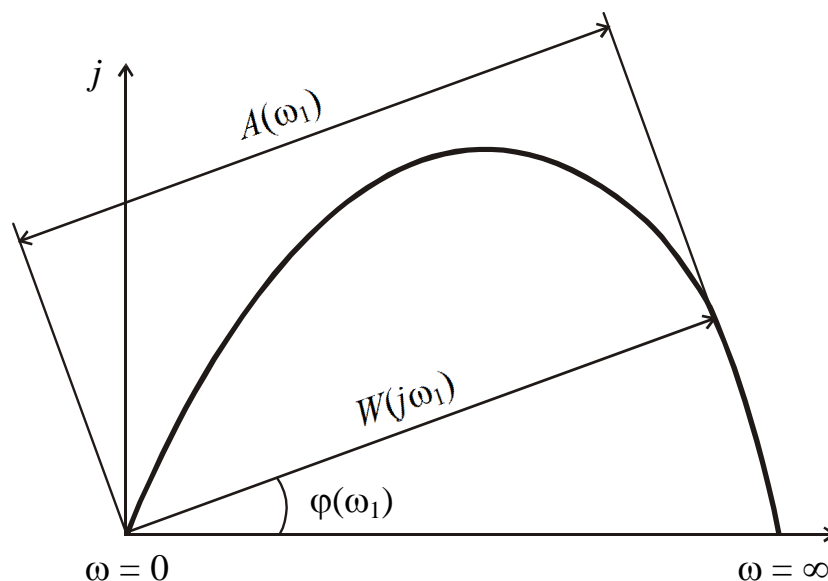


Рис. 5.12. Годограф

Частотные характеристики, построенные в логарифмических шкалах, называются *логарифмическими частотными характеристиками*. Логарифмические шкалы по одной или обеим осям могут использоваться при построении любых частотных характеристик. Чаще всего строятся характеристики $A(\omega)$ и $W(j\omega)$, называемые соответственно логарифмической амплитудной частотной характеристикой, логарифмической фазовой частотной характеристикой и логарифмической амплитудно-фазовой характеристикой.

Для построения логарифмических частотных характеристик нужно прологарифмировать выражение для амплитудно-фазовой характеристики. Так, прологарифмировав выражение (5.35), получим

$$\ln W(j\omega) = \ln A(\omega) + j\gamma(\omega). \quad (5.36)$$

Выражение $\ln A(\omega)$ представляет собой вещественную часть логарифма $W(j\omega)$ и, будучи построено графически, изображает логарифмическую амплитудно-частотную характеристику звена. Мнимая часть логарифма $W(j\omega)$ является фазой функции $W(j\omega)$, т.е. представляет собой фазочастотную характеристику.

Единицами измерения логарифмических координат являются по оси абсцисс октава и декада (дек), а по оси ординат децибел (дБ). (Единицы измерения условны, так как логарифмы – величина безразмерная.)

Октава и декада – равномерные единицы измерения. Каждой октаве соответствует увеличение частоты ω в два раза, а декада есть интервал частот, соответствующий изменению частоты в 10 раз. Октава равна примерно 0,3 декады (так как $\lg 2 \approx 0,3$, а $\lg 10 = 1$). На логарифмической шкале

декада изображается отрезком единичной длины, так как $\lg 10\omega, 1/\lg \omega = 1$. Поэтому относительно величины $\lg \omega$ логарифмическая шкала является равномерной, а относительно частоты ω – неравномерной.

Децибел используется при введении логарифмической шкалы по оси ординат амплитудно-частотной характеристики, которая, как известно, показывает, во сколько раз амплитуда выходного сигнала больше или меньше амплитуды входного сигнала. Обозначим ее L , дБ. Усилением в децибелах называется величина $L_{j\omega} = 20 \lg A(\omega)$. Усилению соответствуют положительные децибелы, а ослаблению – отрицательные. В натуральном масштабе 1 дБ соответствует усилению в 1,12 раза, так как $\sqrt[20]{10} = 1,12$ т.е. $20 \lg 1,12 \approx 1$. Увеличению L на каждые 20 дБ соответствует изменение амплитуды в 10 раз (так как $\lg 1=0, \lg 10=1, \lg 100=2$ и т.д.). Таким образом, получается, что 1 дБ = 1/20 дек.

Смысл введения по шкале частот декады, а по оси усиления децибела заключается в том, чтобы при изменении ω от 0 до ∞ усиление (ослабление) по амплитуде изменялось в заметных пределах (усиление в 1 млн раз соответствует всего лишь 6 дек). Ниже приводится соотношение между величинами A и L (табл. 5.1):

Таблица 5.1

Соотношение между величинами A и L

A	0,1	0,2	1	1,12	2	2	10	100
L	-20	-14	0	1	3	6	20	40

Введение логарифмических частотных характеристик дает ряд преимуществ: по оси частот масштаб автоматически падает с увеличением частоты (это дает возможность охватить весь интересующий исследователя диапазон частот); упрощается построение результирующих частотных характеристик последовательно соединенных звеньев.

5.6. Устойчивость автоматических систем регулирования

Любая система автоматического регулирования состоит из объекта регулирования и регулирующего устройства, соединенных таким образом, что регулируемый параметр на выходе объекта должен поступать на вход регулирующего устройства, а регулирующий сигнал на выходе регулятора должен подаваться на вход объекта регулирования. Но не всякое регулирующее устройство пригодно для автоматизации заданного технологического процесса. Пригодность регулирующей аппаратуры – это прежде всего вопрос устойчивости полученной системы регулирования.

Система автоматического регулирования называется устойчивой, если она, будучи выведена из состояния равновесия, и в дальнейшем не

подвергалась никаким внешним воздействиям, с течением времени стремится вернуться в прежнее состояние равновесия.

Допустим, что в равновесном состоянии регулируемая величина имеет некоторое значение y_0 . Выведем систему из этого состояния каким-либо внешним воздействием так, чтобы величина y_0 изменилась на значение $y_{\text{ВЫХ}}$, и после этого устраним причину, вызвавшую указанное изменение. Тогда, согласно определению, система будет устойчива, если

$$\lim \Delta y \rightarrow 0. \quad (5.37)$$

В случае невыполнения этого условия система будет неустойчивой. Устойчивость системы определяется характером ее свободного движения. Так как свободное движение линейной динамической системы описывается однородным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами (без правой части), то для определения устойчивости достаточно исследовать свойства такого уравнения:

$$a_0 \frac{d^n(\Delta y_{\text{ВЫХ}})}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1}(\Delta y_{\text{ВЫХ}})}{dt^{n-1}} + \dots + a_n \Delta y_{\text{ВЫХ}}, \quad (5.38)$$

где a_0, a_1, \dots, a_n – постоянные коэффициенты, зависящие от постоянных времени и коэффициентов усиления; $\Delta y_{\text{ВЫХ}}$ – отклонение регулируемой величины от заданного значения.

Решение уравнения (5.38) можно представить как

$$\Delta y_{\text{ВЫХ}} = \sum_{i=1}^N A_i e^{\pm P_i t}, \quad (5.39)$$

где A_i – постоянные коэффициенты (постоянные интегрирования), определяемые из начальных условий.

Здесь P_i – корни характеристического уравнения вида

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_n = 0, \quad (5.40)$$

соответствующего исходному дифференциальному уравнению (5.38).

Согласно определению, для устойчивой системы необходимо, чтобы $\Delta y \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$. Это возможно в том случае, если все составляющие уравнения (5.39) с течением времени стремятся к нулю. Поскольку все коэффициенты A_i являются величинами постоянными, то характер поведения каждой составляющей зависит от P_i . Так, если P_i – положительное вещественное число, то $A_i e^{+P_i t}$ с течением времени увеличивается до бесконечности (так как $t \rightarrow \infty$) (рис. 5.13, а). Наоборот, если P_i является отрицательным вещественным числом, то с течением времени $A_i e^{-P_i t}$ стремится к нулю (рис. 5.13, б). И наконец, если P_i комплексное число, равное $\sigma_i \pm j\omega_i$, то

$$A_1 e^{(\sigma+j\omega)t} + A_2 e^{(\sigma-j\omega)t} = A e^{\sigma t} \sin(\omega t + \psi). \quad (5.41)$$

Уравнение (5.41) описывает колебательный процесс, амплитуда которого возрастает или убывает в зависимости от знака вещественной части комплексного корня P . Если вещественная часть корня положительная, то получим колебательный процесс (рис. 5.13, *в*) с нарастающей по величине амплитудой. Если же вещественная часть корня отрицательная, то с течением времени амплитуда колебаний будет стремиться к нулю (рис. 5.13, *г*). На рис. 5.13 показаны кривые изменения амплитуды в зависимости от знака вещественного корня и вещественной части комплексного корня.

Из сказанного следует условие устойчивости. Для обеспечения устойчивости системы автоматического регулирования, описываемой линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами, необходимо и достаточно, чтобы вещественные корни характеристического уравнения, соответствующие указанному дифференциальному уравнению, были отрицательными, а комплексные корни имели отрицательную вещественную часть.

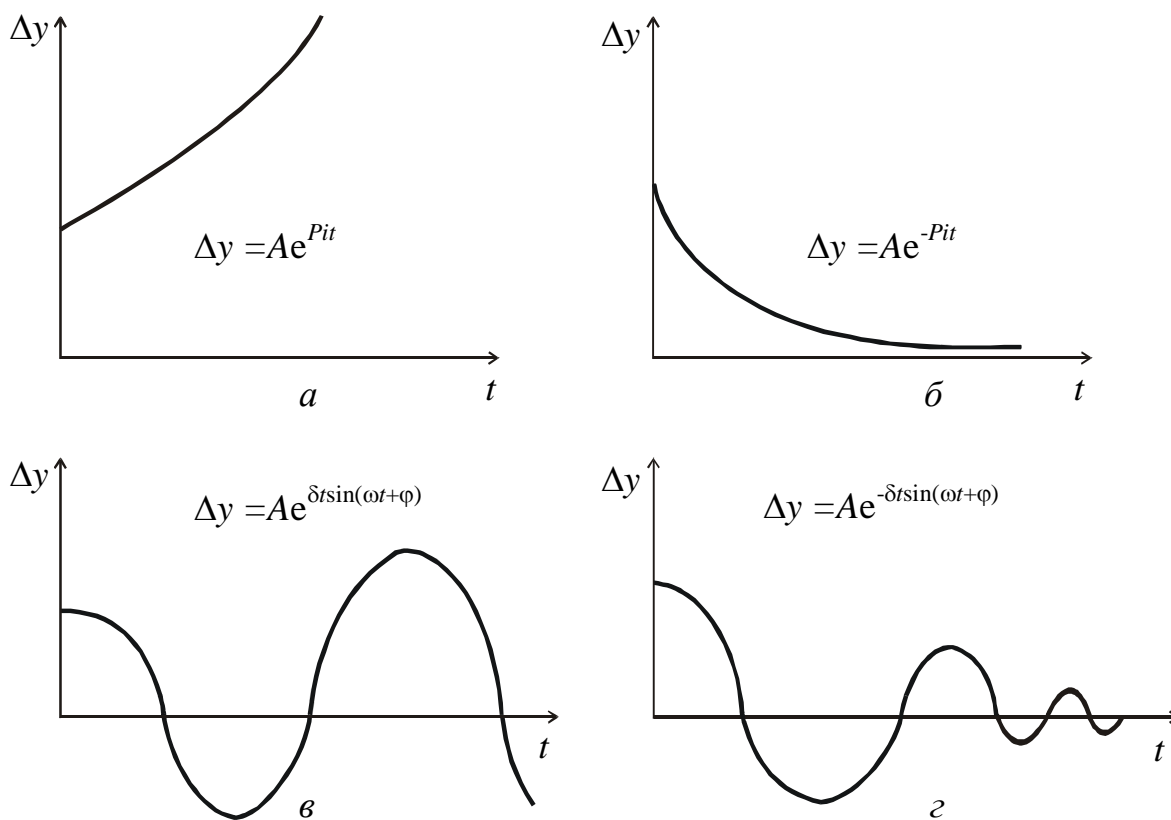


Рис. 5.13. Кривые амплитуд выходной величины

В большинстве случаев системы автоматического регулирования описываются нелинейными дифференциальными уравнениями. Однако при малых отклонениях регулируемой величины нелинейную систему можно заменить ее линейной моделью и таким образом исследовать нелинейную

систему как линейную. Для таких систем условия устойчивости (теоремы Ляпунова) формулируются так:

если все корни характеристического уравнения линеаризованной системы имеют отрицательные вещественные части, то исходная система, описываемая нелинейным уравнением, будет устойчивой;

если среди корней характеристического уравнения линеаризованной системы имеется хотя бы один корень с положительной вещественной частью, то исходная система, описываемая нелинейными уравнениями, будет неустойчивой.

Эти условия (теоремы Ляпунова) учитывают устойчивость при малых отклонениях (иногда говорят "устойчивость в малом").

Если в характеристическом уравнении имеется нулевой корень или пара чисто мнимых корней, то линеаризованная схема будет находиться на границе устойчивости и система исследуется специальными методами, которые не рассматриваются в курсе.

Таким образом, исследование устойчивости систем автоматического регулирования сводится к определению знаков вещественных частей корней характеристического уравнения.

Для определения устойчивости системы автоматического регулирования необходимо найти корни характеристического уравнения этой системы. Но решение уравнений не вызывает затруднений, если имеются уравнения первого или второго порядка; решение уравнений более высоких порядков осуществляется приближенными методами и требует большого объема вычислительной работы. Для того чтобы обойти эти трудности, необходимо найти такие условия и признаки, по которым можно было бы судить об устойчивости АСР, не решая ее характеристического уравнения.

Эти условия и признаки устойчивости называются *критериями устойчивости*. В 1873–1877 гг. Гаусс предложил критерий, позволяющий, не решая характеристического уравнения, определить, устойчива система или нет. Критерий дан в виде правила, определяющего последовательность математических операций с коэффициентами характеристического уравнения. В 1895 г. в несколько иной форме этот же критерий был предложен швейцарским математиком Гурвицем. По Гурвицу, условие устойчивости формулируется в виде определителей.

Критерий Гаусса – Гурвица применим для исследования систем, которые описываются уравнениями невысокого порядка $n < 5$ и являются алгебраическими, т.е. для определения устойчивости АСР по этому критерию надо иметь дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами.

Критерий Найквиста – Михайлова был предложен Найквистом в 1932 г. для исследования устойчивости усилителей, замкнутых обратной связью, и применен Михайловым в 1936 г. при определении устойчивости АСР.

В настоящее время этот критерий получил большое распространение, так как имеет ряд преимуществ по сравнению с алгебраическим критерием. При помощи критерия Найквиста – Михайлова можно судить об устойчивости системы не только в том случае, когда есть дифференциальное уравнение, но и тогда, когда его нет, а известна только АФК системы (Михайлов). Кроме того, об устойчивости замкнутой системы при помощи этого критерия можно судить по АФК разомкнутой системы (Найквист).

Условия устойчивости, по Михайлову, формулируются так: система регулирования будет устойчивой, если годограф функции

$$f(j\omega) = a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \dots + a_n \quad (5.42)$$

при изменении ω от 0 до ∞ обходит последовательно в положительном направлении n квадрантов комплексной плоскости, где n – степень характеристического уравнения данной системы. За положительное направление считается движение против часовой стрелки. Примерные формы годографов Михайлова для устойчивых и неустойчивых систем, описываемых уравнениями третьего и четвертого порядка, приведены на рис. 5.14.

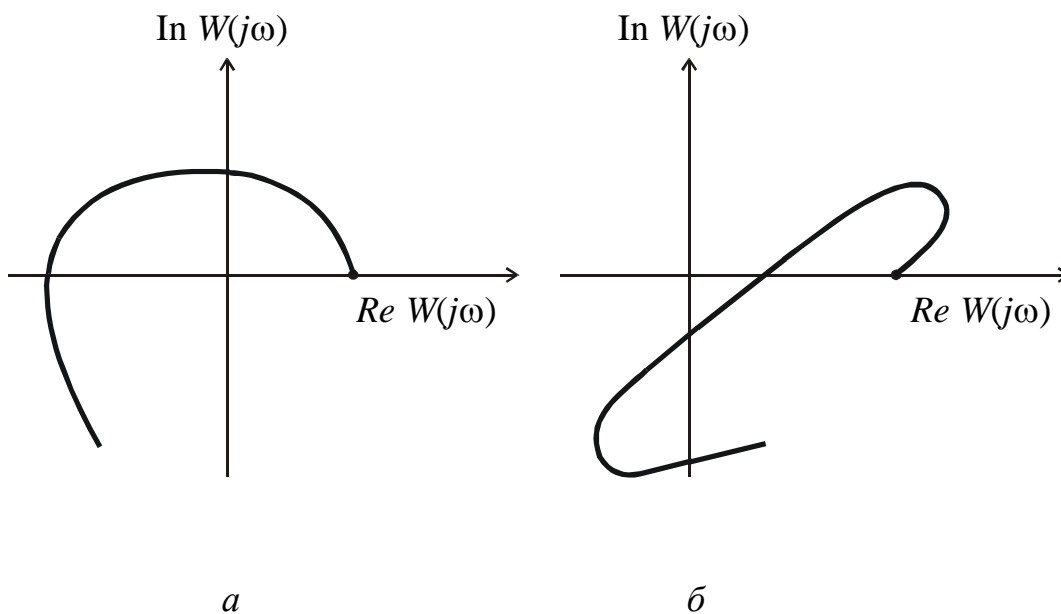


Рис. 5.14. Амплитудно-фазовые характеристики:
a – устойчивая система; *б* – неустойчивая система

5.7. Качество регулирования

Устойчивость является необходимым, но недостаточным условием работоспособности системы автоматического регулирования. Помимо устойчивости, к переходному процессу предъявляются требования, обуславливающие качество его протекания. В каждом отдельном случае эти требования могут быть различными.

В общем случае к числу показателей, определяющих качество регулирования, относятся следующие:

статистическая точность регулирования, оцениваемая ошибкой, равной отклонению регулируемой величины от заданного значения по окончании процесса регулирования. Ошибка регулирования характерна для статических систем;

максимальное отклонение регулируемой величины, оцениваемое небольшим отклонением регулируемого параметра от заданного значения в процессе регулирования;

длительность процесса регулирования t_p , оцениваемая отрезком времени, по истечении которого отклонение регулируемой величины от заданного не превышает предварительно заданной величины;

колебательность процесса, характеризуемая числом колебаний регулируемой величины за время регулирования t_p .

Колебательность процесса принято оценивать по степени затухания, определяемой из выражения

$$\psi = \frac{\Delta y_{\text{ВЫХ}_1} - \Delta y_{\text{ВЫХ}_2}}{\Delta y_{\text{ВЫХ}_1}}. \quad (5.43)$$

Степень затухания показывает, на сколько процентов амплитуда колебаний в кривой переходного процесса изменяется за один период:

$$\psi = \frac{\Delta y_{\text{ВЫХ}_1} - \Delta y_{\text{ВЫХ}_3}}{\Delta y_{\text{ВЫХ}_1}} 100. \quad (5.44)$$

Названные показатели качества приведены на рис. 5.15.

В общем виде о качестве регулирования можно судить по характеру переходного процесса, найденному на основе дифференциального уравнения системы. Поскольку не всегда удастся найти точное решение дифференциального уравнения высокого порядка, то в большинстве случаев для оценки качества используют приближенные косвенные методы.

Одним из наиболее широко применяемых методов является метод интегральных оценок качества. Метод интегральных оценок основан на вычислении определенных интегралов от некоторой функции отклонения регулируемой величины. Показателем качества может служить величина площади, ограниченной кривой переходного процесса и осями координат (рис. 5.16): чем она меньше, тем при прочих равных условиях процесс регулирования лучше. Величина же площади (заштрихованная площадь на рис. 5.16, а) определяется интегралом

$$I_1 = \int_0^{\infty} (y_{\text{ВЫХ}} - y_{\text{ВЫХ.УСТ}}) dt. \quad (5.45)$$

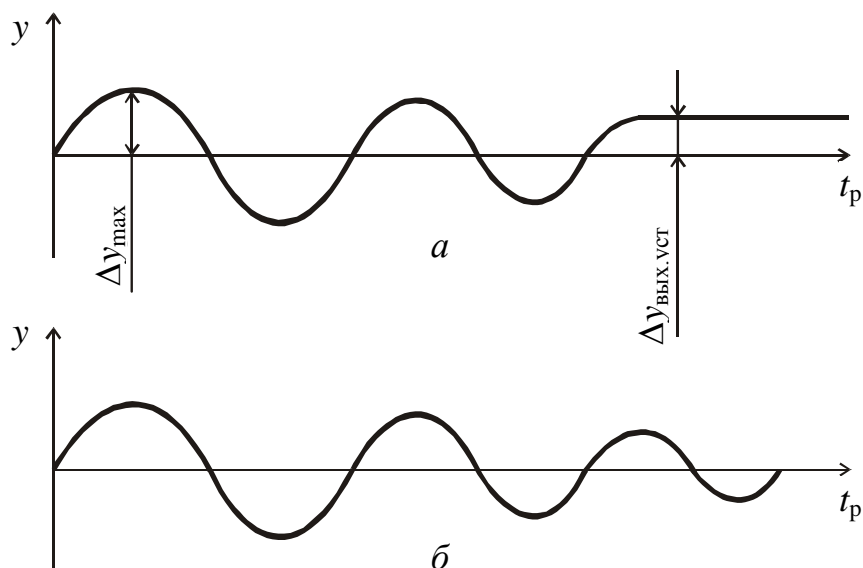


Рис. 5.15. Показатели качества регулирования:
 а – для статических систем; б – для астатических систем

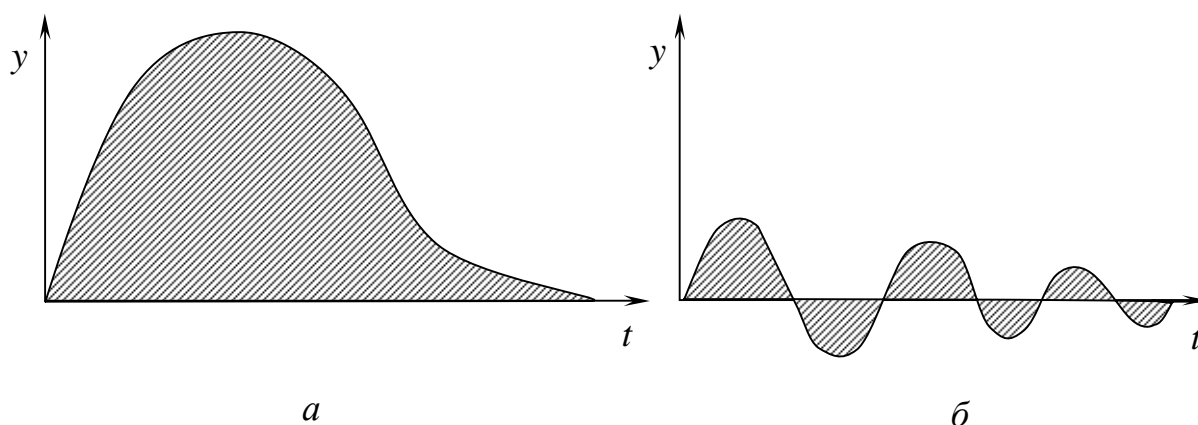


Рис. 5.16. Метод определения качества процесса регулирования:
 а – по площади; б – квадратичная интегральная оценка

Такую интегральную оценку можно использовать только для переходных процессов, не имеющих перерегулирования и близких к апериодическим. Для колебательного процесса, когда положительные полуволны чередуются с отрицательными (рис. 5.16, б), алгебраическая сумма площадей полуволн, определяемая интегралом I_1 , не может характеризовать качество регулирования. Для колебательных процессов пользуются квадратичной интегральной оценкой:

$$I_2 = \int_0^{\infty} (y_{\text{вых}} - y_{\text{вых.уст}})^2 dt. \quad (5.46)$$

Эта оценка учитывает сумму абсолютных значений площадей, расположенных по обе стороны от заданного значения.

Глава 6

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ И РЕГУЛЯТОРЫ

6.1. Объект регулирования

Технический агрегат (аппарат), в котором осуществляется автоматическое регулирование, называется объектом регулирования.

Объекты автоматизации можно классифицировать в зависимости от регулируемой величины (температуры, давления, расхода и т.п.); и по характеру материальных и энергетических внутренних связей в них (механические, гидравлические, тепловые, диффузионные, химические и др.). Различают также объекты с одной и несколькими регулирующими величинами. Однако такая классификация не отражает статистических и динамических свойств объектов. В зависимости от динамических свойств различают объекты с сосредоточенными и распределенными параметрами.

Объектами с сосредоточенными параметрами называют такие, в которых в состоянии равновесия регулируемые величины практически имеют одинаковые значения по всему объему объекта. Примерами могут служить тепловые объекты, в которых температура жидкости определенного объема одинакова во всех точках, и объекты типа емкостей, в которых регулируемой величиной является давление газа и т.д.

Объектами с распределенными параметрами называют такие, в которых значение регулируемых величин в различных точках объекта неодинаково (например, давление вещества в трубопроводе, температура продукта в трубчатом нагревателе).

Большинство реальных промышленных объектов – сложные нелинейные системы с распределенными параметрами и несколькими взаимосвязанными регулируемыми величинами. При исследовании этих объектов или объектов регулирования не представляется возможным учесть все свойства, явления и процессы, происходящие в них. Учитываются только факторы, которые решающим образом влияют на протекание технологического процесса.

Технологические процессы, протекающие в объектах, можно представить в виде таких операций, как поступательное или вращательное движение, нагревание и охлаждение вещества в определенном объеме, перемешивание веществ, заполнение или опорожнение сосуда и т.д. Такие процессы, как правило, характеризуются одной выходной $y_{\text{вых}}$ и одной входной $x_{\text{вх}}$ величинами, имеют одну степень свободы и могут быть описаны обобщенным уравнением вида:

$$A = (dy_{\text{вых}} / dt) \Delta Q, \quad (6.1)$$

где A – показатель, характеризующий динамические свойства объекта и определяющий характер изменения $x_{\text{вых}}$ во времени; Q – материальное или энергетическое воздействие на объект.

В состоянии равновесия, как известно, воздействие на объект отсутствует, т.е. $Q = 0$. При A , отличном от нуля, $x_{\text{вых}}$ также должен быть равен нулю. С появлением $u_{\text{вых}}$ в объекте возникает переходный процесс, в котором $u_{\text{вых}}$ изменяется во времени. Характер этого изменения определяется решением дифференциального уравнения (6.1).

Основными параметрами объектов регулирования являются емкость и коэффициент емкости, самовыравнивание, запаздывание, время разгона и скорость разгона.

Емкостью регулирующего объекта называется запас накопленной энергии объектов или накопленного в объекте вещества. Одинаковые возмущения по-разному сказываются на изменении регулируемой величины. Чем больше емкость объекта регулирования, тем медленнее при прочих равных условиях будет изменяться регулируемая величина при возмущениях, и наоборот, чем меньше емкость объекта регулирования, тем он чувствительнее к этим возмущениям, т.е. объекты с большей емкостью более устойчивы.

Коэффициент емкости – то количество энергии или вещества (пара, газа, жидкости), которое необходимо подвести к объекту или отвести от объекта для того, чтобы изменить регулируемую величину на единицу измерения. Например, при регулировании уровня коэффициент емкости есть то количество жидкости в кубических метрах, которое необходимо добавить, чтобы уровень изменился на 1 м (размерность $\text{м}^3/\text{м}$ или м^2).

Чем больше коэффициент емкости, тем больше емкость объекта, тем медленнее изменяется регулируемая величина, т.е. меньше его чувствительность к возмущениям, и наоборот.

Самовыравнивание объекта регулируемого процесса – это свойство регулируемого объекта, когда после возникновения возмущения объект стремится вновь прийти в состояние равновесия без внешнего вмешательства.

Объекты без самовыравнивания характеризуются тем, что при нарушении равновесия за счет отклонений регулируемой величины равновесие не восстанавливается.

Способность объекта к самовыравниванию характеризуется степенью или коэффициентом самовыравнивания. Степень самовыравнивания численно равна отношению величины возмущающего воздействия к отклонению регулируемой величины, вызванному этим воздействием. Самовыравнивание способствует устойчивости регулируемого объекта и облегчает работу регулятора.

Запаздывание процесса в объекте – изменение регулируемой величины с момента возмущающего действия происходит не сразу, а через некоторое время. Это время называется запаздыванием процесса в объекте. Запаздывание может быть передаточное и переходное.

Передаточное (транспортное) запаздывание – это время τ_0 , в течение которого регулируемая величина, несмотря на происшедшие возмущения, все же не изменяется.

При изменении нагрузки f с момента t_0 регулируемая величина остается постоянной и лишь через некоторое время с момента t_1 начнет реагировать на это возмущение.

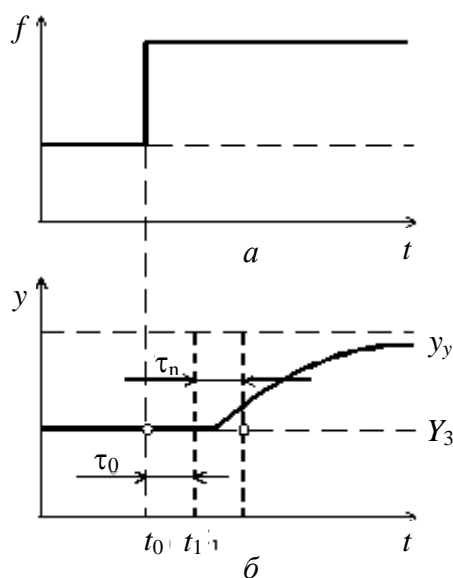


Рис. 6.1. График передаточного (а) и переходного запаздывания (б)

Передаточное запаздывание зависит от нагрузки объекта. Чем больше нагрузка, тем меньше передаточное запаздывание, так как при большой нагрузке регулируемая среда движется быстрее, а поэтому чувствительный элемент начнет реагировать на возмущение раньше, т.е. время запаздывания будет меньше. Передаточное запаздывание также зависит от емкости объекта: чем больше емкость, тем больше время передаточного запаздывания. Чем меньше время передаточного запаздывания, тем более благоприятные условия создаются для автоматического регулирования. Для уменьшения времени передаточного запаздывания регулирующий орган необходимо располагать возможно ближе к объекту, чтобы емкость между регулирующим органом и объектом регулирования была наименьшей.

Переходным (емкостным) запаздыванием процесса регулирования называется запаздывание, зависящее от тепловых, гидравлических и других сопротивлений между емкостями объекта, и определяется как промежуток времени от момента возникновения до начала изменения регулируемой ве-

личины в результате преодоления указанных межъемкостных сопротивлений.

Переходное запаздывание также может быть определено графически, как это показано на рис. 6.1, б, вычислено как отрезок времени $\tau_{п}$ от начала изменения регулируемой величины до момента, соответствующего точке пересечения касательной с осью времени, проведенной из точки максимального перегиба кривой изменения регулируемой величины. Переходное запаздывание отрицательно сказывается на качестве регулирования. Сумма времени передаточного и переходного запаздываний называется *временем полного запаздывания*:

$$\tau = \tau_0 + \tau_{п}. \quad (6.2)$$

Запаздывание, которым обладает регулятор, относится к переходному запаздыванию.

Запаздывание регулятора – суммарное время запаздывания измерительной и регулирующей системы, т.е. время с момента возникновения изменения регулируемой величины в месте установки чувствительного элемента регулятора до момента начала действия регулирующего органа.

Запаздывание чувствительных элементов регулятора определяется временем, которое необходимо чувствительному элементу для обнаружения происшедшего в объекте изменения величины поля возмущения.

Запаздывание в передаче импульса по трубопроводу зависит от времени, необходимого для заполнения (или опорожнения) всего объема импульсной линии. Сущность отрицательного влияния запаздывания заключается в том, что перемещение регулирующего органа не совпадает по времени с теми командными воздействиями, которые производит регулятор в процессе изменения регулируемой величины. Запаздывание существенно изменит динамическую ошибку, т.е. выбег регулируемой величины. Динамическая ошибка при прочих равных условиях будет тем больше, чем больше запаздывание.

Временем разгона объекта T_0 является время, в течение которого регулируемая величина изменяется от нуля до заданного значения при мгновенном 100%-ном возмущении со стороны регулирующего агента (от нуля до максимума) при условии, что скорость изменения величины в течение этого времени останется постоянной, а нагрузка отсутствует. Время разгона объекта T_a может быть определено как время, в течение которого при максимальной нагрузке и прекращении поступления регулируемой среды регулируемая величина изменится от номинального значения до нуля при условии, что скорость изменения ее в течение этого времени остается постоянной. Чем больше емкость, тем будет больше время разгона (рис. 6.2). Значение регулируемой величины y_n , к которому оно стремится после воз-

мушения, называется *потенциальным возмущением*. Время разгона объекта T_a связано с постоянной времени разгона объекта T_0 соотношением $T_a = \eta T_0$, где $\eta < 1$ – коэффициент нагрузки объекта, равный отношению нагрузки при рассматриваемом режиме к максимальной нагрузке объекта.

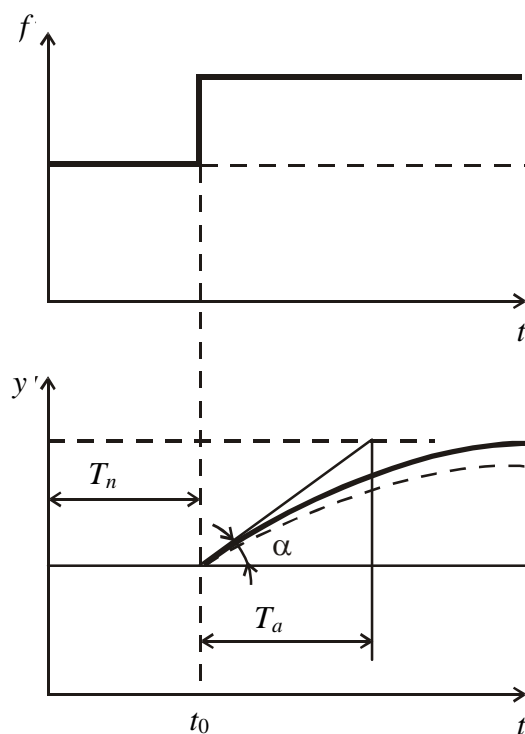


Рис. 6.2. Кривая разгона объекта с самовыравниванием:
 f – возмущение; t – время; y – регулируемая величина

Время разгона в общем случае определяется уравнением

$$T_a = (\Delta f dt) / dy, \quad (6.3)$$

где Δf – относительная величина возмущения; dy – относительное изменение регулируемой величины; dt – изменение времени.

Иногда вместо понятия "время разгона" употребляют понятие "скорость разгона". Под скоростью разгона подразумевают величину, обратную времени разгона, имеющую размерность 1/с, 1/мин.

Практически скорость изменения регулируемой величины прямо пропорциональна величине возмущающего воздействия:

$$dt / dy = \varepsilon \Delta y, \quad (6.4)$$

где ε – скорость разгона или коэффициент пропорциональности (отношение чувствительности к возмущению); Δy – скорость реагирования регулируемой величины на возмущение.

Чем больше в данный момент возмущающее воздействие, тем быстрее изменяется регулируемая величина, т.е. тем больше будет скорость этого изменения. Если при установившемся режиме объекта отключить регулятор и резко возмутить процесс, то в зависимости от вышеуказанных свойств объекта получим запись изменения регулируемой величины по времени. Эта кривая записи является переходной функцией или кривой разгона объекта и характеризует динамические свойства объекта.

После анализа и обработки кривой разгона можно определить запаздывание объекта τ_0, τ_n, τ ; скорость реагирования регулируемой величины на возмущение; степень самовыравнивания p ; изменение регулируемой величины после возмущения f ; постоянную времени объекта T_0 и влияние изменения нагрузки f на поведение регулируемой величины (рис. 6.3).

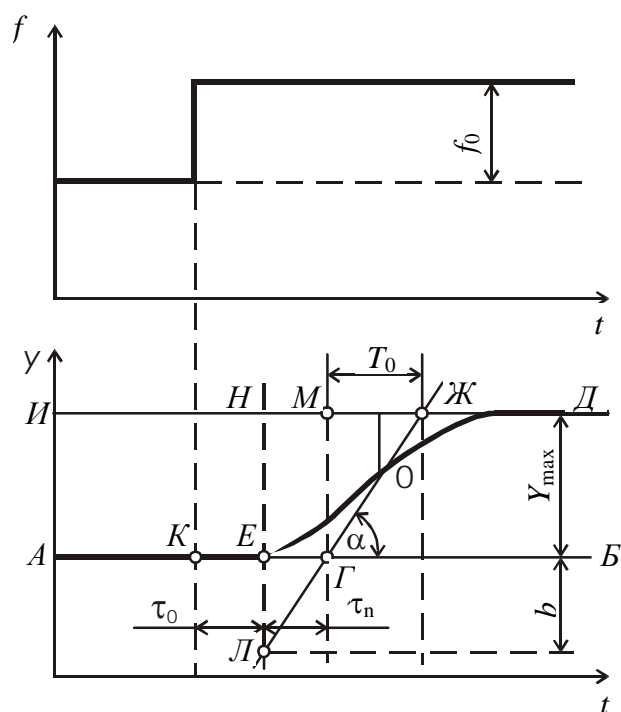


Рис. 6.3. Кривая разгона для определения динамических свойств объекта

Для определения времени передаточного запаздывания предварительно отмечают время возмущения и момент начала изменения регулируемой величины. Отрезок KE в масштабе есть передаточное запаздывание τ_0 .

Для определения времени переходного запаздывания проводят линию AB начального значения величины, находят точку максимальной скорости ее изменения (точка перегиба O , после которой кривая изменяется менее резко); через точку O проводят касательную до пересечения ее с линией AB , полученный отрезок EG во времени есть время переходного запазды-

вания. На основании найденных значений и определяем время полного запаздывания:

$$\tau = \tau_0 + \tau_{\text{п}}. \quad (6.5)$$

Для определения времени разгона или постоянной времени T_0 проводят линию *ИД* (новое установившееся значение регулируемой величины), проводят касательную до пересечения ее с линией *ИД* до точки *Ж*, проводят вертикальную линию от точки *Г* до точки *М*; полученный отрезок *МЖ* во времени есть время разгона данной кривой или постоянная времени T_0 . Она характеризует общую продолжительность процесса самовыравнивания и характер изменения величины во времени.

Зная T_0 , можно построить дополнительную кривую изменения величины в этом процессе и судить по ней о времени, в течение которого закончится процесс регулирования. По величине изменения возмущающего воздействия f определяют коэффициент самовыравнивания:

$$E = f_0/e_{\text{max}}. \quad (6.6)$$

По коэффициенту самовыравнивания находят коэффициент усиления объекта K_0 ($K_0 = 1/\varepsilon$), который показывает, насколько существенно изменится регулируемая величина при изменении положения регулирующего органа. Для определения скорости разгона ε проводят через точку *Е* вертикальную линию, продолжают касательную до пересечения с этой вертикальной линией и проводят линию через точку *Л* параллельно линии *АВ*; полученный отрезок *б* есть скорость разгона, т.е. максимальная скорость изменения регулируемой величины в процессе самовыравнивания для одноинерционного объекта. Тангенс угла наклона касательной выражает скорость изменения регулируемой величины:

$$V = \varepsilon / \tau t_0. \quad (6.7)$$

На основании полученных данных, т.е. значений $\tau_0, \tau_{\text{п}}$ и ε , можно судить о динамических свойствах объекта, на основании которых следует производить выбор регулятора, определять параметры настроенных элементов, обеспечивающих устойчивость и качество процесса регулирования. Кривые разгона снимаются не менее трех раз при нескольких режимах работы объекта.

6.2. Промышленные регуляторы

Сложным вопросом синтеза и анализа АСР является обеспечение такой совокупности объекта и регулятора, при которой АСР в целом обеспечивала бы необходимую устойчивость и качество регулирования. При этом внимательному изучению подлежит само устройство регулирования –

регулятор, его виды, свойства, законы регулирования, которые он отрабатывает, область применения в различных АСР и т.п. Этим обосновывается актуальность рассматриваемых вопросов. Важность и значимость изучаемого материала для работника пожарной охраны подтверждает то обстоятельство, что грамотно спроектированная АСР, правильно, с учетом свойств объекта, подобранный регулятор повышает пожарную безопасность технологического процесса.

Подобно системам автоматического регулирования в целом автоматические регуляторы могут классифицироваться по различным признакам:

1. В зависимости от характера регулируемой величины различают регуляторы температуры, давления, расхода, скорости вращения, уровня и т.д.

2. По роду используемой энергии: пневматические, электрические, гидравлические.

3. В зависимости от используемого принципа регуляторы делятся на регуляторы, работающие по отклонению (ошибке), регуляторы, работающие по возмущению, и комбинированные регуляторы.

4. В зависимости от способа воздействия чувствительного элемента на регулирующий орган регуляторы могут быть прямого и непрямого действия.

Регуляторами прямого действия называются регуляторы, в которых регулирующий орган перемещается непосредственно чувствительным элементом системы. Дополнительные источники энергии в таких системах отсутствуют.

Регулятором непрямого действия называют регулятор, в состав которого входят устройства, позволяющие усилить управляющий сигнал по мощности.

5. В зависимости от вида задания регуляторы подразделяют на стабилизирующие, программные, следящие (рис. 6.4).

6. По закону регулирования (т.е. в зависимости от изменения выходной величины регулятора от изменения его входной величины) автоматические регуляторы непрерывного действия делятся на следующие:

пропорциональные или статические регуляторы (П-регуляторы);
интегральные или астатические регуляторы (И-регуляторы);
пропорционально-интегральные или изодромные регуляторы (ПИ-регуляторы);

пропорционально-дифференциальные регуляторы или пропорциональные регуляторы с предварением (ПД-регуляторы);

пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы или изодромные регуляторы с предварением (ПИД-регуляторы).

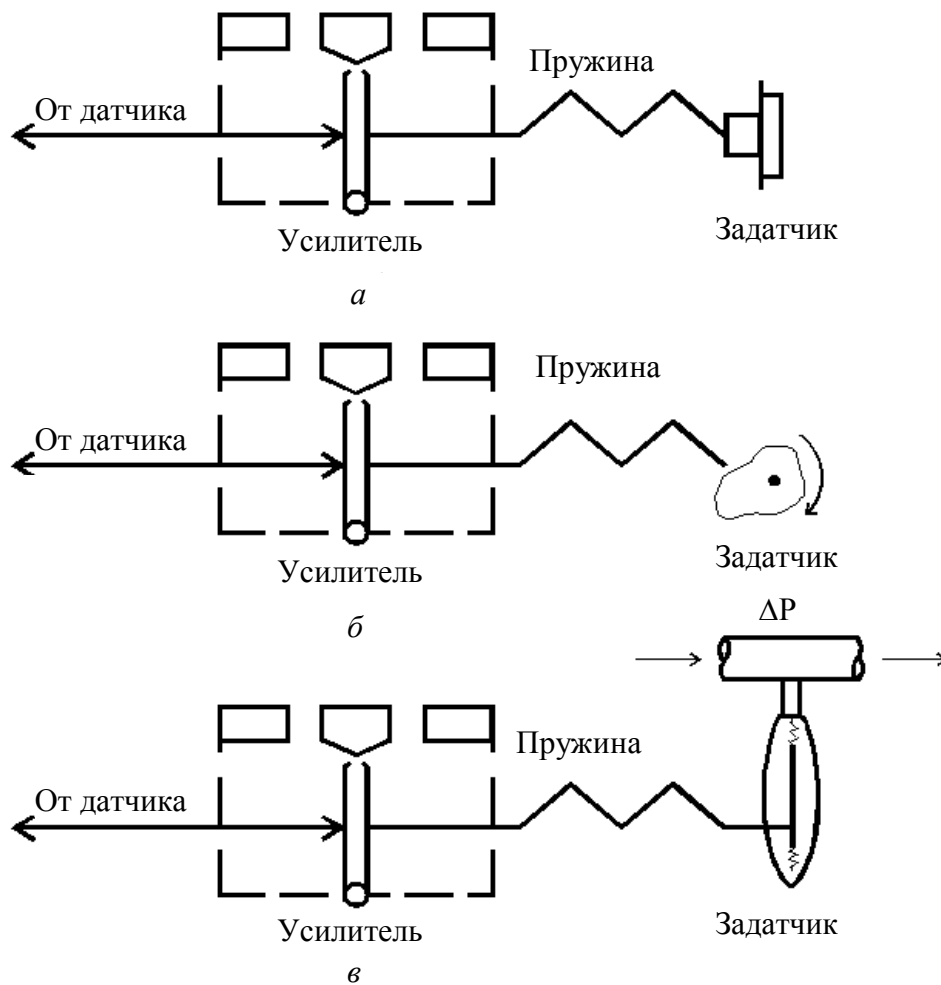


Рис. 6.4. Типы регуляторов по виду задания:
a – стабилизирующий; *б* – программный; *в* – следящий

П-регуляторы. Регулирующее воздействие μ этих регуляторов пропорционально отклонению регулируемого параметра от его заданного значения. Закон П-регулятора:

$$\mu = k\varphi, \quad (6.8)$$

где k – коэффициент передачи регулятора; φ – регулируемая величина.

Коэффициент передачи регулятора или коэффициент пропорциональности является параметром настройки П-регулятора и может устанавливаться в широких пределах. При наличии жесткой зависимости между изменениями входной и выходной величин регулятора повышается устойчивость системы регулирования, но одновременно появляется остаточное отклонение значения параметра в пределах статической неравномерности регулятора при изменении нагрузки объекта.

И-регуляторы. Регулирующее воздействие этих регуляторов пропорционально интегралу отклонения регулируемого параметра от заданного

значения по времени. Регулирующее воздействие И-регулятора тем больше, чем больше величина отклонения регулируемого параметра и чем длительнее это отклонение. У таких регуляторов регулирующее воздействие будет продолжаться до тех пор, пока регулируемый параметр не возвратится к заданному значению. Закон регулирования И-регулятора:

$$\mu = \frac{1}{T} \int_0^t \varphi dt, \quad (6.9)$$

где T – время, в течение которого исполнительный механизм регулятора переместит регулирующий орган из одного крайнего положения в другое при максимальной рассогласованности между текущим и заданным значениями регулируемого параметра.

При изменении нагрузки И-регулятор поддерживает параметр на заданном уровне в пределах зоны нечувствительности. При этом регулирующий орган может занимать различные положения. Однако вследствие замедленного возникновения регулирующего воздействия эти регуляторы обычно применяют только для регулирования параметров в объектах с большим самовыравниванием.

ПИ-регуляторы. Работу этих регуляторов можно рассматривать как совместное действие пропорциональных и интегральных регуляторов. Регулирующее воздействие ПИ-регуляторов пропорционально отклонению параметра от заданного значения к интегралу этого отклонения во времени. ПИ-регуляторы обладают лучшими динамическими свойствами по сравнению с И-регуляторами и не имеют статической неравномерности регулирования при изменении нагрузки объекта.

При отклонении параметра от заданного значения ПИ-регулятор в первый момент времени вырабатывает регулирующее воздействие, пропорциональное отклонению. Если регулирующий параметр не возвратится к заданному значению, ПИ-регулятор будет продолжать воздействовать на объект в том же направлении до тех пор, пока параметр не вернется к заданному значению. Закон регулирования ПИ-регулятора:

$$\mu = k\varphi + \frac{k}{T_{\text{и}}} \int_0^t \varphi dt, \quad (6.10)$$

где $T_{\text{и}}$ – время изодрома, т.е. время, в течение которого регулирующий орган переместится под действием механизма изодрома на такую же величину, как при предварительном действии пропорциональной составляющей; $k/T_{\text{и}}$ – коэффициент усиления.

Коэффициент передачи регулятора и время изодрома являются параметрами настройки ПИ-регулятора.

ПД-регуляторы. Регулирующее воздействие этих регуляторов пропорционально отклонению параметра от заданного значения и скорости этого отклонения. При отклонении параметра регулирующей орган перемещается с некоторым опережением, пропорциональным скорости изменения регулируемого параметра. С уменьшением скорости изменения параметра опережающее воздействие уменьшается и полностью прекращается в равновесном состоянии.

Воздействие по производной ПД-регулятора физически можно представить как временное автоматическое увеличение коэффициента передачи статической части регулятора при удалении параметра от равновесного состояния под действием возмущения. Закон регулирования ПД-регулятора:

$$\mu = k\varphi + T_n \frac{d\varphi}{dt}, \quad (6.11)$$

где T_n – время дифференцирования или время предварения, характеризующее степень влияния воздействия по производной на регулирующее воздействие.

Коэффициент передачи регулятора k и время предварения T_n являются параметрами настройки ПД-регулятора. Эти регуляторы позволяют существенно уменьшить амплитуду колебаний регулируемого параметра в переходном процессе и время регулирования. Поэтому они обычно устанавливаются на инерционных объектах со значительным запаздыванием.

ПИД-регуляторами называются такие регуляторы, для которых величина регулирующего воздействия пропорциональна отклонению регулируемого параметра от заданного значения, интегралу и скорости этого отклонения. Закон регулирования ПИД-регулятора:

$$\mu = k\varphi + \frac{1}{T_n} \int_0^t \varphi dt + T_n \frac{d\varphi}{dt}. \quad (6.12)$$

Параметрами настройки ПИД-регулятора являются: коэффициент передачи регулятора k , время изодрома T_n и время предварения T_n . ПИД-регуляторы устанавливаются на инерционных объектах со значительным запаздыванием, где недопустима статическая неравномерность.

При автоматизации производственных процессов часто встречаются объекты, статическая характеристика которых нелинейна, причем они имеют явно выраженный максимум или минимум значения регулируемой величины при некотором значении входной величины (рис. 6.5).

При автоматизации объектов с подобной характеристикой часто возникает задача поддержания регулируемой величины на экстремальном (максимальном или минимальном) уровне, исходя из требований наи-

большей экономической эффективности и безопасности процесса. Эту задачу в некоторых случаях можно решить обычными регуляторами, реализующими П, И, ПИ, ПД, ПИД законы регулирования и входящими в системы стабилизации, где заданное значение регулируемой величины равно ее экстремальному значению.

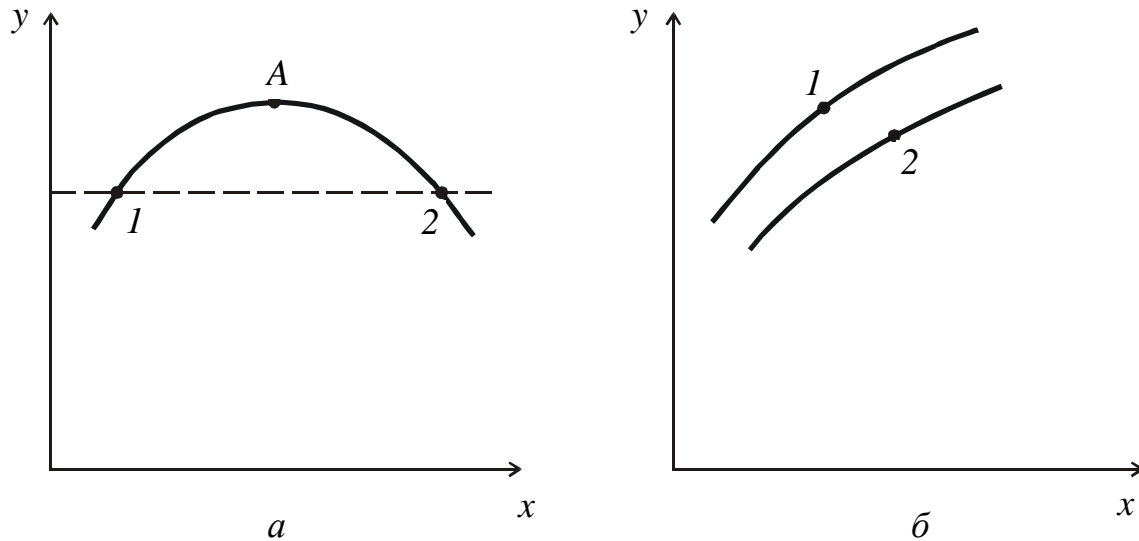


Рис. 6.5. Статическая характеристика объекта регулирования с экстремумом: *a* – с постоянной точкой (*A*) экстремума; *б* – с переменной точкой экстремума

Если же статическая характеристика является функцией не одной, а нескольких независимых переменных (входных величин), и каждой совокупности значений величин входа будут соответствовать различные значения максимума или минимума регулируемых величин, то указанные регуляторы не обеспечат решение поставленной перед ними задачи, так как экстремум будет меняться при соответствующих изменениях величин на входе возмущающих воздействий. В этом случае создаются системы экстремального регулирования, задачей которых является поиск таких положений регулирующих органов, при которых входные величины соответствуют экстремуму регулируемой величины.

6.3. Выбор регуляторов

Основной сложностью при выборе регуляторов является определение требуемой характеристики действия регулятора применительно к динамическим свойствам объекта. При отсутствии регулятора возмущение вынуждает регулируемую величину объекта изменяться по некоторой кривой, зависящей от свойств данного объекта. Максимальное отклонение регулируемой величины в этих условиях зависит от возмущения. Продолжительность отклонения определяется временем действия возмущения. Если

включить данный объект в систему регулирования, то можно уменьшить абсолютную величину отклонения и время, в течение которого отклонение будет продолжаться. Однако регуляторы с различными характеристиками действия дают разные результаты регулирования, что вызывает необходимость выбирать их соответственно свойствам объекта. При правильно выбранном регуляторе и при соответствующей его настройке степень затухания процесса регулирования должна быть примерно равна 0,75. При таком значении степени затухания кривая изменения регулируемой величины получается наиболее благоприятной.

При отсутствии сведений о динамических свойствах проектируемого объекта выбор регуляторов следует производить по аналогии с действующими объектами или же на основании предположений и соображений о свойствах данного объекта, учитывая при этом критерии по выбору регуляторов (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Критерии по выбору регуляторов

Регулятор	Критерий
Импульсный	$\frac{\tau}{T_0} > 0,5-1,0$
Релейный	$0 < \frac{\tau}{T_0} < 0,2$
Непрерывный	$\frac{\tau}{T_0} > 0$

Здесь τ – запаздывание процесса в объекте; T_0 – постоянная времени объекта.

Помимо названных критериев, необходимо также учитывать свойства объекта, для которых приемлемы следующие регуляторы.

Импульсные регуляторы могут применяться в объектах без большого запаздывания, обладающих средней емкостью при постоянной или плавно меняющейся нагрузке и при соблюдении условия:

$$\frac{\tau}{T_0} > 0,5-1,0.$$

Двухпозиционные регуляторы могут применяться в объектах без большого запаздывания, обладающих большой емкостью при постоянной или очень мало изменяющейся нагрузке, и при соблюдении условия:

$$0 < \frac{\tau}{T_0} < 0,2.$$

Эти регуляторы могут быть применимы для объектов с одной емко-

стью без свойств самовыравнивания.

И-регуляторы применяются в объектах с самовыравниванием, обладающих как малой, так и большой емкостью, с небольшим запаздыванием и при медленных изменениях нагрузки.

П-регуляторы применяются в объектах со средней емкостью, с небольшим запаздыванием и при небольших изменениях нагрузки. Пропорциональные регуляторы большей частью находят применение для одноемкостных и реже двухемкостных объектов.

ПИ-регуляторы применяются в объектах с любой емкостью с большим запаздыванием и большими, но медленно изменяющимися нагрузками. Эти регуляторы могут применяться для объектов многоемкостных.

ПД-регуляторы применяются в объектах со средней емкостью, при большом времени запаздывания и при малых нагрузках.

ПИД-регуляторы применяются в объектах с любой емкостью, с очень большим запаздыванием и при больших и резких изменениях нагрузки.

Для действующего объекта при наличии кривых разгона либо частотных характеристик или для вновь проектируемого объекта, для которого кривые разгона сняты с действующего аналогичного объекта, выбор регуляторов следует производить на основании расчетов. При известных K_0 , T_0 и системе регулирования (рис. 6.6) для объектов, динамические свойства которых описываются дифференциальным уравнением первого порядка, кривая разгона может быть рассчитана для объектов с самовыравниванием

$$T_0 y + y(t) = K_0 [\mu(t-\tau) + \lambda_0(t-\tau)], \quad (6.13)$$

для объектов без самовыравнивания

$$T_0 y(t) = K_0 [\mu(t-\tau) + \lambda_0(t-\tau)], \quad (6.14)$$

где μ – регулирующее воздействие; f – возмущение по нагрузке.

Характер переходного процесса, т.е. показатель качества регулирования, определяется динамическими свойствами объекта, выбранным законом регулирования и коэффициентами управления этого закона. На основании уравнений объекта и характеристики регуляторов выбирают соответствующий регулятор.

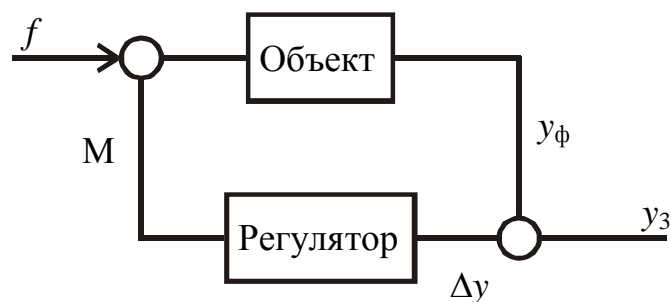


Рис. 6.6. Структурная схема

В соответствии с технологическими требованиями к системе регули-

рования необходимо выбрать такой закон регулирования, который в совокупности со свойствами регулируемого объекта обеспечили бы эти требования. Указанные технологические требования предъявляются к переходным процессам системы регулирования в зависимости от требований данного технологического процесса и его режима. Большинству технологических требований удовлетворяют три характерных переходных процесса, которые приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Характерные переходные процессы

Вид переходного процесса	Особенности процесса		Рекомендации по применению
	Положительные	Отрицательные	
Апериодические	Максимальное время регулирования, отсутствие перерегулирования. Минимальное регулирующее воздействие, степень затухания 1	Наибольшее динамическое отклонение регулируемой величины	Когда требуется исключить влияние регулирующего воздействия данной системы на другие регулируемые величины
С 20%-ным перерегулированием $y_2/y_1 = 0,2$	Большое регулирующее воздействие. Меньшее динамическое отклонение. Степень затухания 0,96	Большое время регулирования	Когда технологический режим допускает перерегулирование
С минимальной квадратичной площадью отклонения регулируемого параметра $y^2 dt$	Наименьшее динамическое отклонение	Наибольшее время регулирования	Когда не допускается по технологическому режиму большое отклонение регулируемой величины

На основании приведенных в табл. 6.2 данных показателями переходных процессов будут: для апериодического процесса y_1 и время переходного процесса t_0 , которое принимается от $y_1 \gg y = 0,05$, с 20%-ным перерегулированием y_1 и t_1/τ , где t_1 – время первого полупериода с минимальной интегральной квадратичной оценкой y и S/τ .

Глава 7

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

7.1. Особенности управления пожаро- и взрывоопасными технологическими процессами

Среди большого числа технологических процессов можно выделить группу пожаро- и взрывоопасных, которые при определённых условиях, возникающих вследствие нарушения требований регламента, выходят в аварийные режимы с последующими взрывами и пожарами. Такие технологические процессы являются пожаро- и взрывоопасными и могут протекать в двух различных режимах:

I – нормальном функционировании;

II – предаварийном состоянии.

В режиме нормального функционирования технологического процесса различают три состояния (рис. 7.1):

нормальное протекание процесса, когда все определяющие параметры соответствуют заданным (рис. 7.1; Iб);

отклонение определяющих параметров в сторону уменьшения опасности (рис. 7.1; Ia);

отклонение определяющих параметров в сторону увеличения опасности (рис. 7.1; Iв).

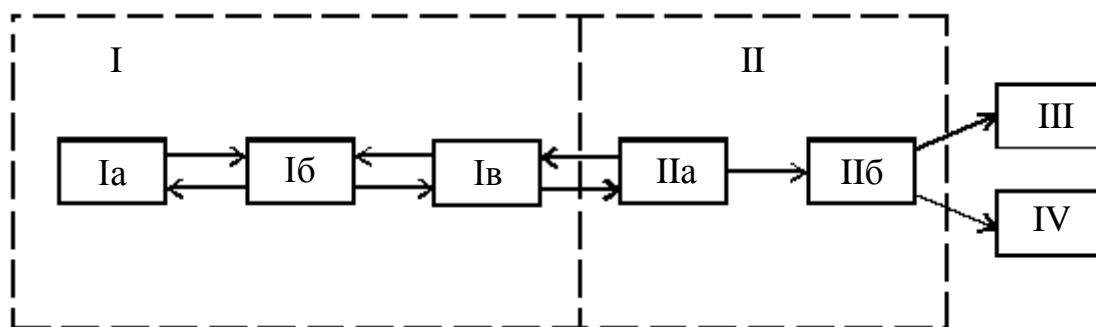


Рис. 7.1. Состояния пожаро- и взрывоопасного технологического процесса:

I – нормальный режим; II – предаварийное состояние;

III – остановка процесса; IV – аварийное состояние

При этом все отклонения в режиме I находятся в заданных пределах, обусловленных необходимой точностью поддержания определяющих параметров. При нарушении технологического режима процесс переходит в предаварийное состояние (II), характеризующееся значительными отклонениями параметров от заданных пределов в сторону увеличения опасности. В предаварийном состоянии, характерном для процессов, можно вы-

делитесь две фазы: в первой фазе (рис. 7.1, Па) возможен возврат процесса к нормальному режиму, во второй (рис. 7.1, Пб) развитие аварийной ситуации становится необратимым. В последнем случае необходимо прекратить ведение процесса (Ш). Если не принять мер, способствующих прекращению развития аварийной ситуации и возвращению процесса к режиму нормального функционирования, то возникает авария (IV), имеющая различные последствия (загазованность помещения и территории объекта, взрыв, пожар и т.п.). Особенность протекания пожаро- и взрывоопасных технологических процессов предопределяет требования к АСУ такими процессами.

Для обеспечения управления технологическими процессами в предаварийном режиме АСУТП должны включать, кроме систем автоматического контроля (АСК), регулирования (АСР), систем сигнализации (АСС), системы автоматической защиты (АСЗ) (рис. 7.2).

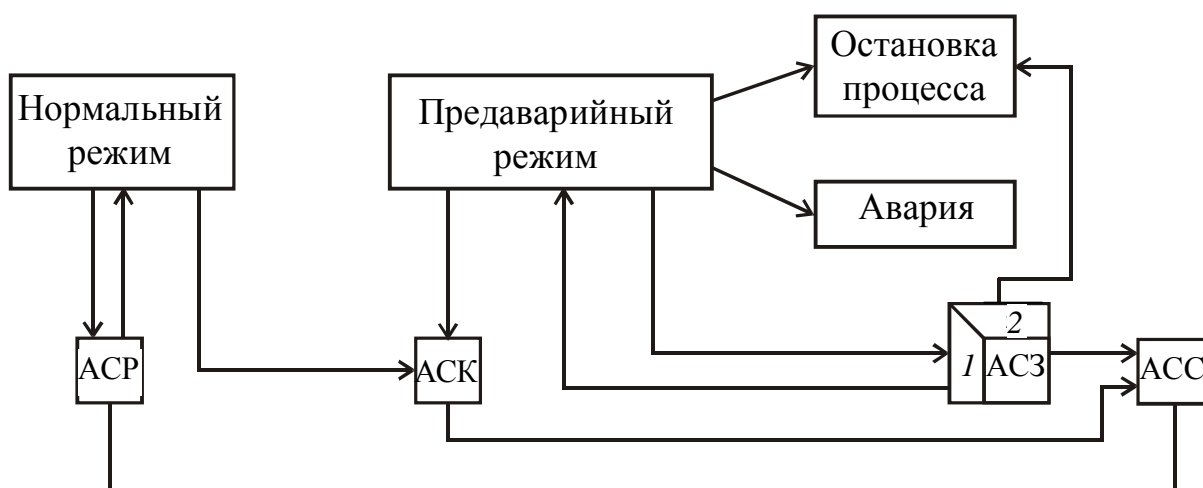


Рис. 7.2. Схема управления потенциально пожаро- и взрывоопасным технологическим процессом:

АСР – автоматическая система регулирования; АСК – автоматическая система контроля;

АСЗ – автоматическая система защиты; АСС – автоматическая система сигнализации;

1 – режим работы АСЗ на предотвращение аварии; 2 – режим работы АСЗ

по ликвидации аварии

В предаварийном режиме, который наступает, когда АСР не может справиться с возвратом процесса к нормальному режиму или вследствие отказа АСР, процесс управляется АСЗ. Она должна обеспечить безаварийное ведение процесса либо путём его возврата в нормальный режим 1, либо путём его остановки 2. Если входные параметры АСР выбираются исходя из условий оптимизации производства, то входные параметры АСЗ (параметры защиты) должны характеризовать нахождение объекта в предаварийном режиме.

Таким образом, АСУ пожаро- и взрывоопасными технологическими процессами может быть реализована путём создания автономных АСР, АСК, АСС, и АСЗ (см. рис. 7.2) или применением автономных АСР, АСЗ и управляющей вычислительной машины (УВМ).

7.2. Общие принципы построения систем автоматической защиты

Системы автоматической аварийной защиты представляют собой совокупность элементов и устройств, с помощью которых контролируются параметры процессов, протекающих в защищаемом объекте, и выдача сигналов в критических ситуациях и использование их для предотвращения аварий, взрывов и пожаров путём переключения режима работы объекта, остановки оборудования, проведения аварийного стравливания или слива горючего вещества, вызова обслуживающего персонала и выдачи ему необходимой информации о причинах и обстоятельствах возникновения отклонений от нормальной работы.

В функции АСЗ входит анализ предаварийного состояния и степени развития аварийной ситуации, а также выбор управляющих защитных воздействий.

В зависимости от конкретных условий применения АСЗ должны обеспечить:

- возможность обнаружения любых опасных ситуаций в объекте защиты по контролируемой совокупности параметров;

- прекращение хода контролируемого процесса в опасном направлении для любой возможной аварийной ситуации в объекте защиты;

- высокое быстроедействие, создающее возможность своевременного выполнения противоаварийных действий;

- высокую чувствительность к контролируемому параметру;

- стабильность характеристик во времени, т.е. сведение к минимуму влияния таких явлений, как старение и утомляемость отдельных элементов;

- минимальное влияние внешних факторов (температуры, влажности, атмосферного давления, ударов, операций, электрических помех и т.п.);

- минимальное обратное влияние на объект защиты при нормальных значениях контролируемого параметра;

- безотказность в условиях длительной непрерывной работы (устройства защиты должны обладать более высокой надёжностью, чем объект защиты);

- высокую перегрузочную способность;

- взаимозаменяемость (повторимость характеристик), обеспечивающую возможность замены вышедших из строя элементов без существенной перестройки системы защиты;

возможность использования стандартных и унифицированных элементов;

взрывонепроницаемость;

удобство и простоту монтажа, настройки и обслуживания;

минимальное потребление энергии в дежурном режиме.

Несмотря на большое разнообразие устройств защиты, применяемых в различных областях техники, они строятся по общим законам и в них почти всегда удаётся выявить следующие основные элементы; ИАС – индикаторы аварийных ситуаций; ИП – измерительные преобразователи; УС – устройства сравнения; УПУ – усилительно-преобразующие устройства; ЛУ – логические устройства; ИМ – исполнительные механизмы; ЗУ – задающие устройства.

На рис. 7.3 приведена блочная схема устройства защиты. В индикаторе аварийных ситуаций текущее значение контролируемого параметра, воспринимаемого ИП, сравнивается в УС с заданием, которое задаётся датчиком и определяет допустимые граничные значения.

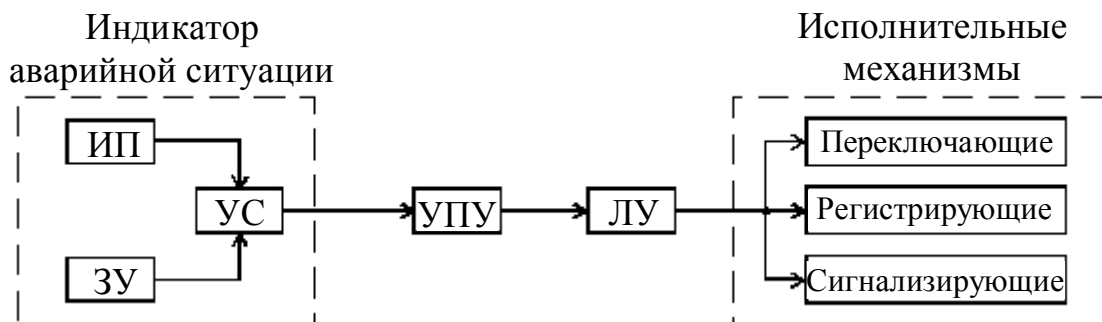


Рис. 7.3. Блочная схема устройства защиты

В устройствах защиты систем программного управления задание может автоматически изменяться от этапа к этапу программы. Для этого используются либо команды программного устройства системы управления, либо собственное программное устройство систем защиты. В устройствах происходит обнаружение признаков аварийной ситуации и формируется сигнал о наступлении этого события. При этом признаком аварийной ситуации может быть не только выход параметра за определённые пределы, но и сохранение величины сигнала на выходе датчика в течение заданного интервала времени, закономерность чередования различных сигналов, экстремальное значение одного сигнала из некоторой совокупности и т.д.

Сигнал, полученный на выходе схемы сравнения, чаще всего не может непосредственно воздействовать на исполнительные органы. В этих случаях сигнал предварительно подаётся на усилительно-преобразующие уст-

ройства, в которых в зависимости от необходимости могут осуществляться усиление или преобразование сигнала, стабилизация отдельных параметров схемы и т.п. Решение математических и логических задач, запоминание обнаруженных признаков событий, распределение сигнала от одного индикатора аварийных ситуаций к нескольким исполнительным органам или от нескольких индикаторов к одному исполнительному органу осуществляется управляющим логическим устройством УЛУ.

Сигналы индикатора аварийных ситуаций после усиления и преобразования приводят в действие исполнительные механизмы, которые в общем случае выполняют следующие функции:

предотвращают возможность аварии, взрыва или пожара путём выключения источника энергии, остановки оборудования, изменения режима его работы и т.п.;

оповещают обслуживающий персонал о достижении контролируемые параметрами предельных значений (максимальных или минимальных), происходящих переменах в ходе производственного процесса, возникновении опасных режимов работы или состояний объектов защиты, причинах и характере аварийных ситуаций;

регистрируют предаварийные и аварийные режимы для последующего выяснения обстоятельств, приводящих к нарушению нормального хода процесса.

В результате срабатывания отключающих, переключающих и других исполнительных органов контролируемый параметр приобретает нормальное значение. После этого исполнительные органы выключаются. Однако если причина аварийной ситуации не была устранена, то вскоре контролируемый параметр опять приобретает недопустимое значение и защита срабатывает вновь и т.д.

Для исключения возможности многократного включения и отключения защиты вблизи заданного предельного значения параметра исполнительные органы после срабатывания обычно блокируются, например, путём самоблокировки реле, включающего исполнительные органы, с помощью механических защёлки или введением обратной связи, которая приводит к скачкообразному приближению значения задания к норме. После устранения причины возникновения опасных режимов блокировка снимается или вручную, например кратковременным нажатием кнопки, отключающей питание, или автоматически по сигналам реле времени, программных устройств и т.д.

Для обеспечения высокой надёжности системы защиты часто снабжаются постоянно или периодически действующими цепями проверки работоспособности отдельных элементов и защитных устройств в целом. При защите сложных объектов контролируется несколько параметров. При этом контроль может быть непрерывный или последовательный.

В случае непрерывного контроля система защиты может состоять из нескольких (по числу контролируемых параметров) постоянно включённых автономных устройств защиты, построенных по схеме(см. рис. 7.3), причём общими у них могут быть только выключающие, переключающие и другие исполнительные органы, а также сигнализаторы, привлекающие внимание обслуживающего персонала. Сигнализация характера и причины аварийной ситуации обычно производится отдельными для каждого контролируемого параметра элементами.

При последовательном контроле в одних и тех же задающих, сравнивающих, усилительных, логических, преобразующих и других элементах производится поочередная обработка исходной информации, получаемой от большого числа датчиков контролируемых параметров. Для того чтобы сигналы разнородных датчиков можно было обрабатывать в общих узлах, их предварительно унифицируют. Поочередно подключение датчиков к входу, а исполнительных органов – к выходу общих узлов производится с помощью синхронно работающих входного и выходного переключателей. Конструктивно эти переключатели нередко объединяются в один обтекающий переключатель, который одновременно коммутирует ряд цепей в схемах, программных устройствах и т.д.

Системы защиты с последовательным (обтекающим) контролем имеют меньший объём аппаратуры по сравнению с системами непрерывного контроля, однако они не всегда удовлетворяют требованиям быстродействия и надёжности.

Существует три вида АСЗ в зависимости от алгоритма защиты, определяемого сложностью процесса, многообразием аварийных ситуаций и т.д.: простые АСЗ, АСЗ с развитой логической частью и адаптивные АСЗ.

Простые АСЗ построены так, что повышение или понижение параметра, по которому ведётся защита, до предельного значения вызывает управляющее исполнительное воздействие (см. рис. 7.3).

Структурная схема АСЗ с развитой логической частью, реализующая сложный алгоритм защиты, приведена на рис. 7.4.

В функции логического устройства (ЛУ) входит приведение в действие исполнительных устройств по определенному алгоритму. Это устройство может реализовать различные функции ИЛИ, НЕ, И, "ЗАПРЕТ" и т.д., а в общем виде следящее логическое устройство должно реализовать функцию:

$$\begin{aligned}y_1 &= f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n); \\y_2 &= f_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n); \\y_m &= f_m(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),\end{aligned}\tag{7.1}$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – состояние системы измерительных преобразователей, принимающих после прохождения устройств сравнения значения 0 или 1; $y_1, y_2, y_3, \dots, y_m$ – состояние системы исполнительных механизмов, которые также могут принимать значения 0 или 1.

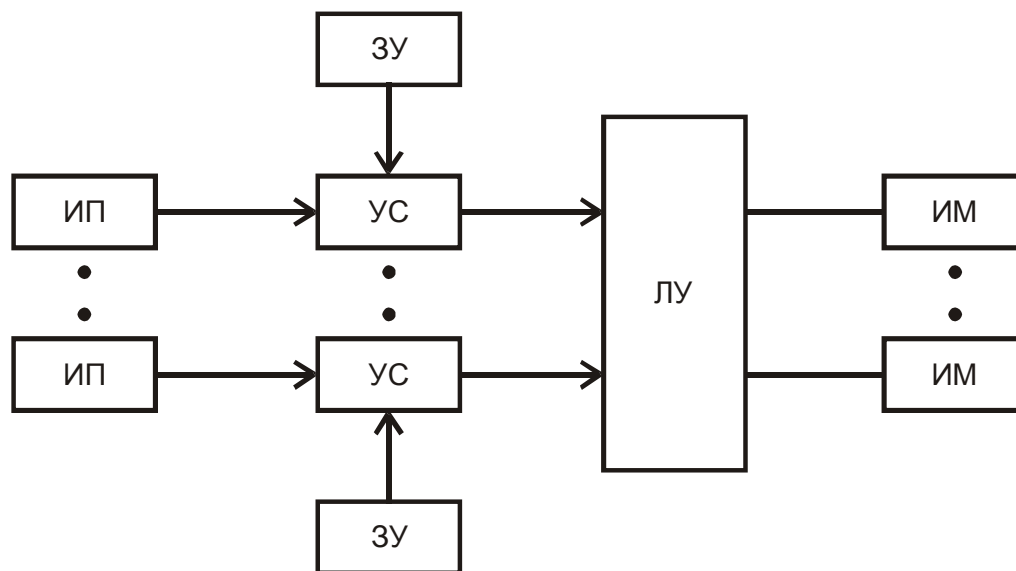


Рис. 7.4. Блочная схема АСЗ с развитой логической частью

Приведенные уравнения описывают алгоритм защиты потенциально опасного процесса от аварии. Следует иметь в виду, что составлению каждой логической функции предшествует исследование технологического процесса, а характерное отличие АСЗ, реализующих такие функции, - наличие двух ступеней защитных воздействий (см. рис. 7.2). Как видно из схемы, АСЗ на первой ступени принимает меры к возврату процесса в режим нормального функционирования, а в случае усложнения обстановки, невзирая на принятые меры, когда возврат уже неосуществим, АСЗ второй ступени останавливает процесс.

Наиболее сложным типом системы автоматической защиты являются адаптивные АСЗ, созданные для решения сложных, развитых алгоритмов, основывающихся на строгом математическом описании технологического процесса. При этом математическое описание его должно включать как описание самого процесса с учётом его кинетики, теплового баланса и т.п. в условиях аварийной ситуации, так и состояния после оказания защитного воздействия.

В структурную схему адаптивной АСЗ входят информационные устройства, состоящие из измерительных преобразователей и усилительно-преобразующих устройств, управляющего логического устройства и блока исполнительных устройств.

В функции блока ЛУ такой АСЗ входит обработка информации от ИП по определённому алгоритму, результатом чего является оценка степени развития аварийной ситуации, выбор вида защитного воздействия, соответствующего данной степени развития аварийной ситуации и обеспечивающего безаварийность процесса, и выдача управляющего защитного воздействия на блок ИМ. Разработка адаптивного алгоритма защиты для пожаро- и взрывоопасных технологических процессов по комплексу параметров – сложная задача, требующая затраты больших усилий и усложняющая его реализацию. Нашли применение упрощённые алгоритмы защиты, использующие экстраполяцию функции изменения параметра защиты по первой и второй производной. Так, если за определяющий параметр защиты выбрано давление в реакторе, то при составлении алгоритма защиты "аварийный сброс" и при допущении, что уменьшение реакционной массы не оказывает существенного влияния на изменение давления при сбросе, этот алгоритм можно записать:

$$p + \frac{dp}{dt}t_{AC3} + \frac{d^2p}{dt^2}, \quad \frac{t^2_{AC3}}{2} \leq P_{кр}. \quad (7.2)$$

Схема АСЗ, реализующая такой алгоритм, показана на рис. 7.5.

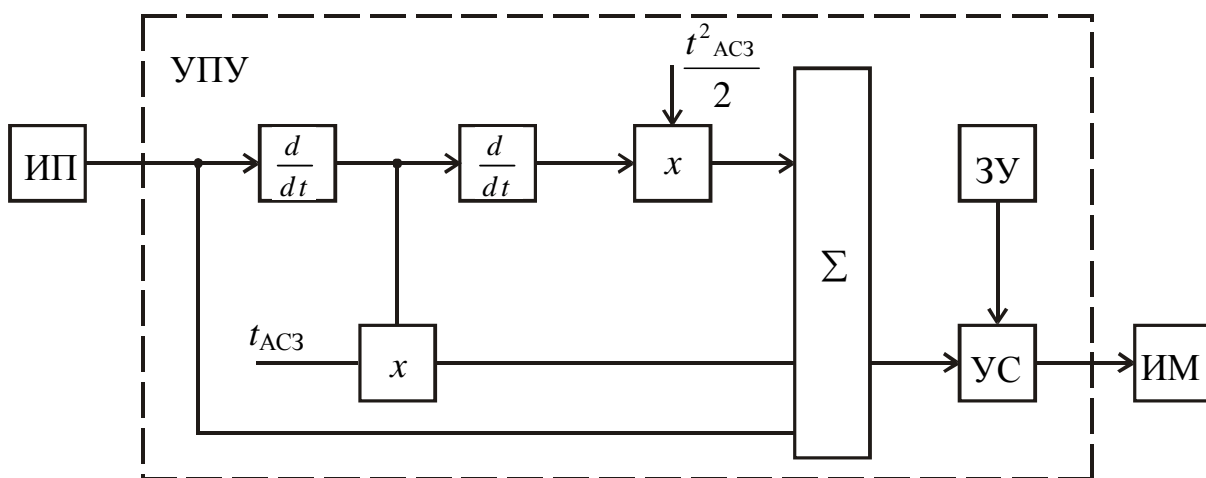


Рис. 7.5. Блочная схема, реализующая адаптивный алгоритм защиты

7.3. Элементы теории логики устройств защиты

Логические устройства (ЛУ) АСЗ классифицируются по виду алгоритмов.

ЛУ для реализации простых алгоритмов защиты представляют собой типовой преобразователь сигнала в сочетании с элементом сравнения. Для реализации простого алгоритма по результатам сравнения

текущего значения параметра и заданного значения разносный сигнал преобразуется в команду на исполнительный механизм.

ЛУ для реализации сложных алгоритмов решают две задачи: возврат процесса из предаварийного в режим нормального функционирования и остановку процесса. Логические устройства такого типа сравнивают значения параметров с заранее рассчитанными.

ЛУ с адаптивным алгоритмом защиты обязательно включает специальное вычислительное устройство или работает в комплекте с ЭВМ. Такие ЛУ имеют изменяющиеся во времени вместе с развитием технологического процесса задания.

ЛУ делятся на однофункциональные (выдают команду на одну противоаварийную операцию) и *многофункциональные* (выдают команду на несколько противоаварийных операций).

Разработке логики, реализующей алгоритм защиты, предшествует большая аналитическая работа по анализу статистики аварий, причин их возникновения, физико-химической сущности процесса, выявлению возмущающих воздействий, приводящих к аварии, особенностей развития её во времени, учёту факторных связей и разработке математической модели аварийной ситуации, т.е. построению "дерева отказов" технологической системы.

После изучения и анализа объекта разрабатываются оптимальный алгоритм защиты и структура логического устройства:

определяется значение предаварийных и аварийных параметров, при которых должна срабатывать АСЗ;

выбираются устройства сравнения;

определяются защитные воздействия и вид команд на исполнительные механизмы для их осуществления;

определяется характер и физическая природа командного сигнала;

рассчитывается быстродействие системы, подсчитывается минимум потерь продукта на каждом аппарате при его остановке или отключении;

определяются надёжностные характеристики используемых технических средств.

Появление аварийных и предупредительных сигналов в ЛУ от датчиков системы во время функционирования технологического процесса носит случайный характер. Следовательно, построение АСЗ может базироваться на теории массового обслуживания, так как АСЗ обладает всеми признаками системы массового обслуживания.

Теория массового обслуживания изучает системы, предназначенные для обработки случайного потока требований, поступающих в систему извне, а так как длительность обработки одного требования также носит случайный характер, то задачи системы массового обслуживания решаются с использованием теории вероятностей. Входящий в систему поток требова-

ний может быть конечным или бесконечным, в соответствии с чем системы называют *замкнутыми* или *разомкнутыми*. Обслуживаемый в системе поток всегда характеризуется его интенсивностью. Поток требований образует вероятностный процесс, который представляет собой последовательность однородных событий, поступающих через случайные интервалы времени. При однородном поступлении группы требований образуется очередь на обслуживание. Процесс обслуживания может характеризоваться его интенсивностью. Эта величина будет определять и длительность ожидания перед обслуживанием и пропускную способность системы.

Особые условия в системе массового обслуживания возникают тогда, когда требования имеют различную важность и некоторые из них должны обслуживаться раньше, чем другие. По формулам теории массового обслуживания можно вычислить такое число обслуживающих аппаратов, которое обеспечит минимальные очереди и минимальное количество незагруженных обслуживающих аппаратов при максимальной пропускной способности системы. Теория массового обслуживания позволяет осуществлять расчёты, связанные с синтезом систем защиты и с учётом характеристик потока информации и технических возможностей исполнительных устройств и человека-оператора (если он задействован в системе), правильно выбрать число каналов и число приемных устройств АСЗ.

Для пожаро- и взрывоопасных технологических процессов химической промышленности и ряда других характерны три приоритетных группы сигналов от датчиков: *аварийные*, *предаварийные* и *предупредительные*. Для интенсивностей потока сигналов всех трёх групп характерно показательное распределение

$$P_{\lambda}(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (7.3)$$

а плотность распределения длительностей обработки сигналов оператором хорошо совпадает с теоретической кривой распределения вида:

$$P_{\mu}(t) = \mu e^{-\mu t}. \quad (7.4)$$

При расчёте вероятностных характеристик АСЗ важно знать закон распределения входящего потока сигналов и его свойства.

Теория массового обслуживания доказывает, что обслуживаемая система рассчитывается наиболее просто, если входящий поток – рекуррентный, т.е. обладает тремя свойствами: *ординарностью*, *ограниченностью последствий* и *стационарностью*. Поток сигналов о нарушении технологических параметров обладает тремя вышеназванными свойствами.

В АСЗ невозможно совмещение двух или более сигналов в один и тот же момент времени (ординарность потока), так как один датчик может выдавать не более одного сигнала, а сигналы различных датчиков одновре-

менно поступают на разные устройства сравнения. Ограниченность последствия, т.е. взаимная независимость интервалов между моментами поступления сигналов и стационарность потока, как свойство потока сигналов о нарушении технологических параметров не так очевидна.

При разработке АСЗ к ней предъявляются требования:

АСЗ должна быть недорогой и состоять из небольшого числа индикаторов;

число индикаторов должно быть достаточно велико, чтобы оператор или логическое устройство могли правильно оценить состояние контролируемой системы.

Удовлетворение двух противоречивых требований достигается решением задачи оптимизации, результатом которого является получение формулы для расчёта оптимального значения индикаторов массива:

$$n = \max \left\{ \left[\frac{\lg(1 - Q_i)}{\lg \rho_i} \right] \right\}, \text{ при } i = 1, 2, 3, \quad (7.5)$$

где Q_i – надёжность отображения реальной ситуации; ρ_i – вероятность, что требование i -й группы датчиков застанет в стационарном режиме все n мест своего или более высокого приоритета.

Из теории массового обслуживания получены и другие характеристики АСЗ.

Среднее число сигналов i -й группы, находящихся в системе, равно:

$$L_i^{\text{сист}} = \frac{\rho_i}{1 - \rho_i}. \quad (7.6)$$

Среднее число сигналов в очереди:

$$L_i^{\text{оч}} = \frac{\rho_i^2}{1 - \rho_i}. \quad (7.7)$$

Среднее число ожидания сигнала каждой группы в системе и в очереди получим из выражений (7.6) и (7.7):

$$W_i^{\text{сист}} = \frac{1}{\mu(1 - \rho_i)}, \quad (7.8)$$

$$W_i^{\text{оч}} = \frac{\rho_i}{\mu(1 - \rho_i)}. \quad (7.9)$$

Логические устройства АСЗ, реализующие простые и сложные алгоритмы защиты, представляют собой устройства релейного действия, поэтому они синтезируются по законам теории релейно-контактных схем.

Управляющие и исполнительные элементы автоматических защит имеют только два состояния: включено – выключено, открыто – закрыто, замкнуто – разомкнуто и т.п.

Устройство защиты в целом характеризуется бинарным состоянием, реализует двоичную функцию некоторого числа двойных аргументов. Математические операции с двоичными аргументами исследуются с помощью аппарата алгебры логики, или булевой алгебры, названной по имени английского математика Д. Буля.

Операции, выполняемые в различных автоматических системах защиты, обычно носят логический характер. Это означает, что выполнение той или иной операции требует наличия или отсутствия условий в определённый момент времени. Логические переменные величины отражают суждение по тому или иному действию, процессу. Элемент, реализующий логическую зависимость между входным и выходным сигналами, называется *логическим*.

На основе логических функций строятся логические схемы действия промышленных систем автоматических защит, в том числе и аварийно воздействующих на технологический объект управления в соответствии с алгоритмом защиты. Сопряжение логических элементов автоматических защит с объектом защиты осуществляется посредством промежуточных реле, играющих роль усилителей мощности. Обычно выходной сигнал промежуточного реле заводится в цепь управления силового коммутационного устройства электропривода агрегата или исполнительного механизма АСУТП.

7.4. Системы аварийной сигнализации и защиты

На объектах химии, нефтехимии, нефтепереработки и т.д. используются унифицированные системы аварийной защиты производств от аварий, взрывов и пожаров. Основой таких систем автоматической защиты являются унифицированные приборы-датчики, предназначенные для измерения концентраций горючих или токсичных паров и газов в воздухе производственных помещений, а также для измерения таких параметров, как температура, давление, уровень и т.п., отклонение которых от заданного значения по регламенту может привести к аварии, взрыву, пожару. Информация о результатах измерения в виде аналогового или дискретного электрического сигнала от приборов-датчиков через коммутирующие сигналы поступает в приемно-логические устройства, в которых по определённому алгоритму вырабатываются командные сигналы на сигнализирующие и исполнительные устройства.

Устройство аварийной сигнализации представляет собой многоканальный автоматический стационарный прибор непрерывного действия

нормального исполнения с искробезопасными входными цепями, предназначенный для приема сигналов от датчиков аварийности и представления их оператору на световом табло. Устройство работает в комплекте с контактными датчиками взрывозащищенного исполнения, а также с датчиками обычного исполнения, при условии, что эти датчики не имеют собственного источника питания. Входными параметрами устройства являются:

замыкание нормально-открытого контакта датчика;

размыкание нормально-закрытого контакта.

Устройство имеет ряд входов с выходами на световое табло по каждому каналу и звуковую сигнализацию. На табло информация представляется в виде цифр и символов. Принцип действия устройства основан на преобразовании неэлектрических параметров аварийных ситуаций технологических процессов в светозвуковые сигналы с помощью логических схем на полупроводниковых элементах.

Устройство аварийной и предупредительной сигнализации представляет собой автоматическое стационарное логическое устройство постоянного циклического действия нормального исполнения, предназначенное для приема сигналов от датчиков аварийного отклонения параметров и представления их оператору на средствах цифровой и преобразовательной индикации.

Устройство выполняет следующие функции:

циклический опрос датчиков аварийного отклонения параметров;

дифференцирование поступивших сигналов по степени аварийности на три группы;

контроль положения исполнительных механизмов систем защиты;

представление поступившей информации об аварийных отклонениях параметров на цифровом трехразрядном индикаторе с одновременным сопровождением ее акустическим сигналом определенной тональности, зависящей от группы аварийности поступившего сигнала, и высвечиванием табло, указывающего номер группы;

представление поступившей информации на экране изобразительной индикации в виде высвечиваемого участка схемы с указанием на нем номера и места установки датчика, отметившего аварийное отклонение параметра, характера отклонения (завышение или занижение), группы важности информации;

приоритетное представление информации более важных групп аварийности на средствах отображения независимо от занятости каналов информацией менее важных групп аварийности;

хранение в памяти информации об аварийных ситуациях на производстве и воспроизведение ее на средствах отображения по вызову оператора;

задержку определенного вида сигналов с датчиков аварийного отклонения параметров на время до одной минуты перед выдачей на средства отображения.

Входными параметрами устройства являются: срабатывание контакта датчика (замыкание нормально-открытого или размыкание нормально-закрытого контакта).

На вход устройства могут поступать сигналы четырех групп:

первая группа – аварийные сигналы;

вторая группа – предварительные сигналы;

третья группа – предупредительные сигналы;

четвертая группа – контроль положения исполнительного механизма.

Сигналы первой группы имеют приоритет перед двумя другими – второй и третьей, а сигналы второй группы – только перед третьей группой. Четвертая группа идет по самостоятельному каналу.

Сигналы от датчиков могут представляться по любому из десяти каналов вывода информации. Одиннадцатый канал предназначен для сигналов четвертой группы.

Конструктивно устройство выполняется в виде стола с пультом управления и индикации, в котором смонтирована логическая схема блока питания и экрана.

Система МЗС представляет собой комплекс унифицированных модулей защиты, сигнализации и мнемосхем.

Унифицированные модули предназначены для включения в проекты при разработке подсистем защиты и сигнализации, входящих в АСУТП с управляющей вычислительной машиной. Возможно и автономное использование комплекса. С использованием микромодульных схем и унифицированных типов конструкций разработка технических средств защиты переведена на новую качественную основу. МЗС насчитывает около двух десятков модулей. Основными из них являются: модуль дискретных входов, модуль аналоговых входов, модуль логики сигнализации, модуль логики защиты, модуль временной задержки, модуль сигнальных табло, модули звуковой и световой сигнализации и модуль индикации.

Комплекс обеспечивает прием сигналов как от УВМ, так и непосредственно от датчиков. На исполнительные механизмы и сигнализацию может быть выдан любой унифицированный сигнал. Многофункциональность модульной системы позволяет применить ее для разработки АСЗ любой сложности.

Микропроцессорные контроллеры (МК) относятся к классу программно-аппаратных средств и ориентированы на решение конкретной задачи или набора однотипных задач. Их внедрение – основное направление повышения уровня автоматизации технологических процессов. По назначению они делятся на два типа: первый – МК, предназначен для реализа-

ции алгоритмов регулирования и различного преобразования аналоговых и дискретных сигналов, которые заменят регуляторы; наиболее типичным представителем их является РЕМИКОНТ; второй – МК, предназначен для реализации задачи программно-логического управления; они должны заменить релейные и логические схемы; представителем их является ЛОМИКОНТ.

В состав любого типа МК входят неизменный для данного типа базовый комплект, проектно-компонованный комплект (ПКК), а также панель оператора. Базовый комплект включает процессор (ПР) и память: оперативную – для хранения числовых данных и постоянную – для хранения программ.

ПКК – это устройство ввода-вывода сигналов. Его состав определяется числом каналов ввода-вывода и содержит блоки развязки для разделения входов и выходов от нагрузки; мультиплексор для коммутации аналоговых сигналов, а также аналого-цифровые, цифроаналоговые, дискретно-цифровые и цифро-дискретные преобразователи.

Панель оператора (ПО) МК имеет органы управления (клавиши, кнопки) и устройство отображения информации в виде цифрового индикатора (РЕМИКОНТ) или матричного экрана (ЛОМИКОНТ). Она позволяет выбрать режим работы, составить и реконфигурировать систему управления, осуществить вызов программы.

В табл. 7.1 приведены возможный состав ПКК и характеристики модулей различных типов.

Таблица 7.1

Характеристика модулей

Модуль	Число шт., до	Возможности, до
Аналого-цифрового преобразования	4	16 входов
Дискретно-цифрового преобразования	8	16 входов
Цифроаналогового преобразования	8	8 выходов
Цифро-импульсного преобразования	8	8 выходов
Цифро-дискретного преобразования	8	16 выходов
Разделителя гальванического входного	6	8 аналоговых входов
Разделителя гальванического выходного	6	4 аналоговых выходов
Блока переключения резерва	2	8 цепей

Приведенные данные позволяют рассчитать максимальное число входов и выходов МК: аналоговых входов до 64, дискретных – до 126; аналоговых выходов – до 64, дискретных – до 126, импульсных – до 64.

Функциональные возможности МК определяются программами. РЕМИКОНТ располагает библиотекой программ, реализующей 24 алгоритма: ПИД – аналоговое регулирование (4), ПИД – дискретное регулирование (4), динамическое преобразование (5), статическое преобразование (5), нелинейное преобразование (5), стандартная логика (1).

Широкий набор программ и панель оператора позволяют легко создавать и изменять каналы регулирования с заданными динамическими свойствами.

Логический контроллер ЛОМИКОНТ. Модели этого типа МК аналогичны моделям регулирующего МК, но базовый комплект состоит из 6 модулей. Максимальное число входов и выходов ЛОМИКОНТА составляет: дискретных входов – до 512, аналоговых – до 123, импульсных – до 84, дискретных выходов – до 256, аналоговых – до 64, импульсных – до 32. Общее число входов-выходов ЛОМИКОНТА может достигать 900.

От завода-изготовителя ЛОМИКОНТ поставляется полностью готовым к работе и настраивается на решение требуемой задачи на объекте с помощью пульта оператора, имеющего экран и специализированную клавиатуру. В процессе настройки, которая называется технологическим программированием, оператор вводит в ЛОМИКОНТ логику управления конкретным объектом (программу пользователя), используя специально предназначенный для этого технологический язык МИКРОЛ. Программа пользователя, введенная оператором в ЛОМИКОНТ, а также информация о текущем состоянии объекта сохраняются при отключении питания.

МК ДИМИКОНТ – микропроцессорное устройство, предназначенное для контроля технологических процессов в составе распределенных АСУ, построенных с использованием регулирующих и логических микропроцессорных контроллеров. Связь как на нижнем уровне управления (с РЕМИКОНТАМИ и ЛОМИКОНТАМИ), так и на верхнем уровне (с УВМ) осуществляется интерфейсными каналами.

ДИМИКОНТ обеспечивает работу в оперативном и сервисном режимах, а также в режиме технологического программирования.

В оперативном режиме ДИМИКОНТ выполняет следующие функции: сбор и предварительную обработку данных о течении процесса в цикле до 2 – 10 с. Данные поступают с РЕМИКОНТОВ и ЛОМИКОНТОВ, управляющих процессом. Общее число принимаемых дискретных и аналоговых сигналов – до 1536;

отображение данных о течении процесса в виде статической информации (мнемосхем, таблиц, осей координат, информационных надписей и т.д.) и динамической (значений параметров, аварийной сигнализации, данных, характеризующих течение процесса, и т.д.), совмещенной со статической информацией. Динамическая информация отображается в процентах

и абсолютных значениях параметров в виде графиков, диаграмм, таблиц, изменяющихся фрагментов изображений и т.д.;

аварийную сигнализацию и сигнализацию об отклонениях параметров с подачей звукового сигнала, мерцанием и изменением цвета отображения параметра;

ведение истории процесса: данные по истории процесса записываются в ОЗУ и на кассетный накопитель на магнитной ленте для последующего просмотра и анализа, осуществляемого в сервисном режиме. Оперативно доступны данные не менее чем по 124 параметрам;

документирование информации по процессу, включающее автоматический вывод на печать аварийной информации (дата, время наступления отклонения параметра, наименование параметра, код отклонения "меньше нормы", "больше нормы" и т.д.); распечатку по вызову оператора буквенно-цифровой копии экрана; распечатку по вызову оператора протокола технического процесса основных параметров (в протокол входят выборки на программируемом интервале по основным параметрам, характеризующим течение процесса);

вывод изображений на большое информационное табло (БИТ); цикл обновления информации на БИТ – 5 с;

самодиагностику работы основных узлов оборудования в цикле реального времени, формирование и отображение сообщений о неисправности в контроллере и в линиях связи;

формирование и отображение сообщений о неправильных действиях оператора.

В режиме технологического программирования осуществляются функции конфигурирования ДИМИКОНТА под требования конкретного объекта:

формирование библиотек алгоритмов. Для обработки алгоритма предусмотрены специальные директивы и инструкции, облегчающие эту процедуру;

формирование библиотек кадров и страниц. Под "кадром" понимается некоторый объем связанной статистической информации, например мнемосхема объекта. Кадр может иметь объем, превышающий информационную емкость экрана ЭЛТ, и различный формат. Кадр вызывается по присвоенному ему номеру. Под "страницей" понимается объем динамической информации, наложенной на изображение кадра. Один кадр может включать до 64 страниц динамической информации;

определение вида отображения динамической информации и ее размещение. Эта функция выполняется с помощью штатных подпрограмм вида отображения данных;

значение характеристик сигналов. Назначаются, например, такие характеристики сигналов, как наименование сигналов, абсолютные значения диапазонов измерений параметров, погрешности представления параметров, коды отклонения и т.д.;

назначение параметров, по которым ведется история процесса.

Программно–технический комплекс автоматической защиты (ПТКАЗ) предназначен для решения задач автоматической защиты от аварий технологических процессов в химической, нефтехимической, металлургической, энергетической, пищевой и других отраслях промышленности.

ПТКАЗ обрабатывает дискретные и аналоговые входные сигналы, формирует дискретные выходы на мнемосхемы и информационные табло, а также на исполнительные механизмы постоянного и переменного тока. ПТКАЗ имеет органы ручного управления исполнительными механизмами со световой индикацией и искрозащиту по дискретным входам.

Данный комплекс выполняет логические операции алгоритмов защиты, имеет возможность формировать временные задержки и позволяет фиксировать в памяти факт и время срабатывания блокировок.

ПТКАЗ является программируемым комплексом, работать с ним могут проектировщики систем защиты и эксплуатационный персонал, не знакомые с программированием.

ПТКАЗ – проектно-компонованное изделие. Он содержит постоянную часть аппаратуры (ПТКАЗ–0), поставляемую независимо от конкретной системы защиты, и переменную проектно-компонованную часть, зависящую в основном от типа и числа каналов ввода-вывода информации и определяемую при заказе потребителем. Постоянная часть ПТКАЗ имеет однократное резервирование. Переменная часть аппаратуры может резервироваться в зависимости от требований пользователя.

ПТКАЗ–0 представляет собой дублированную подсистему обработки информации, выполненную на базе микро-ЭВМ, имеет модульную структуру и состоит из следующих узлов: микро-ЭВМ, интерфейса, постоянной памяти, памяти пользователя, модуля независимой памяти, модуля обмена и контроля, модуля контроля, модуля адаптерного, модуля реального времени, модуля связи, первичного источника питания, вторичного источника питания.

К переменной части ПТКАЗ относятся модули ввода и вывода, блок управления блокировками и программирующее устройство.

Модули ввода. Для ввода дискретных сигналов типа "сухой контакт" или двухпозиционных сигналов потенциального типа предназначен модуль ввода дискретной информации.

Для обеспечения при необходимости искробезопасности входных цепей при вводе информации типа "сухой контакт" предназначен барьер искробезопасности.

Для ввода аналоговой информации в целях сравнения ее с заданными установками предназначен программируемый модуль ввода аналоговой информации. В него с пульта предварительно заносятся установки, которые сохраняют свое значение при отключении питания.

Максимальное число дискретных входов равно 256 (с кратностью наращивания 16 путем установки модулей) либо равно 128 (с кратностью наращивания 16 путем установки модулей), либо допускается любая комбинация модулей аналогового ввода и дискретного ввода. Ограничения обусловлены общим числом установочных мест для ввода информации, равным 16.

Искробезопасность можно обеспечить максимально по 176 дискретным входам от датчиков типа "сухой контакт" (с кратностью наращивания 16 путем установки модулей).

Модули вывода. Для вывода информации на внешние устройства световой сигнализации предназначен 16-канальный модуль ключей силовых низковольтных. Для вывода информации на исполнительные механизмы постоянного тока предназначен 8-канальный модуль ключей силовых низковольтных.

Для вывода информации на исполнительные механизмы переменного тока предназначен 8-канальный модуль ключей силовых высоковольтных.

Максимальное число выходов на сигнализацию равно 256.

Блок управления блокировками. Этот блок предназначен для организации световой и звуковой сигнализации о срабатывании блокировок, а также звуковой диагностической сигнализации. Он является выносным устройством и может располагаться в местах, удаленных на расстояние до 50 м от стойки ПТКАЗ и имеет модульное исполнение и состоит из следующих модулей: управления блокировками, питания, ключей силовых низковольтных.

Блок имеет орган звуковой сигнализации (динамик), органы перехода с автоматического управления на ручное, и наоборот, кнопку "Квитирование", органы группового и индивидуального управления блокировками и для организации световой сигнализации – лампочки, светодиоды, а также органы выбора индивидуального управления блокировками.

Максимальное число управляемых вручную исполнительных механизмов (блокировок) в одной стойке равно 64. Организация ручного управления – групповая и поадресная.

Устройство программирующее относится к сервисному оборудованию и предназначено для программирования памяти пользователя; записи значений уставок в модуль ввода аналоговой информации; стирания и пере-

программирования уставок; распечатки факта и времени срабатывания блокировок; метрологической проверки на объекте модулей ввода аналоговой информации; диагностики и ремонта модулей, входящих в состав ПТКАЗ; отладки алгоритмов автоматической системы защиты и сигнализации.

Сигнализация изменения состояния исполнительного механизма – световая и звуковая при работе в автоматическом режиме от ПТКАЗ, световая – при работе в ручном режиме. На базе одной стойки ПТКАЗ можно организовать одно рабочее место.

ПТКАЗ обеспечивает возможность выделения первопричины (выделение из группы сигналов сигнала, пришедшего первым) и отображения ее на мнемосхеме отличительной частотой мигания. Он обеспечивает накопление и хранение информации о факте и времени срабатывания блокировок и передачу ее по каналу, а также возможность распечатки информации. ПТКАЗ обеспечивает диагностику и самодиагностику на уровне сменных модулей, а источник питания обеспечивает бесперебойным питанием вторичные источники питания модулей в каркасах ПТКАЗ, а также элементы сигнализации состояния блокировок.

В случае кратковременной потери питания по двум вводам обеспечивается сохранение состояния выходных ключей в положении, предшествующем потере напряжения.

Программное обеспечение (ПО) комплекса ПТКАЗ включает ПО стойки и ПО программатора. ПО стойки предназначено для управления работой стойки ПТКАЗ и состоит из четырех частей: управляющей системы, программ диагностики, библиотеки программ функции защиты и алгоритма защиты. Постоянная часть ПО стойки записывается в постоянную память при изготовлении комплекса ПТКАЗ и является его неотъемлемой частью. В ней записаны внутренний алгоритм работы стойки ПТКАЗ и набор стандартных операторов защиты для создания АСЗ.

Измеряемой частью ПО стойки является алгоритм защиты, представляющий собой программную реализацию конкретной АСЗ, записанной на специальном языке логической защиты. АСЗ программируется пользователем на программаторе и записывается в постоянную перепрограммируемую память.

Глава 8

АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПОДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВОВ

8.1. Методы взрывозащиты

Взрыв горючей среды внутри оборудования и производственных помещений является одной из наиболее опасных для предприятия аварийных ситуаций. Взрывы в производственных помещениях часто являются следствием предшествующих им взрывов в оборудовании. Поэтому взрывозащита технологического оборудования – это одна из главных задач при обеспечении взрывобезопасности производств. Под взрывозащитой технологического оборудования понимается предупреждение его разрушения вследствие воспламенения находящихся в нем пара или пылегазовых смесей.

Для предотвращения возникновения взрыва разработан комплекс конструктивных и профилактических мероприятий, предполагающих, главным образом: 1) исключение возможности образования взрывоопасных смесей, воспламенения горючих газов, пылей и паров горючих жидкостей и 2) снижение уровня опасных концентраций с помощью систем вентиляции, продува и разбавления газовых сред в целях вывода состава смеси за пределы возможного воспламенения. Предусматриваются также меры, не допускающие взрывоопасное исполнение агрегатов, двигателей, электросистем и других технических устройств. В тех случаях, когда указанных мер недостаточно, применяют способы нейтрализации пожаро- и взрывоопасной среды путем введения нейтральных газов и другие профилактические приемы и методы.

Существуют, однако, такие специфические устройства и такие виды производства, где применение конструктивных и профилактических мер не позволяет полностью исключить опасность возникновения взрыва. Особые условия ведения технологических процессов при вынужденном форсировании их параметров, возможность возникновения взрыва требует применения активных способов взрывозащиты. К таким способам относятся автоматические системы локализации и подавления взрывов, основанные на быстрой регистрации очага воспламенения и последующем воздействии на него огнетушащим веществом. Возможность широкого внедрения таких систем обусловлена большими достижениями отечественной науки в области точной механики и полупроводниковой техники и современной химии, позволяющими создавать высокочувствительные датчики температуры, давления, излучения, а также высокоэффективные ингибиторы и флегматизаторы горения.

Основные принципы, на которых базируются системы автоматической локализации и подавления взрывов, сводятся к отдельному или совместному выполнению комплекса технических мероприятий:

аварийной разгерметизации технологического оборудования в целях ограничения давления в аппаратах в пределах допустимых значений;

блокированию аварийного оборудования от смежных технологических аппаратов, обеспечивающему исключение пожара и взрыва в смежных аппаратах;

активному подавлению взрыва в аппарате путем воздействия огнетушащего вещества на пламя в зоне взрыва.

Системы локализации взрывов предназначены для защиты от разрушения технологического оборудования путем аварийной его разгерметизации, сброса избыточного давления в атмосферу или перепуска технологического продукта в аварийные емкости, отсечения пламени в транспортных коммуникациях, а также блокирования аварийного производственного участка. Структурная схема такой системы приведена на рис. 8.1.

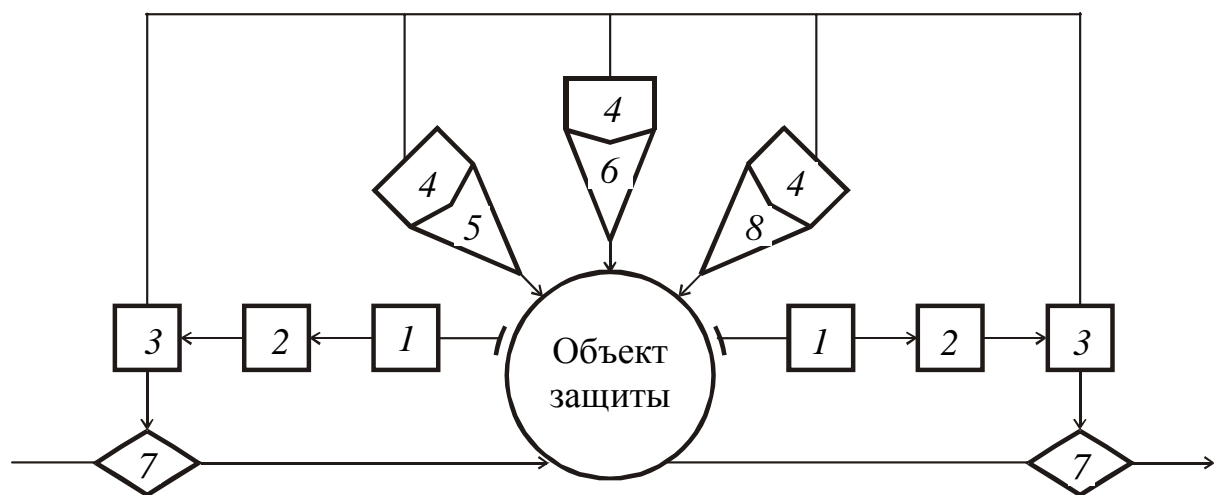


Рис. 8.1. Структурная схема автоматической системы взрывозащиты

Принцип действия системы локализации взрыва заключается в обнаружении аварийного состояния датчиком 1, усилении сигнала усилителем 2 и подачи исполнительным органом 3 управляющего импульса 4 в устройства разгерметизации 5, инертизации 6 и блокировании 7. При наличии совмещенной установки пожаротушения 8 запуск последней осуществляется либо от управляющего импульса, либо дистанционно оператором.

Устройства разгерметизации в системе обеспечивают создание в аппарате проходного сечения для сброса избыточного давления, образующегося при взрыве внутри технологического аппарата. В этом случае давление в аппарате не должно превышать допустимое значение p , при котором

происходит его механическое разрушение. Объем газов во внутреннем объеме аппарата V в момент взрыва зависит от объема аппарата V_0 , объема газов, образующихся при взрыве ΔV_r , и количества газов, истекающих через разгерметизирующее отверстие:

$$V = V_0 + \Delta V_r - \Delta V_{\text{ист}}. \quad (8.1)$$

При горении большинства взрывоопасных смесей в замкнутом объеме скорость перемещения фронта пламени изменяется от максимальной величины $u_{\text{max}} = \varepsilon u$, соответствующей скорости горения в начальный период расширения газа, когда давление в объеме остается практически неизменным, до $u_{\text{min}} = u_n$ при сгорании смеси в конце взрыва у стенок сосуда. Тогда

$$\Delta V_r = \frac{4}{3} \pi v_n^3 \varepsilon^3 \Delta t (\varepsilon - 1), \quad (8.2)$$

где v_n – нормальная скорость горения; t – время, за которое образуется при взрыве в аппарате объем газов V_r ; ε – степень расширения продуктов горения.

Объем газов, истекающих через разгерметизирующее отверстие в единицу времени, определяется по формуле

$$\frac{\Delta V_{\text{ист}}}{\Delta t} = \varphi F v \geq \frac{\Delta V_r}{\Delta t}, \quad (8.3)$$

где $V_{\text{ист}}$ – объем газов, истекающих из аппарата за время t ; φ – коэффициент расхода; F – площадь разгерметизирующего отверстия; v – скорость истечения газов.

Расчетная площадь проходного сечения разгерметизирующего отверстия определяется из уравнения (8.3):

$$F = \frac{\Delta V_r}{\Delta t \varphi v}. \quad (8.4)$$

Время t принимается равным:

$$\Delta t = t_{p_{\text{max}}} - t_{\text{разг}}, \quad (8.5)$$

где $t_{p_{\text{max}}}$ – время достижения максимального давления взрыва; $t_{\text{разг}}$ – время с момента инициирования взрыва до разгерметизации аппарата.

На практике при расчете площади разгерметизирующего отверстия в формулу (8.5) вводится поправочный коэффициент запаса

$$f = kF, \quad (8.6)$$

где f – площадь разгерметизирующего отверстия; k – коэффициент запаса, ориентировочно равный 1,5 – 4.

Устройства разгерметизации по принципу действия подразделяются на пассивные (неуправляемые) и активные (управляемые). К устройствам пассивной разгерметизации относятся: *предохранительные клапаны, мембраны и разрывные втулки*.

Предохранительные клапаны являются устройствами многократного действия и при срабатывании не разрушаются.

Предохранительные мембраны при срабатывании разрушаются при повышении давления в аппарате на заданную по условиям безопасности величину. В зависимости от условий работы технологического оборудования предпочтительны следующие отношения давления разрушения предохранительных мембран к рабочему давлению:

к постоянному рабочему давлению	1,5;
к слабо пульсирующему рабочему давлению	1,75;
к сильно пульсирующему рабочему давлению	2,0.

Площадь предохранительных мембран на практике определяется по формуле

$$F = cV_0, \quad (8.7)$$

где c – коэффициент проемистости (удельная площадь рабочего сечения), $\text{м}^2/\text{м}^3$; V_0 – объем защищаемого аппарата.

Материал предохранительных мембран заданного диаметра выбирается с учетом усредненных минимальных разрывных давлений.

В случаях, когда взрывной процесс протекает с высокой скоростью, необходимо разгерметизировать оборудование в начальный момент взрыва. Для этой цели используют устройства активной разгерметизации: *клапаны с электро- или пироприводом и управляемые мембраны*. В разгерметизирующей предохранительной мембране, показанной на рис. 8.2, разрушение мембраны 4 обеспечивается ножом 3, закрепленным на плунжере 2, который приводится в действие под давлением газов, образующихся при срабатывании пиротехнического заряда 1.

Блокирование аварийного технологического аппарата или производственного участка производится в целях исключения распространения пожара или взрыва по коммуникациям и вентиляционным каналам. Предотвратить распространение пламени по технологическим коммуникациям можно с использованием быстродействующих отсекающих устройств – пламеотсекателей. Общепромышленная запорная трубопроводная арматура с пневмо- и электроприводом для этих целей непригодна из-за присущей ей инерционности. Для взрывозащиты технологического оборудования используются пламеотсекатели с электрическим, пневматическим,

гидравлическим и пиротехническим приводами. Разработанные устройства решают задачу механического преграждения распространения пламени, а в ряде случаев обеспечивают одновременную подачу огнетушащего вещества.

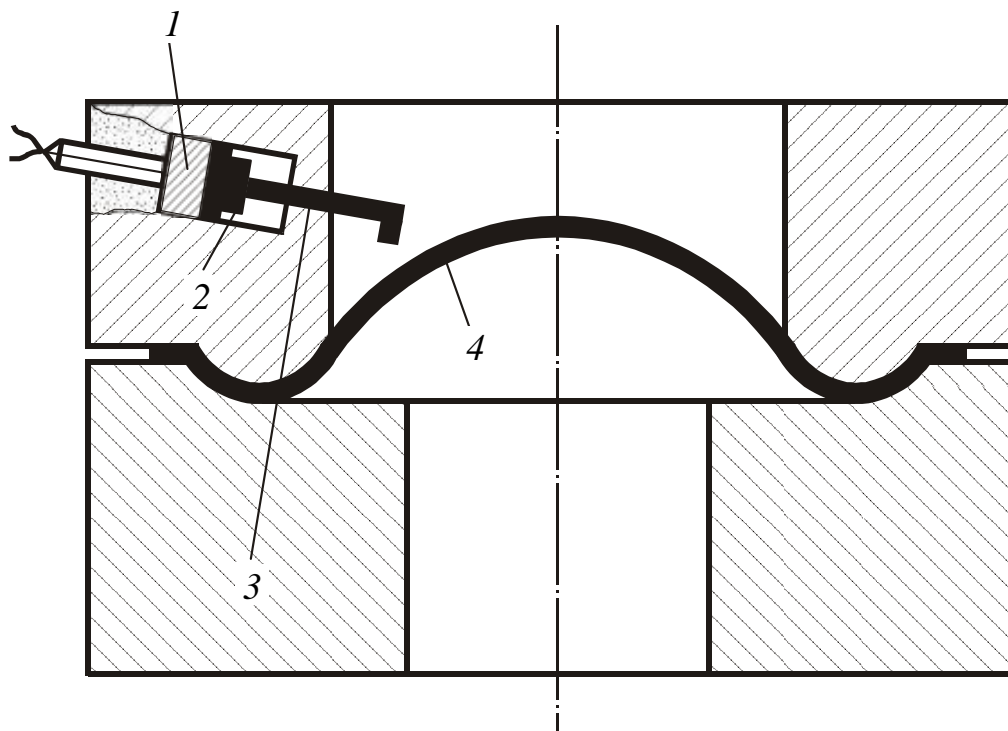


Рис. 8.2. Разгерметизирующая предохранительная мембрана

В нашей стране применяются быстродействующие поворотные клапаны с приводом от энергии падающего груза.

Клапаны являются полуавтоматическими запорными устройствами, предназначенными для герметичного перекрытия газопроводов диаметром 200, 300, 400 и 500 мм. Запорный орган состоит из тарелки 3 и рычага 4 (рис. 8.3). Подвижное соединение тарелки с рычагом обеспечивает правильную посадку тарелки на седло 2. Запорный орган установлен внутри корпуса 1. На конце вала 5 установлен рычаг 9 настройки клапана. Приводом клапана служит электромагнит 6, установленный на кронштейне. На концевой части электромагнита есть защелка 7. К рычагу приварен диск 8 с пазом. При подаче напряжения на обмотку электромагнита сердечник перемещается вверх и защелка 7 выходит из зацепления с диском 8, в результате чего тарелка 3 под действием силы собственной тяжести и груза 10 перемещается, перекрывая проходное сечение клапана. Для открытия клапана рычаг 9 вручную поворачивают на 90°, защелка входит в паз диска и клапан фиксируется в открытом положении. Время срабатывания клапанов такой конструкции 2 – 3 с.

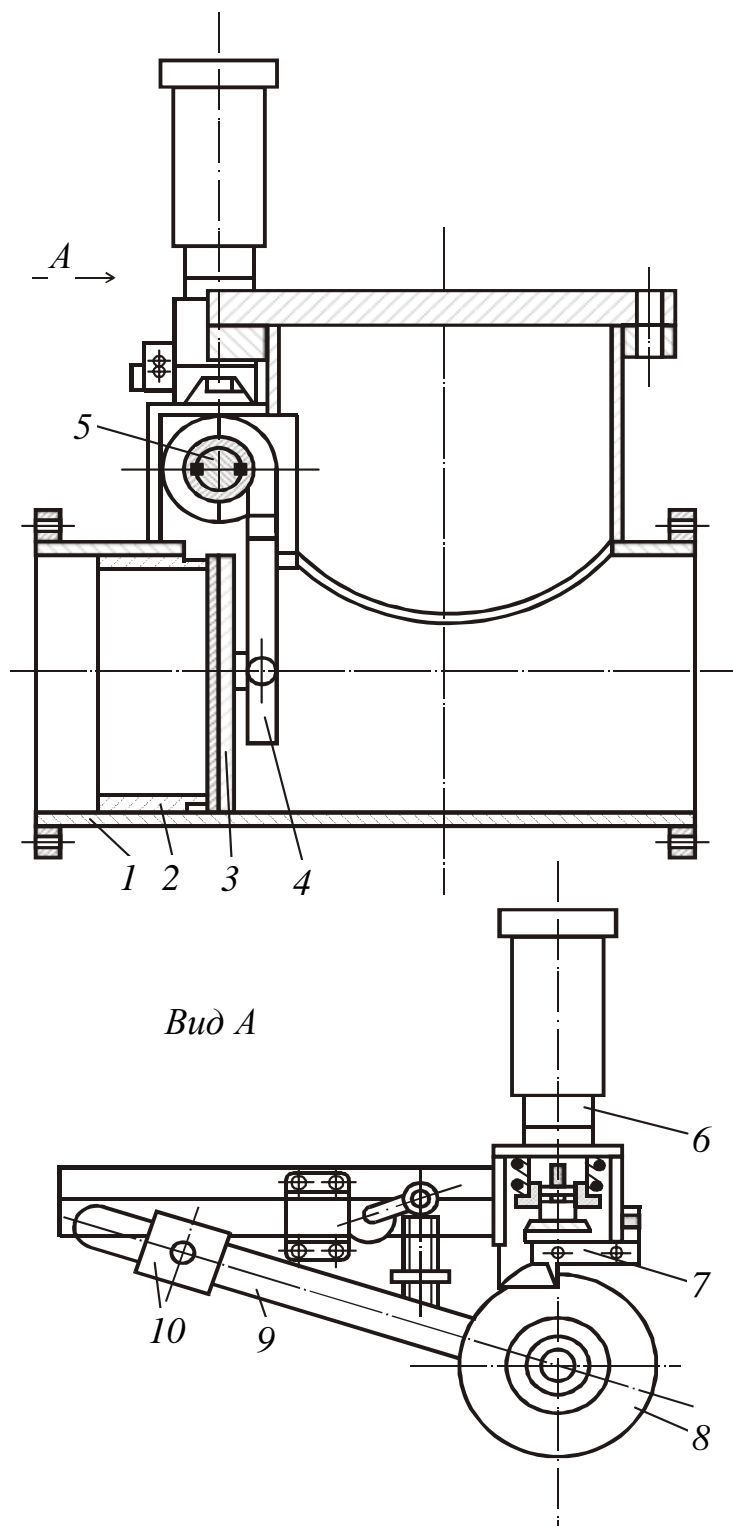


Рис. 8.3. Поворотный грузовой отсечной клапан

Для увеличения быстродействия общепромышленных отсекателей разработана конструкция, показанная на рис. 8.4, которая обеспечивает работу отсекателя как в нормальном режиме управления технологическим процессом, так и для аварийного перекрытия трубопровода. Пневмопривод

отсекателя снабжен двумя дополнительными полостями А и В, отделенными мембранами 2 и 3. Пость А заполнена сжатым газом, и в ней расположен пирозаряд 1. При подаче управляющих пневматических импульсов через штуцер 4 отсекатель работает в режиме управления технологическим процессом. В аварийной ситуации подается электрический сигнал на срабатывание пирозаряда, который разрушает мембрану 2, и сжатый газ, деформируя мембрану 3, перемещает запорный орган в закрытое положение. Установка привода такой конструкции позволяет повысить быстродействие серийно выпускаемых пневмоотсекателей в 20 – 30 раз.

Наиболее высоким быстродействием обладают отсекатели с пироприводом. Одна из конструкций такого клапана показана на рис. 8.5.

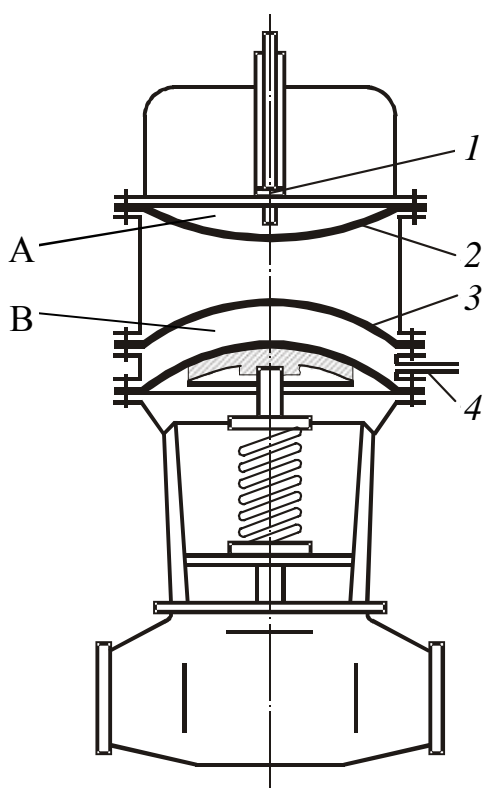


Рис. 8.4. Модернизированный пневмоотсекатель

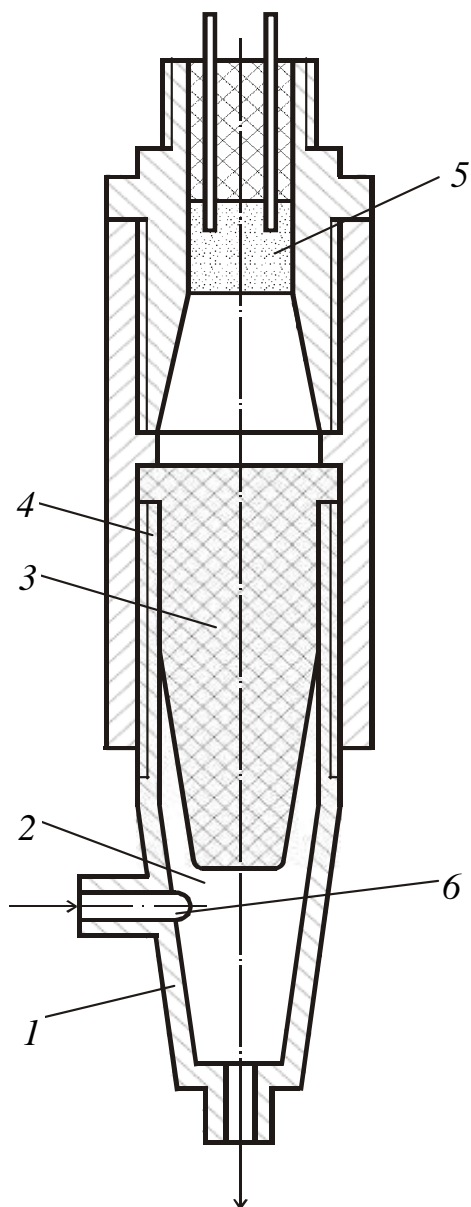


Рис. 8.5. Пробковый отсекатель с пироприводом

Он состоит из корпуса *1* с поперечной полостью *2* в виде конического седла, в котором заклинивается запорный орган *3* в виде усеченного конуса с уплотнительным пояском *4*. При подаче сигнала на закрытие срабатывает пирозаряд *5* и под действием давления образующихся газов, срезая уплотнительный пояс *4*, запорный орган *3* перемещается в коническом седле и перекрывает канал *6*.

На рис. 8.6 показана схема пламеотсекателя-оросителя с поворотной заслонкой. Отсекатель состоит из корпуса *4* и заслонки *3*, при повороте которой на 90° происходит перекрытие потока технологической среды. Поворот заслонки обеспечивается реактивной силой струи огнетушащей жидкости, вытекающей через распылитель *2*. В открытом положении заслонка удерживается гидравлическим замком *1*, который при подаче жидкости освобождает заслонку от сцепления с ним.

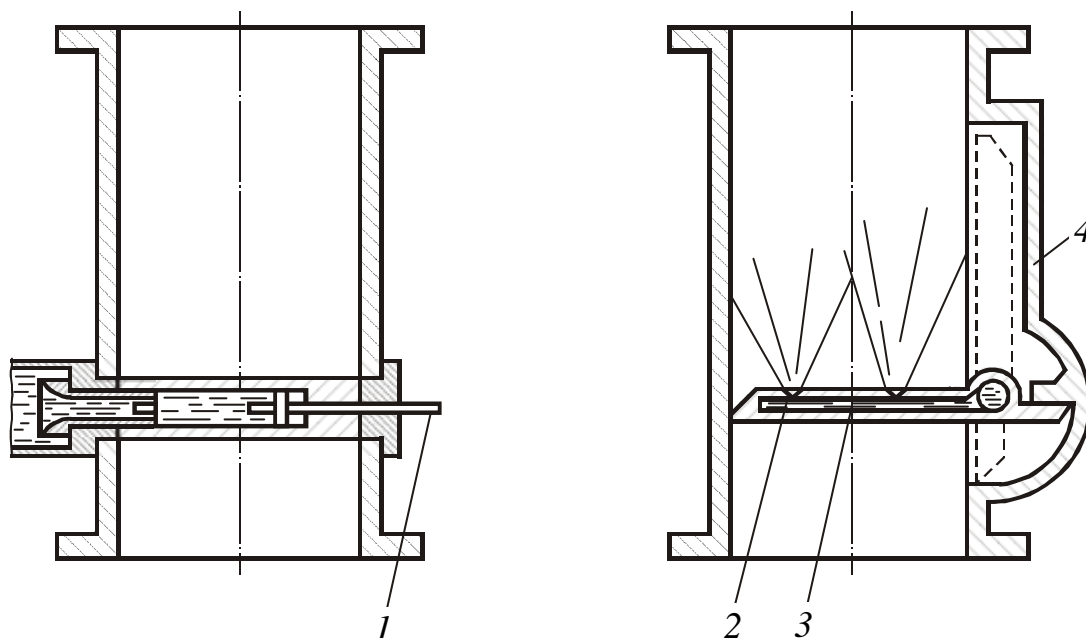


Рис. 8.6. Пламеотсекатель-ороситель с поворотной заслонкой

В ряде случаев локализовать пламя в трубопроводах можно форсуночными заградительными устройствами, схема которых приведена на рис. 8.7. Внутри трубопровода *1* (рис. 8.7, *а*) размещено несколько сопел *2* с радиально направленными отверстиями. Через трубу *3* к соплам подводится огнетушащее вещество. В другом варианте (рис. 8.7, *б*) в центре трубопровода *1* расположено сопло *2*, направленное вдоль оси трубопровода. Для спуска воды служит патрубок *4*.

Для блокирования распространения пламени по трубопроводам и пневмотранспорту используются различные модификации пламеотсекателей-гидрозатворов.

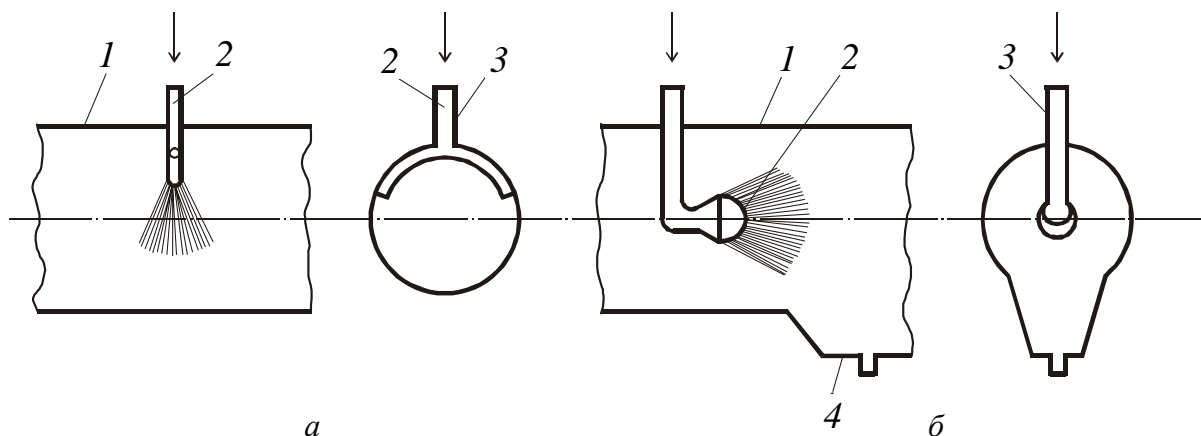


Рис. 8.7. Форсуночные заградительные устройства:
а – с радиально направленным соплом; *б* – с осевым соплом

Эффективность работы отсекающих устройств определяется их быстродействием и местом расположения датчиков пламени. При этом должно выполняться условие

$$t < L/v, \quad (8.8)$$

где t – полное время срабатывания отсекающего устройства от момента обнаружения пламени датчиком до полного перекрытия трубопровода; L – расстояние от датчика пламени до отсекающего устройства; v – скорость распространения пламени.

В качестве устройств блокировки могут использоваться также в зависимости от условий технологического режима различные типы огнепреградителей, воздушно-водяные и водопенные завесы.

8.2. Автоматические системы подавления взрыва

Автоматические системы подавления взрыва (АСПВ) предназначены для обнаружения, локализации и полного подавления взрыва в технологических аппаратах и производственных помещениях в начальной стадии процесса, не представляющей опасности для оборудования и людей, находящихся внутри помещения, где произошло воспламенение горючих газопаровоздушных или пылевоздушных смесей.

Отличием метода защиты с помощью автоматических систем подавления взрыва от систем профилактического типа является то, что указанная система допускает воспламенение взрывоопасной смеси и включается в начальный момент развития процесса для ликвидации аварийной ситуации. Выбор параметров срабатывания автоматической системы подавления взрыва существенно зависит от времени безопасного развития взрыва конкретных взрывоопасных смесей.

Основными параметрами взрыва, которые учитываются при выборе методов и способов взрывозащиты, являются: давление и температура

взрыва, скорость нарастания давления, скорость распространения пламени, "инкубационный" безопасный период развития взрыва, концентрационные пределы различных добавок и разбавителей. Конечное давление при взрывах в замкнутых объемах зависит от физико–химических свойств горючих смесей и концентрации горючего вещества. Его можно определить по уравнению

$$p_k = p_0 \frac{T_B m}{T_0 n}, \quad (8.9)$$

где p_k , T_B – давление и температура взрыва в замкнутом объеме соответственно; p_0 , T_0 – начальное давление и температура горючей смеси соответственно; m , n – число молей газа до и после взрыва соответственно.

Так как для большинства газов отношения $m/n \approx 1$, то конечное давление $p_{\text{взр.к}}$ примерно прямо пропорционально начальному давлению, умноженному на отношение абсолютной температуры продуктов горения T_k к начальной температуре смеси T_0 :

$$p_{\text{взр.к}} = p_0 \frac{T_k}{T_0} = 8p_0. \quad (8.10)$$

Окислительные реакции, приводящие к взрыву, протекают не мгновенно, а за некоторый промежуток времени. Скорость нарастания давления зависит прежде всего от физико–химических свойств горючих материалов, объема, конструкции и плотности заполнения аппарата. Для твердых и жидких композиций скорость нарастания давления и конечное давление определяются степенью заполнения аппарата:

$$k = V/V_0, \quad (8.11)$$

где V – объем горючего вещества; V_0 – объем аппарата.

Чем больше k , тем больше скорость нарастания давления, меньше время развития взрыва и выше конечное давление. Для парогазовых смесей скорость изменения давления в сферических сосудах и аппаратах определяется дифференциальным уравнением:

$$\frac{dp}{dt} = p_0 \left(\frac{m T_B}{n T_0} - 1 \right) \frac{d\alpha}{dt}, \quad (8.12)$$

где p_0 – начальное давление горючей смеси; m , n – число молей газа до и после взрыва соответственно; $d\alpha/dt$ – скорость превращения (сгорания) исходной смеси.

Скорость превращения исходной смеси находят по отношению доли горючего, сгорающего в единицу времени, к массе исходной смеси:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\rho F v_H}{\rho_0 V_0}, \quad (8.13)$$

где F – площадь поверхности пламени; v_n – нормальная скорость распространения пламени; V_0 – объем сосуда; ρ, ρ_0 – плотность продуктов горения и исходной смеси соответственно.

Взаимосвязь между объемом аппарата (радиуса R_0), начальным p_0 и конечным p_k давлением, а также текущими значениями давления p и размерами пламени R определяется из выражения

$$\frac{R}{R_0} = \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \left(\frac{p_k - p}{p_k - p_0} \right) \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (8.14)$$

где $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ – соотношение удельных теплоемкостей исходной смеси при постоянном давлении и постоянном объеме.

Давления p_k , p_0 и p могут быть измерены экспериментально, а скорость развития взрыва рассчитана по уравнению (8.14).

Инкубационный период развития взрыва, который зависит от допустимого давления взрыва, задаваемого по соображениям конструктивной прочности сосуда $p_{\text{взр.доп}}$, начального давления среды p_0 и объема резервуара V_0 , можно определить по формуле

$$\tau_{\text{инк}} = 0,2 \sqrt{V_0 \frac{p_{\text{взр.доп}} - p_0}{p_{\text{взр.доп}}}}. \quad (8.15)$$

Приняв $p_0 = 1$ и задавшись несколькими значениями $p_{\text{взр.доп}}$ V_0 , определим минимальные числовые значения $\tau_{\text{инк}}$ для различных случаев (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Минимальные числовые значения $\tau_{\text{инк}}$

Объем сосуда $V_0, \text{м}^3$	$\tau_{\text{инк}}, \text{мс}$, при $p_{\text{взр.доп}}, \text{Па}$				
	$1,2 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
0,5	88	105	116	123	127
1,0	111	133	144	153	160
5,0	190	228	246	262	274
10,0	239	286	310	330	344
25,0	239	286	310	330	344
50,0	314	388	420	447	467
100,0	408	490	530	564	590

Из табл. 8.1 видно, что минимальный инкубационный период развития взрыва в указанном диапазоне изменения параметров составляет приблизительно 90 мс, т.е. 0,1 с для парогазовоздушных смесей (для емкостей объемом порядка 500 л).

Для резервуаров больших размеров это время возрастает пропорционально корню кубическому из объема. Время безопасного развития больше 200 – 350 мс (миллисекунд) не имеет особого смысла, так как к этому времени завершается взрывозащитное, взрывоподавляющее действие АСПВ, практически в любом достижимом объеме.

Схема развития и подавления взрыва и блок-схема АСПВ приведены на рис. 8.8.

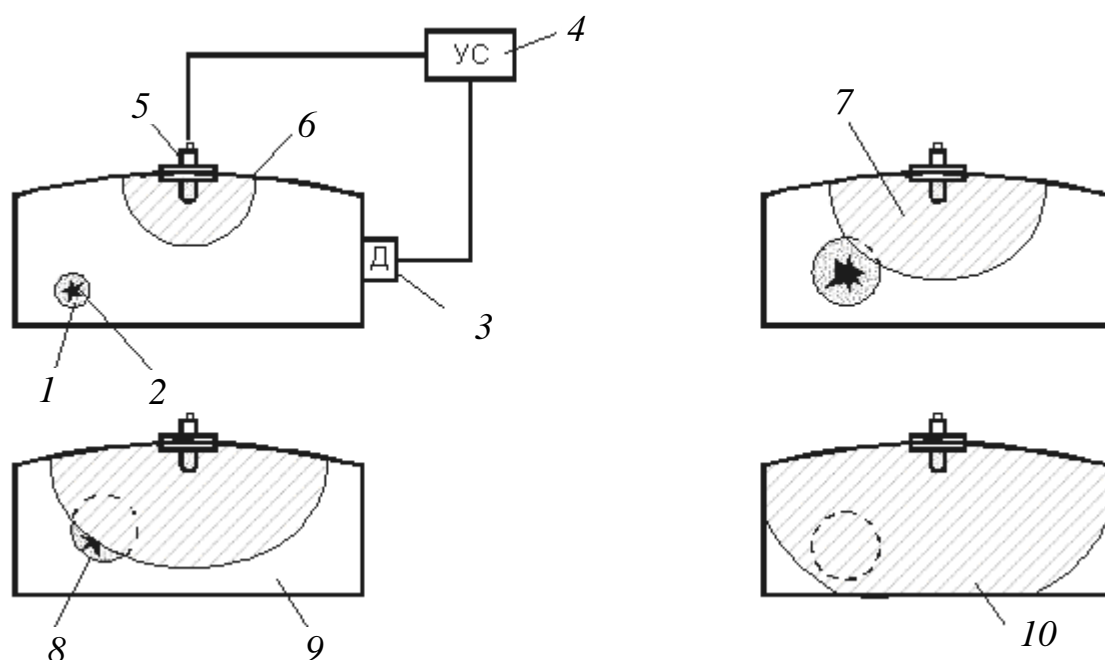


Рис. 8.8. Схема развития и подавления взрыва автоматической системой:

- 1 – фронт пламени; 2 – источник зажигания; 3 – датчик;
- 4 – усилитель; 5 – пороховой заряд; 6 – фронт потока ингибитора;
- 7 – объем, заполненный ингибитором; 8 – продукты горения;
- 9 – непрореагировавшая смесь; 10 – взрыв подавлен

Начальный момент взрыва обнаруживается датчиком АСПВ по одному из характерных для взрыва параметров (излучение, давление, ионизация). Выходной сигнал датчика, усиленный в каскаде усиления, передается к исполнительному органу взрывоподавляющего устройства – пороховому аккумулятору давления. Под действием давления пороховых газов огнетушащая жидкость вытесняется из агрегата впрыска ингибитора взрывоподавляющего устройства. Распространяясь по всему объему защищаемого пространства, струи ингибитора распыляются на отдельные капли, испа-

ряются и, смешиваясь с газовой средой, нейтрализуют взрывоопасную горящую смесь, локализуя тем самым очаг взрыва в зоне его возникновения. Затем, распространяясь дальше, поток массы ингибитора достигает зоны первоначального зарождения взрыва и подавляет горение во фронте пламени. Развитие и распространение взрыва прекращается, при этом максимальное давление взрыва не превышает допустимого значения давления в защищаемом объеме.

Таким образом, АСПВ обеспечивает обнаружение взрыва, ввод ингибитора и его равномерное распределение в объеме защищаемого объекта и, следовательно, подавление взрыва. В процессе развития взрыва и его активного подавления можно выделить три характерных участка (рис. 8.9): развитие взрыва до момента обнаружения загорания датчиком, срабатывание системы и активное подавление пламени огнетушащим веществом, постепенное снижение температуры газопаровоздушной смеси и выравнивание давления в технологическом аппарате до первоначального.

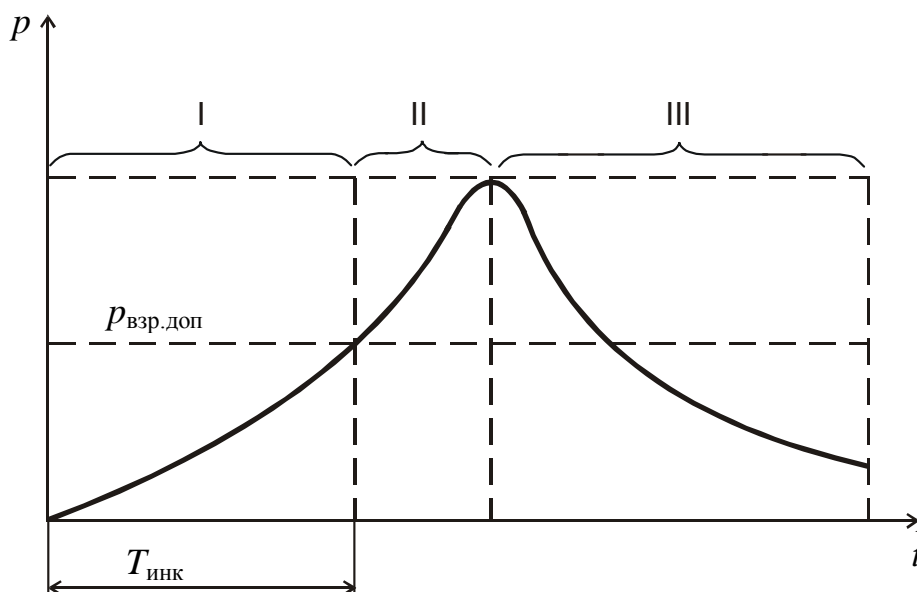


Рис. 8.9. Процесс развития и подавления взрыва:
 I – развитие взрыва до момента обнаружения;
 II – активное подавление взрыва;
 III – взрыв подавлен

Основное требование, которому должны соответствовать АСПВ, для обеспечения их максимальной эффективности, – быстроедействие, т.е. если полное действие системы – $\tau_{\text{сист}}$, а время инкубационного (безопасного) развития взрыва – $\tau_{\text{инк}}$, то условие эффективности записывается следующим образом:

$$\tau_{\text{сист}} \leq \tau_{\text{инк}}. \quad (8.16)$$

Полное время срабатывания системы складывается из времени срабатывания датчика, времени преобразования первичных импульсов в усиленный командный сигнал, времени срабатывания пиротехнического устройства, порохового аккумулятора, времени истечения ингибитора, времени полета, испарения и перемещения ингибитора с взрывоопасной средой и собственно времени, идущего на подавление и гашение пламени взрыва. Для малых объемов баков ($R_{\max} < 1$ м), $n \leq 50$ мс (R_{\max} – максимальный радиус полета струи ингибитора или наибольший размер защищаемого сосуда).

Для уменьшения времени срабатывания АСПВ датчики обнаружения взрыва создаются на чувствительных элементах, реагирующих на световое излучение. Время срабатывания чувствительных элементов излучения, как правило, находится во временном интервале 10^{-4} – 10^{-5} с при большой их чувствительности. Выявлено, что пламя имеет полосатый спектр излучения и что энергия излучения в спектре распределена по длинам волн от УФ до ИК области, и это обстоятельство должно учитываться при проектировании датчиков АСПВ.

При выборе чувствительных элементов датчиков необходимо также учитывать условия применения АСПВ, особенности защищаемых объектов и вид горючей смеси. Для пылегазовых смесей важно учесть возможное снижение интенсивности светового потока. В темных или слабо освещенных помещениях датчики могут быть изготовлены на фоторезисторах или фотодиодах. Для помещений с ограниченными источниками освещения могут быть использованы фотоумножители с набором светофильтров, а в помещениях с интенсивным освещением, дневным или искусственным светом целесообразно использовать фотоумножители с высокочувствительными элементами.

8.3. Расчет устройств взрывоподавления

Огнетушащее средство для использования в АСПВ выбирается в зависимости от условий технологического процесса и физико–химических свойств обращающихся веществ с учетом его эффективности. Экономически целесообразным считается использование для взрывозащиты галоидоуглеводородов.

Наиболее эффективны фторбромсодержащие углеводороды. Значительно эффективнее действие комбинированных огнетушащих веществ, так как совместное их действие, например галоидоуглеводородов с двуокисью углерода, азотом, в большей степени оказывает ингибирующее воздействие.

Наиболее целесообразным является применение в АСПВ сжиженных хладонов, так как скорость их испарения существенно больше скорости испарения жидких хладонов, что обеспечивает создание за меньшее время равномерной объемной концентрации огнетушащего средства в защищаемом объекте. В АСПВ широко используются для подавления взрывов газопаропылевоздушных смесей порошковые составы на основе солей щелочных металлов (бикарбоната и карбоната натрия и калия), аммонистых солей фосфорной кислоты, а также солей серной, борной и щавелевой кислот. Преимуществом этих веществ является универсальность применения для подавления горения различных горючих сред, высокая эффективность, отсутствие токсичности. Для доставки огнетушащего средства в зону горения используется устройство взрывоподавителя. Рассматриваемая ниже методика расчета взрывоподавителя применительно к использованию в качестве огнетушащего средства жидкого ингибитора.

Расчет и проектирование устройства взрывоподавителя складывается, в основном, из расчета потребной емкости взрывоподавителя (потребного количества огнетушащего вещества), расчета оптимальных параметров энергопобудителя и расчета профиля распылительной головки (закон распределения распылительных отверстий в зависимости от объема и формы защищаемого пространства).

Расчет потребного количества ингибитора для сосудов и резервуаров малых и средних объемов (от 0,5 до 10 м³) ориентировочно можно производить по формуле

$$G_{\text{инг}} = K_1 K_2 K_3 K_4 \alpha_{\text{лаб}} V_0, \quad (8.17)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий несоответствие формы факела распыла геометрической форме сосуда; K_2 – коэффициент учета локальной неравномерности распределения состава по объему в околоструйном пространстве; K_3 – коэффициент, учитывающий степень неполноты испарения ингибитора (если степень полноты испарения ингибитора ω , то $K_3 = 1/\omega$); K_4 – коэффициент запаса надежности; $\alpha_{\text{лаб}}$ – лабораторные значения гасящей концентрации ингибитора по отношению к данному горючему; V_0 – объем защищаемого резервуара.

Численные значения коэффициентов K_1 – K_4 лежат в пределах от 1 до 1,5 и выбираются в зависимости от конкретных условий применения проектируемой системы: от сложности геометрической формы и линейных размеров защищаемого резервуара, теплового режима системы и физических параметров ингибитора, степени важности объекта и других тактико-технических эксплуатационных особенностей защищаемого объекта.

При горении большинства углеводородовоздушных смесей наиболее эффективным, химически активным ингибитором является тетра-

фтордибромэтан $C_2F_4Br_2$ (хладон 114В2). Значение коэффициента $\alpha_{\text{лаб}} = 500$ мг/л (или $0,5$ кг/м³).

Тогда количество ингибитора определяем по формуле

$$G_{\text{инг}} \approx (1 \div 5) 0,5,$$
$$V_0 \approx (0,5 \div 2,5) V_0, \quad (8.18)$$

$$V_{\text{под}} \approx (0,2 \div 1,1) V_0, \quad (8.19)$$

т.е.

$$V_{\text{под}} = \frac{G_{\text{инг}}}{\gamma_{\text{инг}}} = \frac{(0,5-2,5)}{2,18} V_0, \quad (8.20)$$

где $V_{\text{под}}$ – объем подавителя; $\gamma_{\text{инг}}$ – удельный вес ингибитора $2,18$ г/см³; V_0 – объем защищаемого резервуара, м³.

С учетом реальных значений для защищаемых объемов в пределах от $0,5$ до 10 м³ емкость взрывоподавителя лежит в пределах от $0,5$ до $10-12$ м³ (чем больше защищаемый объем, тем сложнее процесс подавления взрыва, так как сложнее задача равномерного распределения состава, тем выше, соответственно, следует брать значения коэффициентов K_1 , особенно K_1 , K_2 , и K_4).

Для объемов больше $5 - 10$ м³ (когда наибольший линейный размер от места установки подавителя до наиболее удаленной точки воспламенения защищаемого резервуара больше $1,5 - 2$ м) расчет необходимого количества огнетушащего средства также можно вести по рассмотренной методике. Однако по конструктивным соображениям целесообразно необходимое количество ингибитора распределить в нескольких (двух–четырех) впрыскивающих устройствах (в зависимости от геометрической формы и конфигурации защищаемого резервуара).

Для больших объемов сосудов, бункеров и резервуаров порядка $20 - 25$ м³ и более, когда максимальный линейный размер защищаемого пространства превышает $3 - 3,5$ м от точки установки взрывоподавителя, целесообразно в комплекте системы взрывоподавления применять несколько регистраторов и несколько взрывоподавителей, так как гидродинамический режим работы взрывоподавителей большой емкости ($V_{\text{под}} > 5 \div 10$ л), потребный для защиты таких больших помещений, до настоящего времени исследован недостаточно.

Внешнебаллистический расчет системы распыла взрывоподавляющего устройства и проектирование системы впрыска и распыла ингибитора ведутся, исходя из следующих соображений:

система впрыска ингибитора должна вызывать минимальные возмущения и перемещения исходной парогазовоздушной среды;

форма факела распыла должна быть геометрически подобна форме защищаемого резервуара (или наиболее близка к ней);

поток массы ингибитора должен по возможности достигать всех зон защищаемого пространства;

время впрыска ингибитора и полета струй должно быть минимальным, т.е. скорость истечения и полета свободной струи должна быть максимальной;

степень равномерности распределения ингибитора по всему защищаемому объему должна быть наибольшей, а локальная концентрация паров ингибитора в любой точке защищаемого пространства должна быть выше гасящей, т.е. более 500 мг/л (для хладона 114В2).

Характерные соотношения конструктивных размеров взрывоподавителя принимаются по соображениям, обеспечивающим наибольшую надежность и эффективность системы. Соотношение длины цилиндрической части к диаметру выбирается в пределах 6 – 9.

Для максимального снижения местных гидравлических сопротивлений (и соответствующего снижения внутреннего давления в системе впрыска) суммарная площадь отверстий выбирается по возможности равной площади поперечного сечения резервуара с ингибитором:

$$\frac{\sum_i^n S_{\text{отв}}}{S_{\text{поп}}} \approx 1. \quad (8.21)$$

Для получения равномерного распределения ингибитора по защищаемому объему количество распылительных отверстий выбирается максимальным ($n_{\text{отв}} = 1000 \div 1500$), а размещение их на распылительной головке – наиболее плотным (в шахматном порядке или по сфере). Это позволяет получить максимальную равномерность распределения состава при регулируемой дальности полета и плотности струй ингибитора.

8.4. Взрывоподавляющие устройства

Для надежного подавления взрывов требуется высокое быстродействие автоматических противовзрывных систем, незначительное время доставки огнетушащего средства в зону горения, а также достаточно эффективная протяженность распыленного факела. Взрывоподавляющие устройства должны быть пригодны для эксплуатации в широком интервале температур и давлений, отличаться простотой конструкции и надежностью действия.

Конструкции взрывоподавителей можно подразделить на четыре группы:

- 1) устройства с разрушаемой оболочкой, приводимые в действие ударной волной, образующейся при срабатывании детонатора;
- 2) пневматические устройства, в которых для распыления огнетушащего средства используется энергия заключенного в баллоне сжатого газа;
- 3) пирогидроимпульсные устройства типа "гидропушки", в которых для диспергирования огнетушащего средства используется давление газа, образующегося при сгорании пиротехнического заряда;
- 4) комбинированные устройства, в которых совмещается принцип действия перечисленных конструкций с последующей подачей огнетушащей жидкости из магистральных трубопроводов.

8.5. Область применения автоматических систем локализации и подавления взрывов

Наиболее широко и эффективно системы локализации и подавления взрывов используются на предприятиях нефтеперерабатывающей, химической, нефтехимической и других отраслей промышленности, связанных с обращением легковоспламеняющихся жидкостей, горючих газов и взрывоопасных пылей. Из ряда типовых систем взрывозащиты технологических аппаратов наибольший интерес для использования в различных отраслях промышленности представляет система, основанная на методе вакуумирования и взрывоподавления.

Система подавления взрывов в закрытых аппаратах методом вакуумирования предназначена для пожаро- и взрывозащиты технологических процессов, защиты от разрушений технологических аппаратов, предотвращения развития крупных вторичных пожаров в производственных зданиях. Подавление взрывов в закрытых аппаратах методом вакуумирования возможно двумя способам: активным и пассивным.

Активный способ основан на регистрации загорания в технологическом аппарате датчиком и принудительной (под действием электрической энергии) разгерметизации сбросного трубопровода, соединяющего рабочий технологический аппарат и буферную емкость, находящуюся под разряжением.

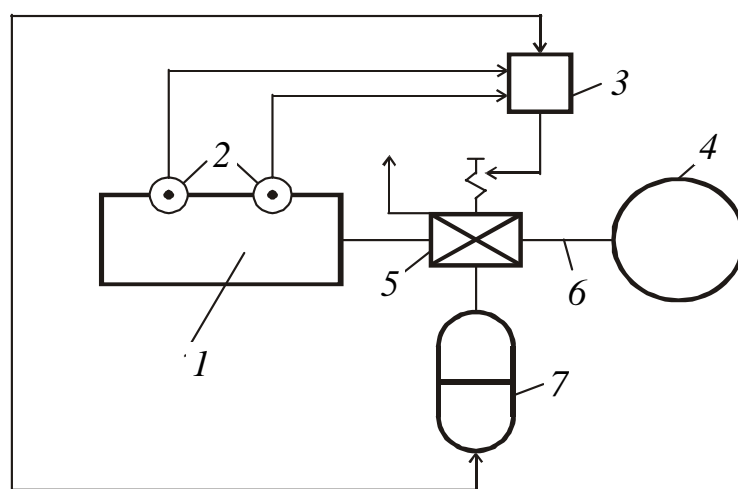
Пассивный способ заключается в разрушении предохранительной мембраны разгерметизирующего устройства под действием механического привода, побудителем которого является собственно энергия взрыва технологической среды.

Для снижения температуры продуктов горения и предупреждения загораний горючей смеси внутри сбросного трубопровода и буферной емкости в газовый поток вводится хладоагент (вода, хладон, порошок и т.п.).

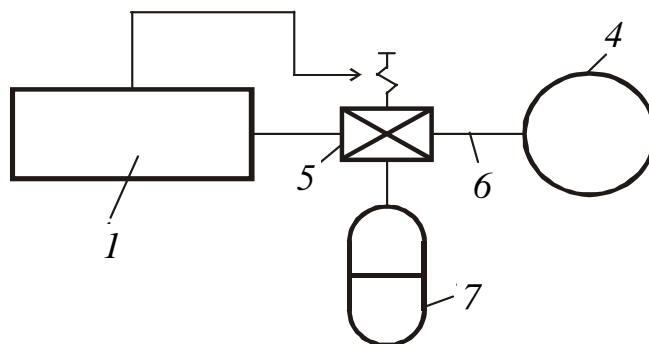
Структурные схемы автоматической системы подавления взрывов в закрытых технологических аппаратах методом вакуумирования приведены на рис. 8.10.

Система, основанная на активном способе взрывозащиты (рис. 8.10, *a*), состоит из аппаратуры обнаружения загораний 2 и 3 (взрыворегистрирующая сигнально-пусковая установка 3 в комплекте с двумя реле давления 2, включенными по логической схеме конъюнкции), устройств разгерметизации 5 и орошения 7, буферной емкости 4 и сбросного трубопровода 6.

Защищаемый технологический аппарат 1 соединен с буферной емкостью 4 сбросным трубопроводом 6, на котором монтируется клапан-разгерметизатор 5 со встроенным или независимо подсоединенным оросителем 7. Реле давления 2 устанавливаются сверху технологического аппарата 1; вторичный прибор аппаратуры обнаружения загораний размещается в операторной или другом обособленном помещении.



a



б

Рис. 8.10. Структурная схема взрывозащиты технологических аппаратов методом вакуумирования:

a – активный способ; *б* – пассивный способ

При возникновении загорания в рабочем технологическом аппарате реле давления регистрируют избыточное давление в начальный период развития взрыва, когда давление еще значительно меньше предельно допустимого значения для технологического аппарата, и передают управляющий импульс через вторичный прибор на клапан–разгерметизатор и устройство орошения, заполненное хладагентом. При срабатывании клапана происходит разгерметизация рабочего аппарата, и под действием сверхкритического перепада давлений, определяемого в основном давлением в рабочем аппарате и начальным давлением в буферной емкости, находящейся под вакуумом, начинается перетекание горючей смеси или высокотемпературных продуктов горения в буферную емкость. Одновременно в газовый поток из устройства орошения диспергируется хладагент.

Система, построенная по пассивному способу взрывозащиты, состоит из устройства разгерметизации 5, устройства орошения 7, буферной емкости 4 и сбросного трубопровода 6.

Устройства разгерметизации и орошения в этой системе срабатывают непосредственно под действием избыточного давления, образующегося в технологическом аппарате при взрыве газопаровоздушной смеси. В остальном принцип действия системы аналогичен описанному выше.

Одна буферная емкость может быть использована для взрывозащиты нескольких технологических аппаратов.

Автоматическая система взрывоподавления, разработанная во ВНИИПО, предназначена для подавления быстроразвивающихся пожаров и взрывов углеводородовоздушных и сероуглеродовоздушных смесей внутри технологических аппаратов в целях предотвращения развития крупных пожаров в производственных зданиях.

Система взрывоподавления, структурная схема которой приведена на рис. 8.11, состоит из взрыворегистрирующей и взрывоподавляющей частей, элементов контроля и сигнализации.

Взрыворегистрирующая часть представляет собой взрыворегистрирующую сигнально-пусковую установку (ВСПУ), в состав которой входят вторичный прибор, укомплектованный взрыворегистрирующим блоком, сигнально-пусковым блоком и блоком питания, два датчика и комплект реле давления, включаемые по двухлучевой схеме совпадения.

Взрывоподавляющая часть включает группу гидроимпульсных устройств, каждое из которых состоит из аккумулятора огнетушащего вещества (АОВ), распылителя (Р), газогенератора (ГГ) и реле уровня (РУ).

Реле уровня РУ предназначено для контроля уровня вещества в АОВ. При утечке огнетушащего средства РУ своими контактами коммутирует цепь реле с искробезопасными входами РИ-1, которое управляет звуковой и световой сигнализацией УС.

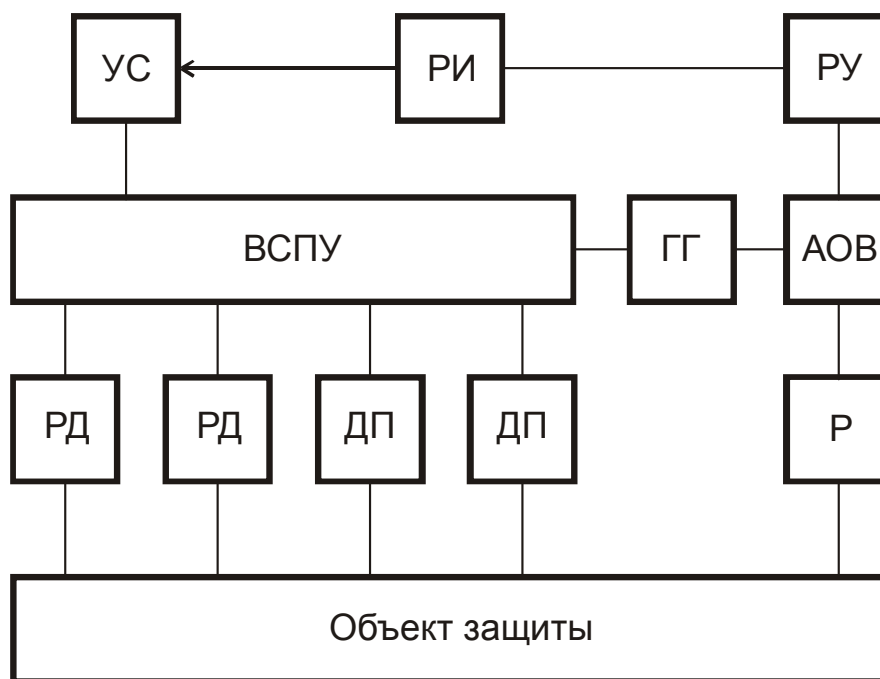


Рис. 8.11. Структурная схема системы взрывозащиты:
 ДП – датчик пламени; РД – реле давления; ВСПУ – взрыворегистрирующая
 сигнально-пусковая установка; УС – устройства сигнализации; РИ – реле
 с искробезопасными входами; РУ – реле уровня; ГГ – газогенератор;
 АОВ – аккумулятор огнетушащего вещества; Р – распылитель

Принцип действия системы заключается в следующем. При воспламенении горючей смеси сигналы от датчиков пламени (ДП) или реле давления (РД), которые используются в качестве дублирующего привода, поступают по логическим каналам обработки информации на сигнально-пусковой блок. Давление срабатывания реле 2СГС-0,15 составляет 0,015 – 0,005 МПа.

Блок датчиков формирует мощный импульс тока, от которого срабатывает газогенератор, состоящий из побудителя и порохового заряда, только в случае одновременной регистрации загораний по двум лучам и в любой комбинации. Давлением газов, образующихся при сгорании порохового заряда в газогенераторе, огнетушащее средство через распылитель вытесняется из гидроимпульсных устройств и распределяется по защищаемому объему.

Глава 9

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

9.1. Автоматизированные системы управления предприятиями

Предприятие (производственное объединение) как объект управления. Современные промышленные предприятия (ПП) являются сложными объектами управления, включающими основные и вспомогательные производства. Сложность управления предприятием состоит и в том, что оно непрерывно подвергается как внутренним, так и внешним возмущающим воздействиям. К первым относятся поломки оборудования, изменения его характеристик, аварии, взрывы и пожары, производственные травмы работников и т.д. Внешними возмущениями являются срывы межзаводских поставок, несвоевременное обеспечение транспортом, изменение нагрузки, стихийные бедствия и т.п. Система управления предприятием должна обеспечивать его нормальное функционирование в различных условиях. К функциям управления можно отнести управление технической подготовкой производства: организацию производства (основного, обеспечивающего и обслуживающего); управление технологическими процессами; оперативное управление производством; организацию метрологического обеспечения; технический контроль и испытания; управление сбытом продукции; организацию работ с кадрами; управление организацией труда и вопросы, связанные с заработной платой; управление материально-техническим снабжением; управление финансовой деятельностью. В зависимости от характера, специализации и масштаба ПП, а также конкретных условий его деятельности определяется состав функций управления и формируется система управления.

Функции управления реализуются путем решения задач управления ПП. Под задачей управления понимают алгоритм или совокупность алгоритмов формирования выходных документов (сообщений), имеющих определенное функциональное назначение для управления ПП или его подразделением. Задачи управления ПП можно разделить на два вида. Одни являются экономическими или организационными, например составление планов, учет сдачи и отгрузки товарной продукции, анализ показателей качества продукции, расчет заработной платы рабочим и служащим. Другие представляют собой задачи непосредственного управления работой отдельных технологических установок.

Решением экономических и организационных задач на ПП заняты многочисленные функциональные службы: производственный отдел, экономический отдел, технический отдел, бухгалтерия, отдел сбыта, отдел материально-технического снабжения, отдел кадров, отдел труда и зара-

ботной платы и т.д. Высококачественное управление таким сложным объектом, каким является современное ПП, возможно лишь при автоматизации управления. Последняя проводится на базе новых технических средств сбора, передачи, обработки и выдачи информации, причем основным устройством в этой системе управления становится ЭВМ. Другим неизменным условием автоматизации управления является использование при обработке информации на ЭВМ современных методов расчета ТЭП, специальных разделов математики по поиску оптимальных управленческих решений, экономико-математических методов и моделей.

Основная цель автоматизации управления – улучшение технико-экономических показателей производственно-хозяйственной деятельности ПП, что достигается совершенствованием разработки, производства и сбыта продукции, обеспечения производства, управления перечисленными процессами, организационной и производственной структур ПП, а также улучшением качества проектируемой и выпускаемой продукции и снижением затрат на создание и использование (эксплуатацию) продукции.

Автоматизация управления ПП обосновывается производственно-хозяйственной необходимостью и производственно-экономической целесообразностью.

Производственно-хозяйственная необходимость обусловлена: недостаточной достоверностью информации о состоянии производственной деятельности подразделения; сложностью анализа и обработки информации; несвоевременностью ее получения управляющим персоналом; недостаточной полнотой текущего анализа и оценки деятельности подразделений; невозможностью полной обработки больших объемов информации о деятельности предприятия для учета и отчетности всех видов; несовершенством методов расчета технико-экономических показателей; невозможностью проведения своевременного контроля параметров процессов производства; нестабильностью качества входных потоков технологических объектов управления; нестабильностью режимов работы технологических объектов управления.

Основные задачи ПП при автоматизации управления – определение степени готовности предприятия к автоматизации; выявление направлений и объектов автоматизации; определение требований к объектам автоматизации; необходимость и целесообразность автоматизации и реконструкция объектов автоматизации, обеспечивающих эффективное функционирование автоматизированных систем управления; обеспечение работ по проектированию и внедрению автоматизированных систем управления.

Автоматизация управления должна сопровождаться внесением изменений в систему управления ПП. Это сводится к созданию новых, преобразованию имеющихся и ликвидации лишних подразделений в производст-

венным и функциональными структурах; уточнению и перераспределению функций и задач управления; изменению движения информационных и материальных потоков в соответствии с модифицированными производственной и функциональной структурами; уточнению уровня централизации и децентрализации управления; дифференциации операций управления между человеком и ЭВМ.

Формы использования вычислительной техники при автоматизации управления различны: коллективное использование ЭВМ на базе вычислительных центров коллективного пользования (ВЦКП) и кустовых вычислительных центров (КВЦ) данной отрасли; индивидуальное использование вычислительных машин посредством создания автоматизированной системы управления предприятием (АСУП).

ВЦКП создается в целях проведения вычислительных работ для нескольких десятков пользователей. На ПП устанавливаются лишь периферийные средства ввода и вывода информации для передачи исходной информации в ВЦКП и получения конечных результатов решения задач управления.

В результате использования ВЦКП повышается эффективность работы ЭВМ и надежность системы в целом, увеличивается разнообразие и сложность решаемых задач. Все сказанное относится и к КВЦ, которые предназначены для обслуживания нескольких пользователей одной отрасли. В настоящее время признано, что мелкие и средние предприятия должны проводить автоматизацию управления на основе ВЦКП и КВЦ.

На крупных ПП автоматизация управления проводится за счет индивидуального использования вычислительной техники на базе АСУП.

АСУП – это человекомашина система, объединяющая управленческий и руководящий персонал, вычислительную и организационную технику. Она предназначена для автоматизированного сбора, передачи и обработки производственно-экономической и социальной информации в целях подготовки и принятия решений по управлению, планированию и анализу деятельности коллектива ПП.

Проведение работ по автоматизации управления ПП возлагается на специализированное подразделение. Таким подразделением может быть отдел (лаборатория) АСУ или информационно-вычислительный центр.

АСУП состоит из функциональной и обеспечивающей частей.

Функциональная часть АСУП состоит из отдельных подсистем, выделенных в соответствии с функциями управления ПП. Рассмотрим основные подсистемы АСУП.

Подсистема технической и технологической подготовки производства (ТПП) обеспечивает сокращение сроков разработки новой и совершенствование существующей технологии. Решение

задач управления по ТПП повышает эффективность АСУП в целом, так как на этапе ТПП формируется значительная часть материальных и трудовых нормативов, принимаемых в качестве исходных и других важнейших подсистем АСУП.

К основным задачам подсистемы можно отнести расчеты норм расхода сырья и основных материалов на единицу продукции; норм относительных выходов продуктов и потерь сырья; производственных мощностей; плановых удельных норм расхода энергоресурсов; нормативной трудоемкости и расценки на изделие и т.д.

Часть задач этой подсистемы направлена на конструирование новых и совершенствование существующих аппаратов. Так, на ЭВМ проводятся технологические расчеты сложных аппаратов массо- и теплообмена, конструкторские расчеты на прочность и надежность, расчеты исполнительных механизмов и сужающихся устройств.

Подсистема технико-экономического планирования (ТЭП) предназначена для перспективного и текущего планирования путем разработки и обоснования производственной программы.

Подсистема оперативного управления основным производством (ОУОП) обеспечивает ритмичное выполнение планов производства (квартальных, месячных, декадных, суточных, сменных).

Подсистема материально-технического снабжения (МТС) осуществляет своевременное и комплексное обеспечение сырьем, топливом, основными и вспомогательными материалами в соответствии с производственной программой.

Подсистема управления вспомогательным производством (УВП) предназначена для управления ремонтным и энергетическим обеспечением, а также транспортным обслуживанием.

Подсистема управления качеством продукции (УКП) служит для формирования, обеспечения и поддержания необходимого качества продукции при ее разработке, производстве, реализации и эксплуатации.

Подсистема бухгалтерского учета предназначена для повышения оперативности учета и снижения затрат при обработке.

Подсистема управления кадрами служит для набора ИТР и рабочих на предприятие; разработки оценок профессиональной пригодности претендентов на должность или работу; организации мероприятий, направленных на повышение квалификации рабочих и служащих предприятия.

Подсистема управления сбытом продукции способствует своевременному и полному обеспечению потребителей продукцией в соответствии с договорными обязательствами и планом реализации предприятия.

Подсистема управления финансами предназначена для обеспечения и распределения денежных средств, необходимых для достижения ТЭП работы предприятия.

Обеспечивающая часть АСУП включает организационно-правовое, информационное, программное, математическое и техническое обеспечение АСУП.

Организационно-правовое обеспечение (ОПО) – это совокупность методов, средств и юридических актов, регулирующих и организующих разработку, внедрение и функционирование АСУП. Особенно важна роль ОПО на стадии разработки АСУП, когда закладываются ее основные характеристики, т.е. в момент проведения технико-экономического анализа системы управления ПО (ПП), выбора направлений совершенствования системы управления, выбора и постановки задач управления, обеспечивающих повышение эффективности разрабатываемой системы, формулировки требований к комплексу технических средств для решения выбранных задач и т.д.

На этой стадии основной документ ОПО – "Общепромышленные руководящие методические материалы по созданию АСУП". В нем приводится порядок финансирования всех работ по созданию АСУП, указываются права и ответственность заказчика и разработчика, даются обязательный состав и содержание технического задания, технического и рабочего проектов, приводится необходимая организационно-распорядительная документация с указанием форм документов, регламентируется порядок проведения опытной эксплуатации системы и приемосдаточных испытаний.

При разработке АСУП используют также методику предпроектного обследования, методические материалы по выбору оригинальных задач, выбору пакетов прикладных программ (ППП), использованию типовых проектных решений, разработке общесистемных документов. Также пользуются отраслевыми и общегосударственными перечнями состава задач управления, типовых задач, ППП; типовыми структурами управления предприятием; унифицированными формами документов и т.д.

На стадии функционирования АСУП ОПО материализуется в комплексе директивных документов, правовых актов общего, отраслевого и местного характера, организационной документации (графики, инструкции, методики, памятки и т.д.). Перечисленные документы определяют эффективную работу системы управления ПО (ПП), функции, права и связи его подразделений и работников, обеспечивают наиболее рациональные формы и методы получения и обработки управленческой информации, пути ее продвижения, а также порядок использования новейших средств обработки данных для принятия научно обоснованных управленческих решений.

Информационное обеспечение (ИО) представляет собой совокупность единой системы классификации и кодирования технико-экономической информации, унифицированных систем документации и массивов информации, используемых в АСУП. Осуществляется выдача следующей информации: нормативных и справочных данных, текущих сведений о состоянии объекта управления и поступающих извне системы (оперативная информация), накапливаемых учетных и архивных сведений.

Для однозначного описания данных и обеспечения эффективного поиска и идентификации данных в памяти ЭВМ используют системы классификации и кодирования.

Система классификации – это совокупность правил и результат разделения заданного множества на подмножества. При разработке АСУ используют общесоюзный или отраслевой классификатор. Если их применение неэффективно, разрабатывают локальный классификатор предприятия.

Основным элементом ИО являются информационные массивы, предназначенные для хранения информации. Различают *входные, основные, рабочие* и *выходные* массивы и данные.

Программное обеспечение представляет собой совокупность программ для реализации АСУП на базе применения вычислительной техники.

Математическое обеспечение – это совокупность средств и методов, позволяющих строить экономико-математические модели задач управления предприятием. Построение экономико-математической модели включает следующие этапы: выбор критерия эффективности, определение ограничений, составление формальных математических соотношений, отражающих моделируемый экономический процесс. Получение оптимального решения экономико-математической модели проводится на базе методов математического программирования, математической статистики и теории массового обслуживания.

Математическое программирование (линейное, нелинейное, динамическое, стохастическое, дискретное и оптимизация на сетях) используют при решении задач планирования и управления производством.

При решении задач прогнозирования выпуска готовой продукции, спроса на продукцию, развития предприятия, выявления причин текучести кадров и определения нормативных данных применяют методы математической статистики.

Теория массового обслуживания нашла применение при определении оптимального комплекта оборудования предприятия, людских резервов, числа ремонтных бригад.

9.2. Автоматизированные системы управления технологическими процессами

Основные понятия и определения

Основой автоматизации производства является применение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) с электронными управляющими вычислительными машинами. Применение АСУТП повышает уровень организации производства и оперативность взаимодействия персонала с технологическим агрегатом. Это сокращает цикл производства, позволяет перейти к оптимизированным режимам технологических процессов, что увеличивает производительность агрегатов, повышает производительность труда, эффективность использования сырья и материалов, а также предотвращает аварийные ситуации. Наибольшее число систем внедрено в энергетической, химической и нефтехимической промышленности. Внедрение систем показало высокую их эффективность. В среднем срок окупаемости таких систем составляет примерно 1,2 года, в то время как систем автоматизации без применения вычислительной техники – 1,5 года. Большинство АСУТП, которые созданы и создаются в настоящее время, являются не автоматическими, а автоматизированными. В этих системах ещё велика роль оператора, который либо сам принимает решения в соответствии с информацией, предоставляемой ему вычислительной машиной, либо оценивает и реализует решения, выработанные ЭВМ. Однако по мере совершенствования технических средств всё более возможным становится переход к автоматическому управлению агрегатами и процессами.

Создание методологических основ для разработки систем управления технологическими процессами требует установления единой терминологии. В соответствии с общепромышленными методическими материалами системы технологический процесс + АСУТП названы автоматизированными технологическими комплексами. Под управляемым технологическим процессом понимается такой процесс, для которого определены основные входные (управляющие, управляемые и неуправляемые) воздействия и выходные переменные процессы, которые необходимо контролировать в реальном времени, установлены детерминированные и (или) вероятностные зависимости между входными воздействиями и выходными параметрами (математическая модель), разработаны методы их автоматического измерения и направленного измерения.

Автоматизированная система управления технологическим процессом – это система, которая при участии оперативного персонала в реальном времени обеспечивает автоматизированное управление процессом изготовления (переработки) продукта по заданным технологическим и технико-экономическим критериям.

Под автоматической системой управления технологическим процессом понимается система, которая без вмешательства оперативного персонала обеспечивает управление в реальном времени основной или группой основных технологических операций по заданным технологическим или технико-экономическим критериям.

Расположение на территории объекта управления технических средств АСУТП и оперативного персонала (центрального и локального постов управления) называется *топологией* АСУТП.

АСУТП, которая разбивается на две и более подсистемы, решающие задачи управления на своём горизонтальном уровне управления и связанные между собой по вертикали информационными связями и соответствующими аппаратно-программными средствами, объединяется в понятие иерархической системы.

Как правило, в таких АСУТП с помощью аппаратно-программных средств обеспечивается общесистемная организация решения в реальном времени задачи комплексного управления объектом с увязкой (координаций) решаемых задач на каждом уровне. К такой системе применим термин "интегрирование АСУТП", под которым понимается управление не отдельной частью технологического процесса, а охват процесса в комплексе с решением задач организационно-технологического управления по технико-экономическим критериям, применяется как к иерархическим АСУТП, так и к одноуровневым системам на основе одной центральной ЭВМ. Составляющими комплексной АСУТП являются локальные АСУТП, автономно функционирующие подсистемы комплексной АСУТП, управляющие отдельными операциями или частями процесса.

Для АСУТП управляемым объектом является технологический объект, представляющий совокупность технологического оборудования. АСУТП воздействует непосредственно на те или иные элементы оборудования технологического объекта.

Таким образом, АСУТП представляет собой человекомашинную систему, обеспечивающую автоматизированный сбор и обработку информации, необходимую для оптимизации управления технологическими процессами. Процесс оптимизации предполагает выбор такого варианта управления, в котором достигается минимальное или максимальное значение некоторого критерия, характеризующего качество управления.

При выборе и разработке АСУТП необходимо учесть экономические показатели всего производства, характер технологического процесса, тщательно проанализировать, сможет ли внедрение АСУ коренным образом изменить производительность и улучшить условия труда на данном объекте. Разработка АСУТП должна сопровождаться:

технико-экономическим обоснованием необходимости её применения;

анализом технологического процесса как объекта управления;
построением математической модели процесса;
формулировкой решаемых задач;
проектированием собственно системы управления, которое осуществляется на основе системного анализа и включает разработку систем локальной автоматики, а также разработку информационного, математического, алгоритмического и технического обеспечения системы;
анализом структурной надёжности системы и разработкой мероприятий по её выполнению;
разработкой системы технического обслуживания.

После разработки и опытной эксплуатации АСУТП проводится анализ её функционирования и коррекция всех её частей применительно к реальным условиям эксплуатации. Нередко внедрение АСУТП сопровождается коренной реконструкцией объекта.

Задачи АСУТП в общей схеме управления производством и их классификация

Объективная необходимость широкого внедрения во всех отраслях народного хозяйства АСУТП обусловлена тем, что применение современных средств автоматического сбора и обработки информации позволяет решать следующие задачи:

вести процесс с производительностью, максимально достижимой для данных производительных сил, автоматически учитывая непрерывные изменения технологических параметров, свойств исходных материалов и полуфабрикатов, изменения в окружающей среде, ошибки операторов;

управлять процессом, учитывая номенклатуру продукции (сортамент, номиналы, классы, группы точности и качество) путём оперативной перестройки режимов технологического оборудования и т.п;

реализовывать статистическое управление процессами в реальном времени по экстремальному или адаптивному алгоритму;

осуществлять автоматическое управление технологическими процессами во вредных для человека и пожаро- и взрывоопасных условиях.

Необходимо отметить также, что решение названных задач при внедрении АСУТП имеет для народного хозяйства, кроме прямого экономического эффекта, и существенный социальный эффект, так как требует повышение общего уровня организации производства и его культуры. Конкретные функции, которые выполняет АСУТП, зависят также от характера и сложности управляемого процесса, а также от технических возможностей самой АСУТП. К таким функциям относятся:

сбор и обработка информации о состоянии технологического процесса и выпускаемых изделий;

контроль и идентификация процесса;
стабилизация и регулирование процесса;
логико-программное управление;
поиск оптимальных решений по управлению процессом;
комплексное координационное управление объектом;
анализ и предотвращение аварийных ситуаций;
техническая диагностика отдельных частей и системы в целом.

Таким образом, АСУТП, решая самостоятельную задачу повышения эффективности отдельных производственных процессов, одновременно создают информационную и техническую базу для автоматизированной системы управления производством и предприятием в целом.

Цель и задачи комплексной системы управления технологическим объектом иллюстрируются обобщённой схемой управления, приведённой на рис. 9.1.

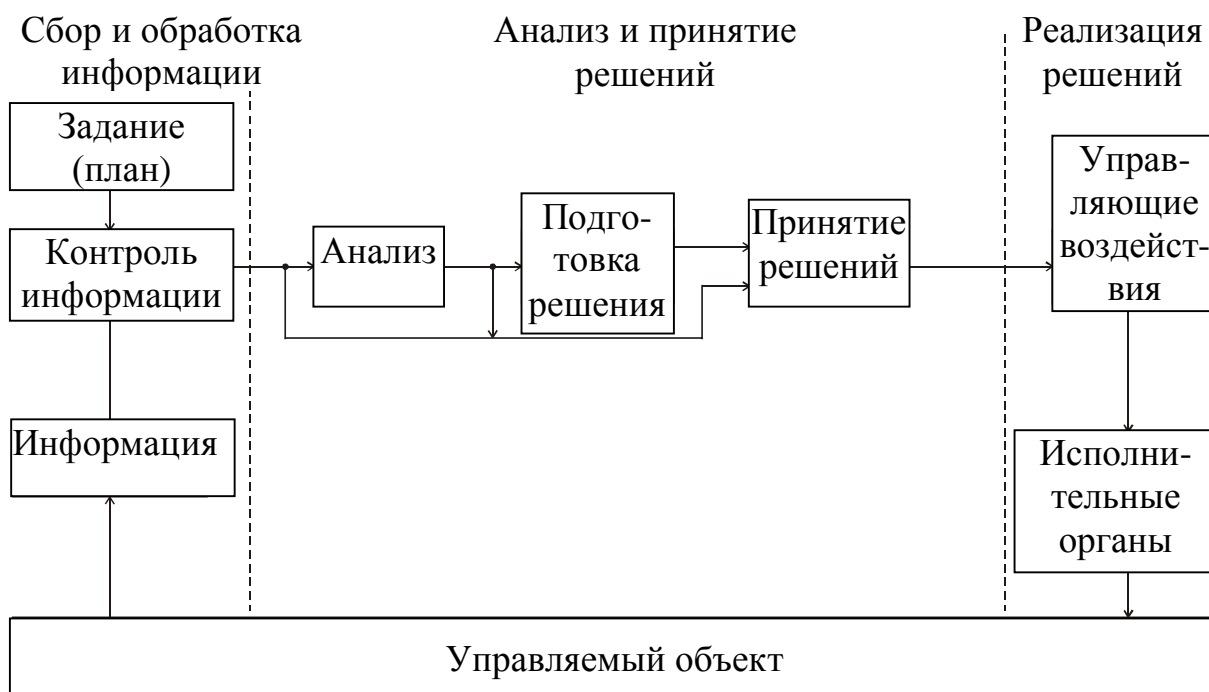


Рис. 9.1. Структурная схема АСУТП

АСУТП классифицируются по шести наиболее существенным признакам:

характеру управляемого технологического процесса;
степени сложности управляемого процесса;
степени охвата управляемого процесса;
степени автоматизации задач управления;
функционально-алгоритмическому признаку;
архитектурному признаку.

Рассмотрим основные виды АСУТП в зависимости от классификационного признака.

По *характеру управляемого технологического процесса* АСУТП можно разделить на следующие классы:

АСУ основными непрерывными технологическими процессами;

АСУ основными непрерывно-дискретными процессами;

АСУ сборочными процессами в дискретном производстве;

АСУ контрольными операциями и процессами;

АСУ процессами изготовления оснастки и инструментов для основного производства.

Классификация по *степени сложности управляемого процесса* основывается на условных границах числа параметров контроля и управления процессом. Например, классификация для предприятий с непрерывным и непрерывно-дискретным характером производства выделяет количественные границы: 20, 40, 100, 800 параметров. Такая классификация может служить основой для планирования разработок и определения номенклатурной базы АСУТП.

Системы по *степени охвата управляемого процесса* целесообразно разделить на два основных класса: комплексные АСУТП, локальные АСУТП.

Классификация по *степени автоматизации задач управления* используется с момента зарождения АСУТП и определяет распределение "интеллектуальных" функций в решении задачи управления между ЭВМ и человеком, т.е. основывается на признаке технического совершенства АСУТП как кибернетической системы.

В этом плане различают АСУТП в зависимости от способов выполнения основных информационных и управляющих функций.

АСУТП, функционирующие без вычислительного комплекса. Такие АСУТП применяются для управления отдельными технологическими агрегатами, установками или отдельными, относительно простыми производственными процессами, они обладают определённой автономностью, занимая при этом, как правило, нижнюю ступень иерархии управления производством. В этих системах автоматический контроль, регулирование параметров технологического процесса, а в ряде случаев и их оптимизация осуществляются автономными специальными техническими устройствами. Информация о состоянии объекта вводится в такую систему автоматически от датчиков (первичных преобразователей), а управляющее воздействие поступает от неё на регулирующие органы. При этом сбор информации и формирование управляющих воздействий производится либо непрерывно, либо с высокой частотой, определяемой темпом управляемого технологического процесса.

Оператор и подчинённые ему технические средства управления объектом составляют единую автоматизированную систему управления объектом (рис. 9.2). Приведённый вариант системы управления, хотя и не содержит в своём составе вычислительного комплекса, является человеко-машинной системой и, как АСУТП, достаточно широко распространённой.

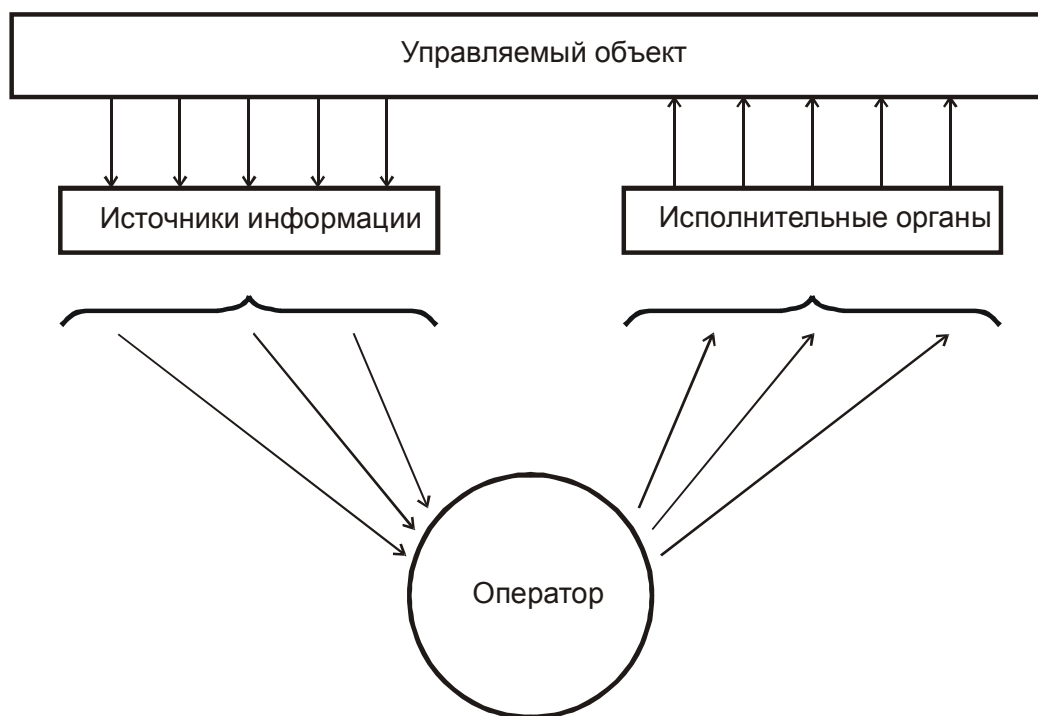


Рис. 9.2. АСУТП без вычислительного комплекса

АСУТП с вычислительным комплексом, выполняющим информационные функции. Система этого вида (рис. 9.3) содержит все функциональные и аппаратные элементы, присущие рассмотренной выше системе, но отличается от неё наличием вычислительного комплекса (ВК), который осуществляет централизованный контроль, вычисление комплексных технических и технико-экономических показателей, а также контроль за работой и состоянием оборудования. Вычислительный комплекс получает в системах такого вида информацию о состоянии объекта, а особенностью систем является то, что анализ поступающей информации, принятие решений, а также осуществление управляющих воздействий возлагается на оператора. Данные об объекте управления, кроме вывода на централизованные средства отображения информации, могут передаваться в вышестоящую АСУ для дополнительной обработки непосредственно, либо выводиться для этой цели на внешние накопители.

Целью сбора данных может быть также изучение технологического процесса при различных условиях, в том числе и предаварийных. В результате накапливается информация, позволяющая построить или уточнить математическую модель процесса, которым надо управлять.

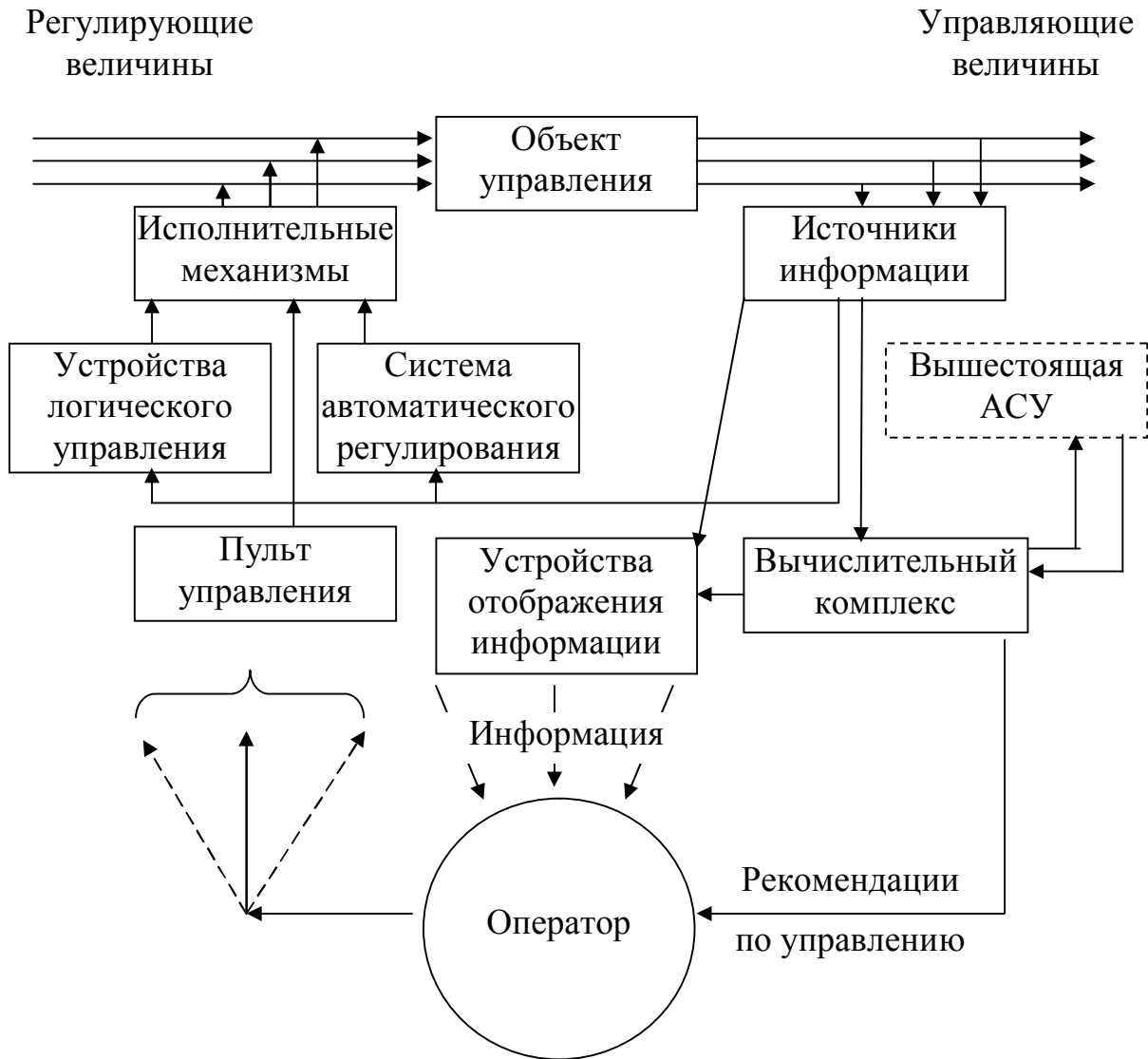


Рис. 9.3. АСУТП с вычислительным комплексом, выполняющим информационные и советующие функции

АСУТП с вычислительным комплексом, выполняющим управляющие функции в режиме "советчика". В такой системе ВК, кроме функций, выполняемых в системе, рассмотренной выше, анализирует поступающую информацию и производит поиск оптимальных решений с выдачей рекомендаций по управлению (советов) оператору, который и осуществляет выбор решения и управляющее воздействие на объект.

АСУТП с вычислительным комплексом, выполняющим функции центрального управляющего устройства (супервизорное управление).

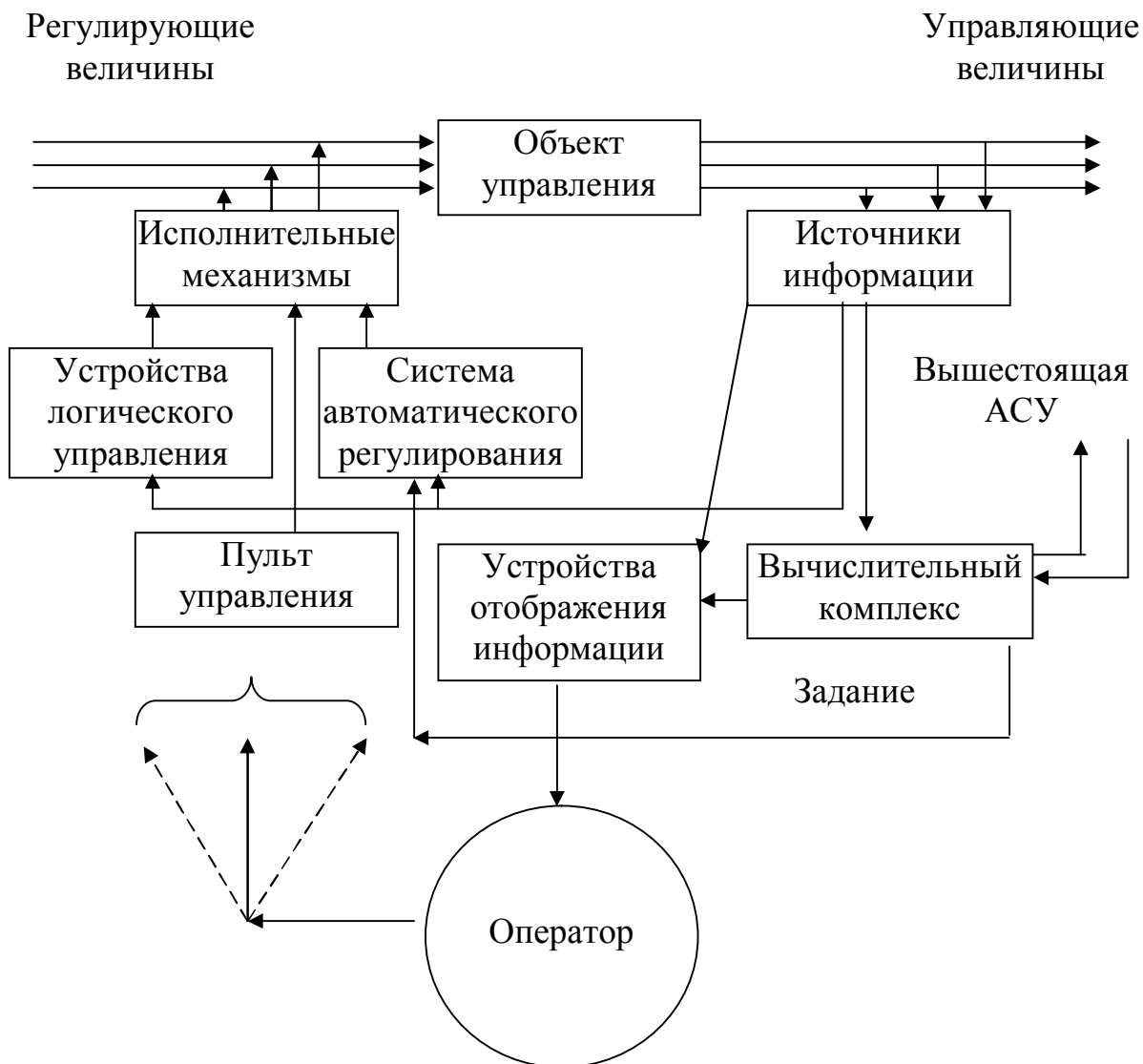


Рис. 9.4. АСУТП с вычислительным комплексом, осуществляющим супервизорное управление

В системах такого вида (рис. 9.4). ВК включается в замкнутый контур автоматического управления и вырабатывает управляющие воздействия, поступающие как сигналы заданий непосредственно на вход системы автоматического регулирования. Основная задача супервизорного управления – автоматическое поддержание технологического процесса вблизи оптимальной рабочей точки путём оперативного воздействия на него. В этом существенное преимущество данного вида систем автоматического управления. ВК, отыскав в системе супервизорного управления необходимые

значения заданий, регулятором преобразует их в такие сигналы, которые непосредственно используются для изменения задания и настройки регуляторов. Функции оператора в таком виде управления сводятся к общему наблюдению за ходом процесса и введению необходимых коррективов в уравнение контуров управления.

АСУТП с вычислительным комплексом, выполняющим функции непосредственного (прямого) цифрового управления. В АСУТП (рис. 9.5), вычислительный комплекс которой работает в режиме непосредственного цифрового управления (НЦУ), сигналы, используемые для приведения в действие исполнительных механизмов, поступают непосредственно от ВК, а необходимые ранее регуляторы исключаются из системы (или используются как резерв). НЦУ позволяет заменить совокупность регуляторов с соответствующими им заданиями на вычислительный комплекс. В этом случае вместо расчёта заданий регулятором рассчитываются значения управляющих воздействий и соответствующий сигнал передаётся непосредственно на исполнительные механизмы регулирующих органов. Это делается для каждого контура управления. Одно из главных преимуществ применения АСУТП с ВК в режиме НЦУ заключается в возможности изменения алгоритмов управления для контуров управления внесением изменений в программу.

Классификация по *функционально-алгоритмическому признаку* определяет функции и степень совершенства алгоритма управления, реализуемого АСУТП. Выполняемые системой функции, в свою очередь, определяют источники её технико-экономической эффективности, что придаёт особую практическую значимость классификации по данному признаку. По этому признаку АСУТП классифицируются на следующие системы:

- логико-программного управления;
- экстремального управления;
- адаптивного управления;
- организационно-технологического управления;
- оптимально-координационного управления.

Классификация по *архитектурному признаку* обобщает все известные системотехнические решения при построении АСУТП.

Различают следующие АСУТП по архитектурному признаку:

одноуровневые централизованные системы на базе одного управляющего вычислительного комплекса (одной ЭВМ), имеющие прямую связь со всеми источниками и приёмниками информации;

одноуровневые централизованные с уплотнением каналов связи – системы на базе одного управляющего комплекса;

двухуровневые с одной ЭВМ – системы на базе одной ЭВМ с частным распределением функций управления на управляемые регуляторы и (или) программаторы и (или) локальные посты управления;

многоуровневые (двухуровневые) с определенным количеством ЭВМ – системы, в которых ЭВМ используется более чем на одном уровне.

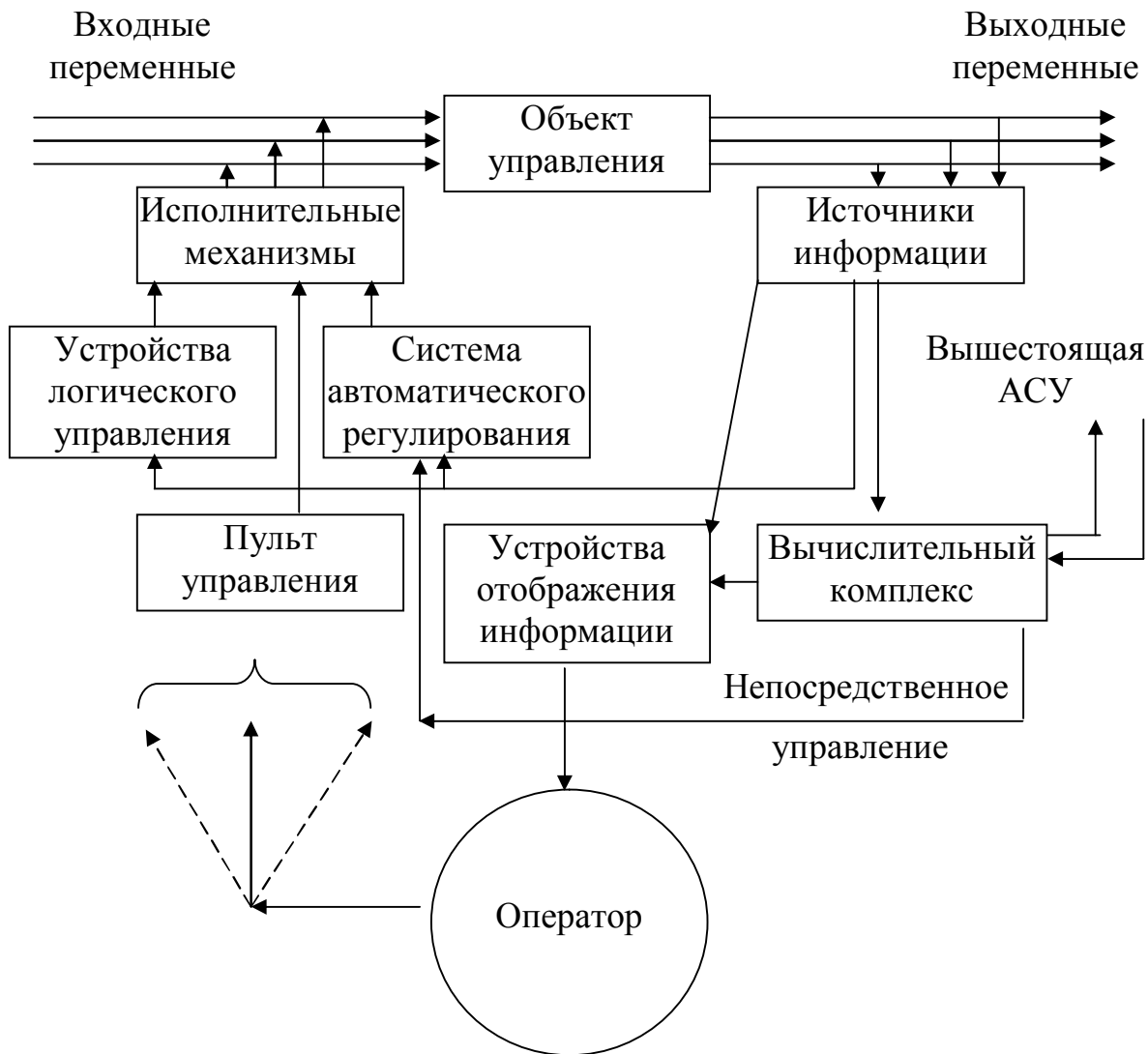


Рис. 9.5. АСУТП с вычислительным комплексом, выполняющим непосредственное управление

В соответствии с теорией многоуровневых систем для иерархических АСУТП свойственны последовательные вертикальные расположения подсистем (вертикальная декомпозиция), приоритет действий подсистем верхнего уровня и зависимость действий подсистем верхнего уровня от результатов выполнения нижними уровнями своих функций. Взаимодействие возможно всеми уровнями, однако всегда сохраняется приоритетное воздействие верхних уровней на нижние. При проектировании АСУТП находят практическое применение три основных понятия иерархических уровней:

уровни описания или абстрагирования (страты);

уровни сложности принимаемого решения (слои);
организационные уровни (эшелоны).

На рис. 9.6 приведён один из возможных вариантов стратифицированного представления АСУТП.

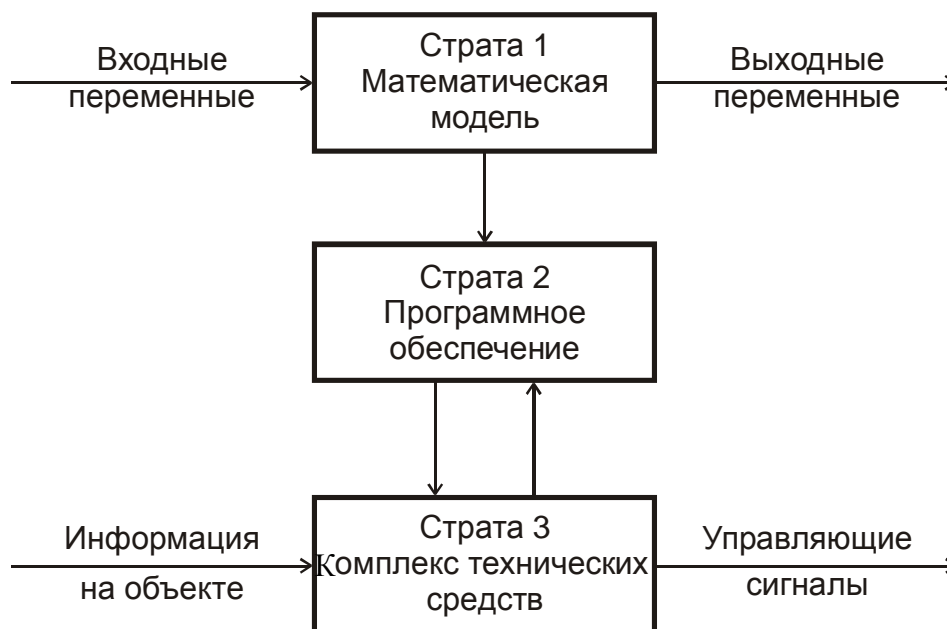


Рис. 9.6. Стратифицированное представление АСУТП

Состав АСУТП

В состав АСУТП входят следующие основные компоненты: оперативный персонал, информационное, организационное, программное и техническое обеспечение. Основные компоненты АСУТП и их взаимодействие показаны на рис. 9.7. Как видно из схемы, основная задача АСУТП сводится к целенаправленному преобразованию входной информации в выходную. Сбор входной информации, её обработку и анализ, а также принятие решений по управлению и их реализацию осуществляют оперативный персонал. Для правильного функционирования и решения основной задачи оперативный персонал руководствуется документами организационного обеспечения, а КТС имеет программное обеспечение. В процессе функционирования АСУТП между её основными компонентами существует интенсивное взаимодействие. Эти взаимодействия внутри системы, а также её взаимодействие с внешней средой носят информационный характер, так как сводятся к передаче и приёму информации в виде различных сигналов, данных, сообщений, текстов и т.д. Множество принятых форм массивов данных, документов, перечней и используемых сигнала-

лов, кодов и правило их расшифровки образуют информационный комплекс АСУТП.

Автоматизация технологических процессов типовыми средствами контроля, средствами дистанционного управления и т.п. способствует повышению уровня пожаро- и взрывобезопасности объекта. Однако больший эффект по пожаро- и взрывозащите производств может быть достигнут при использовании вычислительной техники, входящей в АСУТП.

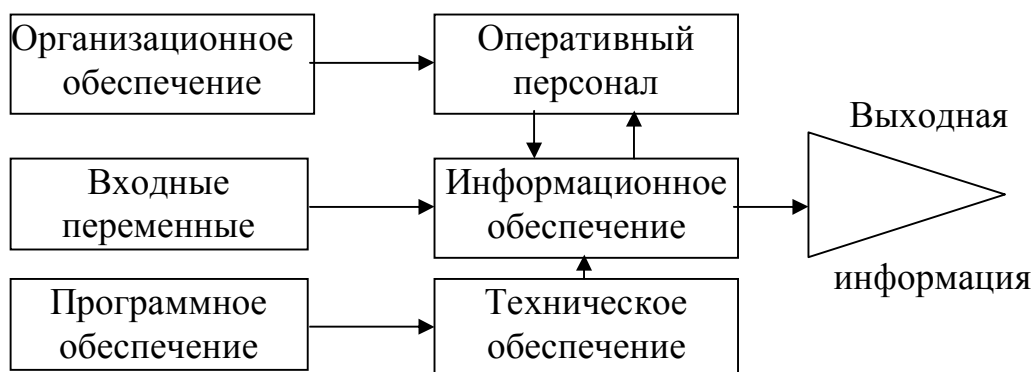


Рис. 9.7. Блок-схема взаимодействия основных компонентов АСУТП

9.3. Автоматизированные системы управления взрывопожарозащитой (АСУВПЗ) промышленных объектов

Вычислительная техника позволяет компоновать управляющие и информационные вычислительные системы для отдельных технологических процессов, а также автоматизированные системы управления для отдельных цехов и промышленных предприятий с одним или несколькими вычислительными комплексами. Комплексная автоматизация промышленных объектов системами управления на базе ВТ оптимизирует ход производственного процесса при переменных значениях параметров, влияющих на процесс, в целях достижения его наибольшей экономической эффективности и пожарной безопасности. За критерий оптимальности могут быть приняты некоторые обобщенные показатели, характеризующие экономическую или техническую сущность работы объекта: максимальная производительность труда, снижение расхода ценного сырья и т.п., а для обеспечения пожарной безопасности комплексный или обобщенный показатель. Одновременно, как было показано в п. 9.2, УВМ, входящие в состав АСУТП, среди прочих задач выполняют анализ аварийных ситуаций и выявляют причинно-следственные связи, что может быть экстраполировано в принципе и на системы пожарной защиты.

Информация, поступающая в УВМ, позволяет выделить группы связанных между собой аварийных сигналов, определить основную причину

появления этих сигналов и их ближайшие, наиболее угрожающие результаты. Таким результатом аварийной ситуации может быть пожар или взрыв. Так как вычислительная машина успевает за короткий срок проверить большое количество логических условий, то способность автоматизированной системы управления распознавать пожаро- и взрывоопасные ситуации значительно превышает возможности оператора. Для выявления такой ситуации и организации пожарной защиты в программу УВМ включается подпрограмма с командами целевого назначения. Эта подпрограмма представляет собой цепочку логических выборов поиска оптимального решения пожарной защиты. В результате логического анализа УВМ должна определить в каждом конкретном случае уровень защиты, снизить нагрузку на объект, произвести постепенное отключение или остановку оборудования и включение системы пожарной защиты или подавления взрыва.

Пример блок-схемы программы анализа аварийного сигнала приведён на рис. 9.8, а структурная схема управления с наличием подсистемы пожарной защиты и взрывоподавления приведена на рис. 9.9.



Рис. 9.8. Блок-схема программы анализа аварийного сигнала

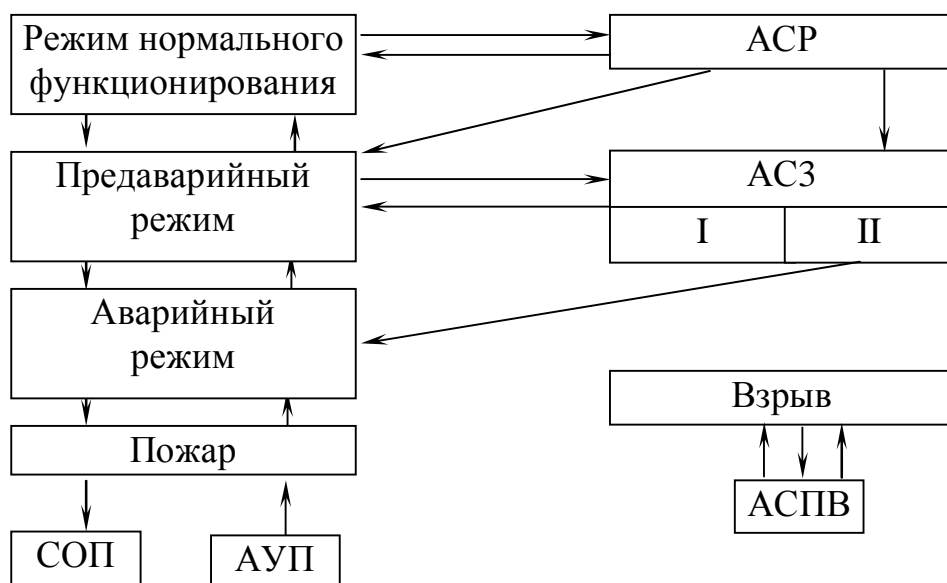


Рис. 9.9. Структурная схема управления с наличием подсистемы пожарной защиты и взрывоподавления

Таким образом, для обеспечения автоматической пожарной защиты АСУТП может выполнять ряд функций:

1. Предупреждение пожаров и взрывов на объекте защиты путем анализа обстановки по пожаро- и взрывоопасности в ходе технологического процесса и осуществление защитных воздействий, исключающих пожар или взрыв. Это может быть осуществлено по специально разработанному алгоритму с учётом вышесказанного.

2. Контроль работоспособности автоматической пожарной защиты (АПЗ). Это обусловлено повышением сложности систем АПЗ, трудностью решаемых ими задач в условиях интенсификации производства и его повышенной пожарной опасностью. Введение быстрых и объективных машинных методов контроля, не связанных с субъективными особенностями человека, может значительно повысить надёжность систем АПЗ и своевременно обнаружить неисправности.

Для контроля работоспособности систем АПЗ с помощью вычислительных машин (ВМ) комплекса АСУТП необходимо установить число независимых состояний систем АПЗ (дежурное, аварийное, ремонтное), независимые параметры, наиболее полно характеризующие состояние системы АПЗ, признаки состояния и их взаимосвязь с параметрами технологического процесса произвести минимизацию их числа, выбрать оптимальный алгоритм контроля системы АПЗ и подобрать измерительные, регистрирующие и информационные устройства достаточной точности.

3. Управление ликвидацией пожара и спасанием людей. Пожары на современных предприятиях, связанные с обращением в большом количестве легковоспламеняющихся жидкостей, горючих газов и пылей, могут

принимать сложные формы и большие размеры, а это значительно усложняет управление силами и средствами по его ликвидации.

В связи с этим функция управления ликвидацией пожара и спасания людей, выполняемая УВМ и другими техническими средствами, должна обеспечивать выявление помещения (места) на территории объекта, где возникло загорание, контроль пуска локальных систем пожаротушения, оповещение оператора и пожарных подразделений о пожаре, выдачу рекомендаций о первичных действиях по тушению пожара силами добровольных пожарных дружин, прибывшими подразделениями пожарной охраны и выдавать информацию о предписанных маршрутах эвакуации людей.

Цель внедрения АСУВПЗ на промышленном объекте – повышение уровня взрывопожаробезопасности технологических процессов и безопасности людей и их эвакуации в экстремальных случаях.

Для достижения этой цели АСУВПЗ, решая задачи по обеспечению автоматизированной противопожарной и противовзрывной защиты, выполняет соответствующие информационные и управляющие функции.

К информационным функциям АСУВПЗ относятся:

1. Контроль обеспеченности автоматическими приборами и системами предупреждения, локализации и ликвидации пожаров, взрывов и аварий защищаемого объекта (наличие, режим работы, ремонт и т.п.).

2. Контроль выполнения предписаний, рекомендаций и решений контролирующих органов и ГПН.

3. Контроль работоспособности систем предупреждения пожаров, взрывов, аварий.

4. Контроль работоспособности систем локализации и ликвидации пожаров, взрывов, аварий.

5. Контроль "нормы" технологических параметров, определяющих взрывопожароопасность защищаемого объекта.

6. Контроль связи и схем оповещения.

7. Обнаружение и регистрация отклонений параметров, определяющих взрывопожароопасность защищаемого объекта.

8. Информация оператора о текущем взрывопожароопасном состоянии защищаемого объекта, возникновении аварийной ситуации (пожар, взрыв, авария).

9. Информация оператору-диспетчеру о прогнозе аварийной ситуации.

10. Выдача рекомендаций оператору-диспетчеру по реализации плана ликвидации аварийной ситуации.

11. Выдача оперативного плана пожаротушения и рекомендации РТП.

12. Регистрация срабатывания систем предупреждения, локализации и ликвидации аварийных ситуаций.

К управляющим функциям АСУВПЗ относятся:

1. Приведение в действие систем предупреждения, локализации и ликвидации аварийных ситуаций, пожаров и взрывов.

2. Частичное или полное отключение технологического оборудования и остановка технологического процесса.

3. Управление средствами и системами эвакуации людей из аварийных помещений и зон.

Организационное обеспечение АСУВПЗ – совокупность описаний функциональной, технической и организационной структур, инструкций и регламентов для оперативного персонала АСУВПЗ, определяющего действия при функционировании технологического комплекса с наличием АСУВПЗ.

Структурная схема АСУВПЗ в общем виде включает: комплекты первичных преобразователей-датчиков на различные параметры, характеризующие возможные аварийные ситуации (аварию, взрыв, пожар) на защищаемом объекте, устройство контроля, приёма и преобразования информации, вычислительный комплекс, управляющие устройства и исполнительные органы, систему отображения, представления и регистрации информации.

Разделяют три разновидности АСУВПЗ:

Для первой характерно включение подсистемы пожарной безопасности в АСУТП. Это, как правило, крупные предприятия, уже имеющие комплексные, двух- и многоуровневые АСУТП. Задачи АСУВПЗ по обеспечению пожаровзрывобезопасности входят самостоятельными подпрограммами в комплексе АСУТП.

Вторая разновидность – это самостоятельная и независимая АСУВПЗ объекта или технологического процесса.

Третья разновидность – это сочетание АСУТП и АСУВПЗ в комплексе АСУ производством.

Структуры АСУВПЗ определяют состав, назначение и взаимодействие подсистем, степень централизации и число уровней иерархии системы, организацию связей между компонентами АСУВПЗ, взаимосвязь АСУВПЗ с другими системами управления, а также возможность развития и модернизации АСУВПЗ в пределах, оговоренных техническим заданием на создание АСУВПЗ.

В ходе проектирования АСУВПЗ разрабатываются следующие виды структур:

функциональная структура;

организационная структура;

структура комплекса технических средств.

Элементами функциональной структуры АСУВПЗ являются подсистемы, функции, задачи, операции, а связями между элементами – потоки

информации, циркулирующей между ними при функционировании системы.

Элементами организационной структуры АСУВПЗ являются структурные подразделения и (или) отдельные должностные лица, связанные с функционированием АСУВПЗ, а связи между ними определяют обмен информацией, соподчинённость и взаимодействие. При проектировании АСУВПЗ целесообразно разрабатывать организационную структуру таким образом, чтобы предусмотреть создание единой службы эксплуатации АСУВПЗ.

Структура комплекса технических средств (КТС) АСУВПЗ включает:
датчики контроля аварийной загазованности и пожарной сигнализации объекта;

датчики контроля состояния технологического объекта управления (ТОУ ВПЗ);

исполнительные устройства, осуществляющие управление оборудованием ТОУ ВПЗ;

устройства предупредительной и аварийной сигнализации;

средства электроавтоматики;

средства ввода-вывода информации (устройства связи с объектом);

средства обработки информации и управления (центральные обрабатывающие устройства);

средства хранения информации;

средства обмена информацией;

оперативно-диспетчерское оборудование;

сервисное оборудование;

источники питания, конструктивы, кроссовую и коммутационную аппаратуру;

соединительные кабели, провода, жгуты.

Вариант структуры КТС распределённой многоуровневой АСУВПЗ представлен на рис. 9.10.

Структурная схема предусматривает два уровня управления:

1) нижний (локальный) уровень, реализованный на программируемых контроллерах (ПК) с последовательными интерфейсами RS 232, RS 485;

2) верхний уровень, реализованный на персональной ЭВМ.

Таким образом, АСУВПЗ строится на базе двухуровневого распределённого комплекса технических средств, функционирование которого должно обеспечиваться аппаратными и программными средствами стыковки (сопряжения).

Нижний (локальный) уровень АСУВПЗ выполняет функции автоматического непрерывного контроля состояния и программно-логического управления ТОУ ВПЗ в дежурном режиме и при обнаружении аварийной ситуации с представлением локальной информации.

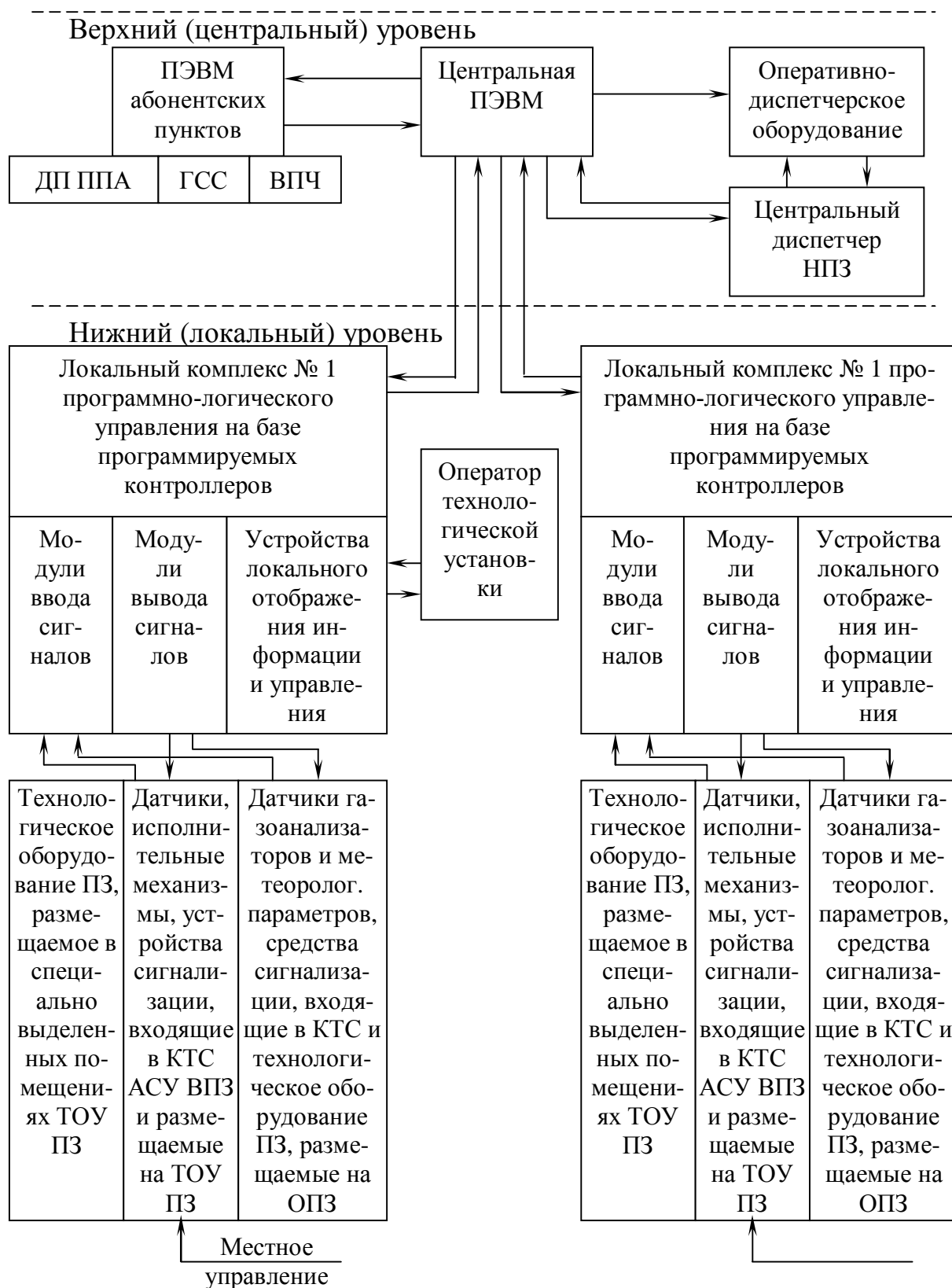


Рис. 9.10. Структура комплекса технических средств распределенной многоуровневой АСУВПЗ нефтеперерабатывающего предприятия (стрелками показано направление передачи информации и управляющих воздействий):
 ДП ППА – диспетчерский пункт противопожарной автоматики

Верхний (центральный) уровень выполняет функции централизованного представления информации оператору АСУВПЗ, передачи нижнему уровню команд автоматического дистанционного управления, контроля и координации функционирования подсистем нижнего уровня АСУВПЗ. Предусматривается возможность автономного функционирования локальных подсистем (например, при отказе верхнего уровня). В этом случае информацию об аварийной ситуации и состоянии ТОУ ВПЗ можно получить от устройств отображения информации, входящих в состав соответствующих локальных комплексов нижнего уровня. Автоматизированное управление (дублирующее автоматическое) осуществляется с помощью средств ручного управления этих комплексов.

Каждый локальный комплекс ПК управляет "своим" участком или видом ТОУ ВПЗ (канальными модулями газоанализаторов-сигнализаторов, электрозадвижками САЗ и т.д.)

Локальные комплексы располагаются в местах, приближенных к управляемому технологическому оборудованию ВПЗ (например, в операторных технологических установок).

В нормальном режиме функционирования АСУВПЗ (при отсутствии отказов) локальные комплексы не требуют постоянного пребывания оперативного персонала. Развитие распределенной АСУВПЗ при расширении ТОУ ВПЗ (появлении дополнительных установок пожарной автоматики, систем подавления взрыва и систем автоматической защиты) обеспечивается за счёт подключения к системе дополнительных локальных комплексов в пределах, соответствующих возможностям используемых средств ВТ.

Технические средства верхнего (центрального) уровня АСУВПЗ располагаются в специальных помещениях – диспетчерских пунктах АСУВПЗ объекта, где предусмотрено непрерывное круглосуточное дежурство операторов системы, а нижнего уровня АСУВПЗ – в операторных технологических установок.

Обмен информацией между техническими средствами верхнего и нижнего уровней АСУВПЗ осуществляется по уплотнённым каналам связи в соответствии с принятыми протоколами обмена.

При создании конкретной АСУВПЗ необходимо обеспечить соответствие технических требований к АСУВПЗ общим требованиям, установленным ГОСТ 24.104. "Единая система стандартов АСУ. Автоматизированные системы управления. Общие требования", и требованиям технического задания (ТЗ). Эти требования следующие:

а) АСУВПЗ должна обеспечивать согласованное управление и контроль состояния работы ТОУ ВПЗ в реальном времени, в условиях непрерывного круглосуточного режима эксплуатации;

б) АСУВПЗ должна выполнять функции в объеме не меньше, чем предусмотрено действующими нормами и правилами пожарной автоматики;

в) АСУВПЗ должна обладать уровнем надёжности, устанавливаемым техническим заданием. Общий порядок оценки надёжности АСУВПЗ – в соответствии с ГОСТ 24.704. "Единая система стандартов АСУ. Надёжность автоматизированных систем управления. Основные положения";

г) сбор, обработка, передача и представление информации о пожаре должны осуществляться автоматически. Представление информации о неисправностях системы должно осуществляться как автоматически, с учётом приоритета важнейших в данный момент времени сообщений, так и автоматизированно, по запросу оператора;

д) должна быть предусмотрена защита данных, размещаемых в запоминающих устройствах комплекса технических средств (КТС) АСУВПЗ, от разрушений при сбоях в электропитании и от несанкционированного доступа к ним;

е) при разработке программной документации АСУВПЗ следует разработать меры защиты программ от ошибочных действий оперативного персонала;

ж) АСУВПЗ в целом и все виды её обеспечений должны быть приспособлены к модернизации и, при необходимости, к наращиванию системы;

з) КТС АСУВПЗ должен обеспечиваться электроснабжением по первой категории согласно ПУЭ;

и) оперативный персонал АСУВПЗ должен иметь уровень подготовленности, достаточный для выполнения своих функций, определяемых организационным обеспечением системы.

Глава 10

ПОЖАРНЫЙ НАДЗОР ЗА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ АВТОМАТИКОЙ

10.1. Состав проекта автоматизации

Проект автоматизации является частью проекта промышленного предприятия. Основой проектирования автоматизации технологического процесса является разработка проектной документации, обеспечивающей решение задач автоматизации, комплектование средств автоматизации, определение затрат, необходимых для реализации проекта, в том числе стоимости оборудования, материалов и монтажа, а также определение технико-экономических показателей от внедрения принятых решений.

Разработка проекта автоматизации производится на основании задания на проектирование, содержащего данные о составе проектируемого объекта, описание и основные характеристики технологических установок и агрегатов, требования к принятой структуре управления объектом, контролируемые и регулируемые величины, функциональные признаки приборов (отсчет, сигнализация, запись, интегрирование), а также перечень дистанционного управляемого силового оборудования и электроприводов с указанием пунктов управления, их расположения и взаимосвязи.

Исходные данные к заданию на проектирование должны содержать:

технологические схемы с трубопроводными коммуникациями с указанием их диаметров;

чертежи производственных помещений с расположением технологического оборудования, трубопроводных коммуникаций и рекомендуемых мест расположения щитов и пультов, планы и разрезы;

чертежи технологического оборудования, на которых предусматривается установка средств автоматизации;

схемы электроснабжения переменного и постоянного тока с указанием напряжения и фидеров для питания систем автоматизации;

электрические схемы приводов;

схемы воздухо- и водоснабжения с указанием давления и температуры.

В соответствии с нормативными требованиями проектирование автоматизации выполняется в две стадии:

1. Проект.

2. Рабочая документация.

На стадии "Проект" разрабатывается документация, в которой даны основные решения по автоматизации объекта, сметная стоимость оборудования и монтажных работ, а также технико-экономические показатели, получаемые в результате внедрения этих решений. В стадию "Проект" входят

структурные схемы управления проектируемым объектом и взаимосвязь между пунктами контроля и управления, а также функциональные схемы автоматизации и чертежи расположения щитовых и пультов на плане объекта, заявочные ведомости и сметно-финансовый расчет, пояснительные записки.

На стадии "Рабочая документация" разрабатывается документация, в которой уточнены и детализированы принятые в проектом задании решения в объеме, позволяющем произвести заказ оборудования и материалов, а также обеспечивающем выполнение монтажных работ. В стадию "Рабочая документация" входят структурные схемы управления, принципиальные схемы автоматизации, принципиальные (элементные) электрические схемы регулирования, управления, блокировок, защиты и сигнализации, принципиальные пневматические схемы автоматизации, принципиальные схемы электро- и пневмопитания, общие виды щитов и пультов, чертежи их установки и монтажные схемы, а также чертежи вводов щитов и пультов, электрических проводок, трубных трасс, пояснительная записка со спецификацией приборов, средств автоматики и другого оборудования, сводные таблицы исходных данных, получаемых в результате расчетов, и перечень нормативно-технической документации на установку аппаратуры. Допускается проектирование автоматики в одну стадию "Рабочий проект" (проект совмещен с рабочими чертежами).

В состав проекта по автоматизации входят пояснительная записка и графическая часть.

Основные части пояснительной записки:

Общая часть. Содержит перечень материалов и документов, на основании которых разработан технический проект (договор, план, приказ, техническое задание с исходными данными, протоколы согласований и др.).

Характеристика объекта автоматизации. Содержит краткое описание технологического процесса и основные характеристики проектируемого объекта. Приводимые здесь данные, как правило, достаточны для определения особенностей самого объекта, контролируемых и регулируемых сред с точки зрения пожаро- и взрывозащиты, подготовленности объекта к автоматизации. Если необходимо, то специалисты ГПС проводят анализ на взрыво- и пожароопасность технологический процесс и технологическое оборудование, что важно для обоснования принятого уровня автоматизации.

Основные решения автоматизации технологического процесса. В этой части описаны и обоснованы принятые проектные решения по системам контроля, автоматического регулирования, аварийных защит, блокировок и сигнализации. Здесь же даются пояснения по принятой структуре управления технологическим процессом с указанием ее иерархического построения, мест расположения щитов различного назначения, постов контроля и управления, их взаимосвязи.

Материально-технические средства автоматизации. Содержат обоснование выбора приборов и средств с учетом условий их эксплуатации, метрологических данных, быстродействия (инерционности), надежности, экономичности, возможности создания службы эксплуатации и ремонта средств автоматизации. Здесь же обосновывают виды и типы примененных щитов и пультов, излагаются требования к нестандартному оборудованию, необходимому для автоматизации.

Обеспечение энергоресурсами и выполнение требований, связанных с системой автоматического управления. Эта часть содержит также сведения по обеспечению систем автоматизации источниками питания, а также перечень заданий на строительные сантехнические и другие работы, вызванные автоматизацией объекта.

Научно-исследовательские, опытно-конструкторские и экспериментальные работы. Здесь перечисляют работы, которые необходимо провести в связи с разработкой новых систем автоматизации технологического процесса и в соответствии с принятыми проектными решениями.

Указания по подготовке к реализации проекта. В этой части показано, в каком порядке объект комплектуется запроектированными приборами, средствами автоматизации, щитами и пультами, а также необходимыми материалами.

Технико-экономическое обоснование и сметная стоимость капитальных затрат. В этой части приводят данные по технико-экономической эффективности, экономической целесообразности капиталовложений в автоматизацию, о сроках окупаемости затрат и т.п.

Графическая часть рабочих чертежей или рабочего проекта содержит следующее:

- схемы взаимосвязи между пунктами контроля и управления;
- функциональные схемы автоматизации;
- принципиальные электрические, гидравлические и пневматические схемы автоматического управления, регулирования, аварийной защиты, блокировок и сигнализации;
- принципиальные электрические схемы питания;
- общие виды щитов и пультов;
- монтажные схемы щитов и пультов;
- схемы внешних электрических и трубных проводок с маркировкой проводов и разводкой жил;
- монтажные чертежи электрических и трубных проводок (чертежи трасс);
- чертежи установки аппаратуры, вспомогательных устройств, щитов и пультов;

чертежи нетиповых элементов, конструкций и нестандартного оборудования.

10.2. Виды схем автоматизации

Схемы автоматизации подразделяются на структурные, функциональные, принципиальные электрические, принципиальные пневматические, принципиальные электрические схемы питания, принципиальные пневматические схемы питания.

Структурные схемы управления определяют в принципиальном виде системы контроля управления, т.е. устанавливают связи между всеми щитами и пунктами управления (агрегатными, групповыми, центральными, диспетчерскими и т.п.), оперативными постами основных групп технологического оборудования и показывают административно-техническую сущность централизованного управления объектом.

Наиболее рациональной схемой автоматического управления считается трехступенчатая.

На первой ступени схемы располагаются различные автоматические устройства, управляющие работой отдельных машин и аппаратов.

На второй ступени схемы находятся устройства и системы, обеспечивающие централизованное управление в масштабе производственного процесса.

На третьей ступени схемы располагаются системы, обеспечивающие централизованное и оперативное управление предприятием в целом.

Структурные схемы разрабатываются на основании задания, изучения проектируемого объекта и принимаемых решений для последующей их детализации. Этот проектный материал является принципиальной основой для проектирования системы автоматизации данного объекта.

В общем случае структурные схемы управления содержат линии технологических потоков, условные изображения цехов проектируемого объекта с разделением на отделения, участки, агрегаты или группы технологического оборудования, условные изображения щитов и пунктов управления, условные изображения вспомогательных служб объекта, линии связи оперативного контроля и управления.

Таким образом, объект автоматизации состоит из нескольких связанных друг с другом участков управления. Участки управления могут быть представлены в виде отдельных установок, агрегатов и т.д. или в виде 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, должна обеспечивать разные уровни управления объектом автоматизации, т.е. должна состоять из нескольких пунктов управления, в той или иной степени взаимосвязанных

друг с другом. Структуры управления объектами автоматизации могут быть одноуровневыми централизованными, одноуровневыми децентрализованными и многоуровневыми. Одноуровневые системы управления, в которых управление объектов осуществляется с одного пункта управления, называются *централизованными*. Одноуровневые системы, в которых отдельные части сложного объекта управляются из самостоятельных пунктов управления, называются *децентрализованными*.

Функциональные схемы являются основными чертежами проекта, определяющими принятый принцип построения систем автоматического контроля и управления объектом, а также запроектированный уровень автоматизации. Схемы являются основанием для выполнения остальных чертежей проекта, а также для составления спецификации средств автоматизации. На схеме условно изображаются технологическое оборудование, коммуникации, органы управления, средства автоматизации, электроаппаратура, а также соединительные линии связи между ними.

Изображение агрегатов на схеме должно приблизительно соответствовать их действительной конфигурации или принятым условным обозначениям и схематическим изображениям. Коммуникации технологических трубопроводов, газопроводов, водопроводов, паропроводов и т.п. показываются условными обозначениями.

На схеме условно изображаются все средства автоматизации, запроектированные для оснащения проектируемого объекта, за исключением аппаратуры и устройств вспомогательного назначения (фильтров и редукторов воздуха, соединительных коробок, источников питания и т.п.).

Приемные и отборные устройства, термометры (жидкостные, термобаллоны манометрических термометров и т.п.), термометры сопротивления, термопары, измерительные диафрагмы, расходомеры постоянного перепада, счетчики и другие средства автоматизации местного монтажа показываются непосредственно на изображениях технологических коммуникаций или оборудования в соответствии с их расположением.

Регулирующие органы, являющиеся элементами запроектированной системы автоматизации, а также запорная арматура, необходимая для определения относительного расположения отборных устройств, показываются на изображениях технологических коммуникаций.

Для определения на принципиальной схеме принятой организации контроля и управления объектом условно отображают места установки аппаратуры, выделяя при этом местные приборы, местные щиты управления, агрегатные щиты, центральные щиты, диспетчерский щит или пульт, машины централизованного контроля, управляющие машины и т.п.

Функциональные схемы автоматизации выполняются на стадиях "Проект" и "Рабочая документация" для технологических процессов, различных по сложности, оборудованию и т.д., поэтому схемы выполняют с упрощенным и комбинированным изображением средств автоматизации.







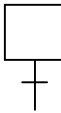
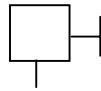


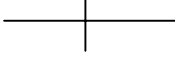
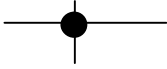
На стадии "Проект" целесообразно выполнение схемы с упрощенным изображением средств автоматизации, где показываются: первичные приборы, приемные и отборные устройства, регулирующие органы, исполнительные механизмы и изображения измерительных или регулирующих приборов. На схемах не показываются: датчики, усилители, преобразователи, задатчики и подобные им элементы, входящие в комплект средств автоматизации.

На стадии "Рабочая документация" целесообразно выполнение схем с комбинированным изображением средств автоматизации, где все средства автоматизации представлены в развернутом изображении.

Установлены также два способа построения условных обозначений: упрощенный и развернутый. Для *упрощенного способа построения* достаточно основных условных обозначений, приведенных в табл. 10.1. *Развернутый способ построения* условных графических обозначений может быть выполнен путем комбинированного применения основных (табл. 10.2) и дополнительных (табл. 10.3 и 10.4) обозначений. Сложные приборы, выполняющие несколько функций, допускается обозначать несколькими окружностями, примыкающими друг к другу. 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. Порядок расположения буквенных обозначений в верхней части (слева направо) должен быть следующим: обозначение основной измеряемой величины; обозначение, уточняющее основную измеряемую величину; обозначение функционального признака прибора. Функциональные признаки (если их несколько в одном приборе) также располагаются в определенном порядке, а именно: IRCSA.

Пример построения условных обозначений прибора для измерения, регистрации и автоматического регулирования перепада давлений приведен на рис. 10.1. Пример условных обозначений схемы автоматизации для типового технологического процесса приведен на рис. 10.2.

**Основные условные обозначения приборов и средств автоматизации
по ГОСТ 404-25-85**

Наименование	Обозначение
Первичный измерительный преобразователь (датчик); прибор, устанавливаемый по месту	
Прибор, устанавливаемый на щите	
Отборное устройство без постоянно подключенного прибора (служит для эпизодического подключения приборов во время наладки, снятия характеристики и т.п.)	
Исполнительный механизм. Общее обозначение. Положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала не регламентируется	
Исполнительный механизм, открывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала	
Исполнительный механизм, закрывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала	
Исполнительный механизм, который при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала оставляет регулирующий орган в неизменном положении	
Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом	
Регулирующий орган	
Линии связи	
Пересечение линий связи без соединения друг с другом	
Пересечение линий связи с соединением между собой	

Буквенные обозначения

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые прибором		
	Основное обозначение первой буквы	Дополнительное значение, уточняющее значение первой буквы	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
<i>A</i>	–	–	Сигнализация	–	–
<i>B</i>	–	–	–	–	–
<i>C</i>	–	–	–	Регулирование, управление	–
<i>D</i>	Плотность	Разность, перепад	–	–	–
<i>E</i>	Любая электрическая величина	–	–	–	–
<i>F</i>	Расход	Соотношение, доля, дробь	–	–	–
<i>G</i>	Размер, положение, перемещение	–	–	–	–
<i>H</i>	Ручное воздействие	–	–	–	Верхний предел измеряемой величины
<i>I</i>	–	–	Показание	–	–
<i>J</i>	–	Автоматическое переключение, обегание	–	–	–
<i>K</i>	Время, временная программа	–	–	–	–
<i>L</i>	Уровень	–	–	–	Нижний предел измеряемой величины
<i>M</i>	Влажность	–	–	–	–
<i>N</i>	Резервная буква	–	–	–	–

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые прибором		
	Основное обозначение первой буквы	Дополнительное значение, уточняющее значение первой буквы	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
<i>O</i>	Резервная буква	–	–	–	–
<i>P</i>	Давление, вакуум	–	–	–	–
<i>Q</i>	Величина, характеризующая качество: состав, концентрация и т.п.	Интегрирование, суммирование по времени	–	–	–
<i>R</i>	Радиоактивность	–	Регистрация	–	–
<i>S</i>	Скорость, частота	–	Включение, отключение, переключение, сигнализация	–	–
<i>T</i>	Температура	–	–	–	–
<i>U</i>	Несколько однородных измеряемых величин	–	–	–	–
<i>V</i>	Вязкость	–	–	–	–
<i>W</i>	Масса	–	–	–	–
<i>X</i>	Не рекомендуется резервная буква	–	–	–	–

Таблица 10.3

**Дополнительные буквенные обозначения,
отражающие функциональные признаки приборов**

Наименование	Обозначение
Чувствительный элемент (первичное преобразование)	<i>E</i>
Дистанционная передача (промежуточное преобразование)	<i>T</i>
Станция управления	<i>K</i>
Преобразование, вычислительные функции	<i>Y</i>

Дополнительные обозначения, применяемые для построения преобразователей сигналов и вычислительных устройств по ГОСТ 404-25-85

Наименование	Обозначение
Род сигнала:	
электрический	<i>E</i>
пневматический	<i>P</i>
гидравлический	<i>G</i>
Виды сигналов:	
аналоговый	<i>A</i>
дискретный	<i>D</i>
Операции, выполняемые вычислительным устройством:	
суммирование	Σ
умножение сигнала на постоянный коэффициент	<i>K</i>
перемножение двух и более сигналов друг на друга	<i>X</i>
деление сигналов друг на друга	:
возведение величины сигнала в степень	f^n
извлечение из величины сигнала корня степени	$\sqrt[n]{}$
логарифмирование	lg
дифференцирование	dx/dt
интегрирование	<i>S</i>
изменение знака сигнала	$x(-1)$
ограничение верхнего значения сигнала	max
ограничение нижнего значения сигнала	min

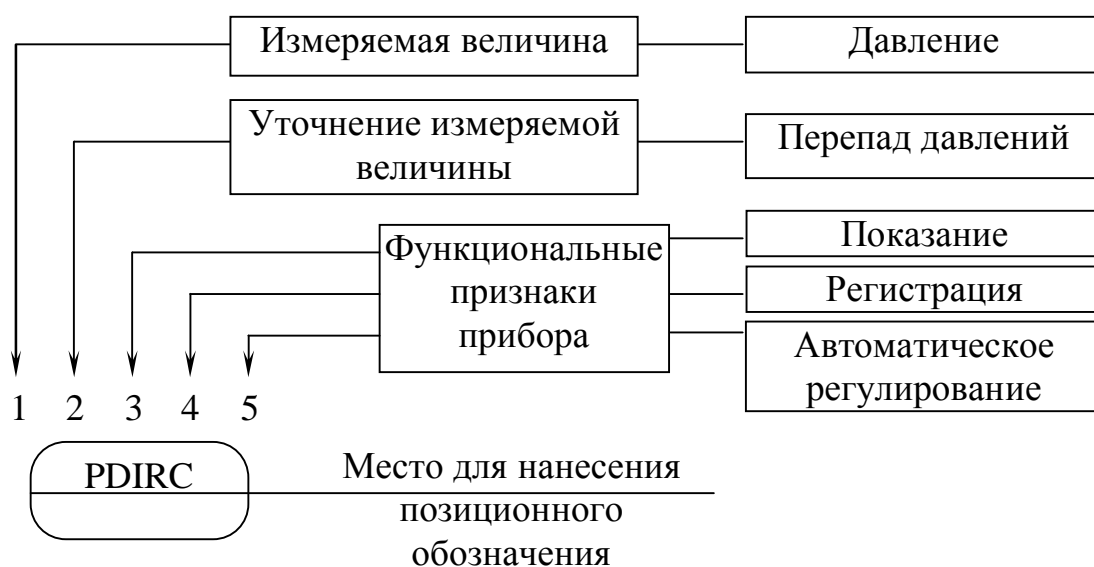


Рис. 10.1. Пример построения условных обозначений прибора для измерения, регистрации и автоматического регулирования перепада давлений

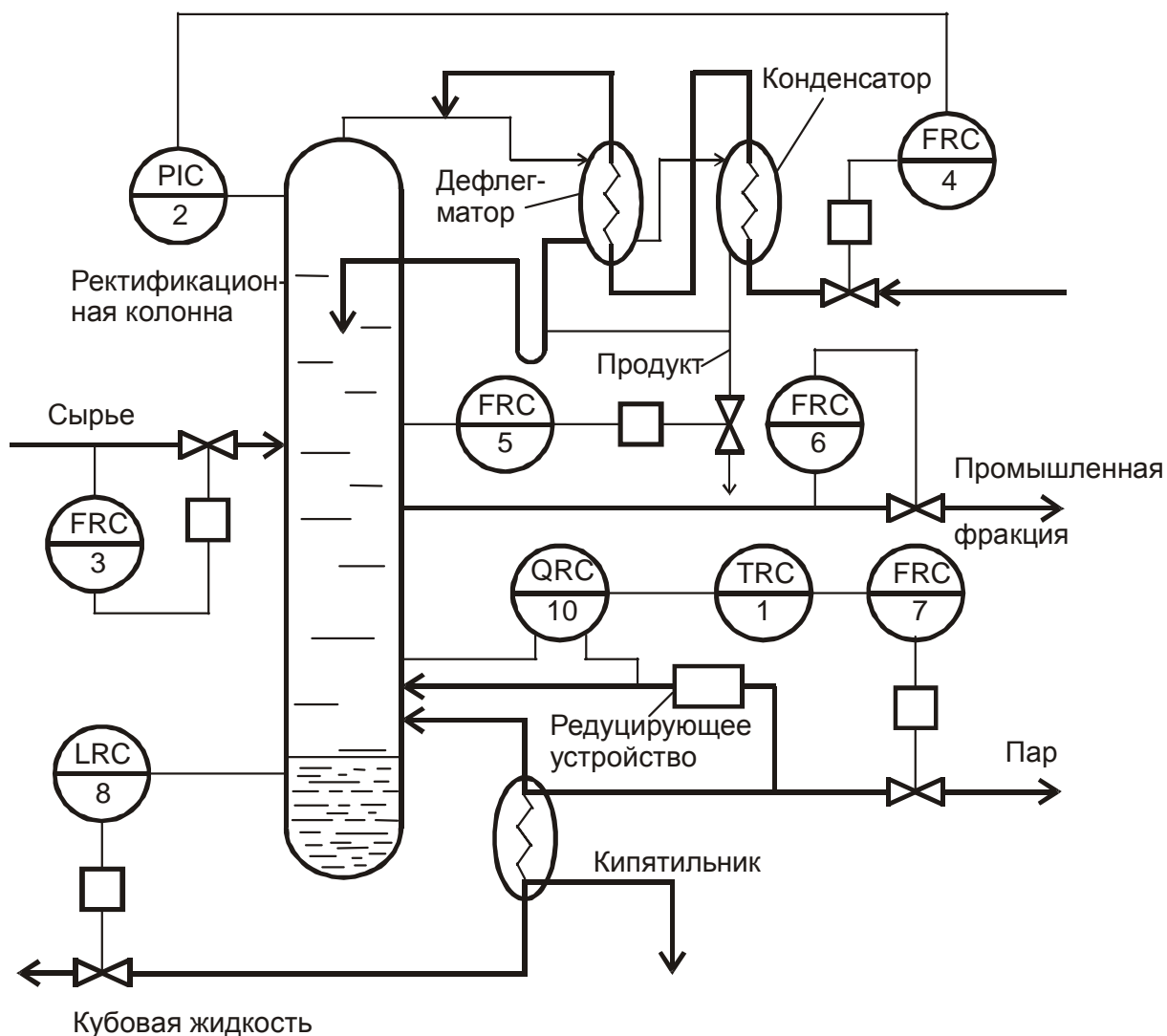


Рис. 10.2. Функциональная схема автоматизации типового технологического процесса

Принципиальные электрические схемы автоматизации являются проектным документом, определяющим полный состав электрической части и связи между ее элементами.

Принципиальные пневматические схемы автоматизации предназначены для определения технической сущности автоматизации на элементах и приборах пневмоавтоматики.

Принципиальные схемы питания составляются на основании принятых решений в функциональных схемах автоматизации и являются проектным материалом, которым пользуются не только при разработке чертежей, но и при эксплуатации смонтированного объекта.

Мнемосхема представляет собой наглядное графическое изображение функциональной схемы управляемого объекта. Она облегчает оператору запоминание хода технологического процесса, назначения различных при-

боров и органов управления, а также способов действия при различных режимах работы объекта. В процессе управления мнемосхема является для оператора важнейшим источником информации о текущем состоянии системы, характере и структуре протекающих в ней процессов, в том числе связанных с нарушением технологических режимов, авариями и т.п.

Применение мнемосхем наиболее эффективно в тех случаях, когда управляемый объект имеет сложную технологическую схему и большое число контролируемых параметров или когда технологическая схема объекта в процессе работы может оперативно изменяться и это изменение должно запоминаться оператором. Применение мнемосхем эффективно также при использовании в системах автоматизации избирательных устройств контроля и управления и миниатюрной контрольно-измерительной и сигнальной аппаратуры.

Мнемосхема должна наглядно отображать схему системы в целом и связи между основными объектами, входящими в систему, четко делить схему системы на части (если в этом есть необходимость) и достаточно подробно отображать функциональные схемы отдельных агрегатов или объектов; показывать связи и характер взаимодействия данной системы с другими системами и внешней средой; обеспечивать световую сигнализацию состояния (положения) важнейших технологических агрегатов; сигнализировать обо всех существенных нарушениях в работе системы; обеспечивать возможность быстрого нахождения резервов для локализации аварий.

В мнемосхему должны включаться лишь те элементы, которые играют существенную роль в управлении, т.е. мнемосхема не должна содержать избыточную информацию.

При разработке мнемосхемы должны учитываться последовательность и отдельные стадии в решении оператором задач управления: оценка наступивших изменений в системе; принятие решений о необходимых действиях; выбор объектов, воздействие на которые необходимо для нормализации режима работы системы; контроль за выполнением принятого решения.

10.3. Оператор в человекомашиной системе

На щитах и пультах пунктов управления концентрируются десятки и сотни контрольных приборов, сигнальных устройств, регуляторов, аппаратов управления, представляющих оператору информацию о состоянии системы и позволяющих управлять ею.

Среди функций оператора большое место занимают контроль параметров объекта, пуск, остановка, смена режимов оборудования, контроль исправности технологического оборудования, средств автоматизации и т.д.

Работа оператора сложна и имеет следующие особенности:

1. Наиболее характерной чертой операторского труда является то, что оператор имеет дело не с самим управляемым объектом, а с его моделью, замещающей объект в процессе восприятия и переработки информации.

2. В процессе управления оператору приходится одновременно решать различные задачи. По показаниям приборов, представляющих информацию, оператор контролирует ход технологического процесса и обнаруживает изменения, происходящие в нем. Среди множества сигналов и показаний приборов на щите оператор должен заметить новые и определить, какому агрегату или участку они принадлежат, является ли вновь поступившая информация отклонением от нормы, каков физический смысл наступивших изменений, к каким последствиям они могут привести. Выделяя основные параметры, характеризующие нарушения и неисправности, и определяя причины их появления, оператор принимает решение и производит управляющие воздействия на объект, контролируя правильность произведенных им действий. При этом он должен воспроизводить в памяти схему технологического процесса, основные агрегаты и узлы, их технологическую последовательность, взаимосвязь и назначение. Оператору приходится в каждом конкретном случае определять приоритетность событий, принимаемых решений и выбираемых схем управляющих воздействий. В обязанности оператора также входят: запись показаний приборов, ведение оперативной телефонной связи и т.д.

3. Оператор, как правило, удален от управляемого объекта. Между оператором и объектом имеются дистанционные системы управления и контроля (имеются в виду различные дистанционные системы, в том числе и телемеханические). Информацию о состоянии объекта он получает по каналам контроля в виде закодированных сообщений, а воздействие на объект осуществляется посредством дистанционного управления.

4. Органы чувств оператора нагружены так, что почти всю информацию об управляемом объекте он получает через зрительный канал, в то время как при непосредственной работе с объектом человек судит о его состоянии, основываясь на восприятии органов зрения, слуха, органов чувств, создающих ощущение движения, обоняния.

5. Скоротечность процессов требует от оператора быстроты реакции. Во многих промышленных автоматизированных системах в аварийных ситуациях оператор действует в условиях дефицита времени. В нормальных режимах оператор работает в относительно спокойной и тихой обстановке, в условиях немногочисленности (порой одиночества), что накладывает определенное влияние на его психофизиологическое состояние.

Человек-оператор должен быстро разбираться в сложной обстановке и практически мгновенно показать правильное решение. Процесс принятия

решения оперативным персоналом протекает под влиянием ряда объективных и субъективных факторов, в том числе нехватки или избытка исходной информации, наличия или отсутствия противоречивых сигналов, наличия или отсутствия неопределенности в ситуации, дефицита времени на обдумывание противоречивых факторов или гипотез и т.д. Принятие решения отдельным лицом из числа оперативного персонала характеризуется вначале выбором гипотезы, затем волевым актом, обеспечивающим преодоление неопределенности, и принятием на себя той или иной личной ответственности. В зависимости от состояния и количества исходной информации бывают решения трех видов: *детермированные* (вполне определенные, не вызывающие сомнения в правильности), *вероятностные* (приняты правильно с той или иной степенью вероятности), *предельные* (единственно возможные в данной ситуации или вынужденные). Процесс принятия решения складывается из информационной подготовки и собственно принятия решения. Процедура принятия решений описывается с помощью алгоритмов. Наиболее наглядной формой записи трудовой деятельности оператора в алгоритмическом виде является ее представление в виде блок-схемы. Пример блок-схемы алгоритма по дистанционному управлению регулирующим клапаном на основе показаний прибора-индикатора приведен на рис. 10.3.

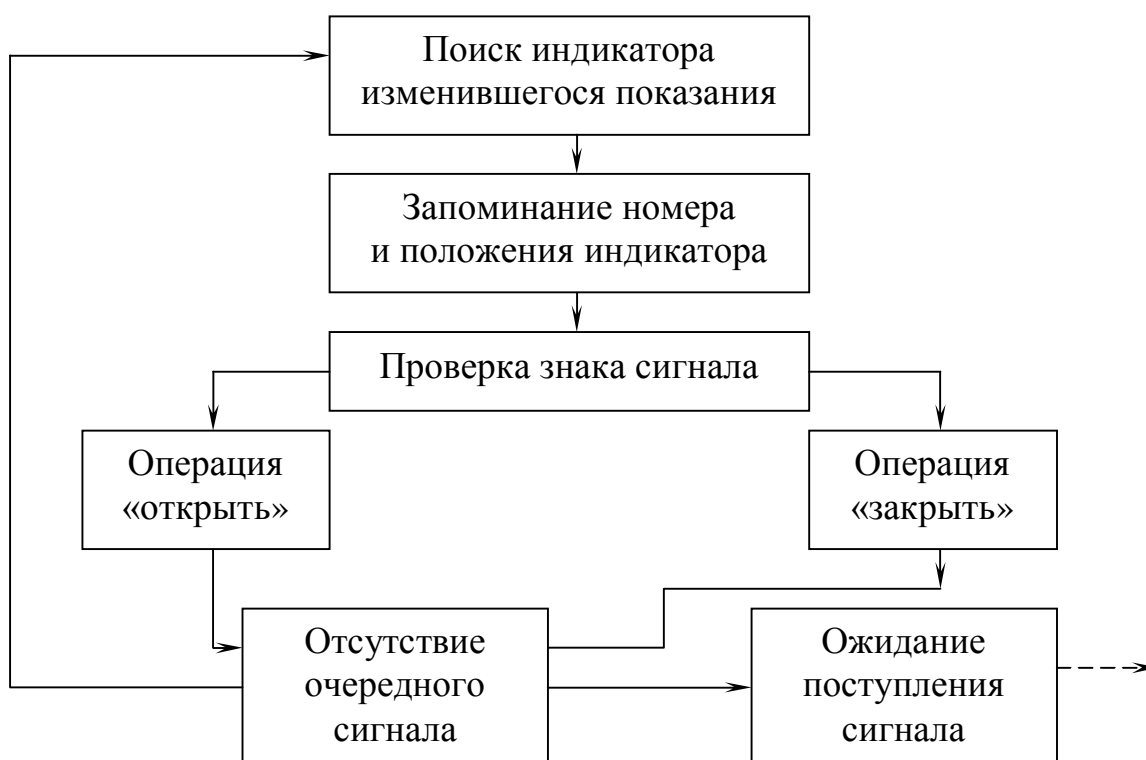


Рис. 10.3. Блок-схема действий оператора (алгоритм) дистанционного управления регулируемой величиной

Совокупность блок-схем алгоритмов деятельности оператора может служить для определения количественных характеристик его трудовой деятельности в целом: оперативной загруженности, времени занятости и др. Исходными данными для этого служат временные и количественные характеристики оперативных единиц (элементарных актов, используемых человеком в работе по контролю и управлению). Оперативная загруженность определяется по формуле

$$\lambda_0 = \frac{m_k + m_y}{\Delta\tau}, \quad (10.1)$$

где λ_0 – интенсивность потока выполняемых операций в пределах одного алгоритма, 1/ч; m_k – число последовательных оперативных единиц без логических условий; m_y – число проверяемых логических условий; $\Delta\tau$ – время выполнения алгоритма, ч.

Для количественной оценки оперативной загруженности оператора используют также следующие показатели:

коэффициент загруженности

$$m = 1 - \frac{\tau_0}{\tau_{\text{деж}}}, \quad (10.2)$$

где τ_0 – общее время, в течение которого оператор непрерывно занят обработкой поступающей информации, ч; $\tau_{\text{деж}}$ – общая продолжительность дежурства, ч.

Длина очереди (количество одновременно поступающих сигналов) и время непрерывной занятости $T_{\text{зан}}$, ч.

Совокупность названных показателей может быть использована для оценки загруженности оператора.

$$\beta = \frac{N_{\text{оч}}}{N}. \quad (10.3)$$

где β – частота появления очереди для поступающих информационных сигналов; $N_{\text{оч}}$ – число сигналов, обрабатываемых в условиях очереди; N – общее число сигналов.

Повышенная оперативная загруженность оператора (перегрузка) может привести к его переутомлению. В результате снизится возможность его безошибочных действий. В связи с этим существуют научно обоснованные предельные нормы количественных показателей загруженности оператора.

Так, предельные значения названных показателей должны быть:

$$m < 0,75; \quad \beta < 0,4; \quad N_{\text{зан}} < 0,25; \quad k < 3.$$

При проектировании информационных подсистем для систем управления технологическими процессами возникает проблема оптимизации оперативной загруженности оператора. Существуют следующие пути уменьшения интенсивности потоков информации и выполняемых операций по контролю и управлению:

- фильтрация имеющейся информации путем разделения ее на особо важную (оперативную) и второстепенную (неоперативную);
- очередность представления необходимой информации;
- выделение максимально возможного времени для принятия решения.

Исходя из особенностей труда оператора, при компоновке приборов на панелях должны учитываться следующие факторы:

- важность – приборы, отображающие наиболее ответственные параметры работы системы, располагаются в пределах оптимальной зоны поля зрения;

- частота пользования – приборы, наиболее часто используемые оператором, размещаются в пределах оптимальной зоны;

- функциональные связи – приборы, измеряющие параметры одного и того же или связанных между собой объектов, объединяются на панели в компактную группу, достаточно четко зрительно разграниченную с другими группами;

- последовательность использования – при размещении приборов внутри функциональных групп следует придерживаться той последовательности, в которой оператор обычно считывает их показания, при этом размещение приборов производится слева направо и сверху вниз.

10.4. Внедрение производственной автоматизации на промышленном объекте

Внедрение приборов и систем автоматизации на промышленном объекте проводится в две стадии. Работы первой стадии выполняются в период строительства, когда технологическое оборудование ещё не действует и не производит продукцию. При этом рассматривают рабочие чертежи проекта автоматизации и разрабатывают мероприятия инженерной подготовки производства; подготавливают производственную базу; проводят предмонтажную проверку приборов и устройств; осматривают монтаж и настраивают отдельные элементы систем; включают в работу системы в период испытаний и опробования технологического оборудования.

Работы второй стадии выполняют на действующем технологическом оборудовании после завершения строительства объекта. При этом определяют и устанавливают настройки систем измерения и управления; анализируют работу систем, сдают налаженные системы автоматизации в эксплуатацию.

Перед выполнением работ первой стадии на объекте требуется выполнить ряд требований, без которых невозможно осуществлять пусконаладочные работы.

Основное требование – получить от заказчика и изучить полный комплект проекта автоматизации. Только после изучения проекта автоматизации можно составить смету на объем работ, определить потребность в наладочном персонале, вспомогательных материалах, поверочном оборудовании и т.д.

Для выполнения наладочных работ на промышленных объектах должна быть создана производственная база. Последнее обстоятельство является особенно важным, так как конечной целью наладочных работ является передача в постоянную промышленную эксплуатацию не только работающих, но и надежных в эксплуатации систем автоматизации.

Начало наладочных работ по отношению к периоду строительства зависит от многих обстоятельств. Если монтаж и наладку выполняет одна организация, то допускается совмещать монтажные и наладочные работы во времени. Если монтаж и наладку выполняют организации различных ведомств, начало наладочных работ совпадает с моментом окончания монтажа приборов и средств автоматизации. Начало работ зависит также от оригинальности монтируемой аппаратуры. При наладке опытных производств или производств, автоматизируемых с помощью опытной аппаратуры, анализ проекта должен быть проведен до начала монтажа приборов и средств автоматизации, к монтажу схемы и системы, работоспособность и надежность которых не проверены.

Изучение проекта начинают с проверки комплектности рабочих чертежей и текстовых материалов, а также документации, разработанной заводами-изготовителями, на поставляемое оборудование. К началу рассмотрения необходимо иметь технологический регламент автоматизируемого производства и комплект инструкций заводов-изготовителей аппаратуры на средства автоматизации, применяемые для рассматриваемого объекта.

При отсутствии в проекте каких-либо чертежей, режимных карт, предельных значений настроек систем сигнализации и защиты, расчетов регулирующих органов и сужающих устройств и т.п. они должны быть затребованы у заказчика.

Изучение систем автоматизации, как правило, проводят последовательно для различных технологических установок, аппаратов или агрегатов.

Монтаж приборов и средств автоматизации состоит из трех стадий: прокладки кабельных и трубных командных линий по строительным конструкциям и эстакадам; установки и обвязки щитов, пультов и стативов в помещениях контрольно-измерительных приборов, монтажа импульсных трасс; обвязки преобразователей. Соответственно на три стадии разбивают-

ся и совмещенная с монтажом проверка монтажных работ. По всем смонтированным узлам и конструктивным элементам монтажники составляют акты проверки сопротивления изоляции электрических проводок и герметичности (опрессовки) трубных линий.

На каждой стадии осмотром выполненного монтажа устанавливают наличие проектных маркировок кабельных и трубных линий, а также отдельных цепей на приборах, клеммных сборках, переборочных соединениях, соединительных коробках и т.д.; наличие требуемых уклонов импульсных линий; наличие запорной арматуры и площадок обслуживания; состояние аппаратуры и соединительных линий.

Правильность соединения элементов системы автоматизации проверяют двумя методами. При *первом методе* непосредственно прослеживают электрические и трубные линии, определяя правильность коммутации элементов системы и их взаимное расположение, состояние линии на всём ее протяжении, возможные электрические влияния со стороны соседних цепей.

Второй метод основан на прозвонке (продувке) электрических цепей и трубных линий. Прозвонка электрических цепей предусматривает образование электрической цепи, в которую входят источник тока и индикатор, объединенные в комбинированный прибор и проверяемый участок цепи. Комбинированный прибор подключают к проверяемой жиле кабеля проводом с помощью щупа. В качестве второго проводника цепи используют контур заземления или известные жилы кабеля, или провод жгута. Комбинированный прибор будет отклоняться от нулевого значения в том случае, если щуп подключен ко второму концу заземленной жилы. При прозвонке разветвленных цепей отключают все параллельные провода или жилы, через которые может образовываться электрическая цепь в обход проверяемой.

Последовательность и сроки выполнения отдельных этапов монтажных и наладочных работ определяются совмещенным графиком проведения монтажно-наладочных работ, которые составляют совместно монтажные и наладочные подразделения на объекте. При составлении этого графика учитывается общий график выполнения строительно-монтажных работ по объекту в целом.

Результаты проверки выполненного монтажа, перечень обнаруженных ошибок и некачественно выполненных монтажных работ заносят в журнал замечаний и предложений по качеству монтажных работ, который хранится у руководителя монтажного подразделения. На основании заключений наладочной группы о качестве монтажа монтажники переделывают его или исправляют обнаруженные ошибки. При подготовке замечаний и предложений по изменению схем и проектных решений наладчики до-

рабатывают конструкции узлов обвязки приборов и определяют точные места установки преобразователей, если в проекте эти вопросы детально не разработаны.

После осмотра и проверки правильности монтажа проверяют смонтированные элементы систем автоматизации только при условии завершения монтажных работ по проверяемой системе. После проверки отдельных элементов проверяют их готовность к совместной работе.

Проверяют элементы в определенном порядке. К проверяемому устройству подключают по постоянной или временной схеме источник энергии. При отсутствии коммутационных аппаратов все непроверяемые системы и элементы надежно отключают от общего источника питания. Тумблеры, переключатели и краны на аппаратуре устанавливают в положение "Выключено". Для проверки используют имитаторы физических величин и контрольные устройства.

По результатам проверки особо ответственных систем автоматизации, от надежности работы которых зависит безаварийность работы агрегатов и безопасность обслуживающего персонала, составляют акты проверки систем. Акт подписывают члены специально создаваемой комиссии, в которую, помимо наладчиков, входят ответственные представители технологической службы и службы автоматизации заказчика.

В соответствии со СНиПами строительно-монтажные работы на объекте заканчиваются индивидуальными испытаниями агрегатов и аппаратов и комплексным опробованием оборудования с выдачей пробной продукции. В период испытаний оборудование обкатывают на нейтральных средах, промывают, сушат.

На стадии обкатки технологам необходима информация о состоянии оборудования и параметрах нейтральных сред, поэтому все системы, от которых зависит безопасное и безаварийное ведение технологического процесса, должны быть включены в полном объеме в момент обкатки агрегатов. В первую очередь к ним относятся системы технологической и аварийной сигнализации, блокировки и защиты. Основная задача наладчиков на этом этапе – обеспечить пуск необходимым объемам работающих систем автоматизации и не допустить выхода аппаратуры контроля из строя в момент ее включения.

Заказчик не может опробовать основное технологическое оборудование без согласования с наладочной организацией по приборам и средствам автоматизации.

Для включения систем автоматизации должен быть выполнен ряд требований:

- проверены элементы систем, о чем делают запись в журнале наладки;
- закрыты корпуса приборов и средств автоматизации;

питание систем автоматизации подано на распределительные устройства по постоянной схеме;

плавкие вставки, уставки автоматов питания, настройки прочей предохранительной аппаратуры установлены в строгом соответствии с проектом автоматизации;

параметры окружающей среды (температура, влажность, состав) в местах установки приборов и в помещениях преобразователей, щитов и пультов должны быть в пределах, допустимых для эксплуатации данного типа приборов.

В помещения, где расположена аппаратура, не должны допускать посторонних лиц.

Включение систем автоматизации начинают с подачи питания на все вторичные и первичные приборы. При этом у регистрирующих приборов включают в работу узлы регистрации величин. При необходимости органами настройки регулируют нулевые значения измеряемых величин. Преобразователи и первичные приборы включают на измерение в соответствии с правилами, изложенными в монтажно-эксплуатационных инструкциях на аппаратуру в разделе "Включение приборов в работу".

Перед включением приборов на непосредственное измерение необходимо убедиться в том, что характеристики измеряемых сред (агрегатное состояние, физико-химический состав, температура, давление, влажность), как реальных, так и имитирующих нейтральные, близки к проектным.

Например, включение в работу расходомеров переменного перепада при температуре и давлении, отличающихся от предусмотренных проектом, не дает достоверных данных о действительном расходе сред. Не будет обеспечена нормальная работа систем дистанционного управления при малометрическом режиме процесса, отличающемся от проектного, а попадание влаги в такие приборы, как перепадамеры газов, вообще выведет их из строя.

Для проверки работы систем автоматизации в разных режимах под руководством наладчиков операторы производят необходимые технологические переключения, например изменяют величину и направление потоков измеряемых сред в трубопроводах, емкостях, аппаратах. Если в период пуска система вышла из строя, то устраняют неисправности и перед включением ее элементы снова проверяют.

Работы по включению систем автоматизации проводят, как правило, звеньями из двух наладчиков. Звену поручают включить приборы на одном из агрегатов установки, а в случае большого числа систем и сравнительно узкой номенклатуры аппаратуры – однотипные системы (например, контроля уровней или газового анализа) в пределах всей технологической установки.

Сведения о результатах работ по включению систем автоматизации заносят в журнал производства наладочных работ бригады.

Последовательность и сроки включения в работу систем автоматизации определяются графиком включения в работу приборов, которые согласуют с порядком и сроками проведения пусковых операций основного технологического оборудования.

Перед началом работ весь наладочный персонал подробно инструктируют о правилах производства работ на действующем оборудовании. Инструктаж проводит инженер по технике безопасности завода-заказчика. К работам с включенными системами автоматизации допускается только наладочный персонал. Включают и выключают любую систему только после согласования с начальником смены на данной установке или с руководством наладочной бригады, осуществляющей пуск и наладку технологического оборудования. Сведения обо всех включенных и выключенных в пусковой период системах автоматизации заносят в сменный журнал. В процессе включения приборов наладчики проводят инструктаж сменного технологического персонала по правилам пользования элементами управления (ключами, тумблерами, переключателями), расположенными на лицевой панели щита.

Перед передачей в эксплуатацию налаженные системы автоматизации должны пройти производственные испытания. Объем и порядок проведения испытаний той или иной системы определяются многими факторами, и в первую очередь той ролью, которую играет испытываемая система в общей схеме управления технологическим процессом.

Общие требования к проведению испытаний согласовываются с заказчиком при составлении программы работ. Конкретный объем и сроки испытаний отдельных систем или группы систем автоматизации регламентируются программой испытаний. Программу испытаний составляют в произвольной форме, она должна содержать перечень подлежащих испытанию систем, эксплуатационные режимы, в которых должны проводиться испытания, сроки проведения и кратность испытаний. В программе указывают требуемые результаты испытаний и ответственных за реализацию программы. Программу испытаний, а также состав приемной комиссии, которой поручается контроль за ходом испытаний, утверждает главный инженер предприятия-заказчика.

Как правило, основным содержанием проводимых испытаний является проверка эксплуатационной надежности и качества работы систем в наиболее тяжелых эксплуатационных режимах автоматизируемого технологического процесса.

Системы автоматического контроля в большинстве случаев испытывают на точную и безаварийную работу в течение определенно-

го периода, как правило, не превышающего трех суток. Программой могут быть предусмотрены испытания на быстродействие системы контроля, а также определение динамических погрешностей при резком изменении контролируемых параметров.

В процессе испытаний наладчики проводят эксплуатационные операции с аппаратурой: периодический контроль работы, смазывание, заливку чернил, продувку мест отборов и т.п.

Испытания автоматических систем регулирования состоят из проверки надежности работы аппаратуры, проводимой аналогично проверке работоспособности и надежности систем автоматического контроля, проверки показателей качества регулирования и устойчивости. Полученные данные изображают в виде диаграмм или таблиц. Аналогичные испытания проводят при различных режимах (нагрузках) технологического агрегата или процесса.

Устойчивость систем проверяют при минимально возможных технологических нагрузках.

В ущерб некоторым показателям качества регулирования в номинальном режиме обеспечивают устойчивость системы в наиболее тяжелом режиме.

Программой предусматриваются испытания систем сигнализации или защиты при достижении технологическими параметрами предельных значений, если по условиям ведения технологического режима возможно изменение этих параметров.

Системы сигнализации, автоблокировки и защиты испытывают при всех включенных в работу узлах и элементах. Исключение из этих систем отдельных параметров или введение деблокирующих зависимостей осуществляется только при наличии письменного распоряжения главного инженера или директора предприятия-заказчика.

По результатам испытаний приемная комиссия делает заключение о готовности смонтированных приборов и средств автоматизации к сдаче.

В тех случаях, когда техническими условиями или особенностями технологического процесса проведение испытаний не предусматривается, анализ работоспособности включенных систем производят по результатам опытно-промышленной эксплуатации, которую осуществляют наладочный и эксплуатационный персонал. В процессе эксплуатации проверяют характеристики и показатели работы систем так же, как при проведении испытаний. Разница состоит в том, что оценки пригодности систем к использованию производят по результатам работы в обычных эксплуатационных условиях, а не в искусственно создаваемых "пиковых" режимах.

Налаженные приборы и системы автоматизации передают заказчику после подписания акта сдачи-приемки систем автоматизации в постоянную

промышленную эксплуатацию. Количество приборов и систем автоматизации, сдаваемых по одному акту, а также общее число актов сдачи и специфические условия сдачи отдельных систем автоматизации определяются обычно перечнем актов сдачи по объекту наладки, который является приложением к договору на проведение пусконаладочных работ.

Акт сдачи завершает комплекс работ по внедрению запроектированных систем автоматизации. Техническая документация, прилагаемая к акту, дополняет проектную и используется при эксплуатации налаженных систем.

К акту сдачи подготавливают следующую техническую документацию: откорректированный экземпляр рабочих чертежей проекта автоматизации; протоколы испытаний систем защиты, блокировки и сигнализации; автоматических систем регулирования; перечни параметров настройки регуляторов; невключенных систем автоматизации; предложения по повышению надежности и качества работы налаженных систем; памятки для технологического персонала и персонала КИП.

В экземпляр проекта автоматизации, передаваемый заказчику, вносят все исправления и изменения, возникшие в процессе выполнения наладочных работ. Все изменения, кроме исправления ошибок проекта, должны быть утверждены соответствующими протоколами или решениями.

При значительной переработке принципиальной схемы автоматизации отдельные листы проекта наладочная организация выпускает вновь.

В комплект приложений к акту сдачи включают протоколы испытаний систем блокировки, защиты и сигнализации, а также перечень предельных значений (уставок) параметров этих систем. При отличии уставок от предусмотренных проектом техническую документацию по этим системам дополняют решениями об их изменении. Если в процессе изменения нагрузок агрегата уставки систем согласно проекту должны изменяться, то зависимость их значения от режима работы технологического агрегата приводится в паспорте настроек.

По автоматическим системам регулирования в комплект технической документации включают программу и протоколы испытания налаженных систем. Отдельно составляют перечень параметров динамической и статической настроек.

Все не включенные во время проведения наладочных работ системы автоматизации объединяют в отдельный перечень. В примечаниях к каждой позиции перечня указывают причины, которые не позволили включить запроектированные системы, например некомплектность аппаратуры и вспомогательных устройств, отсутствие нормального технологического режима в послепусковой период.

Предложения по дальнейшему повышению надежности и качества работы систем автоматизации включают в рекомендации по повышению надежности и качества работы налаженных систем. К таким предложениям относятся: замена запроектированных типов приборов на более совершенные серийно выпускаемые образцы; переделки основного технологического оборудования (изменение мест врезки преобразователей; установка или демонтаж регулирующей и запорной арматуры; стабилизация некоторых технологических параметров и изменение технологического режима); проведение дополнительных экспериментально-исследовательских работ по отдельным схемам или узлам автоматизации. Все рекомендации заказчику должны иметь детальное технико-экономическое обоснование.

Для технологического персонала (начальников смен, операторов, машинистов) наладчики составляют памятки по использованию приборов и средств автоматизации для управления технологическими процессами, которые содержат описание органов управления и элементов систем сигнализации, расположенных на лицевых панелях щитов и пультов в центральном диспетчерском помещении и на местных щитах управления и сигнализации; правила пользования органами управления при автоматическом и ручном управлении и правила перехода с управления в одном режиме на управление в другом; логическую последовательность появления световой и звуковой сигнализации при предельных значениях параметров.

К акту сдачи прикладывают памятку эксплуатационному персоналу службы КИП по методике наладки, поиску и устранению характерных неисправностей в системе автоматизации. В памятке приводятся схемы расположения элементов систем автоматизации и краткое описание их взаимодействия; методы наладки приборов и средств автоматизации, как примененные при наладочных работах, так и рекомендуемые к использованию в процессе эксплуатации; способы поиска неисправностей в аппаратуре и системах и методы их оперативного устранения.

О проделанных наладочных работах составляют технический отчет по всему объекту или по отдельным его установкам, по всему ходу наладочных работ или по их отдельным этапам. Технический отчет составляют руководители наладочных бригад по материалам журнала наладки.

Отчет включает: раздел с кратким описанием технологических особенностей автоматизируемого процесса или установки; раздел "Наладочные работы", в котором описывают этапы наладки приборов и средств автоматизации, приводят методические указания по наладке отдельных приборов и систем, раздел "Организация работ и их техническое и материальное обеспечение". Завершается отчет копией акта сдачи и полной технической документацией, входящей в комплект акта сдачи.

10.5. Нормативные документы и порядок пожарного надзора за производственной автоматикой

Автоматизация технологических процессов проводится на новых и на реконструируемых действующих промышленных предприятиях, в отдельных сооружениях, цехах, производствах, участках.

Основные этапы создания и ввода в эксплуатацию систем автоматизации: проектирование, монтаж, наладка и сдача систем в эксплуатацию. Все этапы работ регламентируются рядом норм, правил, указаний, технических условий и рекомендаций, зафиксированных в различных нормативных документах. Нормативные документы устанавливают требования к составу и оформлению проектной документации, правила производства монтажных и наладочных работ, правила безопасных условий труда и пожаровзрывобезопасности при монтаже, наладке и эксплуатации систем автоматизации, методы выполнения отдельных видов работ и контроль их качества. Существует нормативная документация нескольких категорий: региональная, ведомственная и разработанная отдельными организациями и предприятиями. Широко используются при проектировании и монтаже средств автоматизации СНиПы.

СНиП "Правила производства и приемки работ" содержит требования по общим вопросам организации строительства, приемки в эксплуатацию предприятий, зданий и сооружений после окончания строительства; по осуществлению и приемке работ при возведении сооружений разного назначения; по монтажу инженерного и технологического оборудования зданий, сооружений и внешних сетей. Чаще всего специалистам по автоматизации и надзорным органам приходится использовать СНиП "Правила производства и приемки работ. Системы автоматизации", а также СНиП "Правила производства и приемки работ. Электротехнические устройства".

Инструкции и указания по строительному проектированию определяют правила и нормы по проектированию и устройству конкретных инженерных средств, установок и сооружений: электроосвещения, силового электрооборудования, автоматизации, заземлений, молниезащиты, электропроводок, трубопроводов и т.п.

Из ведомственных документов по вопросам проектирования автоматизации объектов различного назначения находят применение Ведомственные строительные нормы (ВСН) и Отраслевые стандарты (ОСТ).

Кроме того, при проектировании, монтаже и наладке систем автоматизации используют руководящие материалы – РМ и РТМ. Следует иметь в виду, что любые нормативные документы, в которых регламентируются вопросы пожаро- и взрывобезопасности и техники безопасности при проектировании и эксплуатации систем автоматизации, согласованы с органа-

ми Государственного надзора (Госгортехнадзор, ГПС МЧС России) и обязательны к исполнению на предприятиях и в организациях.

Одним из определяющих документов при разработке автоматической пожарной защиты технологических процессов является ГОСТ "Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования". В этом стандарте впервые устанавливается допустимая вероятность возникновения пожара и воздействие опасных факторов на людей и изложены требования к системе предотвращения пожара и к системе пожарной защиты, а также рассматриваются организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности. Пожарная безопасность объекта должна быть обеспечена как в рабочем его состоянии, так и в случаях возникновения аварийной обстановки. Безопасность людей должна быть обеспечена при возникновении пожара в любом месте объекта.

Требования, изложенные в ГОСТе, вызывают необходимость совершенствования методов надзора органов ГПС за соблюдением пожарной безопасности объектов народного хозяйства как на стадии их проектирования, так и при эксплуатации. Работа органов ГПС в этом направлении регламентирована в "Инструкции по организации и осуществлению Государственного пожарного надзора в Российской Федерации", объявленной приказом МЧС России.

Ответственность за выполнение в проектах требований пожарной безопасности возлагается на главного инженера проекта (ГИП), который письменно обязан удостоверить, что проект выполнен в соответствии с действующими правилами и нормами. Согласование проектных материалов с органами ГПС остается обязательным только в тех случаях, когда при проектировании возникает необходимость частичного отступления от требований действующих норм и правил или если на предлагаемые проектные решения нет утвержденных норм и правил. В тех случаях, когда при разработке проектов возникает необходимость их согласования с госпожнадзором, они рассматриваются в аппарате ГПС. При этом изучению и тщательной экспертизе на соответствие требованиям пожарной безопасности производственной автоматики подлежат все материалы этого раздела проекта.

Изучение материалов проекта и сопоставление принятых решений требованиям нормативных документов позволяет выявить возможные нарушения норм и правил, регламентирующих пожарную безопасность автоматизируемого технологического процесса. Внесение каких-либо изменений в проект должно быть санкционировано соответствующей проектной организацией.

При осуществлении надзора органами ГПС (экспертиза проекта, пожарно-техническое обследование) за производственной автоматикой проверяют.

1. Соответствие щитовых помещений (операторных, диспетчерских, аппаратных и т.п.) требованиям пожарной безопасности. При этом исходят из того, что при устройстве и выборе места расположения щитовых помещений систем автоматизации во взрывоопасных производствах необходимо выполнение требований, принятых нормами строительного проектирования (СНиП, СН, ВСН) и принципами компоновки технологического оборудования на объекте данной отрасли промышленности. Однако в любом случае во взрывоопасных производствах необходимо учитывать следующие основные требования:

а) рекомендуется размещать щитовые помещения в отдельно стоящих зданиях;

б) допускается в случае необходимости пристраивать и встраивать их в помещения с взрывоопасными зонами. Встраивать щитовые допускается только в помещения с взрывоопасными зонами классов В-Ia и В-Iб с легкими горючими газами и ЛВЖ и в помещения с взрывоопасными зонами классов В-II и В-IIa;

в) запрещается встраивать щитовые в помещения с взрывоопасными зонами классов В-Ia и В-Iб с тяжелыми или сжиженными горючими газами и в помещения с взрывоопасными зонами класса В-I во всех случаях;

г) не должны располагаться другие помещения с взрывоопасными зонами над и под встроенными щитовыми;

д) пристраивать щитовые допускается к помещениям с взрывоопасными зонами классов В-I, В-Ia и В-Iб с легкими горючими газами и ЛВЖ и к помещениям с взрывоопасными зонами классов В-II и В-IIa. Как исключение, пристройка щитовых помещений к помещениям со взрывоопасными зонами с тяжелыми или сжиженными горючими газами также допускается, но при условии, что уровень пола в щитовом помещении и дно кабельных каналов должны быть выше пола смежного помещения (к которому пристраивается щитовое помещение) и поверхности окружающей земли не менее чем на 0,15 м.

К встроенным и пристраиваемым щитовым помещениям предъявляются следующие требования:

а) в щитовых должна быть собственная, независимая от помещений со взрывоопасными зонами, приточно-вытяжная вентиляция, выполненная таким образом, чтобы через вентиляционные отверстия в щитовой не образовывались взрывоопасные смеси;

б) в щитовых, пристраиваемых к помещениям с взрывоопасными зонами класса В-I, а также к помещениям с тяжелыми или сжиженными горючими газами, должна быть предусмотрена приточная вентиляция с пятикратным обменом воздуха в час, обеспечивающая в щитовой небольшое избыточное давление, исключающее попадание в него взрывоопасных смесей;

в) стены и перекрытия, отделяющие щитовые от помещений с взрывоопасными зонами, должны быть несгораемыми, с пределом огнестойкости не менее 1,5 ч; стены должны быть оштукатурены с двух сторон и не иметь дверей и окон;

г) в стенах, отделяющих щитовые от помещений с взрывоопасными зонами классов В-Ia и В-Iб с легкими горючими газами и ЛВЖ и помещений с взрывоопасными зонами классов В-II и В-IIa, допускается предусматривать вводы кабелей и защитных труб электропроводки в щитовые. Вводные отверстия должны плотно заделываться несгораемыми материалами, а защитные трубы электропроводки в местах перехода через стену должны иметь разделительные уплотнения. Ввод кабелей и защитных труб электропроводки в щитовое помещение из помещений с взрывоопасными зонами класса В-1 и из помещений с взрывоопасными зонами классов В-Ia и В-Iб с тяжелыми или сжиженными горючими газами должен выполняться через наружные стены;

д) в щитовом помещении с одним выходом, расположенном на первом этаже, этот выход должен быть устроен наружу (на территорию предприятия непосредственно или через невзрывоопасный коридор или помещение с нормальной средой); в щитовом помещении, расположенном на втором этаже и выше, этот выход допускается устраивать на лестничную клетку или в невзрывоопасный коридор;

е) в щитовом помещении с двумя выходами (второй выход предусматривается при длине щита более 7 м) один из выходов устраивается на первом этаже; на втором этаже и выше – балкон с пожарной лестницей или в невзрывоопасный коридор; второй выход допускается устраивать на лестничную клетку или в невзрывоопасный коридор;

ж) расстояние по горизонтали и вертикали от наружных дверей или окон, встроенных и пристроенных щитовых помещений до наружных дверей и окон помещений с взрывоопасными зонами классов В-I, В-IIa, В-II должно быть не менее 6 м.

Щитовые помещения систем автоматизации допускается устраивать, а также встраивать в пожароопасные зоны всех классов при соблюдении следующих условий:

а) стены и перекрытия, отделяющие щитовое помещение от помещения с пожароопасной зоной, должны быть несгораемыми с пределом огнестойкости не менее 1,5 ч;

б) отверстия в стенах и в полу для прохода кабелей и труб должны быть плотно заделаны несгораемыми материалами;

в) дверь, отделяющая щитовое помещение от помещения с пожароопасной зоной, должна быть самозакрывающейся, противопожарной с пределом огнестойкости не менее 0,75 ч.

2. Соответствие разрывов от взрывоопасных наружных технологических установок (взрывоопасных зон класса В-I) и помещений с взрывоопасными зонами классов В-I, В-Ia, В-II до отдельно стоящего здания щитовой требованиям пожарной безопасности.

3. Соответствие установленных на объекте приборов производственной автоматики проекту и регламенту. Такая проверка проводится по исполнительной схеме установки приборов цеха КИПиА производства.

4. Соответствие монтажа производственной автоматики требованиям пожарной безопасности:

а) исполнение электрооборудования средств производственной автоматики;

б) наличие заземления всех щитов и приборов автоматики;

в) выполнение трубных проводок;

г) выполнение электропроводов;

д) установка щитов и пультов;

е) установка приборов и устройств производственной автоматики.

5. Соответствие приборов автоматики инструкциям заводоизготовителей.

6. Наличие на приборах клейма или пломбы с оттиском государственного поверителя.

7. Выполнение графика государственной и ведомственной проверки приборов, подписанного главным инженером предприятия и утвержденного районным комитетом стандартов и измерительных приборов с результатами проверок. Сроки проверки средств измерения, применяемых для обеспечения безопасности ведения процесса, должны быть согласованы со службой техники безопасности предприятия и органами Госгортехнадзора РФ.

8. Состояние объекта по пожаро- и взрывоопасности в различных режимах работы и автоматических средств его защиты. Автоматические средства защиты технологического процесса проверяются на основании документов, утвержденных главным инженером предприятия и включающих:

а) перечень блокировок и сигнализаций с указанием пределов срабатывания (уставок);

б) инструкцию по эксплуатации и проверке работоспособности противоаварийных блокировок и сигнализаций;

в) график проверки работоспособности блокировок и сигнализаций.

На основании вышеприведенных документов проводятся проверки работоспособности блокировок и сигнализации и составляются акты с подписями технолога, представителей служб КИПиА и энергетика. Результаты проверок заносятся в специальный журнал. Надо иметь в виду, что сотрудники надзорных органов, включая и ГПН, не имеют права самостоятельной проверки работоспособности устройства производственной автоматики, аварийных защит и т.п.

По результатам экспертизы соответствия проектных материалов производственной автоматике требованиям пожарной безопасности составляется заключение по проекту, а по итогам пожарно-технического обследования объекта автоматизации в предписания органов ГПН включаются мероприятия по устранению недостатков, имевших место на стадии проектирования, монтажа и эксплуатации средств автоматизации, а также включаются мероприятия по совершенствованию автоматической защиты технологического процесса.

10.6. Измерительная информация в пожарном надзоре технологических процессов производств

Экспертиза проектных материалов технологической части и раздела по автоматизации производства на соответствие требованиям пожарной безопасности, а также пожарно-технические обследования с проверкой выполнения норм и правил монтажа, приемки и эксплуатации средств производственной автоматики дают необходимые сведения для оценки пожарной безопасности объекта, но этих сведений недостаточно, чтобы составить представление о пожарной опасности непосредственно технологического процесса в настоящий момент, его физико-химических превращениях и параметрах, их характеризующих. В конечном счете объективно судить в текущий момент времени (имеется в виду время проведения пожарно-технического обследования) о противопожарном состоянии непосредственно технологического процесса можно только после проверки соответствия необходимой задействованной приборной техники исполнительной схеме и сопоставления текущих измеренных значений параметров, характеризующих технологический процесс, с нормами их контрольных значений по технологическому регламенту. Иначе говоря, требуется идентификация величин, характеризующих сущность технологических процессов в реальном времени с использованием измерительных средств и получаемой с них информации. Измерительной информацией называют упорядоченные количественные сведения о каком-либо свойстве материального объекта (тела, явления, вещества и т.п.), получаемые опытным путем с помощью специальных технических средств (измерительных приборов или систем). Совокупность устройств представления информации, имеющих единую цель и программу функционирования, объединенных общим источником измерительной информации (объектом управления) и ее приемником (человеком), принято называть системой отображения информации (СОИ). Рассмотрим виды СОИ и их возможности по анализу работниками ГПС противопожарного состояния технологического процесса при проведении пожаро-технического обследования.

Существуют несколько признаков, на основе которых осуществляется классификация систем "человек-автомат" и соответственно систем ото-

бражения информации. С точки зрения обеспечения техники безопасности и пожарной защиты, наиболее приемлема классификация СОИ по способу предъявления потока информации человеку. По способу предъявления информации СОИ могут быть разделены на четыре группы (рис. 10.4): СОИ с индивидуальным способом предъявления информации; СОИ с предъявлением информации в обобщенном виде; СОИ с регулируемым потоком; СОИ с иерархическим способом предъявления информации.



Рис. 10.4. Классификация систем отображения информации

СОИ с индивидуальным способом предъявления информации образуются из отдельных устройств представления информации так, что состояние каждого контролируемого параметра отображается своим индивидуальным устройством. Предъявление информации оператору производится одновременно в течение всего процесса отображения. Положительными сторонами такого способа организации потока информации являются: простота конструкции, полнота отображения информации, оперативность отображения (информация о ходе технологического процесса во всех контролируемых точках отображается одновременно), надежность отображения (отображение осуществляется параллельно всеми устройствами). Работая с такими СОИ путем считывания информации со шкал отсчета диаграмм записи и сопоставляя их с документальными значениями, работник ГПС составит достаточно полное представление о состоянии технологического процесса в целом, а также по участкам, стадиям и отдельным аппаратам и агрегатам. Недостатками индивидуальных СОИ, с точки зрения восприятия информации, являются: большой объем избыточной информации, трудность соотнесения между собой множества отдельных показаний приборов для оценки ситуации по пожаро- и взрывоопасности в целом, большая площадь, занимаемая СОИ, что увеличивает время поиска необходимого сообщения. Однако в настоящее время такие СОИ пока наиболее широко распространены в практике автоматизации потенциально пожаро- и взрывоопасных технологических процессов.

СОИ с предъявлением информации в обобщенном виде выдают информацию о множестве параметров на одном индикаторе в виде единой

"совокупной" или "генеральной" характеристики. Преимуществами способа являются:

а) резкое сокращение передаваемого человеку потока информации. Сокращение потока происходит в вычислительном комплексе путем переработки потока по заданной программе (вычисление, например, статистических характеристик процесса-функции распределения, математического ожидания, коэффициентов полезного действия, оптимизации и экономической эффективности и т.п. К сожалению, в настоящее время мы не можем предложить для обработки в вычислительном комплексе обобщающего критерия по пожаро- и взрывоопасности объекта);

б) уменьшение доли второстепенной информации и автоматическое обобщение информации, которое снабжает оператора информацией о ситуации в целом без каких-либо затрат времени на это с его стороны. Однако вместе с сокращением второстепенной информации теряется часть полезной и очень важной для работника ГПН информации, например "генеральная" характеристика не несет сведений об адресах отклонившихся величин, о причинно-следственных связях, обусловивших отклонение от нормы, и др. Применение таких СОИ снижает также надежность отображения и требует от обслуживающего персонала и работников надзорного органа глубокого знания поведения контролируемого объекта. В целях повышения уровня пожарной безопасности объекта работникам ГПН следует рекомендовать обеспечение таких систем дополнительными средствами индивидуального отображения, которые независимо от работы основного индикатора непрерывно и оперативно характеризуют значение наиболее ответственных по пожару и взрыву параметров.

СОИ с регулируемым потоком информации с помощью устройств коммутации расчленяют большой поток информации на ряд малых и последовательно предъявляют их оператору. При этом среди них есть системы, предъявляющие информацию "с приоритетом", автоматически выделяющие необходимые в данной фазе технологического процесса величины параметров или наиболее значимые для вида технологического режима (пуск, предаварийная ситуация и т.п.), а также системы, предъявляющие информацию только о тех величинах, которые вышли за допустимые пределы. Работник ГПС, используя в ходе контроля пожаро- и взрывоопасности технологического процесса такие системы, может иметь подробные сведения о параметрах на каждом режиме и фазе технологического процесса в необходимом объеме и степени наглядности.

СОИ с иерархическим способом представления информации обеспечивает ее ступенчатость.

П е р в а я с т у п е н ь – отображение состояния технологического процесса в целом. Предъявление некоторой совокупной качественной характеристики с сохранением индивидуальных признаков информации, т.е.

автоматическое, непрерывное и оперативное снабжение человека информацией об общей ситуации (без ее детализации).

В т о р а я с т у п е н ь – отображение по указанию оператора состояния отдельной части, стадии, участка объекта. Предъявляется только та информация, которую найдет нужным получить оператор после ознакомления с общей ситуацией.

Т р е т ь я с т у п е н ь – отображение по требованию оператора информации о состоянии каждого отдельного первичного преобразователя, каждого контролируемого параметра.

Работая с такой системой, работник ГПС может получить информацию о состоянии объекта в целом и с интересующей его детализацией.

Системы отображения информации обеспечивают ее представление оператору посредством устройств представления информации (УПИ), которые в составе системы отображения являются последним звеном измерительного тракта и с которых при необходимости работник ГПС считывает информацию. На рис. 10.5 приведена классификация устройств представления информации. Она выполнена по трем признакам: свойствам носителя информации, виду отображения и форме представления человеку.

По свойствам носителя информации УПИ делятся на регистрирующие и показывающие. Носитель информации в *регистрирующих приборах* – диаграммная бумага, бланк, бумага со специальным покрытием, планшет и др. представляют собой долговременное запоминающее устройство, не разрушающееся при считывании и не требующее регенерации, чтобы принять на хранение поток измерительной информации. Такой вид информации полезен работнику ГПС при исследовании имевших место аварий, взрывов и пожаров. Носитель информации в *показывающих приборах* (шкала, экран, табло) не обладает свойствами долговременной памяти. Информация сохраняется на носителе пока существует сообщение, при этом возможно осуществление экспресс-анализа состояния технологического процесса. По профессиональным соображениям наиболее ответственные параметры пожаро- и взрывоопасного объекта должны подлежать регистрации.

По виду отображения УПИ разделяют на:

$$\text{непрерывные:} \quad A(\alpha); A(t); A(t, N); A(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (10.4)$$

$$A(x_1, N_1); A(x_1, x_2, \dots, x_n, N),$$

где A – отображающий параметр; α – угол поворота; t – текущее время; x_1, x_2, \dots, x_n – координаты A ; N – дополнительная координата отображаемого параметра A , определяемая видом приемной символики;

$$\text{дискретные:} \quad A(\tau_i) = \int_{-\infty}^{+\infty} A(t) \delta(t - \tau_i) dt, \quad (10.5)$$

где τ – фиксированный момент времени. Сюда же относится отображение зависимостей вида:

$$A(x, \tau_i); A(x, \tau_i, N_i); A(x_1, x_2, \dots, x_n, \tau_i); A(x_1, x_2, \dots, x_n, \tau_i, N), \quad (10.6)$$

где N – фиксированное значение дополнительной координаты отображаемого параметра;

комбинированные: они совмещают на одном носителе информации непрерывный и дискретный вид отображения.

Существенным признаком классификации УПИ является форма представления информации. Информация может быть представлена на носителе в виде непрерывной кривой, графика, диаграммы либо в виде чисел, буквенно-цифровых таблиц и т.п. На рис. 10.5 также приведены виды носителей информации УПИ различных классификационных групп. С ними соотнесен перечень названий номенклатурных групп устройств представления информации, известных в приборостроении.



Рис. 10.5. Классификация устройств представления информации:
 1 – самопишущие одноканальные (а) и многоканальные приборы (б);
 2 – координатные построители; 3 – цифровые регистрирующие приборы;
 4 – знакографические устройства; 5 – приборы показывающие;
 6 – построители эпюр и графиков; 7 – цифровые индикаторы; 8 – дисплеи

В самопишущих приборах 1 осуществляется регистрация зависимостей вида $y = f(t)$ одной (1а) или нескольких измеряемых величин (1б). Для регистрации двух величин, связанных между собой функциональной зависимостью $y = t(x)$, используются самопишущие приборы следящего преобразования (двухкоординатные графопостроительные 2). Иногда для количественной оценки измеряемой величины используется цифровая регистрация 3. Однако каждому в отдельности – цифровому 3 и графическому 1, 2 – присущи свои недостатки. Так, при цифровой форме записи утрачивается возможность качественного анализа результатов измерений. В свою очередь, получение количественной информации по записи в графической форме сопряжено с возможными ошибками при обработке и затрате времени на ее обработку. Устранить недостатки каждого из рассмотренных видов записи удастся в регистрирующих устройствах, осуществляющих автоматическое совмещение на одном носителе информации в виде графической зависимости и в цифровой форме 4. Индикаторные устройства, используемые в устройствах представления, могут быть разделены на устройства, отображающие информацию в графической 5, 6, знаковой 7 и знакографической форме 8. Наиболее широко распространен в настоящее время для построения графиков, эпюр, гистограмм в графической и знакографической форме способ отображения информации, основанный на использовании электронно-лучевых трубок в устройствах представления информации – дисплеях 8. Обобщенная структурная схема дисплея приведена на рис. 10.6. Назначение блоков, входящих в устройство, очевидно из их названий.

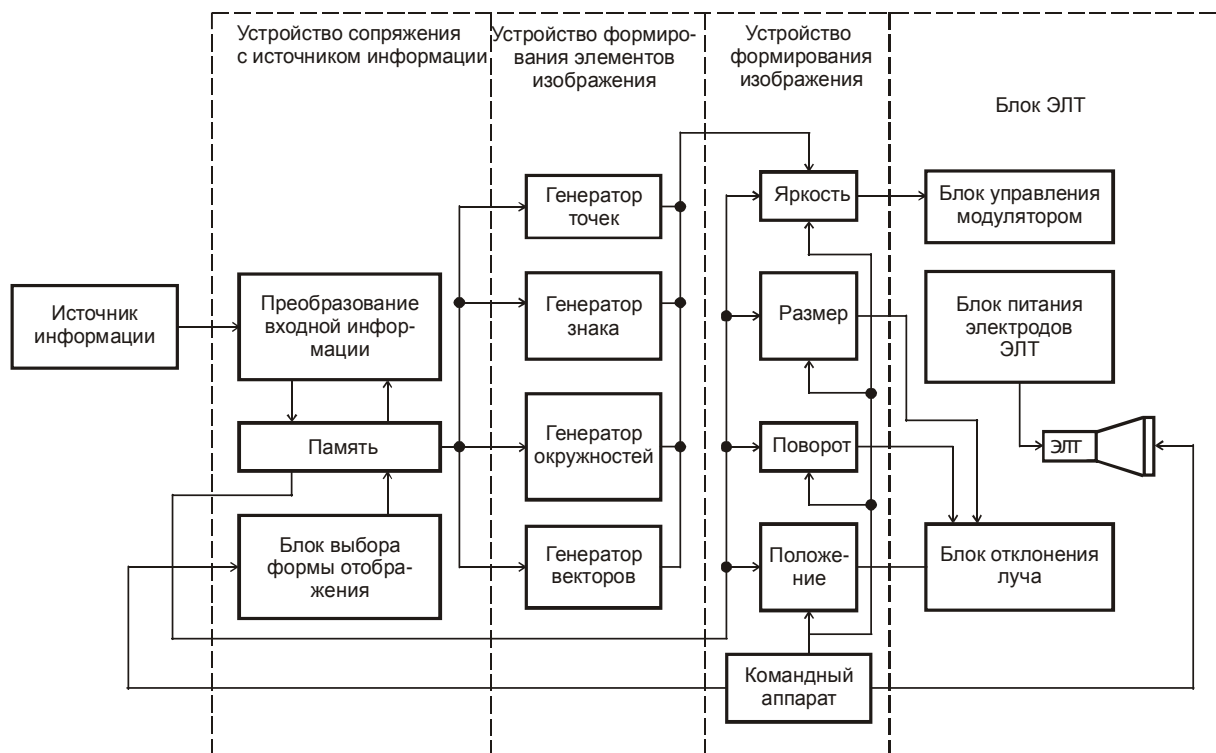


Рис. 10.6. Структурная схема дисплея

Исходя из плана и объема пожарно-технического обследования, работник ГПС, используя информацию в любом из рассматриваемых представлений, сможет оценить пожаро- и взрывоопасность функционирующего технологического процесса и рекомендовать пути ее снижения.

10.7. Диагностика и прогнозирование пожаро- и взрывоопасных состояний технологических процессов

Информация, поступающая с устройств отображения по различным каналам, обеспечивает не только точное выполнение программы управления, но и возможность определения тенденции поведения пожаро- и взрывоопасного объекта. Умение при необходимости дать такую оценку состояния технологического процесса работнику органов ГПС совместно с оперативным персоналом позволит объективно оценить пожаро- и взрывоопасные ситуации и выбрать оптимальные пути их предупреждения. Такая оценка носит опосредованный характер. Это значит, что человек работает не с реальными объектами, а с их информационными моделями, которые представляют собой совокупность сведений о состоянии управляемого объекта, внешней среды, возмущающих воздействий, функционирования измерительной, вычислительной и собственно управляющей аппаратуры. Постоянное ожидание неполадки, аварии или возможного взрыва и пожара вызывают у операторов излишнюю напряженность и, как следствие, ошибочные действия при возникновении таких ситуаций. Во избежание таких нежелательных явлений необходимо прогнозировать чрезмерные отклонения определяющих пожаро- и взрывоопасность параметров технологического процесса и перегрузки отдельных элементов технологического оборудования и устройств автоматики, что даст возможность предупредить неполадки оборудования и отказы в системе управления, которые назревают постепенно.

Как было показано выше, одним из способов прогнозирования, применяемых в практике управления пожаро- и взрывоопасных технологических процессов, является запись изменений параметров, осуществляемая непрерывно. Это дает возможность наблюдать не только текущее значение параметра, но и видеть тенденцию его изменения за предшествующий моменту наблюдения отрезок времени. Следовательно, оператор или лицо, проводящее контроль противопожарного состояния объекта, заметив склонность того или иного параметра к росту или падению, имеет возможность предпринять меры, направленные на предотвращение его отклонений и исключение возможной аварии, взрыва или пожара. Развитием этого способа служит применение автоматических сигнализаторов скорости падения или нарастания численных значений контролируемых параметров.

Превышение скорости изменения параметра сверх установленного допустимого значения может сопровождаться светозвуковой сигнализацией. Такой способ позволяет контролировать несколько наиболее важных параметров и требует постоянного внимания оператора. Прогнозирование множества параметров одновременно достигается с помощью спорадического контроля. Он состоит в том, что оператор с помощью задатчика может временно изменить предел срабатывания (уставки) сразу на всех сигнализаторах срабатывания аварийных технологических защит. По мере медленного поворота ручки задатчика в сторону предела срабатывания на табло высвечиваются сигналы параметров, находящихся на все большем удалении от первоначально установленного значения. Пользуясь этим способом, оператор может видеть, какой участок технологического процесса наиболее склонен к аварии, и предпринять необходимые меры по ее предотвращению.

Предупреждение отказов в работе элементов системы управления достигается, во-первых, постоянной световой сигнализацией о наличии напряжения в цепях электрического питания; во-вторых, принудительным (в целях контроля) замыканием контактных устройств аварийной сигнализации.

Решающую роль в предупреждении повреждений и аварий с последующими взрывами и пожарами, развивающихся постепенно, играет правильно и своевременно поставленный диагноз состояния оборудования. Процесс диагноза заключается в поэтапном установлении истинной причины прогрессирующего отклонения параметра от установленного значения. В основу автоматического устройства диагностики может быть положена формализованная модель деятельности опытного оператора, ставящего диагноз состояния объекта управления. Как видно из рис. 10.7, концентрические окружности, расположенные по степени важности событий, означают подмножества признаков $j \in i$, характеризующих то или иное состояние. Запрашивая информацию из отдельных точек объекта, оператор "продвигается" по той или иной ветви причинно-следственного графа от центра (исходного события) к периферии (подмножеству возможных признаков). Отвергая (0) или принимая (1), тот или иной признак (гипотезу), оператор "подходит" к исходному событию и устанавливает диагноз. Вид такого графика показан на примере выявления причины роста температуры подшипников (рис. 10.8). Расщепление графа на возможные причины прекращается после установления истинной причины, которая характеризуется четким и однозначным указанием источника отклонения параметра или режима работы от заданного значения. На основе подобных моделей могут быть синтезированы логические устройства диагностики или же составлены алгоритмические программы для ЭВМ. Одной из форм отображения

предаварийной ситуации на объекте защиты в процессе диагноза служит причинно-следственный граф, вызываемый на экран монитора оператором при участии сотрудника органов ГПН.

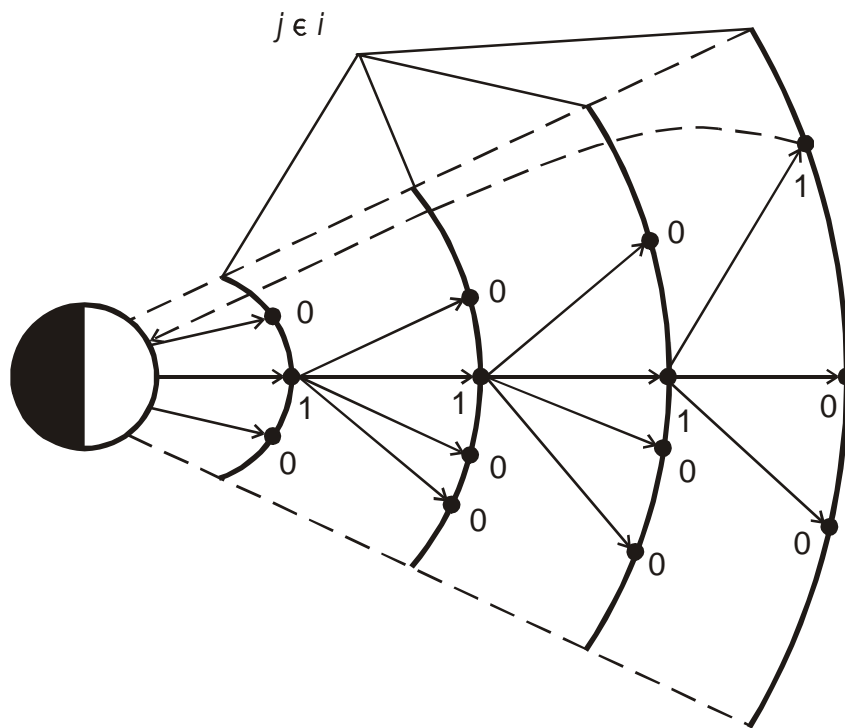


Рис. 10.7. Формализованная модель деятельности оператора, ставящего диагноз состоянию объекта управления

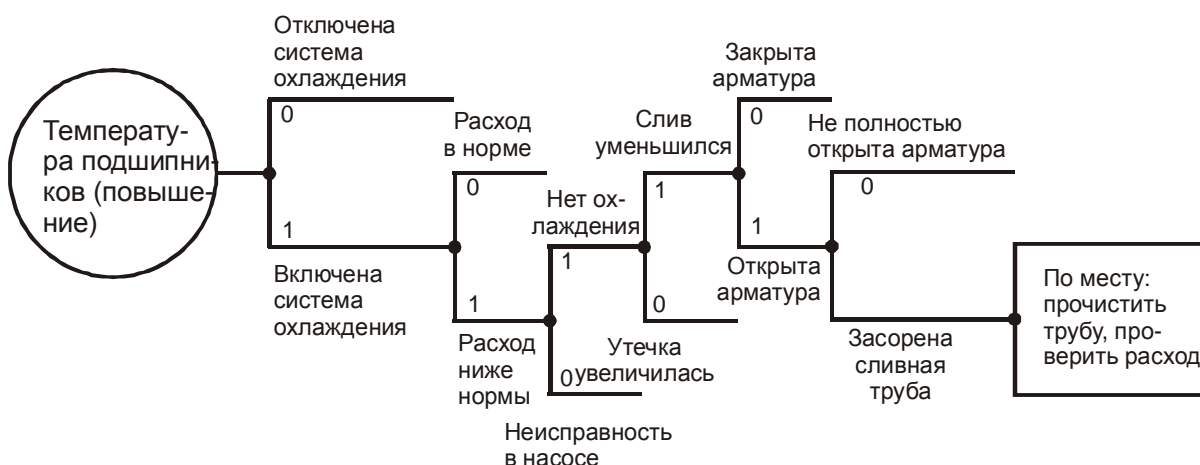


Рис. 10.8. Причинно-следственный граф (диагностическое дерево) выявления причины повышения температуры подшипника

Процедуру процесса диагноза и принятия решения по управлению объектом и его противоаварийной и пожарной защите можно положить в основу алгоритма функционирования диагностической системы управления. Во всех случаях функции такой системы позволяют по результатам диагноза принимать и осуществлять определенные решения по управлению объектом и его защите. В современных АСУТП эти системы, помимо технической диагностики состояния объекта управления, решают сложные задачи технической генетики (выявление и анализ неполадок и аварий в прошлом) и прогностики (предсказание изменений технологических параметров и состояния оборудования через заданный отрезок времени в будущем), связанные с комплексом вычислительных и логических операций. Главная цель применения диагностических систем управления в снижении аварийности, уменьшении или исключении числа пожаров и взрывов и уменьшении затрат на ремонтные работы и незапланированные остановки и пуски оборудования.

Использование рассмотренных методов оценки состояния технологического оборудования и прогнозирования хода технологического процесса способствует повышению уровня и качества пожарно-технического обследования и ускорению реализации предлагаемых инженерно-технических решений по совершенствованию противопожарной защиты объекта.

10.8. Примеры автоматизации технологических процессов

Типовое решение автоматизации перемещения жидкостей и газов разрабатывается одновременно для процессов перемещения как жидкостей, так и газов, поскольку при скорости газа меньше скорости звука движение жидкостей и газов характеризуется одними и теми же законами. Поэтому все приведенные в дальнейшем рассуждения, относящиеся к жидкости, справедливы и для газа.

В качестве объекта управления примем трубопровод *б*, по которому транспортируется жидкость от аппарата *1* к аппарату *8* при помощи центробежного насоса (компрессора) *2* с приводом от асинхронного двигателя *4* (рис. 10.9). Показателем эффективности данного процесса служит расход *G* перемещаемой жидкости.

Процесс перемещения в промышленности является вспомогательным: его необходимо проводить таким образом, чтобы обеспечивался эффективный режим основного процесса, обслуживаемого данной установкой перемещения. В связи с этим необходимо поддерживать определенное, чаще всего постоянное, значение расхода *G*. Это и будет целью управления.

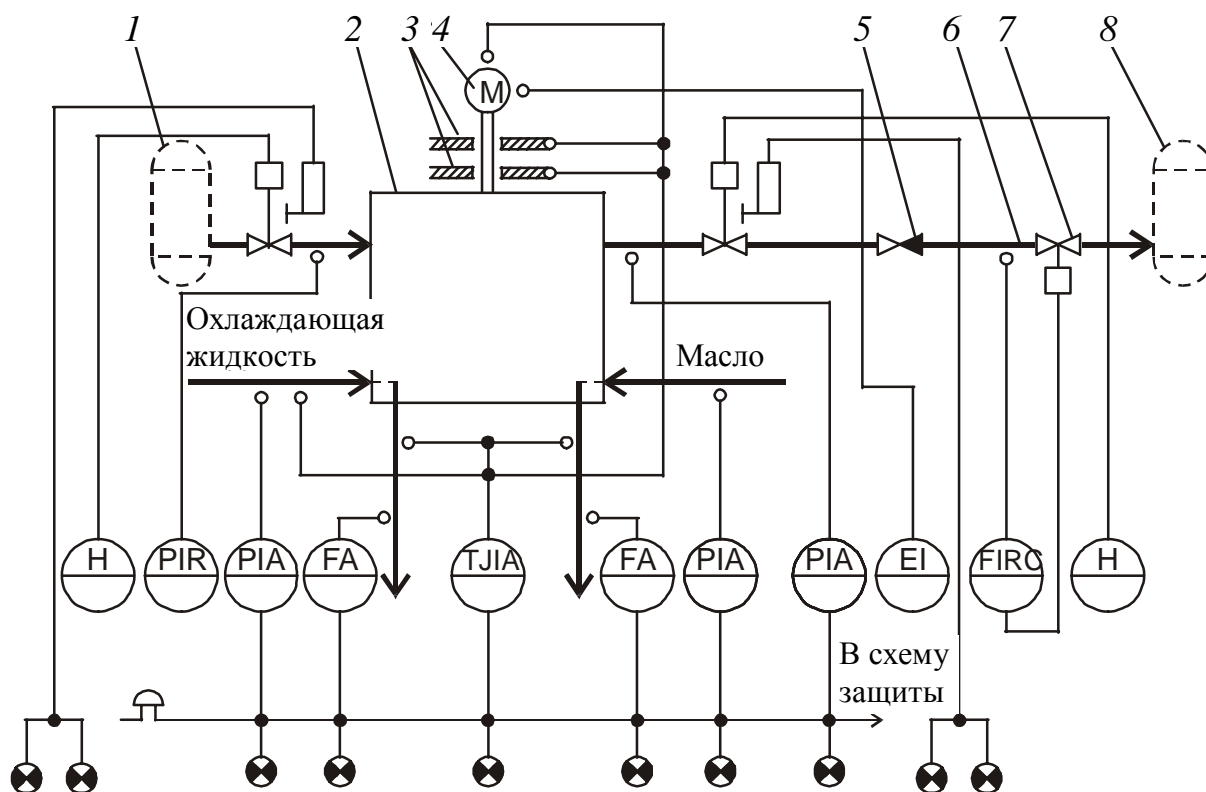


Рис. 10.9. Типовая схема автоматизации перемещения жидкости:
 1, 8 – технологические аппараты; 2 – насос (компрессор);
 3 – подшипник; 4 – электродвигатель; 5 – обратный клапан;
 6 – трубопровод; 7 – дроссельный орган

Проведем анализ объекта для выявления возмущений, возможности их ликвидации и путей внесения управляющих воздействий.

Массовый расход жидкости в трубопроводе определяют по формуле

$$G = VF\rho, \quad (10.7)$$

где V – скорость перемещения жидкости в трубопроводе; F – поперечное сечение трубопровода; ρ – плотность жидкости.

Скорость V в общем случае зависит от следующих параметров:

$$V = f(P, \eta), \quad (10.8)$$

где P – движущая сила процесса (разность давлений в начале P_n и в конце P_k трубопровода); η – динамическая вязкость перемещаемой жидкости. Движущая сила P зависит от характеристик насоса, от давления в аппаратах, в которые и из которых перемещается жидкость, и от общего гидравлического сопротивления трубопровода (суммы сопротивлений собственно трубопровода, поворотов, сужений, запорной арматуры).

Насос нормального исполнения с асинхронным двигателем в качестве привода имеет постоянные характеристики. При использовании специаль-

ного оборудования с изменением характеристик в объект могут быть внесены регулирующие воздействия.

Давление в аппаратах 1 и 8 определяется технологическим режимом процессов, протекающих в них. Если режим предусматривает изменение давлений, то по данным каналам в объект управления будут поступать возмущения.

Изменение общего гидравлического сопротивления трубопровода может быть обусловлено многими причинами. Его можно стабилизировать или же целенаправленно изменять, перемещая подвижную часть дроссельного органа (вентилля, клапана, заслонки), установленного на трубопроводе (дроссельное регулирование).

Вязкость и плотность перемещаемой жидкости определяются технологическим режимом предыдущего процесса, поэтому их изменения являются возмущающими воздействиями, ликвидировать которые при управлении данным процессом невозможно.

Анализ объекта управления показал, что большую часть возмущающих воздействий не удастся ликвидировать. Учитывая это, в качестве регулируемой величины необходимо взять непосредственно показатель эффективности – расход G . Наиболее простым способом регулирования является изменение положения дроссельного органа на трубопроводе нагнетания. Устанавливать дроссельный орган на трубопроводе всасывания не рекомендуется, так как это может привести к кавитации и быстрому разрушению лопаток насоса.

При пуске, наладке и поддержании нормального режима процесса перемещения необходимо контролировать расход G , а также давление во всасывающей и нагнетательной линиях насоса; для правильной эксплуатации установки перемещения требуется контролировать температуру подшипников и обмоток электродвигателя насоса, температуру и давление смазки и охлаждающей жидкости; для подсчета технико-экономических показателей процесса следует контролировать количество энергии, потребляемой приводом.

Сигнализацией, контролирующей давление, оборудуются линии нагнетания, поскольку значительное изменение его свидетельствует о серьезных нарушениях процесса. Кроме того, необходима сигнализация, контролирующая изменение давления и наличие потока в системе смазки и охлаждения, температуры подшипников и обмоток электродвигателя, масла и воды. Сигнализацией обеспечивается также положение задвижек в линиях всасывания и нагнетания.

Если давление в линии нагнетания или параметры, характеризующие состояние объекта, продолжают изменяться, несмотря на принятые обслуживающим персоналом меры, то должны сработать автоматические уст-

ройства защиты. Они отключают действующий аппарат перемещения и включают резервный (на рис. 10.9 не показан).

Типовое решение автоматизации смешения жидкостей. При разработке типового решения под объектом управления будем понимать емкость с механической мешалкой, в которой смешиваются две жидкости (рис. 10.10). В качестве показателя эффективности процесса перемешивания примем концентрацию какого-либо компонента в смеси, а целью автоматизации будет получение смеси с определенной концентрацией этого компонента.

Зависимость показателя эффективности от параметров процесса можно вывести из уравнения материального баланса по искомому компоненту:

$$G_{см} C_{см} = G_A C_A + G_B C_B, \quad (10.9)$$

где $G_{см}$, G_A , G_B – расходы смеси, жидкости А и жидкости Б соответственно, $C_{см}$ – концентрация искомого компонента в смеси; C_A , C_B – концентрация искомого компонента в жидкостях А и Б соответственно.

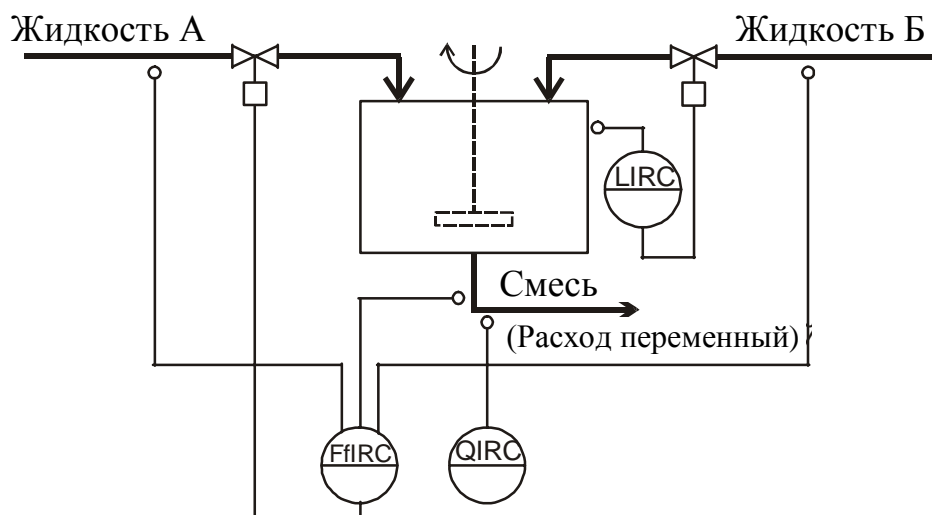


Рис. 10.10. Схема регулирования процесса смешения при значительных изменениях расхода одной из жидкостей

Учитывая, что расход $G_{см}$ в установившемся режиме равен сумме расходов G_A и G_B , и решая это уравнение относительно концентрации $C_{см}$, получаем

$$C_{см} = \frac{G_A C_A + G_B C_B}{G_A + G_B}. \quad (10.10)$$

С изменением расходов G_A и G_B в объект будут поступать возмущающие воздействия. Если между предыдущими процессами и процессом смешения установить емкости, то можно целенаправленно изменять один из этих расходов в целях поддержания концентрации $C_{см}$ на заданном значении. Более эффективно изменять расход той жидкости, в которой концентрация искомого компонента выше.

Концентрации C_A и C_B определяются технологическими режимами предыдущих процессов, поэтому стабилизировать или изменять их для достижения цели управления невозможно.

Итак, в смеситель могут поступать возмущающие воздействия, поэтому следует регулировать непосредственно концентрацию $C_{см}$, внося регулирующие воздействия изменением одного из расходов G_A или G_B .

В смесителе необходимо иметь определенный объем жидкости. Существенное изменение объема жидкости может привести к переполнению аппарата или его опорожнению, при этом процесс смешения становится невозможным. Показателем объема жидкости является уровень в аппарате, поэтому его необходимо стабилизировать. Уровень жидкости зависит от расходов G_A , G_B , $G_{см}$. Если расход $G_{см}$ определяется ходом последующего процесса, то его нельзя ни стабилизировать, ни использовать для внесения регулирующих воздействий. Один из расходов G_A или G_B (например, G_A), как уже сказано, будет использоваться для внесения регулирующих воздействий при регулировании концентрации $C_{см}$. Следовательно, единственным каналом для внесения регулирующих воздействий при стабилизации уровня является другой расход G_B . Отметим, что осуществляя регулирующие воздействия, регулятор уровня создает возмущения для регулятора концентрации $C_{см}$.

Для успешной эксплуатации смесителя, оперативного управления им и подсчета технико-экономических показателей следует контролировать концентрацию $C_{см}$, расходы G_A , G_B , и $G_{см}$, уровень жидкости в смесителе и количество энергии, потребляемой приводом мешалки. При значительном отклонении концентрации $C_{см}$ и уровня в смесителе от заданных значений должен быть подан сигнал. При достижении критического значения уровня подача жидкости должна быть прекращена.

Если расход смеси не обусловлен ходом последующего технологического процесса, то его нужно использовать для регулирования уровня в смесителе: изменением расхода одной жидкости поддерживать постоянной концентрацию $C_{см}$, а расход другой стабилизировать.

Типовое решение автоматизации отстаивания жидких систем. Основные принципы управления при автоматизации процессов отстаивания рассмотрим на примере отстойника со скребковым устройством (рис. 10.11). Процессы отстаивания проводятся, как правило, в целях полного извлечения твердой фазы (ценного продукта) из жидкости, поэтому показателем

эффективности процесса будем считать концентрацию твердой фазы в осветленной жидкости, а целью автоматизации – поддержание ее на заданном (минимально возможном для данных производственных условий) значении.

В объект управления процесса разделения могут поступать многочисленные возмущающие воздействия: изменение расхода суспензии, дисперсности (гранулометрического состава) твердой фазы. Все эти возмущения определяются технологическим режимом предыдущего процесса, поэтому устранить их при управлении процессом отстаивания невозможно. Особенно сильными возмущениями являются изменения расхода суспензии и концентрации твердой фазы в ней.

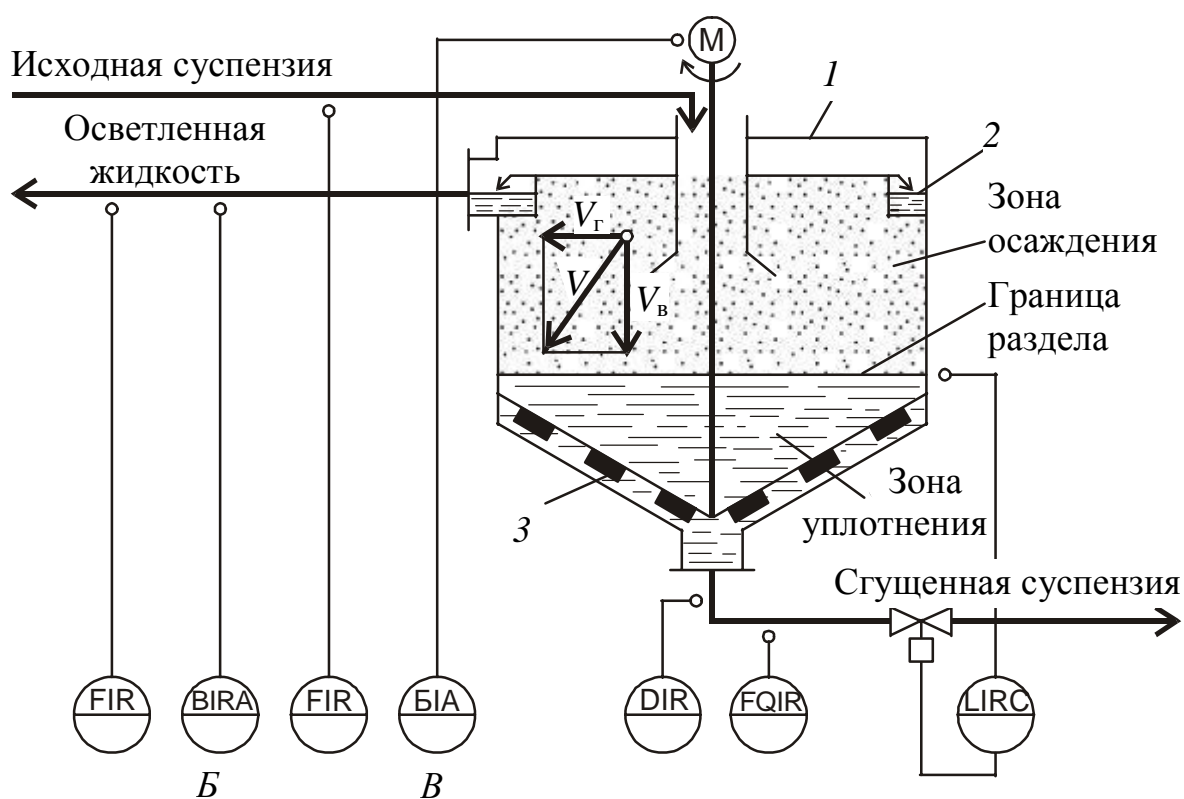


Рис. 10.11. Типовая схема автоматизации процесса отстаивания:
 1 – отстойник; 2 – переливное устройство; 3 – мешалка;
 Б – момент на валу; В – мутность жидкости

Рассмотрим, каким образом при наличии перечисленных возмущений можно достичь цели управления. На твердую частицу суспензии в отстойнике действуют одновременно сила инерции и сила тяжести. Поэтому истинное значение скорости V движущейся частицы является результирующая линия (см. рис. 10.11) горизонтальной составляющей скорости $V_{Г}$ и вертикальной составляющей $V_{В}$, а положение частицы определяется отно-

шением этих скоростей: если $V_B < V_G$, то частица оседает в бункер отстойника; если же $V_B > V_G$, то частица уносится в выходной патрубков. Скорость осаждения V_B частиц, имеющих шарообразную форму, для высококонцентрированных суспензий может быть рассчитана по уравнению

$$V_B = 0,07 \frac{dg(\rho_T - \rho_{ж})\epsilon^2}{\mu(1 - \epsilon)}, \quad (10.11)$$

где d – диаметр частицы; g – ускорение свободного падения; $\rho_T, \rho_{ж}$ – плотность соответственно твердой и жидкой фаз; ϵ – объемная доля жидкости в суспензии; μ – динамическая вязкость суспензии.

Анализ уравнения показывает, что скорость V_B является переменной величиной, зависящей от изменяющихся во времени параметров: диаметра частиц, концентрации твердой фазы, плотностей фаз, динамической вязкости суспензии. Стабилизировать скорость невозможно, так как все перечисленные параметры определяются предшествующим процессом. Для того чтобы при изменяющейся скорости осаждения частицы успевали осесть в бункер, подбирают такие значения расхода суспензии и диаметра отстойника, которые обеспечивают нужное соответствие скоростей V_B и V_G . Необходимость в непосредственном регулировании показателя эффективности процесса при этом отпадает.

Уровень жидкости в отстойнике поддерживается постоянным за счет свободного перелива осветленной жидкости.

В отстойнике необходимо поддерживать на постоянной высоте границу раздела зон осаждения и уплотнения. Эта высота зависит от расхода сгущенной суспензии, поэтому регулирующее воздействие вносится изменением степени открытия специальных клапанов (для высоковязких жидкостей) на линии сгущенной суспензии.

В качестве контролируемых величин принимают расходы исходной и сгущенной суспензий, осветленной жидкости, а также мутность осветленной жидкости, которая является косвенным параметром, характеризующим показатель эффективности и плотность сгущенной суспензии. Контролируется, кроме того, уровень границы раздела зон при помощи гидростатического приемника с непрерывной промывкой. Работа механической части отстойников контролируется путем непосредственного измерения момента на валу двигателя. Можно проводить контроль и по косвенному параметру – мощности, потребляемой приводом электродвигателя. Перегрузка электродвигателя сигнализируется. В случае повышенных перегрузок дается сигнал в схему защиты. Сигнализируется также увеличение мутности осветленной жидкости.

Типовое решение автоматизации нагревания жидкостей. Основные принципы автоматизации процесса нагревания рассмотрим на примере

поверхностного кожухотрубчатого теплообменника (рис. 10.12), в который подают нагреваемый продукт и теплоноситель. Показателем эффективности данного процесса является температура $t_{п}''$. Она может быть найдена из уравнения теплового баланса:

$$G_{п} c_{п} (t_{п}'' - t_{п}') = G_{т} c_{т} (t_{т}' - t_{т}''), \quad (10.12)$$

где $G_{п}$, $G_{т}$ – расходы, соответственно, продукта и горячего теплоносителя; $c_{п}$, $c_{т}$ – удельные теплоемкости продукта и горячего теплоносителя; $t_{п}'$, $t_{т}'$ – температуры продукта и горячего теплоносителя на входе в теплообменник; $t_{п}''$ – температуры горячего теплоносителя и продукта на выходе из теплообменника.

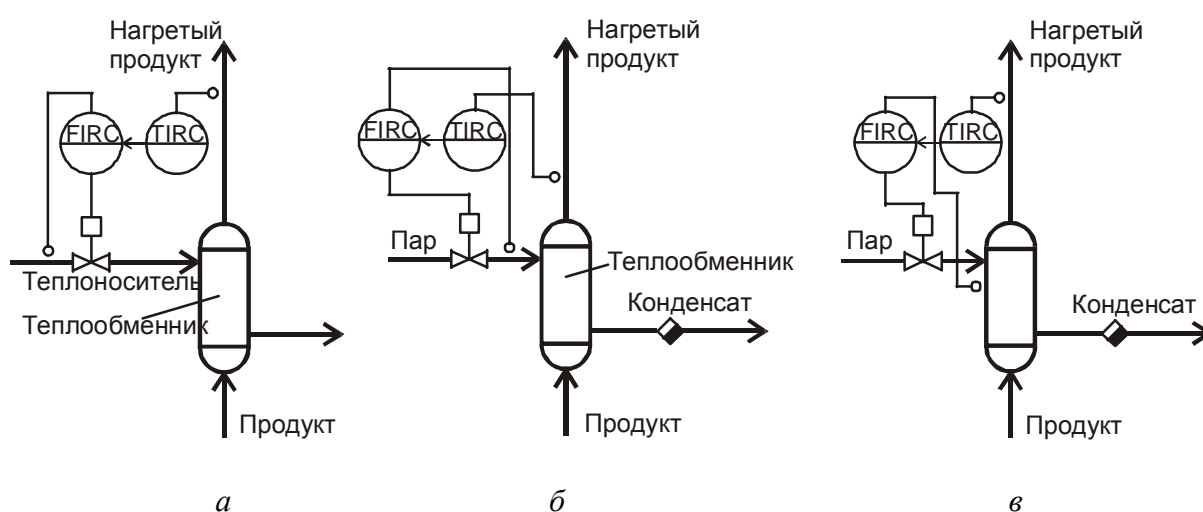


Рис. 10.12. Двухконтурная система регулирования процесса нагревания с использованием в качестве регулируемой величины расхода теплоносителя (а), давления пара (б) и давления в межтрубном пространстве (в)

Решая данное уравнение относительно $t_{п}''$, получаем:

$$t_{п}'' = (G_{т} c_{т} / G_{п} c_{п}) (t_{т}' - t_{т}'') + t_{п}'. \quad (10.13)$$

Расход теплоносителя $G_{т}$ можно легко стабилизировать или использовать для внесения эффективных регулирующих воздействий. Расход продукта $G_{п}$ определяется другими технологическими процессами, а не процессом нагревания, поэтому он не может быть ни стабилизирован, ни использован для внесения регулирующих воздействий; при изменении $G_{п}$ в теплообменник будут поступать сильные возмущения. Температуры $t_{п}$ и $t_{т}'$, а также удельные теплоемкости $c_{п}$ и $c_{т}$ определяются технологическими режимами других процессов, поэтому стабилизировать их при ведении

процесса нагревания невозможно. К неликвидируемым возмущениям относится также изменение температуры окружающей среды и свойств теплопередающей стенки вследствие отложения солей, а также коррозии.

Анализ объекта управления показал, что большую часть возмущающих воздействий невозможно устранить. В связи с этим следует в качестве регулируемой величины брать температуру, а регулирующее воздействие осуществлять путем изменения расхода G_T .

Теплообменники как объекты регулирования температуры обладают большими запаздываниями, поэтому следует уделять особое внимание выбору места установки датчика и закону регулирования. Для уменьшения транспортных запаздываний датчик температуры необходимо помещать как можно ближе к теплообменнику. Для устранения запаздывания может быть эффективным применение регуляторов с предварением и исполнительных механизмов с позиционерами.

В качестве контролируемых величин следует принимать расходы теплоносителей, их конечные и начальные температуры, давления. Знание текущих значений этих параметров необходимо для нормального пуска, наладки и эксплуатации процесса. Расход G_T требуется знать также для подсчета технико-экономических показателей процесса, а расход G_H и температуру – для оперативного управления процессом.

Контролю и сигнализации подлежат температура и расход продукта. В связи с тем, что резкое падение расхода G_H может послужить причиной выхода из строя теплообменника, устройство защиты в этом случае должно перекрывать линию горячего теплоносителя.

Все рассуждения в отношении процесса нагревания справедливы и для процесса охлаждения. Объектом управления в этом случае будет являться кожухотрубный теплообменник, в который подается хладоноситель и охлаждаемый продукт; показателем эффективности – конечная температура продукта, а целью управления – поддержание этой температуры на заданном значении. Основным узлом управления будет регулятор конечной температуры охлаждаемого продукта, регулирование же будет осуществляться путем изменения расхода хладоносителя.

Типовое решение автоматизации перемещения твердых материалов (рис. 10.13). В качестве объекта управления процессом перемещения твердых материалов примем ленточный транспортер, перемещающий сыпучий материал. Показателем эффективности этого процесса является расход транспортируемого материала, а целью управления будем считать поддержание заданного значения расхода. В связи с тем, что все возмущения на входе в объект (изменение гранулометрического состава материала, его влажности и насыпной массы, проскальзывание ленты транспортера и т.п.) устранить невозможно, расход материала следует принять в качестве

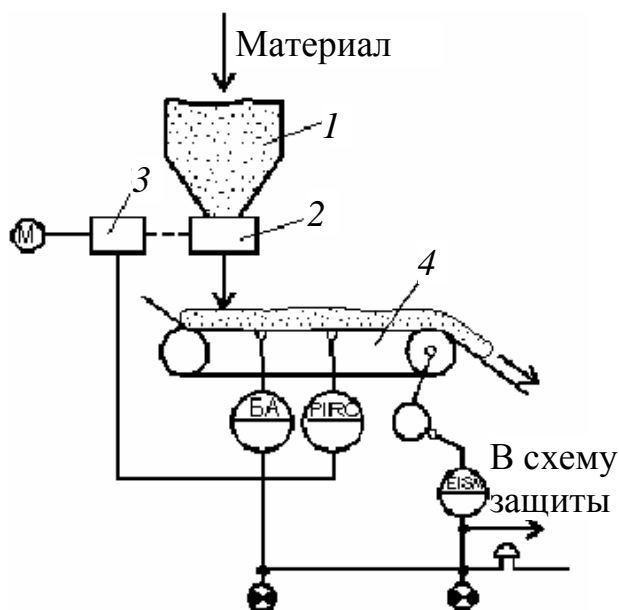


Рис. 10.13. Типовая схема автоматизации процесса перемещения сыпучих материалов:
 1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – вариатор;
 4 – ленточный транспортер

регулируемой величины и регулировать его корректировкой работы дозирующих устройств. Контролю подлежат расход перемещаемого материала и количество потребляемой приводом электроэнергии. При резком возрастании тока электродвигателя транспортера, например в случае заклинивания ленты, должны сработать устройства сигнализации и защиты. Последние отключают электродвигатель.

В связи с возможностью засорения отдельных участков транспортной системы посторонними включениями (комками, налипшим материалом) и опасностью выхода из строя отдельных элементов транспортера контролируется и сигнализируется также наличие

потока материала с помощью специального датчика.

Необходимо заметить, что типовые решения автоматизации ленточного транспортера при перемещении штучных грузов аналогичны, но в качестве регулируемой величины в этом случае следует принять число единиц груза в единицу времени, а регулирующее воздействие осуществлять корректировкой работы погрузочных устройств.

Глава 11

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

11.1. Основные принципы обнаружения пожара, принципы построения и размещения пожарных извещателей на объекте

11.1.1. Основные информационные параметры пожара и особенности преобразования их пожарными извещателями

Любой пожар сопровождается изменением характеристик окружающей среды, обусловленных развитием горения и возникновением конвективного теплового потока над его очагом. К таким характеристикам можно отнести: *повышенную температуру окружающей среды, дым и продукты горения, а также световое излучение пламени.* Автоматические пожарные извещатели сконструированы таким образом, чтобы реагировать на изменение одного или нескольких параметров пожара. В зависимости от вида контролируемого параметра они разделяются на *тепловые, дымовые, пламени (световые), газовые и комбинированные извещатели.* Автоматические пожарные извещатели преобразуют неэлектрические информационные параметры пожара в электрические сигналы, которыми достаточно свободно можно оперировать при переработке информации приемно-контрольными приборами. В соответствии с ГОСТ 12.2.047 автоматический пожарный извещатель – это устройство для формирования сигнала о пожаре, которое реагирует на факторы, сопутствующие пожару.

Приведем основные положения, необходимые для понимания взаимодействия извещателей с конвективной струей очага горения. Графическая модель процесса представлена на рис. 11.1. Изменения избыточной температуры в месте установки пожарного извещателя над источником тепла можно определить из выражения

$$t_{RH} = 20,5 \frac{Q_{\text{п}}^{0,67}}{H^{1,67}} \exp \left\{ -37,3 \left(\frac{R}{H} \right)^2 \right\}, \quad (11.1)$$

где $Q_{\text{п}}$ – теплопроизводительность пожара, кДж/кг; H – высота размещения теплового извещателя, м; R – расстояние от оси очага пожара до места установки извещателя, м.

Теплопроизводительность очага горения – величина, зависящая от ряда параметров:

$$Q_{\text{п}} = \eta F_{\text{п}} Q_{\text{н}} V_{\text{м}}, \quad (11.2)$$

где η – коэффициент химического недожога; $F_{\text{п}}$ – площадь пожара ко вре-

мени τ_i , м^2 ; Q_H – конвективный тепловой поток, кВт; V_M – массовая скорость выгорания, $\text{кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$.

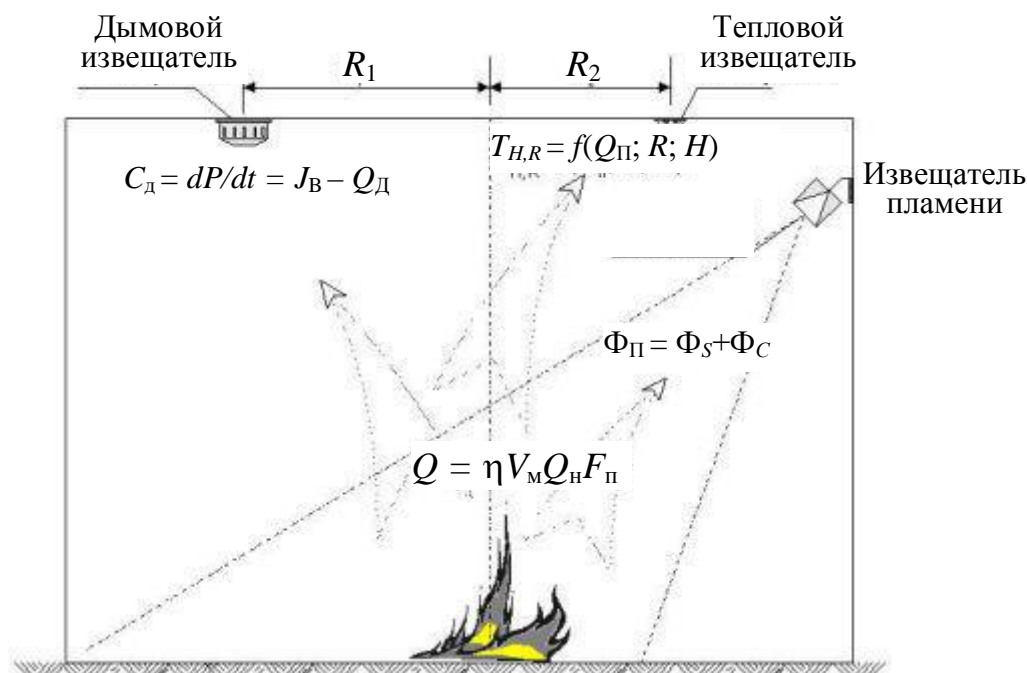


Рис. 11.1. Информационные характеристики пожара:
 C_d – концентрация дыма; $T_{H,R}$ – температура; Q_{II} – теплопроизводительность очага пожара; Φ_{II} – поток излучения очага пожара

Получив количественную оценку теплопроизводительности очага пожара, можно определить изменение температуры в любой точке помещения, что является необходимым для оптимизации размещения тепловых пожарных извещателей.

Зона контроля пожарной сигнализации (пожарных извещателей) – совокупность площадей, объемов помещений объекта, появление в которых факторов пожара будет обнаружено пожарными извещателями.

Дымовой пожарный извещатель срабатывает при достижении концентрации дыма в месте его установки, равной пороговому значению для данного извещателя. Дым — это совокупность твердых и жидких частиц, взвешенных в воздухе или другой газообразной среде. Частицы дыма в большинстве случаев очень малы (0,1 – 1,0 мкм). Под влиянием движения частицы в облаке дыма сталкиваются друг с другом и слипаются (коагулируют), а средний размер частиц при этом увеличивается. Видимый человеческим глазом дым – это частицы размером от 0,4 до 10 мкм и более. Концентрация дыма определяется массой частиц аэрозоля в измеряемом объеме и выражается в $\text{кг}/\text{м}^3$; числом частиц, содержащихся в 1 см^3 дыма, $n/\text{м}^3$; а также оптическими характеристиками: оптической плотностью D и

показателем ослабления светового потока a , проходящего в задымленной среде путь длиной L .

$$\begin{aligned} D &= \lg(I_0/I); \\ a &= 1/L \lg(I_0/I). \end{aligned} \quad (11.3)$$

где I_0 , I – интенсивность измерительного светового потока в чистой и задымленной среде, соответственно.

Исследования показали, что характерный размер частиц дыма зависит от материала, подвергающегося горению, и условий температурного (термического) воздействия. Пик максимальной концентрации дыма достигается при горении древесины и целлюлозосодержащих материалов: для частиц размером 0,45 – 0,50 мкм, для синтетических рулонных материалов на основе ПВХ – 1,5 мкм, для резины – 4,0 мкм, для ПСБС – 6,0 мкм. Распространение дыма в объеме защищаемого помещения происходит под влиянием конвективных потоков от очага пожара. Существует несколько математических моделей, описывающих этот процесс.

Очевидно, что процесс увеличения концентрации дыма будет зависеть от линейной и массовой скорости выгорания материалов, их свойств, характеризующих способность к дымообразованию, и расстояния до очага горения. При этом нарастание общей массы дыма P_d при пожаре в помещении описывается дифференциальным уравнением первого порядка:

$$\frac{dP_d}{dt} = V_m K_d F_n - Q_y C_d, \quad (11.4)$$

где K_d – коэффициент дымообразования, кг/кг; C_d – концентрация дыма, кг/м³; Q_y – количество удаляемого дыма, м³/с.

При круговом развитии очага пожара, характерном для большинства пожаров, изменение концентрации дыма в точке с координатами H и R определяется из выражения

$$C_d(H, R) = \frac{0,33 V_m V_d^2 K_d f t^3}{HR^2}, \quad (11.5)$$

где t – текущее время, с; H – высота расположения извещателя, м; R – расстояние от оси очага пожара до места установки извещателя, м; V_m – массовая скорость выгорания, кг/(м²·с); K_d – коэффициент дымообразования, кг/кг; V_d – линейная скорость горения, м/с; f – коэффициент неравномерности заполнения дымом объема помещения.

Часто в технической литературе при указании характеристики дымовых извещателей, в особенности оптико-электронных, используется понятие оптической плотности дыма, на которую реагирует дымовой извещатель. Эта величина в разных литературных источниках называется *удель-*

ной оптической плотностью или показателем ослабления светового потока a и имеет размерность $1/\text{м}$. Взаимосвязь данного параметра и концентрации дыма, выраженной в $\text{мг}/\text{м}^3$, была определена экспериментально (рис. 11.2) и представлена в виде аналитического выражения:

$$a = -0,0056 + 0,7 \cdot 10^{-3} C_{\text{д}} + 0,45 \cdot 10^{-5} C_{\text{д}}^2. \quad (11.6)$$

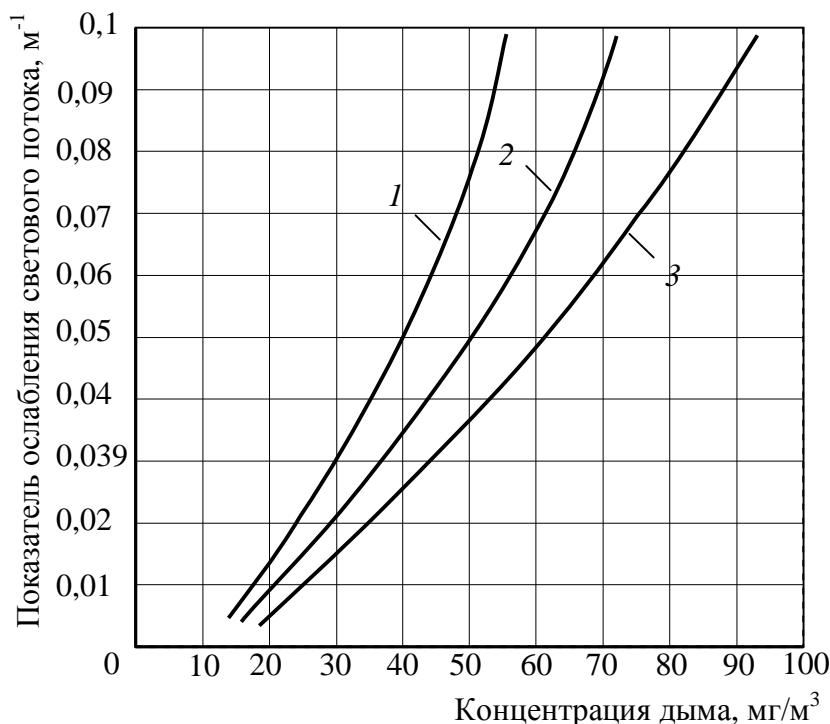


Рис. 11.2. Зависимость показателя ослабления светового потока от концентрации дыма:
1 – дым резины; 2 – дым ПВХ; 3 – дым древесины

Параметр a позволяет оценить такой опасный фактор пожара, как, например, потеря видимости в задымленной среде $L_{\text{вид}}$. В первом приближении можно записать:

$$L_{\text{вид}} = 1,698 / a. \quad (11.7)$$

Как показали эксперименты, конечная измеряемая величина a и связанная с ней величина $L_{\text{вид}}$ существенно зависят от длины волны источника светового излучения. Например, при одной и той же концентрации дыма $C_{\text{д}} = 35 \text{ мг}/\text{м}^3$, но для различного диапазона источника излучения (красный $\lambda = 0,61$; зеленый $\lambda = 0,55$; голубой $\lambda = 0,45$), показатель ослабления светового потока оказался равен 0,02; 0,038 и 0,123. Что соответствует видимости в задымленной среде 77,3; 44; и 13,8 м.

Любой пожар сопровождается электромагнитным излучением в оптическом диапазоне. Оптический диапазон излучения в зависимости от длины волны подразделяется на ультрафиолетовый (0,01 – 0,38 мкм), видимый (0,38 – 0,78 мкм) и инфракрасный (0,78 – 340 мкм).

Спектр излучения пламени содержит разный по интенсивности и диапазону состав, на который влияет большое количество факторов. На практике пламя обнаруживается на излучающем фоне, создаваемом естественным и искусственным освещением (рис. 11.3). Фоновое излучение имеет свой спектральный состав и интенсивность.

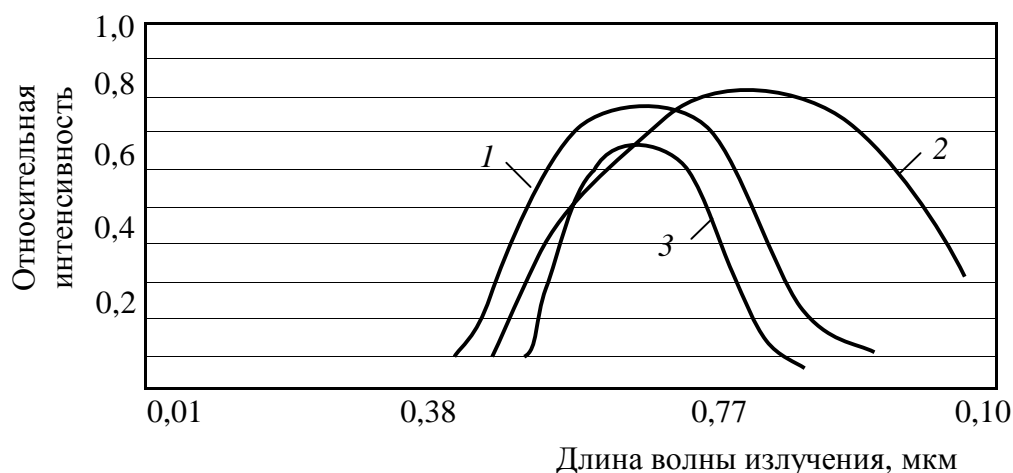


Рис. 11.3. Спектральные характеристики источников излучения:
 1 – естественное излучение; 2 – излучение ламп накаливания;
 3 – излучение ламп дневного света

Естественное освещение определяется спектром излучения солнца, прошедшего через атмосферу. В закрытых помещениях свет проходит через стекло, которое не пропускает УФ-излучения короче 0,33 мкм. Искусственное освещение, за исключением специальных светильников УФ-излучения, не имеет в спектральном составе ультрафиолетовой составляющей. Лампы накаливания имеют сплошной спектр. Поток регистрируемого приемником излучения Φ_r определяется величиной потока излучения, прошедшего непосредственно от источника пожара и рассеянного частицами дыма:

$$\Phi_r = \Phi_s + \Phi_c = \Phi_\tau [j^2 G_\tau G_z / 4\pi L^2] \exp(-pdL), \quad (11.8)$$

где L – расстояние между источником и приемником излучения; p – концентрация частиц; d – сечение поглощения частиц.

Чтобы создать оптимальную систему обнаружения пожара по оптическому излучению пламени, необходимо знать вид спектрального излучения и его интенсивность.

11.1.2. Основные показатели и структура пожарных извещателей

Для обеспечения эффективной работы системы автоматической пожарной сигнализации (АПС) необходимо определить влияющие на нее показатели пожарных извещателей. Номенклатура показателей состоит из нескольких групп (ГОСТ 4.188).

Показатели назначения:

чувствительность или *порог срабатывания* – минимальное значение величины контролируемого параметра, при которой происходит срабатывание автоматического пожарного извещателя (АПИ). Он измеряется в тех же единицах, что и контролируемый параметр.

инерционность срабатывания – постоянная времени, так ее называют в некоторых литературных источниках. Инерционность - это время с момента воздействия на чувствительный элемент АПИ контролируемого параметра, величина которого равна или превышает порог срабатывания и до момента выдачи сигнала АПИ.

контролируемая площадь – максимальная дальность действия, контролируемый объем. Для извещателей пламени в некоторых случаях также угол обзора.

К этой группе показателей может быть отнесен и такой параметр, как *время обнаружения пожара*. Соотношение показателей назначения и времени обнаружения пожара в графической интерпретации показано на рис. 11.4.

Показатели надежности:

средняя наработка на отказ, вероятность безотказной работы, вероятность возникновения отказа, приводящего к ложному срабатыванию и др. Все эти показатели характеризуют свойства безотказности и указываются в технической документации на изделия.

Кроме рассмотренных показателей, которые непосредственно влияют на эффективность систем АПС, есть еще ряд показателей, которые используют проектировщики и разработчики аппаратуры. К ним относятся: показатели экономного использования материалов, энергии; эргономические; эстетические; транспортабельности; технологичности; стандартизации и унификации; патентно-правовые; безопасности; экономические.

Совокупность представленных показателей позволяет судить о соответствии выпускаемых изделий требованиям российских и международных стандартов, производить сравнение пожарных извещателей, изготовленных в различных регионах, давать оценку оптимальности применения на конкретных объектах.

Пожарный извещатель предназначен для преобразования изменения параметров окружающей среды при возникновении пожара в сигнал, удобный для передачи по каналу связи на приемную станцию, где он может быть воспринят и расшифрован человеком.

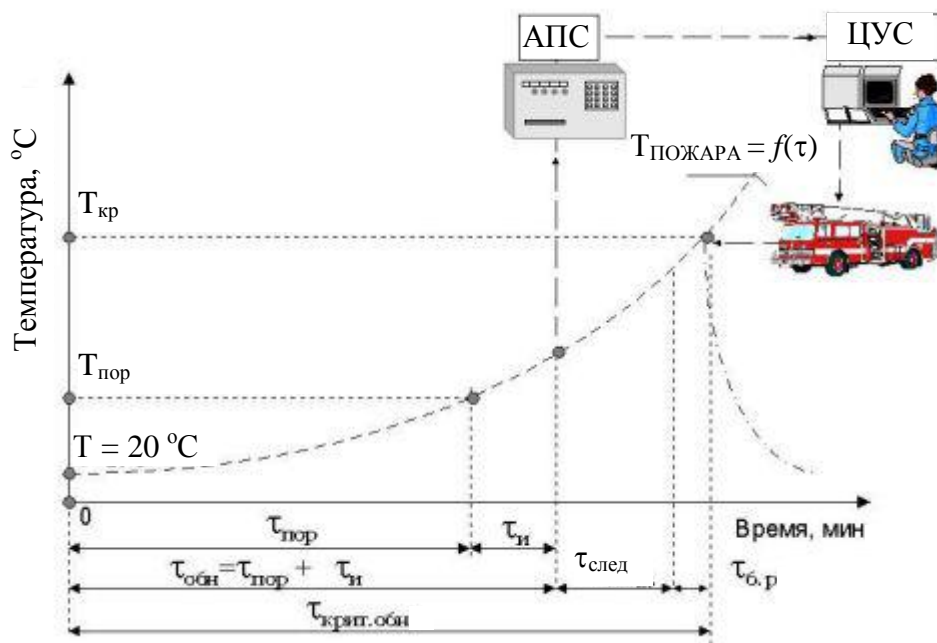


Рис. 11.4. Графическая модель функционирования системы АПС:

$T_{кр}$, $T_{пор}$ – критическая и пороговая температура; $\tau_{пор}$ – время достижения порога срабатывания АПИ; $\tau_{обн}$ – время обнаружения пожара, $\tau_{крит}$ – время достижения критической температуры; $\tau_{и}$ – инерционность пожарного извещателя; $\tau_{б.р}$ – время боевого развертывания; $\tau_{след}$ – время следования на пожар

Чувствительный элемент пожарного извещателя и система обработки сигнала преобразовывают контролируемый параметр в электрический сигнал, удобный для дальнейшей обработки и передачи.

Если пожарный извещатель преобразует входную величину без дополнительного источника энергии, то он называется *генераторным* (например, преобразование температуры окружающей среды в электродвижущую силу). Если для такого преобразования требуется дополнительный источник питания, то такой извещатель называется *параметрическим*. Очевидно, что параметрические извещатели выгодно отличаются от генераторных тем, что электрическая выходная величина может передаваться на значительные расстояния.

Весьма важной характеристикой извещателя является его чувствительность. Она характеризует способность извещателя реагировать на информационные параметры пожара и равна отношению приращения выходной величины к приращению входной величины извещателя. В АПИ рабочая точка выбирается таким образом, чтобы обеспечить нечувствительность к определенному значению параметра окружающей среды. Это делается в целях повышения уровня помехозащищенности и обеспечения надежности извещателя. Например, для тепловых пожарных извещателей, работающих на обрыв цепи, при достижении порога срабатывания рабочая точка выбирает-

ся равной 70 °С. Если ее выбрать равной температуре помещения или ниже ее, то извещатель будет выдавать ложные срабатывания.

Автоматические пожарные извещатели в зависимости от характера взаимодействия с информационными характеристиками пожара можно разделить на три группы.

1-я группа – *извещатели максимального действия*. Они реагируют на достижение контролируемым параметром порога срабатывания. Максимальный тепловой пожарный извещатель – пожарный извещатель, формирующий извещение о пожаре при превышении температуры окружающей среды установленного порогового значения – температуры срабатывания извещателя (по НПБ 85-00).

2-я группа – извещатели, которые реагируют на скорость нарастания контролируемого информационного параметра пожара. Такие извещатели называются *дифференциальными*. Таким образом, дифференциальный тепловой пожарный извещатель – пожарный извещатель, формирующий извещение о пожаре при превышении скорости нарастания температуры окружающей среды выше установленного порогового значения.

3-я группа – извещатели, которые реагируют и на достижение контролируемым параметром заданной величины порога срабатывания, и на его производную. Такие извещатели называются *максимально-дифференциальными*.

По способу обнаружения пожара автоматические пожарные извещатели можно разделить на *активные* и *пассивные*. В основу работы *активных извещателей* положен принцип заполнения защищаемого помещения определенным видом энергии. При пожаре в помещении фиксируется изменение создаваемого поля и выдается сигнал тревоги. *Пассивные точечные извещатели* реагируют на характерные информационные свойства очага пожара в месте установки извещателя. В зависимости от способа восприятия изменения контролирующих параметров извещатели бывают *точечные* и *линейные*. *Точечный пожарный извещатель* (дымовой, тепловой) – пожарный извещатель, реагирующий на факторы пожара в компактной зоне. *Линейный пожарный извещатель* (дымовой, тепловой) – пожарный извещатель, реагирующий на факторы пожара в протяженной, линейной зоне.

Адресный пожарный извещатель – пожарный извещатель, который передает на адресный приемно-контрольный прибор код своего адреса вместе с извещением о пожаре (по НПБ 58).

Автономный пожарный извещатель – пожарный извещатель, реагирующий на определенный уровень концентрации аэрозольных продуктов горения (пиролиза) веществ и материалов и, возможно, других факторов пожара, в корпусе которого конструктивно объединены автономный источник питания и все компоненты, необходимые для обнаружения пожара и непосредственного оповещения о нем (по НПБ 66).

В соответствии с действующими стандартами технические средства обнаружения пожарной сигнализации делятся на группы (рис. 11.5).

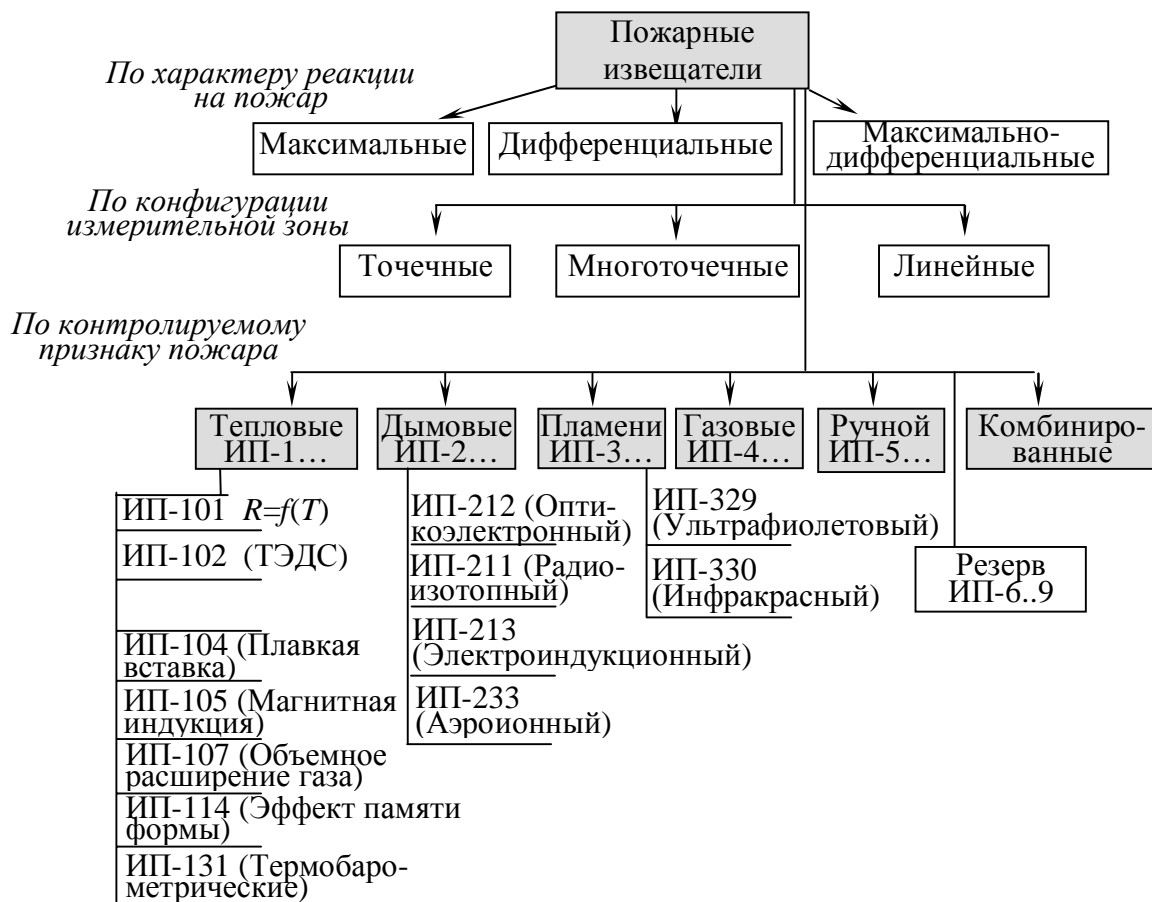


Рис. 11.5. Классификация технических средств обнаружения пожара

В системах охранно-пожарной сигнализации используются два типа извещателей в следующей классификации:

ИОП2. Линейные (оптико-электронные);

ИОП4. Объемные (оптико-электронные, ультразвуковые).

В представленной классификации буквенное обозначение пожарных извещателей ИП, у охранно-пожарных – ИОП. Далее в названии автоматических пожарных извещателей идет цифровое обозначение. Первая цифра (1,2,3, ...) всегда указывает на вид пожарного извещателя: тепловой, дымовой, извещатель пламени, ручной извещатель; остальные цифры в типаже указывают на принцип действия, порядковый номер разработки и модернизации.




















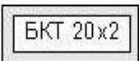
Комбинированный пожарный извещатель – пожарный извещатель, реагирующий на два или более фактора пожара.

При экспертизе проектов работники ГПС используют условные обозначения составляющих элементов и приборов АПС, определяемых

ГОСТом, руководящими документами, принятыми в отечественной и зарубежной практике проектирования (табл. 11.1).

Таблица 11.1

Условные обозначения приборов автоматической пожарной сигнализации

Наименование	Обозначение
Приемно-контрольный прибор (прибор управления)	 ARK
Пульт централизованного наблюдения	 ARK
Извещатель пожарный тепловой с указанием кода, номера шлейфа и порядкового номера	 BTK 2.5
Извещатель пожарный дымовой с указанием кода, номера шлейфа и порядкового номера	 BTH 1.9
Извещатель пожарный ручной с указанием кода, номера шлейфа и порядкового номера	 BTM 3.1
Извещатель пожарный дымовой линейный (излучатель и приемник) с указанием кода, номера шлейфа и порядкового номера	 BTHL 18.2  BTHR 17.3
Извещатель пожарный пламени с указанием кода, номера шлейфа и порядкового номера	 BTF 23.3
Извещатель охранно-пожарный ультразвуковой с указанием кода, номера шлейфа и порядкового номера	 BKFI 4.1
Оконечное устройство	 ZC
Промежуточный исполнительный орган	
Кодирующее устройство (шифроустройство)	
Датчик контактный	 SQ
Световой указатель, сирена сигнальная	 HL  HA
Кнопка дистанционного управления	
Отражатель дымового линейного извещателя	
Провода, кабели	
Коробка распределительная КРТН-10, коробка соединительная КС-20	 
Бокс коммутационный БКТ 20×2	

11.1.3. Конструктивные особенности современных типов пожарных извещателей

Тепловые пожарные извещатели

Тепловой пожарный извещатель – пожарный извещатель, реагирующий на определенное значение температуры и (или) скорости ее нарастания. Принцип действия тепловых пожарных извещателей заключается в изменении свойств чувствительных элементов при изменении температуры. По конфигурации измерительной зоны тепловые ПИ подразделяются на *точечные, многоточечные и линейные*.

Существуют следующие типы тепловых пожарных извещателей:

ИП-101 – с использованием зависимости изменения величины термосопротивления от температуры контролируемой среды;

ИП-102 – с использованием возникающей при нагревании ТЭДС;

ИП-103 – с использованием линейного расширения тел;

ИП-104 – с использованием плавких или сгораемых вставок;

ИП-105 – с использованием зависимости магнитной индукции от температуры.

Выполнены теоретические проработки возможности использования в средствах обнаружения пожара (по параметру температуры) эффекта Холла (ИП-106), объемного расширения газа (ИП-107), сегнетоэлектриков (ИП-108), зависимости модуля упругости от температуры (ИП-109), резонансно-акустических методов (ИП-110), комбинированных методов (ИП-111), эффекта "памяти формы" (ИП-114), термобарометрических изменений (ИП-131) и др.

Извещатель пожарный ИП-101. Извещатель представляет собой автоматическое термоэлектрическое устройство, осуществляющее электрическую сигнализацию и оптическую индикацию повышения температуры в защищаемом помещении. ИП-101-2 – максимально-дифференциальный извещатель – срабатывает при достижении заданного порога срабатывания и в случае быстрого нарастания температуры. Температура срабатывания $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Инерционность срабатывания 60 с.

В основу работы извещателя положена зависимость величины термосопротивления (чувствительного элемента) от температуры $R = f(T)$. Основными узлами и элементами схемы являются терморезисторный делитель напряжения, компаратор напряжений, узел памяти (рис. 11.6).

В дежурном режиме все транзисторы извещателя закрыты. Проводимость мала и равна сумме проводимостей делителя $R1-R6$. Ток делителей формирует на стабилаторах $VD1, VD2$ напряжения, запирающие транзисто-

ры $VT3$, $VT4$ узла памяти, обеспечивая помехоустойчивость извещателя. При медленном повышении температуры сопротивления $R1$ и $R2$ уменьшаются пропорционально друг другу.

Напряжение на резисторе $R3$ и в точке соединения $R1$, $R2$ медленно растет и при достижении температуры 60°C становится достаточным для открывания транзисторов компаратора (и включения узла памяти).

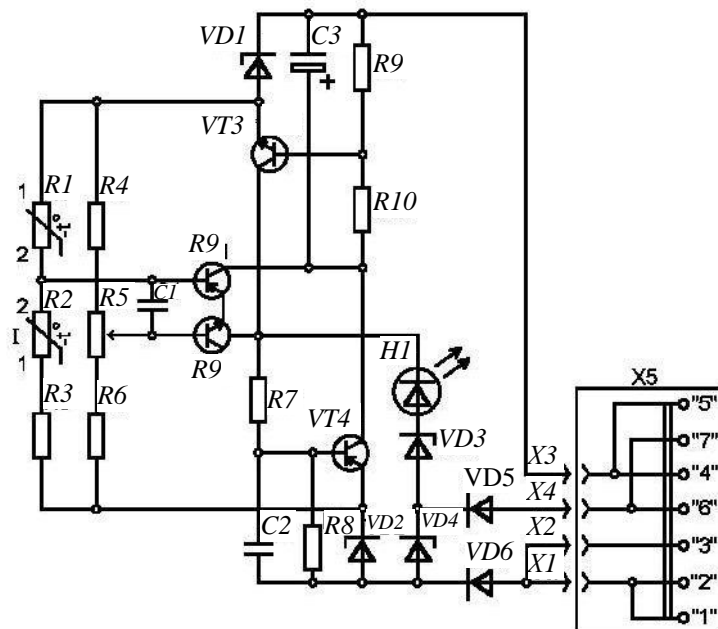


Рис. 11.6. Электрическая схема ИП-101

Извещатель срабатывает по максимальному каналу. При быстром повышении температуры сопротивление терморезистора $R2$ не успевает уменьшиться, напряжение в точке соединения резисторов $R1$, $R2$ достигает порога открывания транзисторов компаратора напряжения $VT1$, $VT2$ при температуре ниже температуры срабатывания. Извещатель срабатывает по дифференциальному каналу. Стабистор $VD4$ и развязывающий диод $VD5$ обеспечивают возможность работы нескольких извещателей с одним групповым выносным устройством оптической индикации срабатывания. Существуют извещатели и с другими электронными схемами.

Извещатели пожарные тепловые бесконтактные максимального действия ИП-101-20/1-70, ИП-101-20/1-62, "МАК-1Т" с номинальной пороговой температурой срабатывания 70 или 62°C являются восстанавливаемыми, контролируемые изделиями многократного действия и предназначены для применения в составе автоматических установок пожарной сигнализации для обнаружения загораний, сопровождающихся повышением температуры в закрытых помещениях.

В извещателях "МАК-1Т" применен в качестве теплочувствительного элемента специальный пленочный малоинерционный терморезистор с ре-

лейной температурной характеристикой, обладающий скачкообразным изменением сопротивления (проводимости) не менее чем на три порядка при температурах 70 и 62 °С соответственно. Извещатель имеет встроенный оптический индикатор срабатывания и формирует тревожное извещение о пожаре при достижении в защищаемом помещении температуры, соответствующей пороговой температуре срабатывания извещателя, путем скачкообразного снижения его внутреннего сопротивления, которое не зависит от величины напряжения в шлейфе, в пределах от 3 до 30 В. Извещатели могут включаться в шлейфы любых пожарных и охранно-пожарных приемно-контрольных приборов, таких, как ППК-2, "Топаз", "АРГУС", "ЛИ-ГАРД" и др.

Для защиты взрывопожароопасных помещений (категории помещений А и Б по НПБ 105), а также для установки во взрывоопасных зонах всех категорий (по классификации ПУЭ) извещатели выпускаются в специальном конструктивном исполнении (с дополнительной защитной крышкой и маркировкой "ИБ"). Указанные извещатели, установленные во взрывоопасных помещениях и зонах, необходимо включать только в искробезопасную цепь-шлейф пожарных или охранно-пожарных приемно-контрольных приборов (типа "КОРУНД-1И", Прибора УПКОП135-1-1 "Искробезопасная цепь" и др.).

Разновидностью полупроводниковых извещателей, основанных на изменении электрических параметров полупроводника при его нагревании является термочувствительный кабель (ТЧК). Он представляет собой гибкий коаксиальный провод из нержавеющей стали с наружным диаметром 1,5 – 3 мм. Внутри оболочки проложен стальной проводник. Между оболочкой и проводником проложен полупроводниковый состав с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления:

$$R_t = A \exp(B/T)/L, \quad (11.9)$$

где A – постоянная, зависящая от материала изоляции, Ом/см; B – коэффициент, характеризующий температурную чувствительность кабеля, °С; L – длина кабеля, м.

При нагревании кабеля в любом месте изменяется его сопротивление. Такое изменение электрических параметров чувствительных полупроводниковых элементов преобразуется электронной схемой в сигнал тревоги. Примером такого устройства является линейная система сигнализации *Alarmline LHD 4* (рис. 11.7) фирмы "KIDDE". Устройство обнаружения пожара имеет сенсорную длину чувствительного элемента 300 м (максимальная длина 1,5 км), слабо чувствительного по отношению к механическим и химическим воздействиям, коррозии, влажности, пыли и пригодного для применения во взрывоопасных зонах. Данная система состоит из двух компонентов: сенсорной линии и блока обработки результатов изме-

рения. *Сенсорная линия системы* состоит из четырех медных проводов. Они покрыты материалом цветного кодирования с отрицательным температурным коэффициентом и имеют огнестойкую наружную оболочку. Провода сенсорной линии в конце соединяются друг с другом и герметически уплотняются таким образом, что возникают две петли. Обе петли постоянно контролируются. Разрыв или короткое замыкание вызывают аварийный сигнал в блоке обработки результатов.

При повышении температуры изменяется электрическое сопротивление между обеими петлями; с повышением температуры сопротивление уменьшается. Это изменение распознается *блоком обработки результатов*, который при превышении установленной температуры реагирования включает аварийный сигнал.

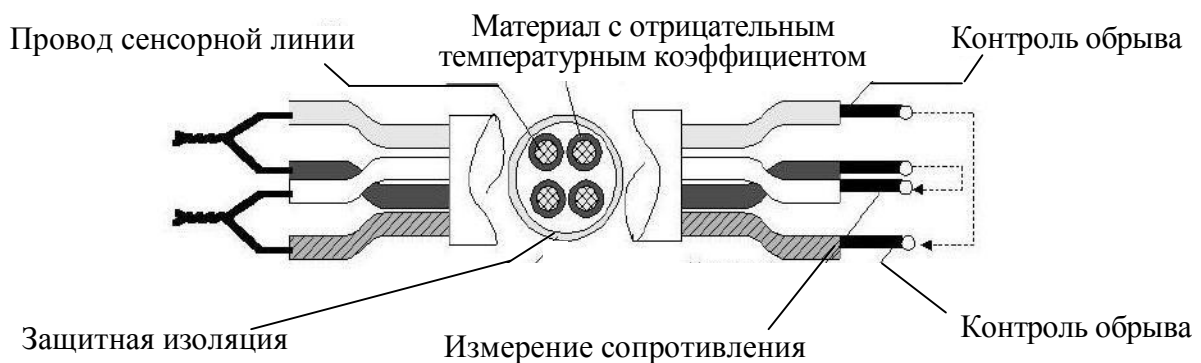


Рис. 11.7. Линейный тепловой извещатель

К тепловому линейному извещателю относится используемый в нашей стране детектор *PHSC* фирмы "*Protectowire*", который состоит из двух проводников, каждый из которых покрыт материалом, чувствительным к нагреву. Проводники скручены вместе для создания внутреннего напряжения между ними, покрыты защитной пленкой и закрыты внешней оболочкой для того, чтобы выдерживать воздействия окружающей среды. При монтаже прибор подсоединяется к одному концу проводников таким образом, что при подключении питания через детектор и цепь управления проходит небольшой контрольный ток. При критической температуре (принятой равной 68, 88 и 138 °С) чувствительный к нагреву материал становится пластичным под давлением скрученных проводников, и они замыкаются. Этот процесс происходит в точке нагрева в любом месте по длине детектора.

Применение линейного теплового извещателя наиболее эффективно в кабельных каналах, электроподстанциях, высокостеллажных складах, морских судах, ангарах, фальшполах компьютерных залов (табл. 11.2). Линейный детектор точно определяет местонахождение точки перегрева в любом

месте этих сооружений, а также выдерживает агрессивное воздействие окружающей среды. Линейный извещатель подключается через интерфейсный модуль типа РІМ-93 к приемно-контрольному прибору.

Таблица 11.2

Основные типы извещателей

Тип извещателя	Максимальная рабочая температура, °С	Температура срабатывания, °С	Условия эксплуатации
<i>PHSC-155</i>	37,8	68,3	Нормальные
<i>PHSC-195</i>	65,6	87,8	Нормальные
<i>PHSC-280</i>	93,3	137,8	Нормальные
<i>PHSC-155EPC</i>	37,8	68,3	В промышленности
<i>PHSC-280EPC</i>	93,3	137,8	В промышленности
<i>PHSC-190EPN</i>	65,6	87,8	Агрессивная среда
<i>PHSC-280EPN</i>	93,3	137,8	Агрессивная среда

Извещатель монтируется непрерывными участками без отводов и разветвлений. Максимальная длина извещателя ограничивается лишь электрическими параметрами контрольной аппаратуры и составляет около 1000 м.

Импортные термочувствительные кабели относительно дороги, не согласуются с отечественными приёмно-контрольными приборами, восприимчивы к электромагнитным наводкам.

В связи с вышеизложенным представляет интерес использование в системах пожарной сигнализации волоконно-оптических световодов.

Первые сведения об использовании за рубежом волоконно-оптических световодов в качестве термодатчиков появились в 70-х гг. прошедшего столетия. Датчики рекомендовалось применять в тех случаях, когда традиционные термопреобразователи подвержены влиянию микро- и высокочастотных волн, вихревых токов и т.д.

В середине 90-х гг. в США были внедрены волоконно-оптические линейные тепловые датчики различных наименований и принципов действия. Самым известным является датчик типа «Оптический с измерением коэффициента отражения методом совмещения прямого и отраженного испытательных сигналов» (Optical Time Domain Reflectometry, OTDR), работающий по принципу измерения процентного соотношения обратного рассеяния излучения по длине извещателя. Высокая стоимость микроспроцессорных управляющих устройств в данном извещателе существенно ограничивает их область применения.

Достижения последних лет в области создания волоконно-оптических датчиков позволили институту «Гипроуглеавтоматизация» Комитета по угольной промышленности при Министерстве топлива и

энергетики РФ комплексно подойти к созданию и организации производства волоконно-оптических тепловых линейных пожарных извещателей и систем сигнализации, которые обладают:

- невосприимчивостью к электромагнитным полям;
- пожаро- и взрывозащищенностью;
- электробезопасностью;
- отсутствием ложных срабатываний;
- встроенной самодиагностикой состояния системы;
- простотой монтажа на объекте;
- малыми эксплуатационными расходами;
- высокой чувствительностью и стабильностью работы.

Принцип работы следующий: в волоконно-оптический кабель посылается световой импульс. При отсутствии заметных температурных градиентов вдоль кабеля импульс отражается от конца световода и возвращается через время, определяемое двойной длиной световода. При наличии температурных изменений на любом участке световода часть энергии светового импульса отражается на другой длине волны. Регистрируя по принципу радиолокации время возврата импульса, определяется координата аномалии. Измеряя амплитуду сигнала отраженного импульса на смещенной частоте, определяется температура в месте аномалии и ее градиент.

Измеряемыми параметрами являются:

- превышение градиента нарастания температуры по отношению к некоторой заданной величине;
- абсолютное значение температуры в любом месте на длине волоконно-оптического кабеля;
- координата места температурной аномалии.

Монтаж системы сводится к прокладыванию кабеля внутри и вне объекта и подключению его к блоку управления и регистрации. Это существенно упрощает монтаж системы противопожарной защиты, экономя множество медных проводов.

В настоящее время данная волоконно-оптическая система пожарной сигнализации успешно эксплуатируется по защите угольных конвейеров на шахтах Кузбаса.

Извещатель ИП-102. Извещатель предназначен для подачи сигнала о скачкообразном изменении температуры окружающей среды. Извещатель относится к числу генераторных. В качестве чувствительного элемента имеет батарею из термопар. Извещатель дифференциального действия. Электрическая схема представлена на рис. 11.8. При скачкообразном изменении температуры малоинерционные спаи быстро нагреваются за счет большей площади поверхности, а температура инерционных (обычных) спаев повышается значительно медленнее, т.е. спаи имеют разную темпе-

ратуру, за счет чего возникает ТЭДС. Возникновение ТЭДС обусловлено интенсивным переходом свободных электронов при изменении температуры концов термопар. Электрод из материала с электронной проводимостью (более нагретый конец) приобретает положительный потенциал, а электрод из материала с дырочной проводимостью – отрицательный. Возникающая ТЭДС равна:

$$E_t = a_{cp} (T_p - T_{cb}), \quad (11.10)$$

где a_{cp} – среднее значение коэффициента ТЭДС электродов, В/°С; T_p, T_{cb} – температура рабочего и свободного спаев.

Извещатель ИП-102 (торговое название ДПС-038) применяют во взрывоопасных помещениях классов В-1а, В-1б, В-1г, В-П, В-Па согласно ПУЭ. Защищаемая площадь до 30 м². Инерционность срабатывания до 7 с.

Модификацией извещателя ИП-102 является автоматический пожарный извещатель ДПС-1АГ. Он также относится к группе дифференциальных. Чувствительным элементом у него служит батарея из 8 хромель-копелевых термопар, соединенных последовательно. При резком повышении температуры окружающей среды в датчиках появляется ТЭДС и выдается сигнал на исполнительный блок БИ-2АЮ. Система срабатывает при нарастании температуры со скоростью не ниже 25 °С/с и одновременном нагревании трех извещателей не выше 150 °С.

Для защиты протяженных объектов, кабельных каналов, взрывоопасных помещений применяется извещатель пожарный тепловой многоточечный ИП-102-2х2. В конструкции чувствительного элемента извещателя используется комплект термопар, равномерно распределенных по длине на расстоянии до 150 м (на один блок сопряжения (БС)).

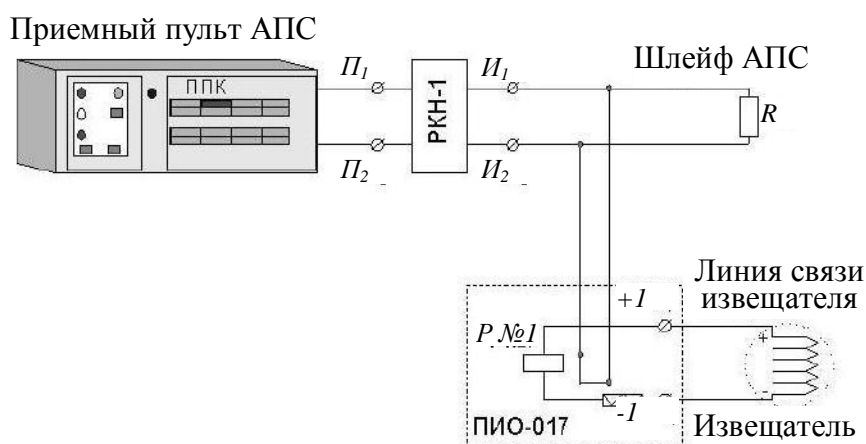


Рис. 11.8. Схема включения ДПС-038 в приемную аппаратуру

Шлейф АПС – искробезопасная цепь. Извещатель выпускается в термостойком (до +130 °С) исполнении и с механической защитой провода.

Порог срабатывания по скорости роста температуры 5 и 10 °С/мин. Инерционность 30 – 180 с.

Извещатель ИП-103. Извещатель предназначен для защиты резервуаров с ЛВЖ и ГЖ (ИП-103-1). Температура срабатывания по двум каналам извещателя от 70 до 140 °С. Извещатель состоит из чувствительного элемента, защитной (вводной) коробки с крышкой и уплотнительных прокладок. Он устанавливается на резервуаре с помощью специального фланца с резьбой. Чувствительный элемент выполнен в виде двух биметаллических датчиков, настроенных на температуру срабатывания 140 °С. Чувствительный элемент крепится к вводной коробке и помещается в защитную втулку, выполненную из коррозионностойкой стали. Извещатель имеет взрывобезопасный уровень взрывозащиты типа "взрывонепроницаемая оболочка", маркировку по взрывозащите IExd11AT3. При нагревании биметаллическая пластина изгибается и разрывает контакт электрической сигнализации. Инерционность извещателя не превышает 60 с.

Для защиты взрывоопасных помещений, объектов с агрессивной средой также применяется извещатель ИП-103-2 (ТРВ-2). Нормальная работа извещателя (рис. 11.9) гарантируется при температуре окружающей среды от -30 до + 50 °С и относительной влажности воздуха до 98 %.

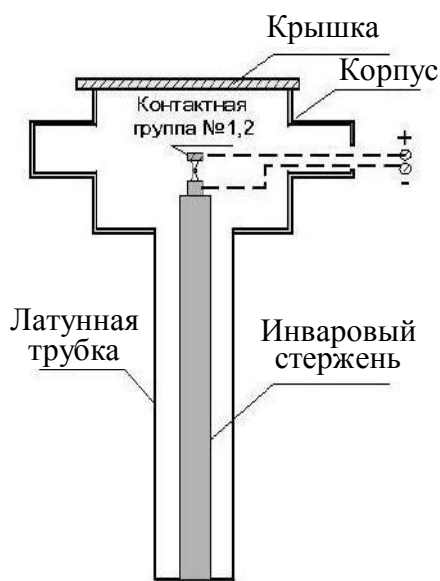


Рис. 11.9. Конструкция извещателя ИП-103-2 (ТРВ)

Принцип действия извещателя основан на различии коэффициентов линейного расширения латунной трубки и инварового стержня, находящегося внутри нее. Извещатель имеет две контактные группы, которые обеспечивают срабатывание ИП при температурах 70 и 120 °С с инерционностью не более 60 с. Окружающая среда может содержать взрывоопасные смеси газов с воздухом категорий Па и Пб и групп Т1-Т4.

Взрывозащищенность извещателя достигается за счет заключения электрических частей во взрывонепроницаемую оболочку, которая выдерживает давление взрыва и исключает его передачу в окружающее пространство.

К этой же группе устройств относится автоматический биметаллический максимально-дифференциальный извещатель типа МДПИ-028. Чувствительным элементом извещателя являются две биметаллические спирали Архимеда, одна из которых расположена в закрытой камере, другая – в открытой. При быстром изменении температуры окружающей среды ($V=30$ °С/мин) извещатель срабатывает как дифференциальный. При этом открытая спираль

прогревается быстрее, чем закрытая, разрывая контактную группу. При медленном повышении температуры обе спирали прогреваются одинаково и извещатель срабатывает как максимальный при достижении порога срабатывания 70 или 90 °С. Инерционность извещателя составляет 120 с.

Для защиты производственных помещений используется извещатель тепловой ИП-103-4/1. В извещателе в качестве чувствительного элемента используется миниатюрное термореле. Благодаря высокой надежности, относительно небольшой стоимости эта разработка в различных модификациях нашла широкое применение для защиты объектов народного хозяйства.

Извещатель ИП-104. Извещатель тепловой легкоплавкий длительное время широко применялся благодаря простоте конструкции и возможности подключения в установки охранно-пожарной сигнализации. Извещатель разового действия, неремонтируемый. В качестве чувствительного элемента применены две подпружиненные металлические пластины, соединенные сплавом Вуда, с температурой плавления 70–74 °С. При нагревании сплав расплавляется и пружинящие контактные пластины размыкают цепь сигнализации.

К недостаткам извещателя следует отнести старение сплава в течение длительного времени эксплуатации, а значит, увеличения его инерционности, невозможность проведения проверки работоспособности непосредственно контактной группы.

Извещатель тепловой магнитный ИП-105. Извещатель пожарный тепловой магнитный ИП-105-2/1 (ИТМ) предназначен для работы в закрытых помещениях наземных объектов и рассчитан на непрерывную круглосуточную работу. Применяется в установках пожарной и охранно-пожарной сигнализации, воспринимающих сигнал о размыкании шлейфа сигнализации. Чувствительным элементом извещателя является геркон с закрепленной на нем магнитной системой, состоящей из постоянного магнита и никель-цинковых ферритов (рис. 11.10). При нормальных условиях геркон под действием продольного магнитного поля, образуемого постоянными магнитами и стабилизируемого ферритами, замкнут.

Сила притяжения пластин F_m определяется величиной магнитного потока Φ в зазоре разомкнутого магнитного контакта и площадью соприкосновения S_{Π} .

$$F_m = \Phi^2 / 8\mu S_{\Pi}. \quad (11.11)$$

При повышении температуры окружающей среды до 70 °С магнитная проницаемость ферритов резко падает, что ведет к ослаблению магнитного поля и размыканию контактов.

Исчезновение магнитных свойств ферритов при достижении температуры в "точке Кюри" объясняется тем, что энергия теплового движения становится больше, чем энергия ориентирующего внутреннего молекулярного поля. Температурный коэффициент магнитной проницаемости B определяется по изменению проницаемости материала в зависимости от изменения его температуры по формуле

$$B = (m_2 - m_1) / \{m_1(t_2 - t_1)\}, \quad (11.12)$$

где m_1, m_2 – магнитная проницаемость материала при температуре t_1, t_2 .

Извещатель устанавливается в помещениях и на элементах конструкций, не имеющих собственного магнитного поля. Температура срабатывания извещателя 70 °С. Инерционность срабатывания до 120 с.

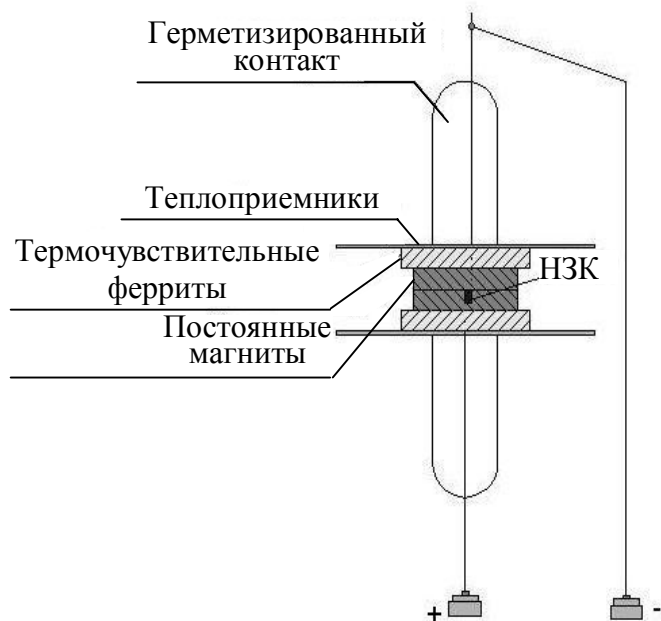


Рис. 11.10. Извещатель пожарный тепловой магнитный ИП-105-2/1 (ИТМ)

Эффективная инженерная разработка предложена фирмой «FITICH - ECURITON» для защиты протяженных объектов и помещений с помощью тепловых пожарных извещателей линейного типа «TRANSAFE ADW511» (ИП-107 по российской классификации). Извещатель максимально-дифференциальный предназначен для использования во взрывоопасных зонах и помещениях с агрессивной средой.

«TRANSAFE ADW511» состоит из мембранного датчика давления с электронным блоком обработки сигнала, к которому

подключена медная измерительная трубка, выполняющая роль термочувствительного элемента. Принцип действия основан на увеличении объема газа (воздуха) в чувствительном элементе (ЧЭ) – медной сенсорной трубке диаметром $D = 4/5$ мм (внутренний/наружный диаметр) и в герметичной пневмосистеме с последующим фиксированием увеличения давления датчиком контроля типа ADW511 с программным обеспечением. Чувствительный элемент (сенсорная трубка) имеет длину от 20 до 130 м. Для удобства монтажа и технического обслуживания системы пожарной сигнализации рекомендуется подвеска ЧЭ с использованием крепежных хомутов и скользящих скоб. Подключение извещателя осуществляется к приемному пульту серии BMZ 345 или «SecuriPro» («SECURITON»).

Система обнаружения очага пожара особенно эффективна на объектах с экстремальными условиями работы (загазованность, загрязненность, низкие или высокие температуры, взрывоопасность, химическая активность и т.д.). «*TRANSAFE ADW511*» можно успешно использовать также для защиты протяженных туннелей метро, кабельных каналах, складах ЛВЖ и химикатов.

Дымовые пожарные извещатели

В начальной стадии пожара, когда имеет место процесс медленного горения с выделением большого количества дыма, наиболее эффективным является применение дымовых извещателей.

Дымовой пожарный извещатель (ДПИ) – пожарный извещатель, реагирующий на частицы твердых или жидких продуктов горения и (или) пиролиза в атмосфере (по НПБ 65).

По конфигурации измерительной зоны дымовые ДПИ подразделяются на *точечные* и *линейные*. По принципу действия существует два типа извещателей: *ионизационные* и *оптико-электронные (фотоэлектрические)*. Дымовые ионизационные ПИ подразделяются на радиоизотопные и электроиндукционные.

Дымовой ионизационный (радиоизотопный) извещатель – пожарный извещатель, принцип действия которого основан на регистрации изменений ионизационного тока, возникающих в результате воздействия на него продуктов горения.

Радиоизотопные ДПИ в качестве чувствительного элемента имеют дымовую камеру с размещенными в ней двумя электродами (анодом и катодом) и капсулы с радиоактивным элементом (плутоний Pu или америций Am). В дежурном режиме воздух в камере ионизирован и между электродами возникает электрический ток $I_{и}$. Работа ионизационной камеры показана на рис. 11.11.

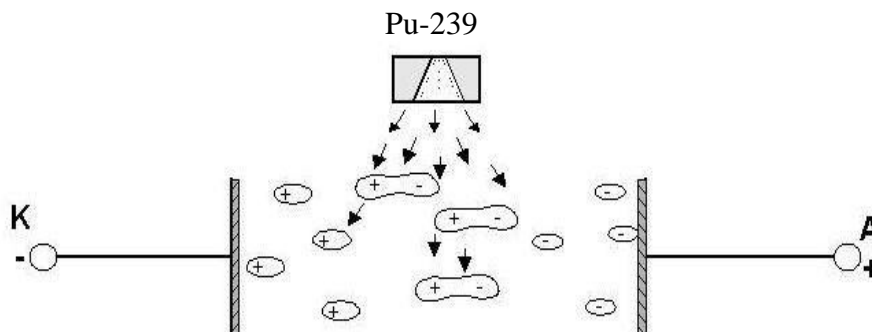


Рис. 11.11. Работа радиоизотопной камеры

При попадании в камеру частиц дыма ионизация уменьшается и ток между электродами пропадает. Блок обработки сигналов регистрирует изменение тока и вырабатывает сигнал "Пожар". Вольтамперная характеристика радиоизотопной камеры, полученная при постоянной интенсивности излучения радиоактивного элемента, показывает наличие трех основных участков.

Физическая сущность явлений, происходящих в радиоизотопной камере и выражающихся вольтамперной характеристикой (рис. 11.12), объясняется процессами рекомбинации ионов (образование нейтральных молекул из ионизированного газа при столкновении его частиц).

При увеличении напряжения на электродах ионизационной камеры от 0 до U_1 происходит увеличение тока в цепи (участок 1). На этом участке существенное значение для рекомбинации имеет скорость движения ионов, которая зависит от величины напряжения.

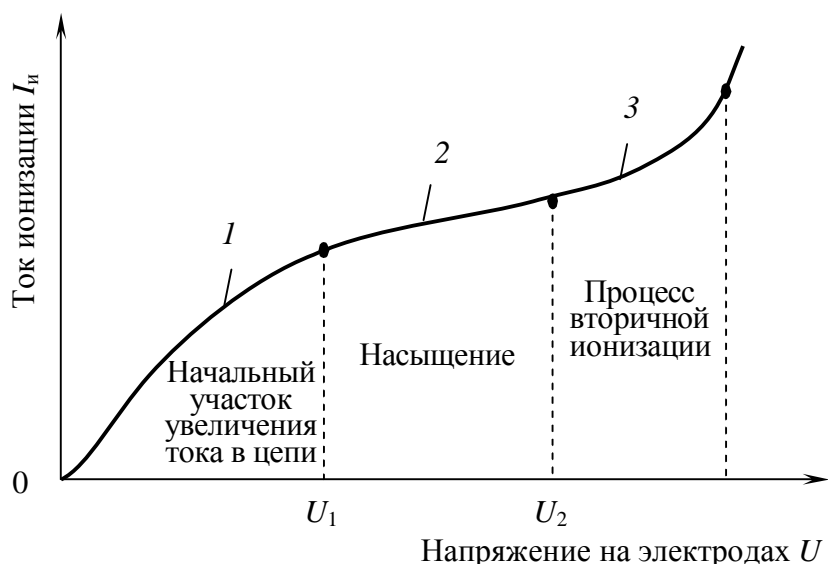


Рис. 11.12. Вольтамперная характеристика радиоизотопной камеры

С увеличением напряжения уменьшается число рекомбинирующих ионов. При достаточно высоких напряжениях (участок 2) вероятность столкновения ионов становится настолько малой, что практически можно считать, что все образующиеся в газе ионы достигают электродов и дальнейшее повышение напряжения не вызывает увеличения тока. Наступает явление насыщения. При дальнейшем повышении напряжения происходит резкое увеличение силы тока — это объясняется не только внешней ионизацией (от радиоактивного источника), но и вторичным процессом ионизации под действием ударов электронов и ионов о нейтральные молекулы (участок 3). Наибольшее распространение получили двухкамерные радиоизотопные измерители, состоящие из открытой и закрытой камер. В открытую камеру

свободно поступают продукты сгорания, закрытая камера предназначена для компенсации влияния окружающей среды (температуры, давления, влажности). При отсутствии дыма изменение параметров окружающей среды происходит медленно и компенсационная камера изменяет свои параметры аналогично измерительной камере. При пожаре дым попадает в камеру и на управляющем электроде происходит изменение напряжения в результате скачкообразного изменения ионизационного тока. Электронная измерительная схема преобразует это изменение в сигнал тревоги.

Оптико-электронные извещатели разработаны на основе использования оптических свойств дыма. Дымовой оптический пожарный извещатель – пожарный извещатель, реагирующий на продукты горения, которые воздействуют на поглощающую или рассеивающую способность излучения в инфракрасном, ультрафиолетовом или видимом диапазонах спектра (по НПБ 65).

Контролируя изменение оптических свойств среды, дым можно обнаружить двумя способами: по ослаблению светового потока (оптико-электронные – за счет уменьшения прозрачности окружающей среды) и по интенсивности отраженного (рассеянного) светового потока частицами (фотоэлектрические ДПИ), из которых состоит дым. В первом случае ослабление светового потока происходит по закону Бугера – Ламберта:

$$\Phi = \Phi_0 \exp(-kL), \quad (11.13)$$

где Φ , Φ_0 – световой поток, выходящий из источника света и достигший приемника; k – коэффициент пропорциональности (поглощения); c – концентрация дыма; L – расстояние между излучателем и фотоприемником ДПИ.

Ослабление светового потока дымом зависит от свойств частиц дыма и от длины волны применяемого источника светового излучения. При фиксированном пороге срабатывания фотолучевых (линейных) извещателей по оптической плотности среды их чувствительность или обнаружительная способность с увеличением расстояния L (в пределах паспортных данных) будет возрастать. Во втором случае соотношение между первичным Φ_0 и вторичным потоками света

$$\Phi = \Phi_0 kNV/\lambda^4(1 - \cos \beta), \quad (11.14)$$

где N – число частиц дыма в его объеме дыма; V – объем частиц; β – угол рассеяния; λ – длина волны.

Оптико-электронный извещатель, работа которого основана на изменении интенсивности отраженного (рассеянного) светового потока частицами дыма, называется *точечным*.

В дымовой камере размещается источник светового излучения и фотоприемник под таким углом, чтобы индикатриса рассеяния падающего светового потока попадала на чувствительную площадь фотоприемника. Расположение фотодиода и светодиода под углом друг к другу в горизон-

тальной плоскости облегчает доступ дыма и, следовательно, существенно увеличивает чувствительность извещателя. Для повышения уровня помехозащищенности фотодиода от внешних источников света используется схема сравнения модулированных световых потоков. Источник света модулируется с помощью модулятора колебаний и посылает световой поток в дымовую камеру. При отсутствии в ней дыма свет не попадает на фотоприемник. Извещатель находится в дежурном режиме.

Если в дымовую камеру поступает дым, модулированный поток света отражается от частиц дыма и попадает на фотоприемник, который превращает этот поток в электрический сигнал; затем электрический сигнал через усилитель проходит на схему сравнения, где сравнивается с электрическим сигналом от модулятора. При совпадении сигналов от фотоприемника и модулятора по частоте (что говорит об истинности поступившего сигнала) срабатывает схема сигнализации, и в цепь приемной станции подается сигнал тревоги. Если частоты сигналов от фотоприемника и модулятора не совпадают (что может быть лишь при воздействии постороннего источника света), сигнал тревоги не формируется.

Разновидностью оптического метода контроля задымленности является система раннего обнаружения пожара *HART-HSSD* фирмы "*KIDDE DEUGRA*" с помощью непрерывного лазерного зондирования анализируемых порций воздуха в специальной измерительной камере. Чувствительность прибора на порядок выше общепринятых методов измерения задымленной среды. Детектор откалиброван так, что реагирует на частицы размером 0,3 – 10 мкм, характерные только для дыма, и не реагирует на пыль, что повышает чувствительность измерения и надежность получения достоверной информации.

Другим способом обнаружения дыма при пожаре является искусственное "засасывание" дыма в специальную измерительную камеру, в которой установлен (один или два) точечный извещатель пожарной дымовой аспирационный (ИПДА). ИПДА – автоматический пожарный извещатель, реагирующий на определенный уровень концентрации аэрозольных продуктов горения (пиролиза) веществ и материалов, которые подаются к блоку обнаружения при помощи специального трубопровода протяженной конструкции, имеющего в контролируемой зоне несколько отверстий для всасывания аэрозоля (дыма). Всасывающий трубопровод – составляющая часть ИПДА, предназначенный для доставки газообразной среды от контролируемой зоны к блоку обнаружения. Блок обнаружения – составная часть ИПДА, реагирующая на определенный уровень концентрации аэрозольных продуктов горения в доставленной от контролируемой зоны газообразной среде и выдающая выходной сигнал на внешнее устройство в зависимости от алгоритма работы.

В дымовых точечных извещателях применяются и другие логические схемы обработки информации от оптического узла. Цель использования схем обработки сигналов состоит в том, чтобы сохранить высокую чувствительность при максимальной помехозащищенности.

Дымовой пожарный извещатель ИП-211(РИД-6М). Извещатель (рис. 11.13) предназначен для раннего обнаружения загораний при появлении дыма и подачи сигнала "Пожар" по двухпроводному шлейфу сигнализации. Извещатель состоит из двух ионизационных камер. Одна из них – открытая радиоизотопная камера, другая – компенсационная камера (рис. 11.14). В извещателе используются два альфа-источника Pu^{239} общей активностью 10 мкКю.



Рис. 11.13. Извещатель РИД-6М

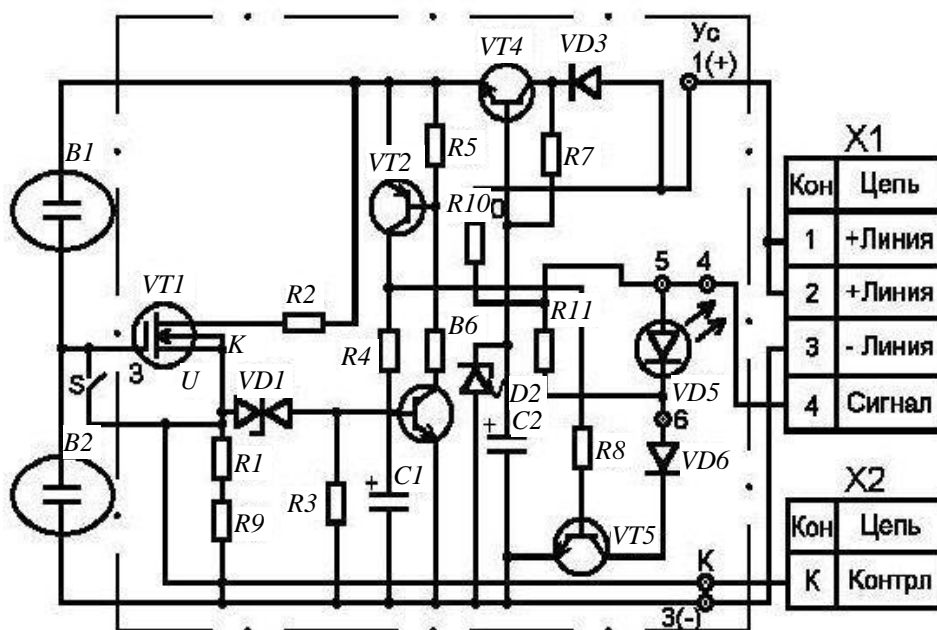


Рис. 11.14. Электрическая схема извещателя РИД-6М

Камера $B1$ – компенсационная, камера $B2$ – открытая, точка соединения камер подключена к затвору полевого транзистора $VT1$. При попадании дыма в камеру $B2$ увеличивается ее сопротивление постоянному току за счет снижения степени ионизации и соответственно увеличивается падение напряжения в ней, а следовательно, и на резисторе $R1$. При достижении заданной величины напряжения на $R1$ открывается стабилитрон $VD1$, который пропускает ток на транзисторы $VT2$ и $VT3$, в результате транзисторы открываются.

Падение напряжения на цепочке: резистор – $R4$, переход базы-эмиттера транзистора $VT3$ приведет к открыванию транзистора $VT5$, при этом произойдет резкое увеличение тока в цепи сигнализации, загорание индикатора и светодиода $VD5$. Кнопка S предназначена для тестового контроля работоспособности извещателя с помощью съемника-пробника. Извещатель не рекомендуется устанавливать в жилых помещениях и детских учреждениях. Порог срабатывания 0,7 дБ/м. Инерционность не более 10 с.

Государственное унитарное предприятие «Институт физико-технических проблем» Минатома РФ (г. Дубна) разработал и освоил технологию замены альфа-источников типа АИП-РИД в радиоизотопном дымовом пожарном извещателе типа РИД-6М, что позволяет продлить эксплуатацию извещателей РИД-6М вместо их вынужденного демонтажа и захоронения.

Аналогом извещателя РИД-6М является ИП-01Л, в котором используется один альфа-источник Am^{241} с активностью 0,8 мкКю. Извещатель имеет низкую активность, хорошо работает в условиях обычных производственных помещений (АТС, офисы, вычислительные центры). Извещатель имеет универсальную розетку и взаимозаменяем с извещателями ИП-101, ИП-212. Радиоизотопные извещатели эффективны для обнаружения дыма при горении любых веществ и материалов.

Дымовые пожарные извещатели ИП-211-1, ИП-211-2. ФГУП «Институт физико-технических проблем» разработал и освоил в серийном производстве специальный пожарный извещатель типа ИП-211-1, имеющий уникальные технические характеристики, полностью соответствующие или превосходящие зарубежные аналоги, а именно: извещатель способен работать в диапазоне температур от -30 до $+100$ °С и относительной влажности до 98 %, а также может использоваться для включения системы автоматического пожаротушения. Как известно, все другие типы извещателей после аварийного включения системы подлежат замене.

Извещатель ИП-211-1 (рис. 11.15) имеет герметичное основание с клеммной колодкой для подключения двухпроводной линии через сальниковые вводы или полудюймовые резьбовые соединения.

В настоящее время «Институт физико-технических проблем» Минатома РФ разработал первый отечественный сокочувствительный аспира-

ционный (проточно-ионизационный) пожарный извещатель типа ИП-211-2 (рис. 11.16). Извещатель обеспечивает сигнализацию при появлении микроколичеств дыма (до $0,1 \text{ мг/м}^3$) в воздухе защищаемых помещений при принудительной прокачке воздуха через извещатель. Воздух забирается из контролируемых помещений с помощью трубок длиной до 100 м с перфорационными отверстиями. Он способен осуществлять защиту технологических установок АЭС (ядерные реакторы, кабельные траншеи, центральные щиты управления и другие наиболее ответственные узлы и агрегаты, где не могут быть установлены никакие другие типы пожарных извещателей). Извещатель также предназначен для использования при защите высоких строительных конструкций (ангары, склады).



Рис. 11.15. Извещатель ИП-211-1



Рис. 11.16. Извещатель ИП-211-2

Использование аспирационных извещателей, как у нас в стране, так и за рубежом, показывает, что чувствительность и помехозащищенность таких извещателей выше, чем у традиционных точечных оптоэлектронных ДПИ.

Наиболее эффективно аспирационные системы используются на практике для защиты высокостеллажных складов, тоннелей, различного рода ангаров для стоянки и размещения транспорта, в том числе самолетов.

Дымовые извещатели полупроводниковые фотоэлектрические серии ИП-212–5МЗ(ДИП-3МЗ). Дымовой пожарный извещатель ДИП-3МЗ предназначен для круглосуточной непрерывной работы с пультами ППК-2, УОТС-1, "Сигнал-42" и др. Извещатель представляет собой единую конструкцию, состоящую из корпуса и крышки, соединенных винтами. В извещателе применена горизонтально вентилируемая оптическая система.

На лицевой поверхности извещателя расположен индикатор срабатывания. Некоторые разновидности конструкции ИП-212 имеют встроенную кнопку для проверки работоспособности ДПИ. Оптический узел конструктивно объединяет фотоприемник (фотодиод) и излучатель (светодиод), работающие в инфракрасном диапазоне таким образом, чтобы их оптические оси пересекались под углом 120° , а область, образуемая пересечением телесных углов поля зрения фотоприемника и излучателя, является областью, чувствительной к дыму. При отсутствии дыма в зоне обнаружения конструкция оптической системы должна обеспечить максимальное поглощение мощности излучателя и в идеале – ее полное отсутствие, а в реальности – минимальное попадание этого излучения на приемник. При попадании дыма в обнаружительную камеру инфракрасное излучение рассеивается (преломляется) его частицами, что приводит к значительному увеличению попадаемой на приемник мощности излучения, фиксируемое электронной схемой извещателя.

Основными узлами и элементами извещателя являются: задающий тактовый генератор, усилитель тока светодиода на транзисторах, усилитель сигнала, ключевой элемент, реверсивный счетчик, устройства формирования сигнала «Пожар».

При наличии дыма в чувствительной области (оптическом узле) извещателя излучение светодиода, отражаясь от частиц дыма, поступает на фотоприемник, импульсный электрический сигнал с которого усиливается операционным усилителем. Импульсы отрицательной полярности с выхода поступают на вход ключевого элемента, который имеет уровень срабатывания около 400 мВ. Импульсы положительной полярности с коллектора поступают на вход счетчика. При появлении первого импульса на входе на выходе появляется логический сигнал "1".

При наличии последовательности из 4 импульсов на входе срабатывает устройство формирования сигнала "Пожар". Возврат извещателя в дежурный режим из режима "пожар" осуществляется отключением напряжения питания на время не менее 1,5 с.

Порог срабатывания 0,05 – 0,2 дБ/м. Инерционность 5 с. Допустимая скорость воздушных потоков до 10 м/с.

Модификациями извещателя являются следующие разработки: ИП-212-39; ИП-212-41; ИП-212-43; ИП-212-44; ИП-212-53; ИП-212-54, ИП-212-5СУ и др. В основе конструкции перечисленных ДПИ положен одинаковый принцип обнаружения дыма. Извещатели отличаются различной величиной напряжения питания и источниками питания, двух- или четырехпроводными шлейфами АПС, наличием встроенной звуковой сирены, специальной розеткой подключения, различными габаритами, наличием монтажных устройств крепления, конструкциями отверстий дымозабора, параметрами помехозащищенности и др.

Серия извещателей ИП-212-54Н (низковольтные), ИП-212-54Р (релейные) и ИП-212-54Т (токовые) с большим числом модификаций выполнены в едином малогабаритном типаже, при этом уменьшение размеров достигнуто за счет более компактного размещения печатной платы и элементов при сохранении размеров зоны обнаружения, как у стандартных типов ДПИ. ИП-212-54 предназначен для применения в системах пожарной сигнализации в качестве точечного порогового извещателя дыма и совместим со всеми отечественными пожарными приемно-контрольными приборами, с модулями МС-03 и МС-04 и с большинством импортных охранно-пожарных приборов.

Отличительной особенностью ИП-212-53 является наличие встроенной звуковой сирены и при срабатывании извещателя, наряду с формированием традиционных тревожных сигналов (электрического в шлейфе сигнализации и оптического на извещателе и выносном устройстве), дополнительно генерируется звуковой сигнал оповещения.

Фотоэлектрический дымовой пожарный (автономный) извещатель ИП-212-43. Принцип действия извещателя основан на постоянном контроле оптической плотности среды по интенсивности отраженного ИК-излучения от частиц дыма. Извещатель рассчитан на круглосуточную работу при питании от батарейки типа "Корунд" или четырех батареек типа ААА (10x45 мм), установленных внутри корпуса со стороны задней крышки. Извещатель обеспечивает подачу тревожных сообщений в виде громких звуковых сигналов. Применение импульсного режима работы оптической системы обнаружения с дискретным изменением частоты следования импульсов при появлении дыма определяет быстроедействие и высокую чувствительность.

Извещатель формирует сигнал "Внимание" (75 % от порога срабатывания) и "Пожар". В схеме извещателя применен пик-процессор "Microchip", разработанная для него программа обеспечивает минимизацию электропотребления. Извещатель имеет встроенный узел проверки работоспособности. Чувствительность извещателя по оптической плотности задымленной среды составляет от 0,05 до 0,2 дБ/м.

Извещатель ИП-212-44 (ДИП-44). Комплект поставки извещателя по-

зволяет включать его в двухпроводные (линия питания совмещена с сигнальной линией) пороговые шлейфы классических пожарных приемно-контрольных приборов, таких, как ППК-2, УСПП-01Л (Сигнал-42-01Л), Радуга, Рубин-8П и др. Возможна поставка извещателей в комплекте с модулями согласования, позволяющими применять их в четырехпроводных шлейфах охранно-пожарной сигнализации. Работа извещателя построена на классическом принципе действия точечных оптико-электронных дымовых датчиков с горизонтально вентилируемой оптической системой. Выполнение ловушек-гасителей излучения в виде сквозных изогнутых щелей позволило обеспечить только одноразовое вертикально-горизонтальное преломление дымозаходного пути. Специально разработанные и поставленные на производство инфракрасные светодиод и фотодиод с нормированным углом диаграммы направленности, высокой точностью совмещения кристалла с оптической осью приборов и высокие показатели характеристик по эффективности выхода излучения и чувствительности позволили отказаться от использования в конструкции оптических линз. Это существенно повысило стабильность параметров схемы измерения (отношение "сигнал/шум" отличается от образца к образцу не более чем в 1,4 раза).

Технология настройки позволяет настраивать извещатели на любое значение чувствительности (в пределах регламентируемых российскими стандартами) с точностью $\pm 20\%$.

Автоматические пожарные извещатели пламени

Для обнаружения быстроразвивающихся пожаров в их начальной стадии наиболее эффективны извещатели пламени. Специфическими особенностями использования извещателей пламени является то, что обнаружение излучения очага пожара на излучающем фоне требует специальных мероприятий по защите от ложных срабатываний. Излучающий фон может насытить чувствительный элемент извещателя, и помехи небольшой интенсивности вызывают срабатывание извещателя. Поэтому в пожарных извещателях пламени используются чувствительные элементы, имеющие избирательную спектральную характеристику (рис. 11.17).

Извещатель пламени пожарный – прибор, реагирующий на электромагнитное излучение пламени или тлеющего очага (по НПБ 72-98). Чувствительный элемент – преобразователь электромагнитного излучения в электрический сигнал, реагирующий на электромагнитное излучение пламени в инфракрасном, видимом или ультрафиолетовом диапазоне длин волн в соответствии со спектром электромагнитного излучения.

Многодиапазонные извещатели – это приборы, реагирующие на электромагнитное излучение пламени в двух или более участках спек-

тра. Извещатель должен реагировать на излучение, создаваемое тестовыми очагами ТП-5 и ТП-6 по ГОСТ Р 50898.

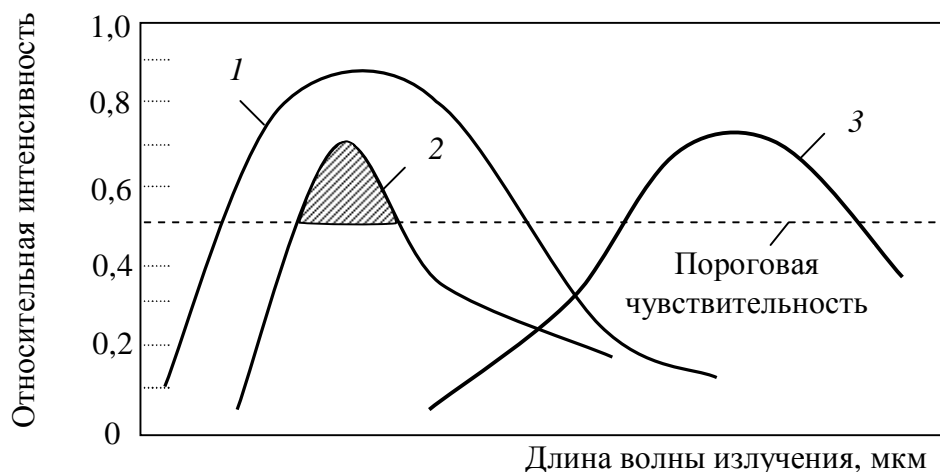


Рис. 11.17. Методы обеспечения помехозащищенности извещателей пламени:
1 – спектральная характеристика АПИ; 2 – спектральная характеристика излучения пламени; 3 – спектральная характеристика источника излучения

По чувствительности к пламени извещатели подразделяют на четыре класса в зависимости от расстояния, при котором наблюдается устойчивое срабатывание извещателей от воздействия излучения пламени тестовых очагов ТП-5 и ТП-6 по ГОСТ 50898, за время, установленное изготовителем в ТУ на извещатели конкретных типов, но не более 30 с;

1-й класс – расстояние 25 м;

2-й класс – расстояние 17 м;

3-й класс – расстояние 12 м;

4-й класс – расстояние 8 м.

Максимальное значение фоновой освещенности чувствительного элемента извещателя, создаваемой люминесцентными лампами, при котором извещатель сохраняет работоспособность, не выдавая ложного извещения, должно быть не менее 2500 лк.

По области спектра электромагнитного излучения, воспринимаемого чувствительным элементом, ПИ пламени подразделяются на извещатели ультрафиолетового излучения, инфракрасного спектра излучения, видимого спектра излучения и многодиапазонные.

В ультрафиолетовом диапазоне спектра применяются счетчики фотонов или газонаполненные индикаторы. Эти элементы обладают большей чувствительностью и работают по принципу внешнего фотоэффекта. Элементы работают в импульсном режиме и электронные схемы построены по принципу обработки информации о количестве поступающих импульсов от очага пожара. При незначительном излучающем фоне фотоэлементы генерируют небольшое количество импульсов в единицу времени, но при возникновении пожара резко возрастает поток фотонов и фотоэлементы

генерируют достаточное количество импульсов для срабатывания извещателя. Схемы обработки импульсов могут быть накопительные (т.е. производится аккумуляция импульсов в конденсаторе до определенной величины) или цифровые, т.е. извещатель срабатывает при подсчете определенного количества импульсов за заданное время. Инфракрасные извещатели в качестве чувствительных элементов используют фоторезисторы или фотодиоды. Они работают по принципу внутреннего фотоэффекта и изменяют электрические параметры в зависимости от интенсивности падающего на них светового потока. Схемы обработки сигнала носят аналоговый характер. Их помехозащищенность от посторонних источников света осуществляется несколькими способами: изменением чувствительности, оптической фильтрацией, а также электрической фильтрацией. Если в защищаемом помещении существует постоянное фоновое освещение, целесообразно использовать метод снижения чувствительности извещателя пламени. Пределом снижения чувствительности служит обнаружительная способность извещателя. В паспорте пожарных извещателей пламени есть требования к максимально допустимому фону. Оптическую фильтрацию осуществляют построением спектральной характеристики извещателя таким образом, чтобы в область его чувствительности попадал диапазон излучения пламени и не попадало бы излучение посторонних источников света. Для этого используют корректирующие оптические фильтры. На рис. 11.18 изображена схема, поясняющая обеспечение помехозащищенности извещателей снижением чувствительности и применением оптической фильтрации, которая основывается на принципе выделения переменной составляющей излучения пламени. Известно, что пламя имеет пульсацию интенсивности излучения в диапазоне частот 50 Гц. Конкретные частоты зависят от условий горения и вида горящего вещества. Интенсивность переменной составляющей около 30 – 40 % полной интенсивности, что несколько снижает возможность обнаружения пожара.

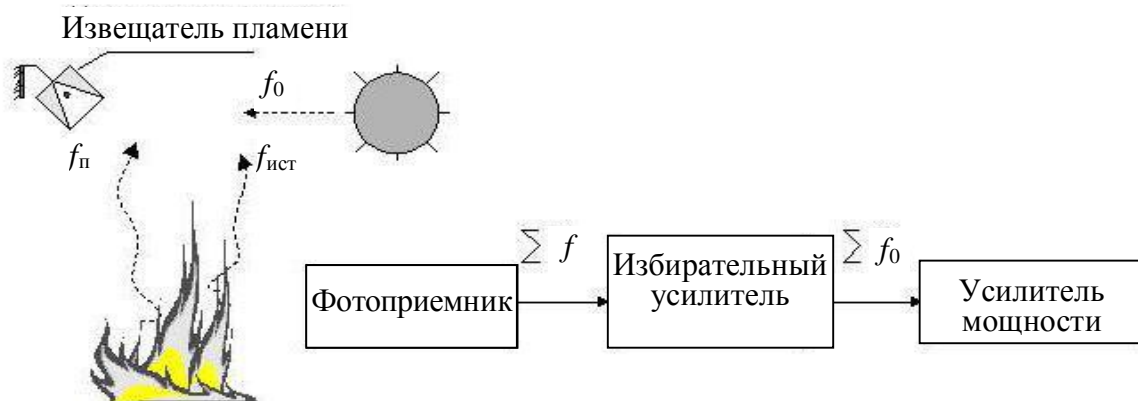


Рис. 11.18. Принцип электрической фильтрации:
 $f_{п}$ – частота излучения пожара; $f_{ист}$ – частота источника света;
 f_0 – частота естественного освещения

В электронную схему обработки сигналов вводится избирательный усилитель. Защита от импульсных световых помех может быть обеспечена введением временной задержки срабатывания извещателя. Извещатели пламени обладают высоким быстродействием, поэтому их целесообразно применять в тех технологических процессах, где пожар развивается быстро.

Извещатель пламени ИП-329 («Аметист»). Извещатель представляет собой автоматическое оптико-электронное устройство, осуществляющее электрическую и оптическую сигнализацию о появлении пламени в контролируемом помещении.

Чувствительный элемент извещателя – индикатор фотонов. Основными узлами схемы извещателя являются: стабилизатор напряжения, преобразователь высокого напряжения, схема обработки информационных сигналов, каскад газоразрядного индикатора фотонов и формирователь тока тревожного сообщения. Стабилизатор напряжения формирует стабилизированное напряжение 15 В и 10 В, необходимые для питания основных узлов извещателя. Преобразователь высокого напряжения преобразует стабилизированное напряжение 15 В в напряжение 280 В, необходимое для работы индикатора фотонов.

Каскад газоразрядного индикатора фотонов регистрирует ультрафиолетовое излучение от пламени пожара, преобразует его в последовательность нормированных по амплитуде электрических импульсов и обеспечивает согласование выходного сопротивления индикатора фотонов с входным сопротивлением схемы обработки информационных сигналов. Схема обработки информационного сигнала формирует логический сигнал "1" при условии поступления на нее определенного количества импульсов за фиксированный интервал времени.

Извещатель имеет три порога срабатывания по количеству поступающих на схему импульсов. Логический сигнал "1" поступает на формирователь тока тревожного извещения, который формирует в сигнальной линии ток величиной не менее 18 мА, регистрируемый приемно-контрольным прибором или пультом пожарной сигнализации. Извещатель чувствителен к пламени парафиновой свечи, диаметр которой равен 25 мм, при высоте пламени 3 – 4 см на расстоянии 0,5 м с инерционностью 5 с. Контролируемая площадь при высоте установки 20 м без пылеотражателя 1000 м² (с пылеотражателем 200 м²).

Пожарный сигнально-пусковой прибор ПСПП «Диабаз-БМ». Прибор предназначен для регистрации загораний по ультрафиолетовому излучению пламени в закрытых помещениях и включения автоматических установок пожаротушения. ПСПП состоит из датчиков пламени ИП-329-5 (НС199.010), выполненных взрывонепроницаемыми по уровню взрывоза-

щиты ВЗТ4-В, и вторичного прибора сигнально-пускового, имеющего от 1 до 5 каналов управления. К каждому из каналов подключается по 2 извещателя ИП-329-5. Допускается применение извещателя во взрывоопасных помещениях категорий ВIа и II2 групп Т1-Т4.

Основными элементами извещателя являются: счетчик фотонов, ключевой элемент, схемы гашения. В качестве чувствительного элемента использован счетчик фотонов V_1 типа СИ-6Ф, который предназначен для регистрации ультрафиолетового излучения пламени и преобразования энергии фотонов в импульсы тока с частотой, зависящей от интенсивности излучения. Максимальное удаление извещателя от прибора управления 500 м. Предельный уровень освещенности извещателя от ламп накаливания 750 Лк. Габаритные размеры 370×170×250 мм. Масса 4,3 кг.

Пороговая чувствительность извещателя на горение бензина – площадь очага 225 см² на расстоянии до 20 м. Угол обзора извещателя 60°. Инерционность не более 3 с.

Извещатель «Пульсар-1». Извещатель предназначен для регистрации пожара на инфракрасное излучение пламени. Дальность обнаружения очага пламени (площадью 0,1 м²) до 30 м. Угол обзора в виде конуса с углом при вершине 120°. Диапазон рабочих температур от –50 до +50 °С. Конструкция извещателя может быть с поворотным или выносным вариантом расположения чувствительного элемента. Для защиты помещений с агрессивной или взрывоопасной средой предлагается модификация извещателя «Пульсар-2», имеющего те же параметры срабатывания.

На основе конструкции извещателя «Пульсар» создано устройство «Спектрон», чувствительный элемент которого расположен как в корпусе извещателя, так и на кабеле "витая пара в экране" (или оптоволоконный кабель) на расстоянии до 25 м от прибора.

Извещатель пожарный пламени многодиапазонный «Набат-1(2)». Извещатели пожарные пламени многодиапазонные ИП-332-1/1(2) в обычном и во взрывозащищенном исполнении автоматические, неадресные предназначены для обнаружения загораний, сопровождающихся появлением электромагнитного излучения пламени.

Извещатель ИП-332-1/1 предназначен для совместной работы с пожарными приемно-контрольными приборами (ППК) и сигнально-пусковыми устройствами (УСП), обеспечивающими в шлейфе пожарной сигнализации постоянное напряжение питания (12-27В) с периодическими прерываниями или переполюсовкой длительностью не более 100 мс и частотой повторения не более 1,5 Гц (ППК-2, УСПП-01Л и др.). Чувствительный элемент извещателя реагирует на электромагнитное излучение пламени в различных спектральных поддиапазонах. Одни из них соответствуют селективным полосам излучения продуктов горения (H₂O и CO₂),

другие – фоновым помехам (солнце, искусственные источники излучения, нагревательные приборы, разряды молнии и пр.) Электронная логическая схема позволяет выделять сигнал от пламени на фоне оптических помех и обеспечивает переход извещателя из дежурного режима в режим «Пожар». Извещатели реагируют на излучение пламени, создаваемое тестовыми очагами ТП-5 (горящий гептан на площади 0,1 м²), ТП-6 (горящий спирт на площади 0,2 м²) и любое другое излучение, спектр которого находится в пределах от 0,5 до 4,7 мкм. Максимальное расстояние, при котором за время, не превышающее 3 с, наблюдается устойчивое срабатывание извещателя от тестовых очагов ТП-5 и ТП-6, составляет величину, не меньшую 25 м и 17 м соответственно. Угол обзора извещателей не менее 90°.

В извещателях использован принцип спектральной селекции, позволяющий обеспечить высокую помехозащищенность. В качестве основного оптического элемента применен многоспектральный фотоприемник – быстродействующий фотогальванический приемник излучения, преобразующий электромагнитное излучение пламени и посторонних источников излучения в электрический сигнал. Фотогальванический приемник реагирует в общем случае на электромагнитное излучение в нескольких спектральных поддиапазонах: 0,3 – 1,2 мкм; 2,5 – 2,9 мкм; 3,2 – 3,5 мкм; 4,0 – 4,4 мкм. Второй и четвертый поддиапазоны соответствуют селективным полосам излучения продуктов горения (Н₂О и СО₂), первый и третий реагируют на фоновые помехи (солнце, искусственные источники излучения, нагревательные приборы, разряды молнии и пр.). Электронная логическая схема выделяет и сравнивает сигналы от пламени и фоновых оптических помех и принимает решение о переходе извещателя из дежурного режима в режим «Пожар». Излучение от источников, находящихся в поле зрения извещателя, попадает на фоточувствительные элементы (ФЧЭ) фотоприемника, вырабатывающие сигнал в виде фототока, пропорционального интенсивности излучения на длинах волн 2,7 мкм и 4,3 мкм (ФЧЭ1), на длине волны 3,5 мкм (ФЧЭ2), на длине волны 0,9 мкм (ФЧЭ3). Для преобразования фототоков в напряжения и для первичного усиления служат предварительные усилители (ПУ).

В момент включения на время 1 мс предварительные усилители ПУ1 и ПУ2 вырабатывают сигналы в виде напряжений, далее полезный сигнал усиливается усилителем. При наличии пламени в поле зрения извещателя на выходе интегратора появляется сигнал более 0,5 В, который через схему вычитания СВ2 подается на компаратор. При превышении значения освещенности 5000 Лк срабатывает пороговая схема и сигнал с выхода усилителя начинает вычитаться из сигнала интегратора, тем самым снижается вероятность ложного срабатывания при сверхбольшой освещенности. Далее сигнал с компаратора поступает на счетчик и при наличии 15 импуль-

сов подряд счетчик переключает триггер в состояние, соответствующее режиму «Пожар». Исполнительная схема в тревожном режиме «Пожар» вырабатывает сигнал в виде увеличения тока потребления до 20 мА либо в виде замыкания контактов реле Р2 и Р3.

Извещатель пожарный ручной ИП-5 (ИПР). Ручной пожарный извещатель – устройство, предназначенное для ручного включения сигнала пожарной тревоги в системах пожарной сигнализации и пожаротушения (по НПБ 70-98). Извещатель предназначен для подачи вручную сигнала тревоги на приемно-контрольные приборы и пульта пожарной сигнализации с помощью рукоятки, расположенной на извещателе. Извещатель рассчитан на совместную работу с пультами ППС-2, "Аргус", "Сигнал-43" и др.

Конструктивно извещатель (рис. 11.19) состоит из корпуса 5 коробчатой формы, внутри которой установлена плата 4.

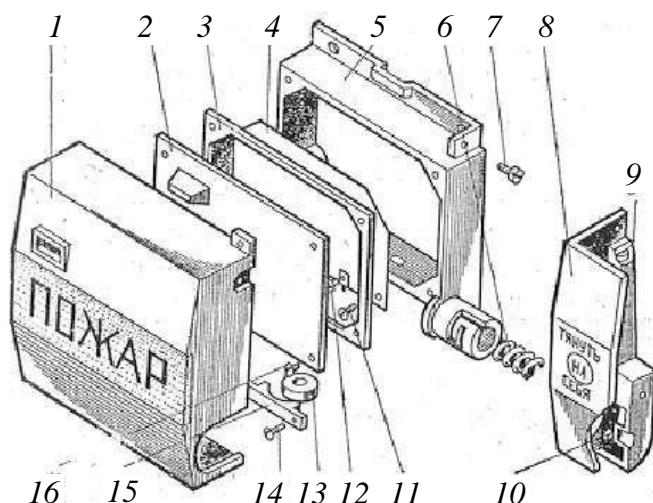


Рис. 11.19. Извещатель пожарный ручной ИПР:

- 1 – декоративная крышка; 2 – крышка; 3 – прокладка; 4 – плата; 5 – корпус;
 6 – пружина; 7, 11, 12, 14, 16 – винты; 8 – ручка; 9 – магнит; 10 – втулка;
 13 – резиновая втулка; 15 – планка

Корпус с помощью винта 16 через прокладку 3 закрывается крышкой 2, выполненной из прозрачного материала. Для уплотнения электропроводов, подключаемых к извещателю, в его корпусе установлены резиновые втулки 13, поджимаемые с помощью планки 15 винтом 14. На корпусе 5 с помощью защелок установлена декоративная крышка 1. На боковой стороне корпуса 5 имеется пустотелая ось, на которой закреплена ручка 8 с постоянными магнитами 9. Внутри ручки 8 есть втулка 10 с выступами, которые входят в пазы оси корпуса 5, а в отверстие вставлена пружина 6. При установке на корпусе ручки необходимо повернуть её по часовой стрелке так, чтобы выступы втулки 10 совместились с продольными пазами на оси. После этого ручку 8 следует надеть на ось, пружину 6 сжать до совмещения выступов втул-

ки 10 с поперечными пазами оси, ручку повернуть против часовой стрелки и установить вертикально, параллельно корпусу 5. В электрической принципиальной схеме (рис. 11.20) можно выделить два элемента: извещатель с нормально замкнутым контактом и схему индикации, осуществляющую контроль шлейфа и квитирование принятого сигнала «Пожар» станцией пожарной сигнализации.

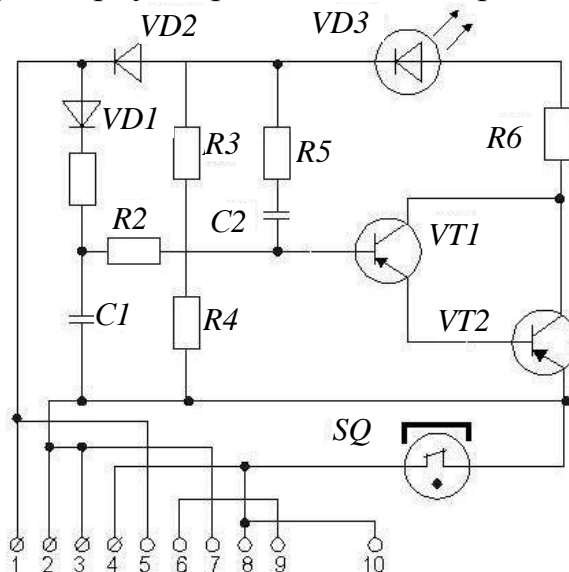


Рис. 11.20. Электрическая схема ИПР

Разновидности ручного извещателя – блоки дистанционного ручного пуска БДРП-01Л и ИП513-4, которые предназначены для включения установок газового и порошкового пожаротушения. БДРП-01Л имеет встроенную оптическую индикацию режима пуска. Конструктивно выполнен в корпусе извещателя ИПР в пылебрызгозащищенном исполнении. Максимальный ток коммутации контактами геркона при напряжении до 30 В не более 0,5 А. Диапазон рабочих температур от -50 до $+50$ °С. Срок службы не менее 10 лет. Средняя наработка на отказ 6000 ч. Извещатели ручные типа ИПР 513-3 (НВП "Болид") имеют встроенную кнопку с защитным стеклом. Квитирование передачи сообщения (отображение обратного сигнала) определяется загоранием светодиодного индикатора. Линия шлейфа замыкается на сопротивление $R = 160$ Ом. Энергия включения не более 0,29 Дж. Неразрушающее усилие на стекло не более 25 Н.

11.1.4. Принципы построения и типы линейных оптико-электронных и объемных ультразвуковых пожарных извещателей

Ультразвуковые и линейные оптико-электронные пожарные извещатели применяются как для обнаружения пожара, так и несанкционированного проникновения на объект. Они относятся к устройствам пространственного обнаружения очага пожара, так как защищают весь объем помещения или его отдельную часть.

Ультразвуковые извещатели работают по принципу регистрации изменений физических характеристик активного ультразвукового поля в результате воздействия на это поле энергетических составляющих пожара. Образующаяся при пожаре конвективная струя воздуха имеет определенное распределение температуры по высоте и радиусу. При этом имеет место отражение ультразвука от границ раздела воздуха различной плот-

ности. Ультразвук, прошедший через тепловой поток, испытывает изменение фазы колебаний. Так как граница пламени и граница конвективной струи подвижны и неустойчивы во времени и пространстве, наложение ультразвуковых волн, отраженных тепловым потоком, на излучаемые волны вызывает их амплитудно-фазовую модуляцию. На величину амплитудно-фазовой модуляции оказывает влияние характер распределения температуры по объему конвективной струи. Во ВНИИПО были проведены экспериментальные исследования ультразвуковых способов обнаружения пожара. Установлена зависимость коэффициента отражения от температуры конвективной струи. Скорость ультразвука $V_{уз}$ будет равна

$$V_{уз} = C_p RT / C_v M, \quad (11.15)$$

где C_p , C_v – удельная теплоемкость воздуха холодного и нагретого; R – газовая постоянная; T – температура; M – молекулярная масса.

Создание ультразвукового поля осуществляется с помощью пьезокерамических преобразователей, представляющих собой механическую колебательную систему. Ультразвуковые пьезокерамические преобразователи обладают обратимостью, т.е. электрические колебания электромагнитной возбуждающей цепи преобразуются в ультразвуковые колебания, и наоборот, ультразвуковые колебания преобразуются в электрические.

Из применяемых устройств данного типа следует назвать извещатели ультразвуковые серии «Фигус» различных модификаций. В зависимости от его компоновки (с одним или двумя выносными блоками) защищаемая площадь составляет 30 м². Сигнал тревоги подается при возникновении очага горения, площадь которого более 0,1 м².

Принцип действия линейных оптико-электронных извещателей основан на ослаблении интенсивности света при его прохождении через задымленную среду. В этих извещателях излучатель света и фотоприемник конструктивно разделены.

Извещатель дымовой линейный ИП-212-7 (ИДПЛ). Извещатель относится к оптико-электронным автоматическим пожарным извещателям. Предназначен для обнаружения дыма в помещениях больших площадей и объемов. Состоит из блока излучателя (БИ) и блока приемника (БП). Формирует извещение «Пожар» при попадании дыма в поток зондирующего инфракрасного излучения между блоком БИ и БП. При полном перекрытии ИК-луча между БИ и БП непрозрачным объектом извещатель выдает извещение «Неисправность». ИДПЛ-1 рассчитан на совместную работу с пультами ППК-2, «Аргус», Сигнал-42 и обеспечивает возможность подключения выносного устройства оптической сигнализации. Максимальная дальность действия 100 м. Инерционность 3 с. Аналогичные по принципу действия извещатели выпускаются также фирмами «Sistem Sensor» (тип

6424), "SCHRACK" (тип *Beam detector SPB-E*) и др.

В последние годы находит широкое применение система пожарной сигнализации с аспирационными пожарными извещателями. На практике такая АПС реализована в активной многоточечной «системе всасывания дыма» – «RAS» фирмы «*FITTECH-SECURITON*».

Система RAS осуществляет постоянное всасывание воздуха в чувствительный измерительный блок и сообщает об обнаружении в нем частиц дыма. Система состоит из центральной воздушной магистрали, подключенных к ней гибких трубок с отверстиями для всасывания воздуха и блока обнаружения пожара. В этом блоке размещаются дымовые пожарные извещатели, вентилятор и система обработки информации с устройством контроля воздушного потока. Через имеющуюся систему трубопроводов при помощи вентилятора происходит постоянное всасывание воздуха из контролируемых помещений. Один или два дымовых извещателя определяют наличие частиц дыма в воздушном потоке. При обнаружении повышенной концентрации дыма один из извещателей выдает сигнал, который система обработки воспринимает как предварительный. При дальнейшем повышении концентрации дыма и достижении установленного порога извещатели выдают сигнал «Пожар». Система, в которой применяются два извещателя или используется парная зависимость групп извещателей, обрабатывает первичный сигнал о пожаре как предварительный, а второй – как достоверный сигнал пожара.

RAS – активная многоточечная система обнаружения пожаров. В ней сочетаются преимущества как линейных систем пожарной сигнализации, так и действующих по принципу контроля рассеянного или проходящего света. Это предопределяет широкие возможности использования системы, например:

- в скрытых, практически незаметных элементах системы для защиты культурных и материальных ценностей;
- в фальшполах и подвесных потолках;
- в высокостеллажных складских помещениях с холодильными камерами;
- в подземных переходах, спортивных сооружениях и других объектах, где существует опасность повреждения элементов системы;
- в местах труднодоступных для монтажа и обслуживания традиционных точечных дымовых извещателей.

11.1.5. Оценка времени обнаружения пожара извещателями различного типа

В типовых условиях применения автоматических пожарных извещателей на объектах часто возникает необходимость оптимизировать их выбор и размещение. Опыт работы кафедры пожарной автоматики показал,

что математические методы в расчетах могут быть результативно использованы для:

1) определения при заданной трассировке сети автоматической пожарной сигнализации, минимальной площади очага пожара и количества сгоревшего материала, кг, вызвавших срабатывание системы АПС;

2) проведения аналитической оценки времени срабатывания различных типов пожарных извещателей (тепловые, дымовые, пламени) в начальной стадии развития пожара;

3) проведения оценки опасных факторов пожара (среднеобъемная температура, температура в точке с координатами H, R , задымленность и др.) к моменту срабатывания систем АПС;

4) определения времени срабатывания основных и дублирующих пожарных извещателей, предназначенных для запуска АУП;

5) определения предельно допустимого радиуса действия, оптимально защищаемой пожарным извещателем площади при известной величине пожарной нагрузки и допустимом времени обнаружения пожара.

Рассмотрение указанных вопросов необходимо в случае обоснования применения наиболее эффективных типов автоматических пожарных извещателей на этапе выдачи технического задания на проектирование, при проведении проектных и монтажных работ, экспертизе пожаров, а также при проведении огневых испытаний и оценке эффективности смонтированных систем АПС при вводе их в эксплуатацию.

Оценка времени обнаружения пожара тепловыми извещателями

Система автоматического обнаружения пожара должна быть спроектирована так, чтобы, с одной стороны, была "чувствительна" к пожару, с другой – не генерировала бы ложных сигналов тревоги.

Как было установлено ранее, сигнал тревоги вырабатывается только тогда, когда величина, характеризующая пожар X_0 , превысит определенную, заранее установленную величину $X_{оп}$. Выходной величиной пожарного извещателя является дискретный сигнал 1 или 0.

Свойства пожарного извещателя максимального действия в условиях пожара будут вполне известны, если определить время срабатывания его при произвольных изменениях во времени температур окружающей среды. Сначала требуется определить зависимость между входным сигналом извещателя X_0 и выходным сигналом с чувствительного элемента $V_{(s)}$. В этом случае извещатель можно представить как инерционное звено первого порядка с задержкой, имеющей вид передаточной функции:

$$G_{(s)} = V_{(s)}/X_{0(s)} = K \exp(-\tau_0 S) / (\tau_n S + 1), \quad (11.16)$$

где τ_0 – время задержки; τ_n – постоянная времени извещателя; K – коэффициент усиления чувствительного элемента извещателя.

При этом под порогом срабатывания извещателя максимального действия понимается минимальная величина амплитуды единичной функции температуры окружающей среды, которая приведет к срабатыванию АПИ после определенного времени τ_0 .

Так как $Y(\tau_0) = Y_n = KX_{оп}$, отклик извещателя $Y(\tau_0)$ на отдельные скачки температуры X_{o1} дает зависимость

$$Y(\tau) = KX_o[1 - \exp(\tau - \tau_0)/\tau_n]. \quad (11.17)$$

Для извещателей максимального действия время обнаружения пожара будет определяться суммарным временем достижения величины порога срабатывания и инерционностью АПИ.

Для тепловых пожарных извещателей максимального действия (ИП-105, ИП-103, ИП-104), используя ранее рассмотренные зависимости (см. п. 11.1.1), определяется изменение температуры в помещении в точке установки пожарного извещателя, т.е. в точке с координатами H и R . Далее строится график изменения температуры, из которого определяется время достижения порога срабатывания извещателя. Зная инерционность АПИ, можно в первом приближении определить время срабатывания:

$$\tau_{обн} = \tau_{пор} + \tau_n. \quad (11.18)$$

Экспериментально были получены зависимости, характеризующие реакцию точечных максимальных извещателей на нагрев:

$$\tau_n = k T/(T - T_{пор}), \quad (11.19)$$

где k – коэффициент, характеризующий реакцию извещателя на темп роста температуры ($k = 10$ и $k = 6,5$ для ИП-104 и ИП-105 соответственно; для ИП-103-4 $k = 5,4$), определяется экспериментально; T – температура окружающей среды, когда достигнута устойчивая динамика роста температуры; $T_{пор}$ – порог срабатывания извещателя.

Принцип действия извещателей дифференциального типа основан обычно на существовании в системе двух идентичных чувствительных элементов, один из которых имеет непосредственный контакт с окружающей средой, а другой находится за тепловым экраном. Пороговая система генерирует сигнал тревоги в случае, когда величина разности сигналов обоих чувствительных элементов превысит предельную пороговую величину. Взаимосвязь между входным сигналом $X(t)$ и выходными сигналами $Y_{1(t)}$ и $Y_{2(t)}$ осуществляется передаточной функцией вида

$$G_1(t) = Y_1(t)/X(t); G_2(t) = Y_2(t)/X(t). \quad (11.20)$$

Отклик системы с передаточными функциями представленного вида на входной сигнал в виде единичной функции, имеющей амплитуду x_0 , можно представить следующим образом:

$$Y(t) = X_0 k [\exp(t-t_{01})/t_1 - \exp(t-t_{02})/t_2]. \quad (11.21)$$

Для извещателей дифференциального типа, после того как построена кривая изменения температуры в месте установки АПИ, исследуется скорость роста температуры на протяжении всего участка, начиная с температуры в нормальных условиях. Определяющим для таких извещателей являются пороговые характеристики, взаимосвязанные с его чувствительностью. В первом приближении, для начальной стадии роста температуры, можно принять характер изменения температуры – линейный.

$$T = k \tau; k = \text{tg}(a), \quad (11.22)$$

где τ – время; T – температура теплового потока.

Тогда $\Delta\tau = T_2 - T_1/k$ характеризует нормативное значение промежутка времени, за который достигается температура порога срабатывания (например, 30 °С/мин).

Если установлено, что пороговые значения АПИ по скачку температуры достигаются за большее время, то извещатель не сработает как дифференциальный и необходимо исследовать следующий промежуток времени.

Для определения предельно допустимого радиуса действия извещателя R_3 следует, прежде всего, задать такие параметры, как допустимое время обнаружения $\tau_{\text{доп}}$. Оно в конкретных случаях будет зависеть от условий развития очага пожара, организации оповещения людей и их эвакуации и т.д.

$$R_3 = 0,17H \sqrt{\ln \frac{(\tau_{\text{доп}} - K)B}{(T_{\text{п}} - T_0)k^{0,33}}} + V_{\text{л}} \tau_{\text{доп}}, \quad (11.23)$$

где $V_{\text{л}}$ – линейная скорость распространения пожара, м/с; B – постоянная, характеризующая пожарную нагрузку.

$$B = 4,1 [\eta V_{\text{м}} Q_{\text{н}} n a V_{\text{л}}]^{0,67}, \quad (11.24)$$

где n – число направлений развития очага горения; k – постоянная времени извещателя; a – ширина фронта пламени; η – коэффициент химического недожога.

Оценка времени обнаружения пожара дымовыми извещателями

Смысл расчета заключается в определении момента достижения концентрации дыма, кг/м^3 , равной пороговой $C_{\text{п}}$, в точке установки дымового

извещателя с координатами H , R (см. п. 11.1.1). Для условий кругового развития очага пожара

$$\tau_{\text{обн}} = \sqrt[3]{\frac{C_{\text{п}}HR^2}{0,33V_{\text{м}}V_{\text{л}}^2\phi K_{\text{д}}}} + \tau_{\text{и}} \quad (11.25)$$

Величина порога срабатывания дымовых пожарных извещателей зависит от характерного вида пожарной нагрузки. Причем для оптико-электронных точечных пожарных извещателей время срабатывания и величина порога срабатывания существенно зависят от условий термического разложения материала. При этом, как показали эксперименты, наблюдается изменение порога срабатывания как по концентрации дыма, так и по модулю оптической плотности. По-видимому, это объясняется тем, что при пламенном горении высокоуглеродосодержащих материалов и веществ резко увеличивается доля частиц дыма с характерным размером более 7 мкм, тогда как при горении целлюлозосодержащих материалов эта величина находится в пределах 0,4 – 0,45 мкм, т.е. на порядок меньшем диапазоне.

Модуль оптической плотности при горении резины на пороге срабатывания, как было установлено экспериментально, увеличивался в оптико-электронных извещателях в 5 раз (табл. 11.3). При этом такого разброса значений по весовой концентрации дыма не наблюдалось. Это свидетельствует о том, что предпочтительным и более корректным в математических расчетах является использование значения концентрации дыма $C_{\text{д}}$, выраженной в кг/м³ (или мг/м³). Оценка величины защищаемой извещателем площади в зависимости от допустимого времени обнаружения пожара и свойств пожарной нагрузки представлена на номограмме рис. 11.21.

Таблица 11.3

Порог срабатывания дымовых извещателей, мг/м³

Тип извещателя	Древесина (сосна)	Бумага	Кабель ВРГ, АПРГ	Ткань х/б	Резина
РИД-6М	18,4	16,0	21,2	19,4	31,2
ДИП-3МЗ, ИП-212	16,8	16,2	31,2	19,8	32,6
ДИП-СУ	16,6	16,4	29,6	18,3	30,4
ДИП-9	18,9	17,6	32,7	20,2	33,0

Исследования массовой концентрации дыма $C_{\text{д}}$, мг/м³, и модуля оптической плотности среды m , 1/м, показали наличие тесной корреляционной связи между модулем оптической плотности m , концентрацией $C_{\text{д}}$ и размером частиц дыма d . Указанная зависимость представлена в виде двухфакторной модели:

$$m = 0,041 C_{\text{д}} + 0,0134d - 1,36 \quad (11.26)$$

Использование указанной зависимости представляется важным с точки зрения исследования изменения величины порога срабатывания дымовых извещателей при горении различных веществ и материалов, а также априорной аналитической оценки величины порога срабатывания по массовой концентрации дыма, когда из паспортных данных известны пороговые значения только по оптическим характеристикам.

Эксперименты показали, что образующаяся в начальной стадии горения дисперсионная система является неустойчивой и в результате коагуляции дыма наблюдается медленное снижение оптических характеристик задымленной среды. Экспериментально было установлено, что за время коагуляции (30 мин) величина a уменьшилась с 1,0 до 0,64 1/м. Это говорит о том, что в начальной стадии пожара пороговые характеристики дымовых извещателей в задымленной среде стабильны и скорость оседания частиц дыма не оказывает существенного влияния на работу ДПИ.

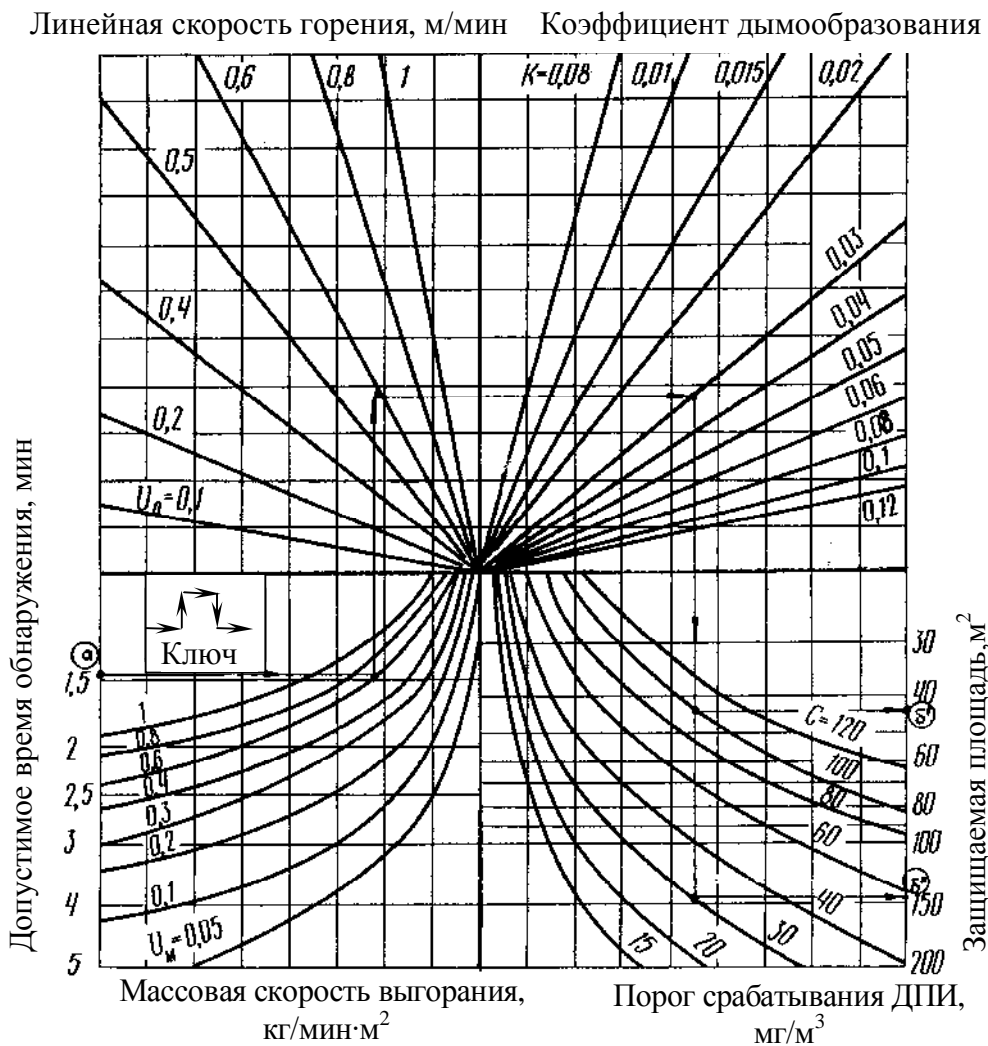


Рис. 11.21. Номограмма для определения оптимальной защищаемой площади ДПИ

Если в процессе расчетов появляется необходимость определить минимальное количество материала P_m , кг, вызывающего срабатывание ДПИ при заданной трассировке сети АПС, то следует воспользоваться следующей зависимостью:

$$P_m = C_{\text{п}} F_3 H / K_d. \quad (11.27)$$

Коэффициент дымообразования (отношение массы частиц дыма к массе сгоревшего вещества) при пламенном горении древесины, ткани, бумаги составляет величину $K_d = 0,01$ кг/кг; при горении синтетических материалов $K_d = 0,03$; резины – $K_d = 0,05$. Проведение расчетов может оказаться полезным при количественной оценке эффективности срабатывания смонтированных систем АПС, а также в процессе приемки в эксплуатацию установок пожарной сигнализации.

Оценка времени обнаружения пожара извещателями пламени

К серийно выпускаемым извещателям пламени относятся: «Диабаз», «ДПИД» (ИП-3-4), «Аметист», «Пульсар», «Набат». Устройства имеют специфические особенности применения и используются, как правило, для защиты небольших, взрывоопасных помещений и для включения автоматических установок пожаротушения. Их защищаемая площадь – относительно небольшая, а размещение извещателей, как правило, рекомендуется производить непосредственно на защищаемом оборудовании или стене помещения. Вопросам оптимизации размещения извещателей пламени для защиты объектов посвящены исследования Д.В. Невзорова.

В нормативных документах при обосновании защищаемой площади недостаточно полно, по сравнению с другими типами АПИ, отражены основные требования к размещению извещателей пламени. Отсутствие четких рекомендаций ограничивает область их применения, а также затрудняет проведение сравнительной оценки эффективности использования. Поэтому первоочередной задачей при размещении извещателей пламени, в особенности типа ИП-329, является обоснование расчетным методом защищаемой извещателями площади помещения. Предпочтительным является размещение извещателей на стене под углом к контролируемой плоскости пола. Защищаемая площадь представляет собой в этом случае эллипс (рис. 11.22).

Основные параметры определяются из выражений:

$$F_{\text{защ}} = \pi a b = 0,5 \kappa (\cos^2 \Delta \operatorname{tg}^2 \sigma - \sin^2 \Delta)^{0,5} L_r \pi, \quad (11.28)$$

где a , b – полуоси эллипса;

$$a = (R^2 - d^2)^{0,5}; \quad (11.29)$$

$$d = \kappa \sin \sigma; \quad (11.30)$$

$$\kappa = H / \cos(\sigma + \Delta); \quad (11.31)$$

$$R = \kappa \cos \Delta \operatorname{tg} \sigma; \quad (11.32)$$

$$\sigma = 1/2 \operatorname{arctg} L_T / H; \quad (11.33)$$

$$L_T = (L_D^2 - H^2); \quad (11.34)$$

$$b = L_T / 2. \quad (11.35)$$

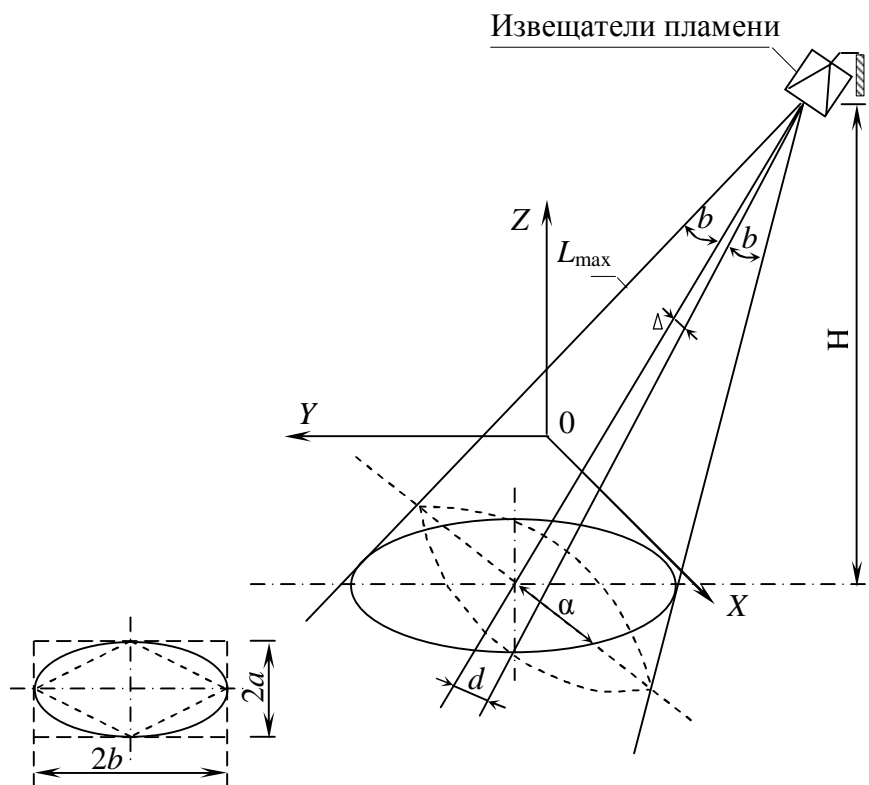


Рис. 11.22. Геометрия размещения извещателей пламени в защищаемом помещении

Для удобства проведения расчетов при разработке проектов эллипс допускается заменять вписанным в него прямоугольником или ромбом. Площадь, контролируемая одним извещателем, равна

$$F_{\text{защ}} = 2 a b . \quad (11.36)$$

Величина контролируемой извещателями площади в зависимости от высоты установки его по углом к контролируемой плоскости определяется из номограммы (рис. 11.23).

Экспериментально было установлено, что извещатель гарантированно обнаруживает тестовый очаг пожара (гептан, ТФ-5) на определенной пло-

щади в зависимости от дальности расположения очага горения (L_{\max}). Значения L_{\max} для тестовых очагов пожара различной площади приведены в табл. 11.4. Серийный извещатель ИП-329 выпускается с установленным уровнем чувствительности 2У.

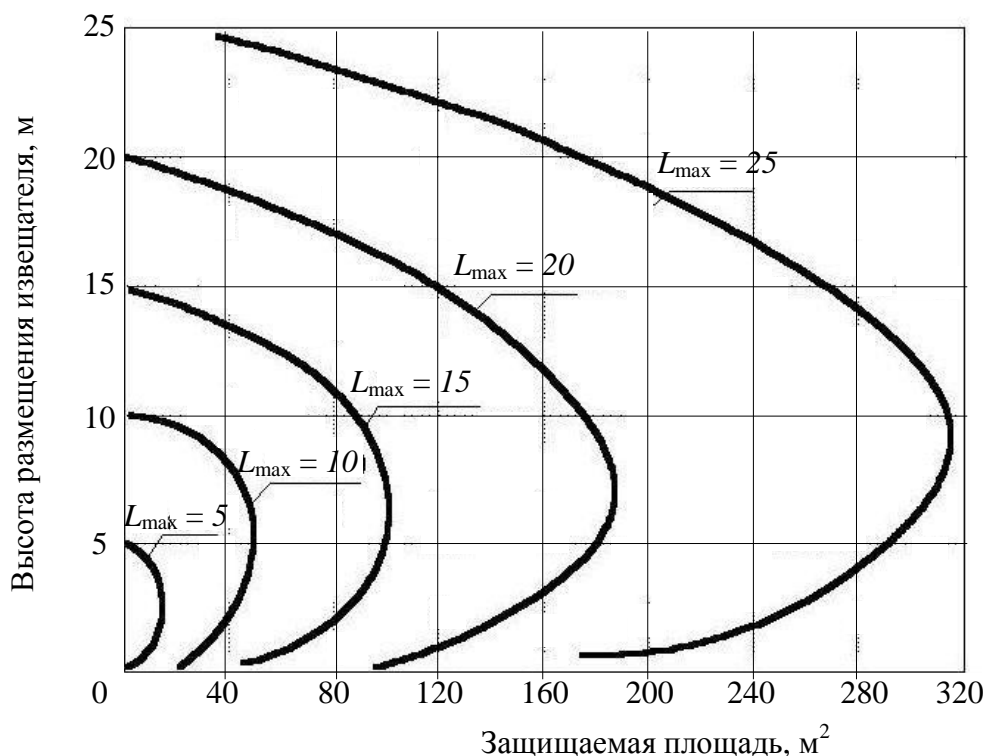


Рис. 11.23. Номограмма для определения защищаемой площади извещателем пламени

Алгоритм расчета условий размещения автоматических извещателей пламени включает определение L_{\max} по критическому значению минимально регистрируемой площади горения $F_{\text{тест}}$ (ее величина определяется расчетом или задается заказчиком), определения по L_{\max} и высоте помещения H , максимальной защищаемой площади и затем по представленным зависимостям определяются все геометрические параметры и координаты защищаемой площади.

Таблица 11.4

Максимальная дальность обнаружения пламени извещателем ИП-329 "Аметист"

Площадь усредненного тестового пожара, см ²	Максимальная дальность обнаружения пламени L_{\max} при различных уровнях чувствительности, м		
	3У	2У	1У
1000	10 – 12	12 – 14	14 – 16
4000	16 – 18	20 – 22	24 – 26
10000	26 – 28	29 – 31	32 – 34

При размещении извещателей пламени под потолком помещения (такое расположение менее предпочтительно, так как усложняются условия эксплуатации используемого оборудования) защищаемая площадь представляет собой круг и определяется по формуле (при размещении АПИ на расстоянии 1 м от потолка):

$$F_{\text{заш}} = \pi(H - 1)^2 \text{tg}^2 \{ \arccos (H - 1)/L_{\text{max}} \}. \quad (11.37)$$

Оценка времени обнаружения пожара извещателем пламени заключается в определении времени горения до минимально регистрируемой площади $F_{\text{тест}}$ на границе сектора защищаемой площади $F_{\text{заш}}$ при максимальном значении L_{max} с учетом инерционности извещателя. При этом известными по условию размещения являются значения величин: $F_{\text{заш}}$, H , L_{max} . Используя эти значения, находят гарантированно обнаруживаемую извещателем площадь тестового пожара $F_{\text{тест}}$ и время его обнаружения:

$$\tau_{\text{обн}} = 1,13(F_{\text{тест}})^{0,5}/V_{\text{л}} + t_{\text{и}}, \quad (11.38)$$

где $V_{\text{л}}$ – линейная скорость распространения пламени, м/с.

11.1.6. Принципы размещения автоматических пожарных извещателей на объектах

Размещение извещателей на объектах производится в соответствии с требованиями СНиП, НПБ 88, РД 78.145, а также техническими требованиями на установку, изложенными в паспортной технической документации. Параметры размещения зависят от типа пожарного извещателя, высоты помещения и др.

Если установка пожарной сигнализации предназначена для управления автоматическими установками пожаротушения, дымоудаления и оповещения о пожаре, каждую точку защищаемой площади необходимо контролировать не менее чем двумя автоматическими пожарными извещателями. Максимальное расстояние между дублирующими дымовыми или тепловыми пожарными извещателями должно быть равно половине нормативного, если установка пожарной сигнализации предназначена для управления установками пожаротушения, дымоудаления и оповещения о пожаре.

Одним шлейфом пожарной сигнализации с неадресными пожарными извещателями допускается оборудовать зону контроля, включающую:

помещения, расположенные на разных этажах, при суммарной площади здания 300 м^2 и менее;

не более десяти помещений, изолированных и смежных с ними, суммарной площадью не более 1600 м^2 , расположенных на одном этаже здания и имеющих выход в одно и то же помещение (коридор, холл, вестибюль и т.п.);

не более двадцати помещений, изолированных и смежных с ними, суммарной площадью не более 1600 м², расположенных на одном этаже здания и имеющих выход в одно и то же помещение (коридор, холл, вестибюль и т.п.), при наличии выносной световой сигнализации о срабатывании пожарных извещателей над входом в каждое контролируемое помещение.

При сложном расположении помещений на объекте (помещения имеют выходы в протяжённый коридор с множеством поворотов и т.п.) расчет количества защищаемых помещений, охватываемых одним пожарным шлейфом с неадресными пожарными извещателями в зависимости от площади помещений и конфигурации объекта, следует производить аналитически. Суммарное время обхода помещений дежурным при минимальной скорости движения по объекту 0,8 м/с и время, необходимое для передачи сообщения в пожарную часть, не должно превышать, как правило, 10 мин.

Количество автоматических пожарных извещателей, устанавливаемых в защищаемых помещениях или зонах контроля, следует определять, исходя из необходимости обнаружения загораний по всей площади или во всём объёме защищаемого помещения, или, соответственно, зоны контроля, а в случае применения извещателей пламени и площади (поверхности) оборудования. В каждом защищаемом помещении следует устанавливать не менее двух пожарных извещателей.

В защищаемом помещении допускается устанавливать один пожарный извещатель, если одновременно выполняются следующие условия:

1) площадь помещения не больше защищаемой пожарным извещателем площади, указанной в технической документации на него, и не больше средней площади, указанной в табл. 11.5 – 11.9;

2) пожарный извещатель является адресным;

3) обеспечивается автоматический контроль работоспособности пожарного извещателя, подтверждающий выполнение им своих функций с выдачей извещения о неисправности на приёмно-контрольный прибор;

4) по сигналу с пожарного извещателя аппаратура управления не производит включение автоматических установок пожаротушения или дымоудаления или систем оповещения о пожаре 5-го типа по НПБ 104.

Точечные пожарные извещатели, кроме извещателей пламени, следует устанавливать, как правило, под покрытием (перекрытием). При невозможности установки извещателей непосредственно под покрытием (перекрытием) допускается их установка на стенах, колоннах и других несущих строительных конструкциях, а также крепление на тросах.

При установке точечных пожарных извещателей под покрытием их следует размещать на расстоянии не менее 0,1 м от стен.

При установке точечных пожарных извещателей на стенах, специальной арматуре или креплении на тросах их следует размещать на расстоя-

нии не менее 0,1 м от соседних стен, на расстоянии не менее 0,1 м и не более 0,3 м – от покрытия, включая габариты извещателя.

При установке точечных дымовых и тепловых пожарных извещателей в помещениях шириной менее 3 м под фальшполом, над фальшпотолком и в других пространствах высотой менее 1,7 м расстояния между извещателями, указанные в табл. 11.5, допускается увеличивать в 1,5 раза. При этом конструкции перекрытий фальшпола и фальшпотолка должны обеспечивать доступ к пожарным извещателям для их обслуживания. Пожарные извещатели, установленные под фальшполом, над фальшпотолком, должны быть подключены к самостоятельному шлейфу пожарной сигнализации и иметь выносное устройство оптической индикации либо быть адресными. Дымовые и тепловые точечные пожарные извещатели следует устанавливать, как правило, на потолке.

При невозможности установки извещателей на потолке допускается установка их на стенах, балках, колоннах. Допускается подвеска извещателей на тросах под покрытием зданий со световыми, аэрационными, зенитными фонарями.

В этих случаях извещатели необходимо размещать на расстоянии не более 300 мм от потолка, включая габариты извещателя (рис. 11.24).

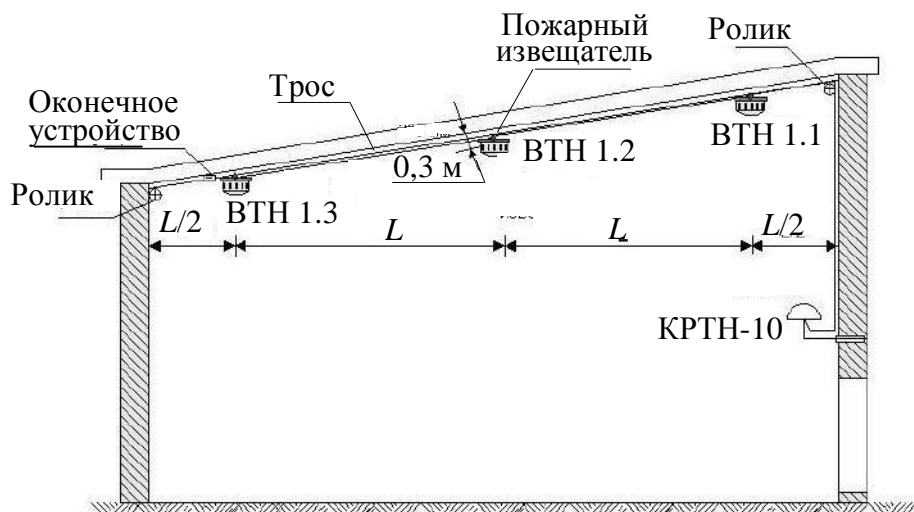


Рис. 11.24. Вариант схемы размещения АПИ на тросах под перекрытием здания

Дымовые и тепловые пожарные извещатели следует устанавливать в каждом отсеке потолка, ограниченном строительными конструкциями (балками, прогонами, ребрами плит и т.п.), выступающими от потолка на 0,4 м и более (рис. 11.25). При наличии на потолке выступающих частей от 0,08 до 0,4 м контролируемая площадь уменьшается на 25 %.

В случае, если в контролируемом помещении имеются коробка (рис. 11.26), технологические площадки шириной 0,75 м, имеющие сплош-

ную конструкцию и отстоящие по нижней отметке от потолка на расстоянии более 0,4 м, под ними также необходимо дополнительно устанавливать пожарные извещатели.

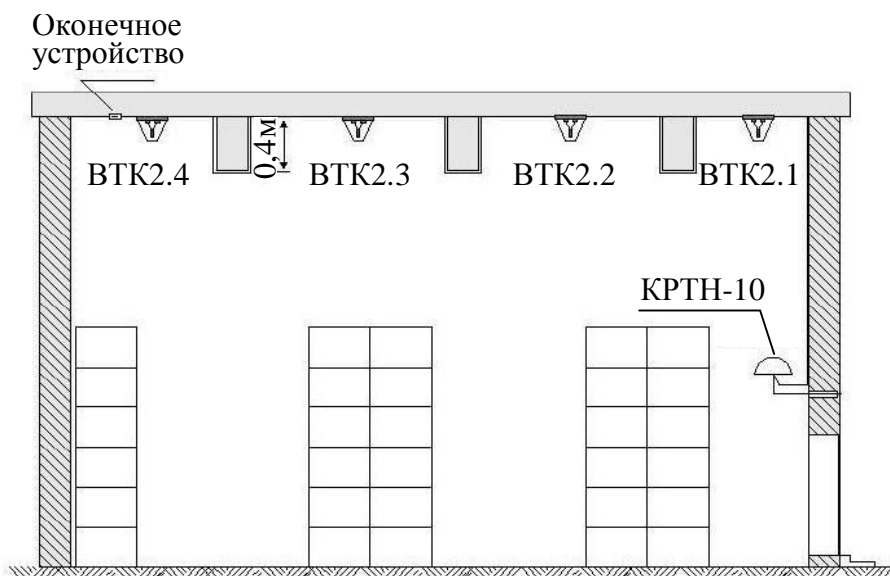


Рис. 11.25. Размещение АПИ на потолке помещения с выступающими ребрами перекрытия

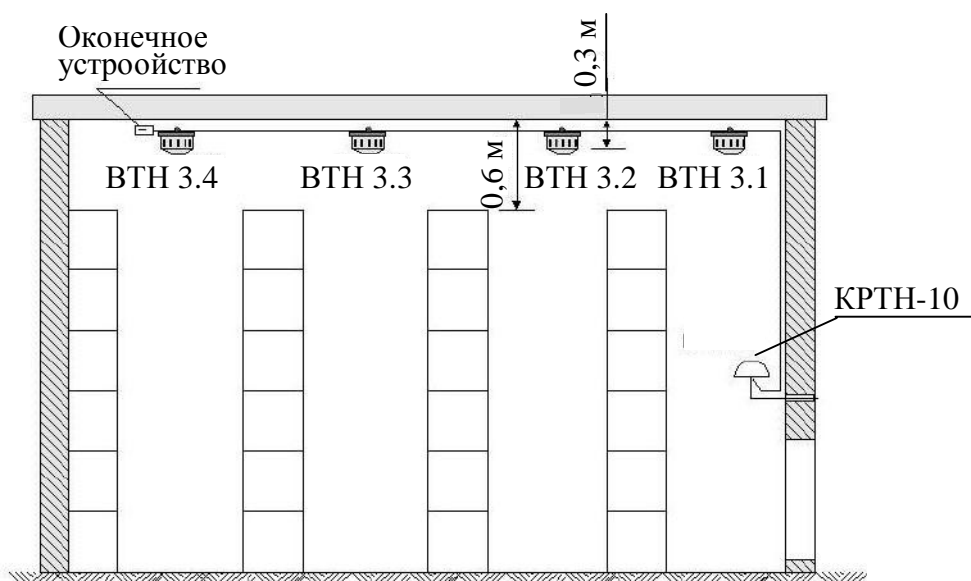


Рис. 11.26. Размещение дымовых пожарных извещателей в отсеках помещения, образованных стеллажами

Автоматические пожарные извещатели следует устанавливать в каждом отсеке помещения, образованном штабелями материалов, стеллажами, оборудованием, строительными конструкциями, верхние края которых выступают от потолка на 0,6 м и менее.

Автоматические пожарные извещатели необходимо применять в соответствии с требованиями технических условий, стандартов и паспортов с учетом условий среды контролируемых помещений. При разработке нормативных требований по защищаемой площади пожарными извещателями, при различной высоте расположения необходимо минимизировать один из основных определяющих параметров – время обнаружения пожара.

Таблица 11.5

Точечные дымовые пожарные извещатели

Высота защищаемого помещения, м	Средняя площадь, контролируемая одним извещателем, м ²	Максимальное расстояние, м,	
		между извещателями	от извещателя до стены
До 3,5	До 85	9,0	4,5
Свыше 3,5 до 6,0	До 70	8,5	4,0
Свыше 6,0 до 10,0	До 65	8,0	4,0
Свыше 10,5 до 12,0	До 55	7,5	3,5

Линейные дымовые пожарные извещатели.

Блок приёмника (БП) и блок излучателя (БИ) линейного дымового пожарного извещателя (ЛДПИ) следует устанавливать на стенах, перегородках, колоннах и других неподвижных и устойчивых конструкциях таким образом, чтобы оптическая ось БИ и БП проходила на расстоянии не более 0,4 м от уровня покрытия (перекрытия). Блок приёмника и блок излучателя ЛДПИ следует размещать на строительных конструкциях помещения таким образом, чтобы в зону обнаружения пожарного извещателя не попадали различные предметы и конструкции при его эксплуатации. Расстояние между БИ и БП определяется технической характеристикой пожарного извещателя. При формировании зоны контроля, образуемой зонами обнаружения ЛДПИ, максимальное расстояние между их параллельными оптическими осями, оптической осью и стеной в зависимости от высоты установки блоков пожарных извещателей следует определять по табл. 11.6.

Таблица 11.6

Высота установки блоков пожарных извещателей

Высота установки извещателя, м	Максимальное расстояние между оптическими осями извещателей, м	Максимальное расстояние от оптической оси извещателя до стены, м
До 3,5	9,0	4,5
Свыше 3,5 до 6,0	8,5	4,0
Свыше 6,0 до 10,0	8,0	4,0
Свыше 10, 0 до 12,0	7,5	3,5

В помещениях высотой свыше 12 м и до 18 м ЛДПИ следует, как правило, устанавливать в два яруса, в соответствии с табл. 11.7, при этом:

первый ярус ЛДПИ следует располагать на расстоянии 1,5 – 2 м от верхнего уровня пожарной нагрузки, но не менее 4 м от плоскости пола;

второй ярус ЛДПИ следует располагать на расстоянии не более 0,4 м от уровня покрытия.

ЛДПИ следует устанавливать таким образом, чтобы минимальное расстояние от его оптической оси до стен и окружающих предметов было не менее 0,5 м.

Таблица 11.7

Характеристика установки ЛДПИ

Высота защищаемого помещения, м	Ярус	Высота установки извещателя, м	Максимальное расстояние, м,	
			между оптическими осями ЛДПИ	от оптической оси ЛДПИ до стены
Свыше 12,0 до 18,0	1	1,5 – 2 от уровня пожарной нагрузки, не менее 4 от плоскости пола	7,5	3,5
	2	Не более 0,4 от покрытия	7,5	3,5

Точечные тепловые пожарные извещатели.

Площадь, контролируемая одним точечным тепловым пожарным извещателем, а также максимальное расстояние между извещателями и извещателем и стеной при квадратной схеме размещения извещателей на потолке без выступающих частей необходимо определять по табл. 11.8, но не превышая величин, указанных в технических условиях и паспортах на извещатели.

Таблица 11.8

Размещение точечных тепловых пожарных извещателей

Высота защищаемого помещения, м	Средняя площадь, контролируемая одним извещателем, м ²	Максимальное расстояние, м,	
		между извещателями	от извещателя до стены
До 3,5	До 25	5,0	2,5
Свыше 3,5 до 6,0	До 20	4,5	2,0
Свыше 6,0 до 9,0	До 15	4,0	2,0

Точечные тепловые пожарные извещатели следует располагать на расстоянии не менее 500 мм от теплоизлучающих светильников. При выборе для установки точечных тепловых пожарных извещателей следует учитывать, что температура срабатывания максимальных и максимально-дифференциальных извещателей должна быть не менее чем на 20 °С выше максимально допустимой температуры воздуха в помещении.

Линейные тепловые пожарные извещатели.

Линейные тепловые пожарные извещатели (ЛТПИ) (термокабель) следует, как правило, прокладывать совместно или в непосредственном контакте с пожарной нагрузкой. ЛТПИ допускается устанавливать под перекрытием над пожарной нагрузкой в соответствии с табл. 11.8, при этом значения величин, указанных в таблице, не должны превышать соответствующих значений величин, указанных в технической документации изготовителя. При стеллажном хранении материалов допускается прокладывать ЛТПИ по верху ярусов и стеллажей. При использовании ЛТПИ с точечными чувствительными элементами расстояние между этими элементами не должно превышать расстояний между извещателями, указанными в табл. 11.9. Очевидно, что чем ближе расположен извещатель к очагу пожара, тем быстрее он будет обнаружен.

Таблица 11.9

Расположение линейных тепловых пожарных извещателей

Высота установки извещателя, м	Максимальное расстояние, м,	
	между чувствительными элементами извещателя	от чувствительного элемента извещателя до стены
До 3,5	5,0	2,5
От 3,5 до 6,0	4,5	2,2
От 6,0 до 9,0	4,0	2,0

Однако в большинстве случаев невозможно априорно точно определить место возникновения очага горения. Поэтому приходится размещать пожарные извещатели, предполагая равную возможность возникновения пожара по всей площади. Если в защищаемом помещении выделить некоторую зону, расстояние от которой до извещателя не будет превышать предельного, то время обнаружения пожара соответствует допустимому и ее можно считать зоной защиты АПИ.

В помещении эта зона будет иметь форму усеченной фигуры вращения, а извещатель займет место на ее оси. На уровне пола защищаемая площадь примет форму круга, на центр которого проектируется извещатель. Для решения задачи оптимизации выбора схемы размещения АПИ следует определить критерий оптимизации. Исходным положением выбо-

ра такого критерия будет являться выполнение требований норм обеспечить определенную (одно или двукратную) степень перекрытия защищаемой площади извещателями, размещенными в помещении (рис. 11.27).

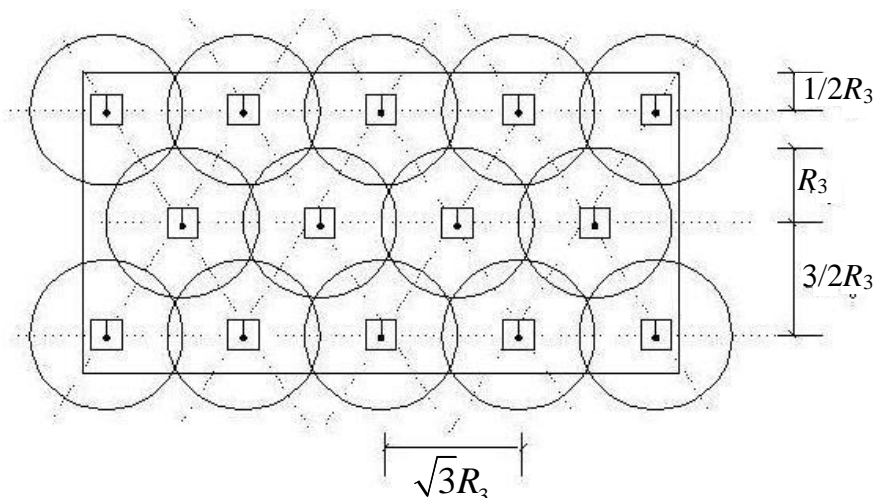


Рис.11.27. Схема однократного перекрытия защищаемой площади

В математической теории покрытия для этого используется понятие *кратности покрытия*, которое аналогично термину *степень перекрытия*. Применительно к АПС следует рассматривать две группы критериев оптимизации: *дифференцированные* и *стохастические*. К первой группе относится критерий плотности покрытия, который показывает, сколько извещателей контролирует единицу площади защищаемого помещения.

На практике используется однократное и двукратное перекрытие с использованием квадратной схемы размещения извещателей. В этом случае расстояние L между соседними извещателями не превышает значений, указанных в табл. 11.3, а расстояние от АПИ до стен не превышает $L/2$. При двукратной схеме размещения расстояние между извещателями одного ряда составляет $\sqrt{2}/2 R_3$. Схема размещения, плотность покрытия которой будет минимальна при заданной кратности защиты, станет оптимальной, так как чем меньше плотность покрытия, тем меньшее число автоматических пожарных извещателей ее реализует.

Так, однократное размещение АПИ обеспечивает расстановку извещателей в углах равносторонней треугольной решетки или треугольной схемы размещения. Считается, что такая схема наиболее рациональна с точки зрения минимизации количества извещателей. Параметры такой решетки следующие: расстояние между извещателями равно $R_3\sqrt{2}$; расстояние между соседними шлейфами (рядами АПИ) принимается равным $3/2 R_3$.

Координатные схемы размещения в виде правильного квадрата и шестиугольников удовлетворяют условию сплошного покрытия, причем квадратная схема обеспечивает однократное покрытие плоскости кругами.

Шестиугольная или гексагональная схема размещения (рис. 11.28) обеспечивает двукратное покрытие плоскости или ее двукратную защиту.

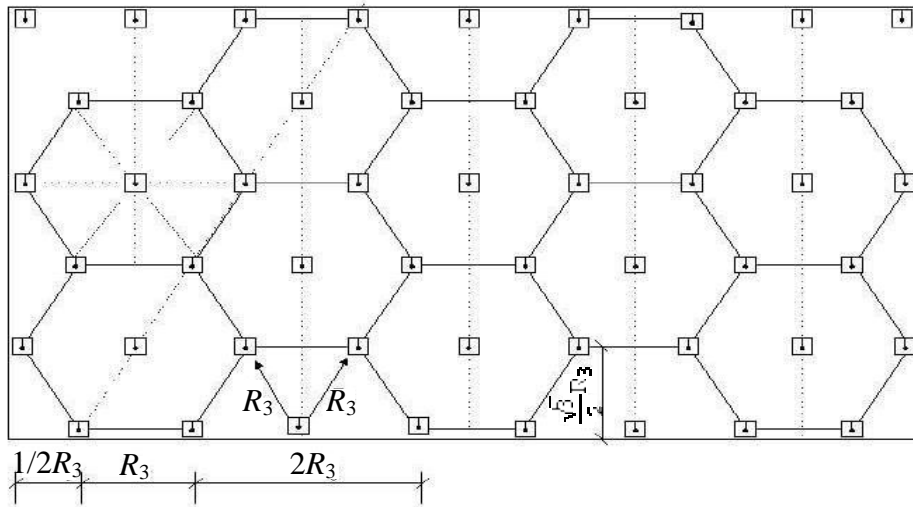


Рис. 11.28. Двукратная гексагональная схема размещения АПИ

Эта схема является наиболее надежной по обеспечению расчетного времени срабатывания систем раннего обнаружения пожара с последующим включением систем автоматической противопожарной защиты. Характерные элементы однократной треугольной и двукратной шестиугольной схемы размещения АПИ показаны на рис. 11.29, а, б.

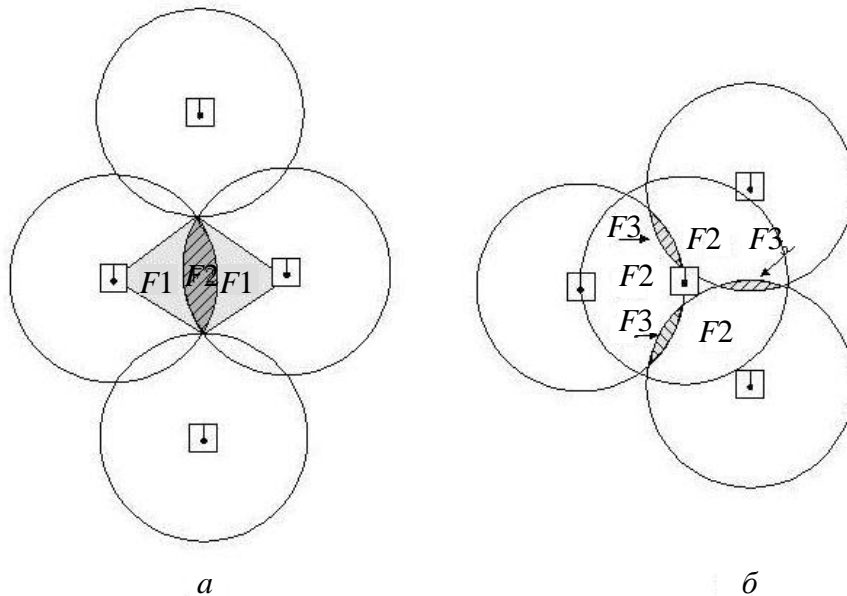


Рис. 11.29. Характерный элемент однократной треугольной и двукратной шестиугольной схемы размещения АПИ:
 а – однократная треугольная схема размещения АПИ;
 б – двукратная шестиугольная схема размещения АПИ

Стохастический критерий оптимизации выбора и размещения пожарных извещателей характеризует вероятность обнаружения пожара извещателями, размещенными по определенной схеме по заданному параметру вероятности $P_{(t)}$, допустимого времени обнаружения пожара, допустимой тепловой мощности очага горения, предельной массе сгоревшего материала, допустимой по условиям эвакуации концентрации дыма и др. Вероятность безотказной работы системы обнаружения пожара определяется по формуле

$$P_{(t)} = \sum_{i=1 \dots \infty}^n (1 - q_{(t)}^i) F_i / F ,$$

где $P_{(t)}$ – вероятность безотказной работы системы обнаружения пожара в период между регламентными работами по ТО; $q_{(t)}$ – вероятность отказа одного АПИ из схемы размещения в пределах заданной наработки; F_i – суммарная площадь областей помещения, в начальный момент защищенных i -м извещателем, м; F – общая площадь помещения, м; n – количество извещателей в схеме размещения, защищающих помещение.

Количество автоматических пожарных извещателей, включаемых в один шлейф пожарной сигнализации, следует определять технической характеристикой пультов, концентраторов, приемно-контрольных приборов пожарной сигнализации.

Извещатели пламени.

Пожарные извещатели пламени должны устанавливаться в помещениях, на покрытиях, стенах и других строительных конструкциях зданий и сооружений. Каждая точка защищаемой поверхности должна контролироваться не менее чем двумя извещателями пламени, их ориентацию на защищаемую поверхность рекомендуется производить с противоположных направлений.

Контролируемую извещателем пламени площадь помещения или оборудования следует определять, исходя из значения угла обзора извещателя и в соответствии с его классом по НПБ 72-98 или максимальной дальности обнаружения пламени конкретной пожарной нагрузки, указанной в технической документации.

Ручные пожарные извещатели.

Ручные пожарные извещатели следует устанавливать внутри и вне зданий и сооружений на стенах и конструкциях на высоте 1,5 м от уровня земли или пола в легкодоступных местах. Ручные пожарные извещатели следует устанавливать на расстоянии:

не менее 0,5 м от органов управления различным электрооборудованием (выключателей, переключателей и т. п.);

не менее 0,75 м от различных предметов, мебели, оборудования и т.п.;
в местах, удалённых от электромагнитов, постоянных магнитов и других устройств, воздействие которых может вызвать самопроизвольное срабатывание ручного пожарного извещателя (требование распространяется на ручные пожарные извещатели, срабатывание которых происходит при переключении магнитоуправляемого контакта);
не более 50 м друг от друга внутри зданий;
не более 150 м друг от друга вне зданий.

Обязательно ручные пожарные извещатели следует устанавливать на путях эвакуации, у выходов из помещения на лестничные клетки. Освещённость в месте установки ручного пожарного извещателя должна быть достаточной для того, чтобы прочесть указательные надписи на корпусе извещателя и различить его элементы управления.

Газовые пожарные извещатели.

Газовый пожарный извещатель – пожарный извещатель, реагирующий на газы, выделяющиеся при тлении или горении материалов (по НПБ 71-98). Газовые пожарные извещатели следует устанавливать в помещениях на потолке, стенах и других строительных конструкциях зданий и сооружений в соответствии с инструкцией по эксплуатации этих извещателей и рекомендациями специализированных организаций.

11.2. Технические средства сбора и обработки информации

11.2.1. Основные функции и показатели приемно-контрольных приборов

В соответствии с классификацией приемно-контрольные приборы (ППКП) пожарной и охранно-пожарной сигнализации относятся к техническим средствам оповещения. Они предназначены для приема, преобразования, передачи, хранения, обработки и отображения поступающей информации и управления.

Установка пожарной сигнализации – совокупность технических средств для обнаружения пожара, обработки, представления в заданном виде извещения о пожаре, специальной информации и/или выдачи команд на включение автоматических установок пожаротушения.

Система пожарной сигнализации – совокупность установок пожарной сигнализации, смонтированных на одном объекте и контролируемых с общего пожарного поста. Классификация технических средств оповещения, приемно-контрольных и управляющих приборов представлена на рис. 11.30.

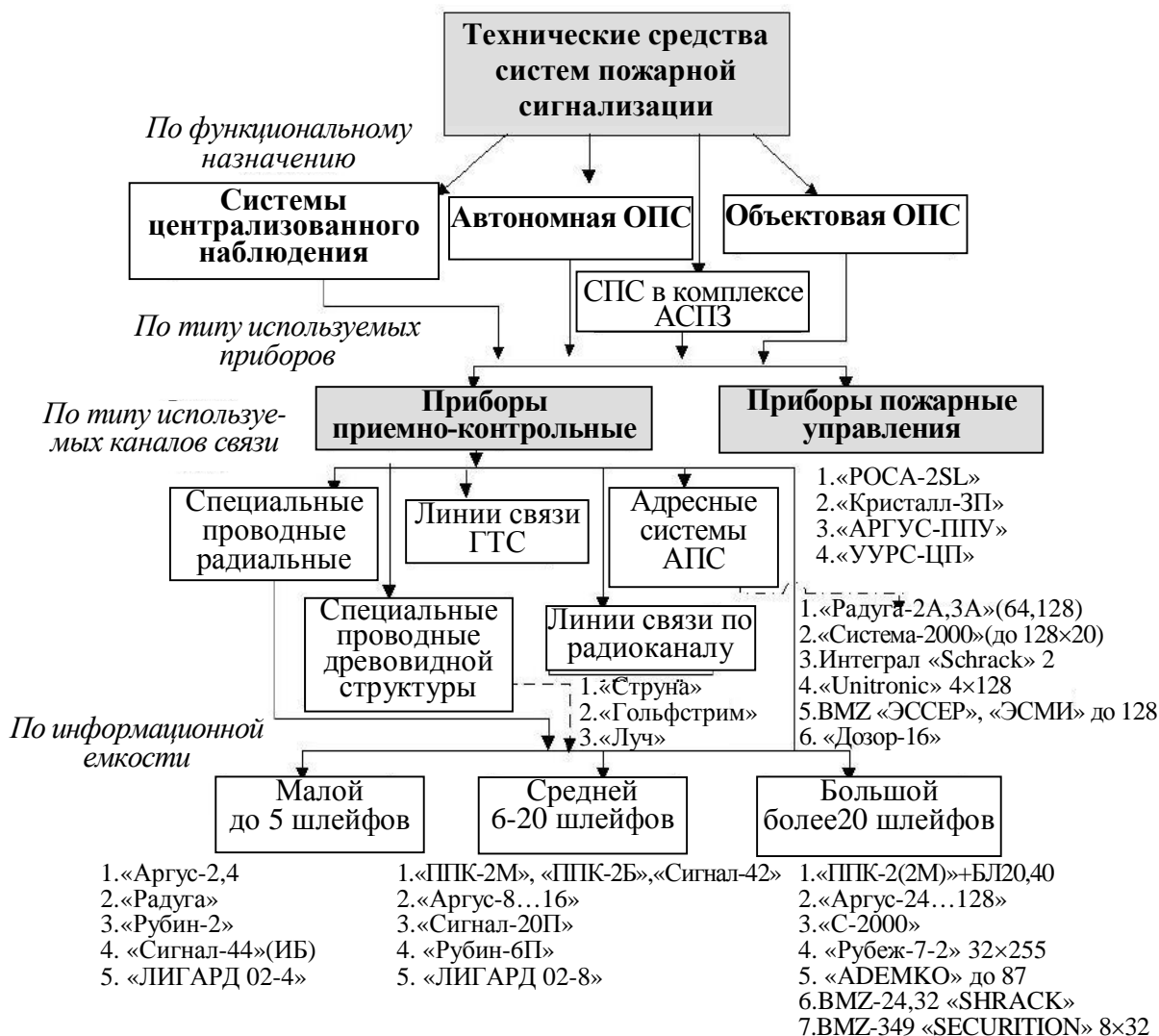


Рис.11.30. Классификация приемно-контрольных и управляющих приборов

Приемно-контрольные приборы должны обеспечивать:

- прием сигналов от ручных и автоматических пожарных извещателей с индикацией номера шлейфа, с которого поступил сигнал;
- непрерывный контроль за состоянием шлейфа АПС по всей длине, автоматическое выявление повреждения и сигнализацию о нем;
- световую и звуковую сигнализацию о поступающих сигналах тревоги или повреждения;
- различение принимаемых сигналов тревоги и повреждения;
- автоматическое переключение на резервное питание при исчезновении напряжения основного питания и обратно с включением соответствующей сигнализации без выдачи ложных сигналов;
- ручное включение любого шлейфа в случае необходимости;
- подключение устройств для дублирования поступивших сигналов тревоги и сигналов повреждения.

Технические средства оповещения по типу используемых приборов и устройств делятся на приемно-контрольные (ППКП) и управляющие (ППУ).

ППКП – это устройство, предназначенное для приема сигналов от пожарных извещателей (ПИ), обеспечения электропитанием активных (токопотребляющих) ПИ, выдачи информации на световые, звуковые оповещатели и пульта централизованного наблюдения, а также формирования стартового импульса запуска ППУ (по НПБ 75-98). Обеспечение электроэнергией активных ПИ и прием сигналов от ПИ осуществляется посредством одной или нескольких соединительных линий между ПИ и ППКП.

ППУ – это устройство, предназначенное для формирования сигналов управления автоматическими средствами пожаротушения (далее – АСПТ), контроля их состояния, управления световыми и звуковыми оповещателями, а также различными информационными табло и мнемосхемами (по НПБ 75). Запуск ППУ осуществляется от стартового импульса, формируемого ППКП. ППУ осуществляет прием информации от пожарных извещателей, включение местных устройств сигнализации, пуск автоматических установок пожаротушения, дымоудаления, взрывоподавления и выдачу информации на концентратор или оконечное устройство системы передачи сообщений.

В комплексных системах охранно-пожарной сигнализации применяется специальный прибор – концентратор, который осуществляет прием тревожных сообщений с нескольких контролируемых направлений от соответствующих приемно-контрольных (сигнально-пусковых) приборов или непосредственно от извещателей, преобразование полученной информации, индикацию состояния каждого из охраняемых объектов, включение местных устройств сигнализации, выдачу информации на оконечное устройство системы передачи тревожных сообщений и пуск установок автоматического пожаротушения, дымоудаления, взрывоподавления.

По функциональному назначению технические средства оповещения подразделяются на:

- автономные системы пожарной и охранно-пожарной сигнализации;
- объектовые системы пожарной сигнализации;
- системы пожарной сигнализации, работающие в комплексе устройств противопожарной защиты;
- системы централизованного наблюдения.

По типу используемых каналов связи технические средства оповещения подразделяются на:

- специальные проводные линии связи с радиальной структурой;
- специальные проводные линии связи с кольцевой (цепочечной) структурой;
- специальные проводные линии связи с древовидной структурой:

с использованием линий городской телефонной сети;

с использованием радиосвязи.

Шлейф пожарной сигнализации – соединительные линии, прокладываемые от пожарных извещателей до распределительной коробки или приемно-контрольного прибора.

Основные информационные показатели ПКП (параметры)

Информационная емкость (единицы) – количество контролируемых шлейфов сигнализации. ПКП делятся по этому параметру на малую (до 5 шлейфов), среднюю (6 – 20 шлейфов) и большую (более 20 шлейфов) информационные емкости.

Информативность (единицы) – количество видов сообщений. По этому параметру ПКП разделяются на малую (2 вида сообщений), среднюю (3-5) и большую (более 5) информативности. Обязательными параметрами в соответствии с принятым стандартом является выдача сообщений о нормальном режиме работы, повреждении (неисправности) и тревоге.

Работу шлейфа ПКП в режиме совпадения сигнала от двух извещателей можно проиллюстрировать на рис. 11.31. После первого срабатывания АПИ выдается сигнал "Внимание", после чего происходит проверка станцией истинности сигнала о пожаре, а шлейф АПС обнуляется. Через короткий промежуток времени (около 2 с.) АПИ восстанавливается, после чего ПКП переходит в режим повторного запроса и ожидания второго срабатывания, а после его подтверждения в течение приблизительно 50 с выдается сигнал "Пожар".

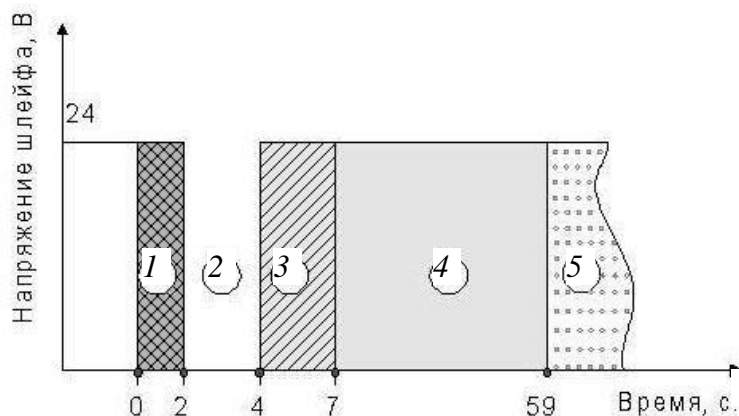


Рис. 11.31. Работа шлейфа АПС при обнаружении пожара:

- 1 – время после 1-го срабатывания АПИ, режим "Внимание";
2 – обнуление шлейфа; 3 – восстановление АПИ; 4 – повторный запрос и ожидание второго срабатывания АПИ; 5 – режим "Пожар"

Приемно-контрольные приборы предназначены для эксплуатации в закрытых помещениях при нормальной температуре, как правило, в диапазоне

от 0 до +40 °С и относительной влажности воздуха 80 % при 25 °С. Отдельные виды устройств могут быть использованы при температуре от -30 до +50 °С и влажности воздуха 98 %. При этом должно отсутствовать прямое воздействие солнечной радиации, атмосферных осадков, песка и пыли.

11.2.2. Основные принципы построения традиционных приемно-контрольных приборов и обеспечение контроля их работоспособности

Среди многих принципов конструирования оптимальных по затратам и надежности ПКП можно выделить следующие основные:

1. Разделение системы на направления (шлейфы, лучи).

Такое разделение позволяет достаточно экономно и просто определить адрес возникшего пожара. В каждое направление включается несколько пожарных извещателей.

2. Блочный принцип построения.

Для обеспечения высокой ремонтпригодности, т.е. свойства аппаратуры к быстрому отысканию и устранению неисправности, а также ее ремонту, ПКП конструктивно составлены из отдельных легкоъемных блоков с электронными элементами.

3. Иерархическая структура построения электронных элементов.

Такая структура обеспечивает надежность при минимальном количестве элементов. Как правило, можно выделить три уровня иерархии: пожарные извещатели – 1-й уровень, блоки лучевых комплектов (БЛК) – 2-й уровень, общестанционный блок обработки информации – 3-й уровень.

4. Резервирование основных цепей и функций ПКП.

ПКП – весьма ответственная электронная аппаратура с большим количеством элементов. Последствия отказов этой аппаратуры весьма существенны. Это либо пропуск пожара, что приводит к возрастанию ущерба, а для особо ответственных объектов к непоправимым последствиям, либо ложное срабатывание, что приводит к выпуску огнетушащего средства или к неоправданному вызову подразделений пожарной охраны.

5. Автоматический и тестовый контроль работоспособности основных цепей.

Для своевременного обнаружения возникших отказов основных блоков применяют специальные контролирующие устройства – автоматические и встроенные технические средства. В ПКП автоматический контроль применяется для определения неисправности линий связи и наличия внешнего источника питания.

6. Взаимозаменяемость и унификация узлов.

Для выполнения всех основных функций в соответствии с принципами построения ПКП имеет в своем составе следующие блоки, между которыми осуществляется определенное функциональное взаимодействие и

взаимосвязь: пожарные извещатели, линии связи, входные коммутационные устройства, лучевые комплекты, общестанционные блоки обработки информации, световые устройства сигнализации, звуковые устройства сигнализации, блок контроля работоспособности тестовый, устройства сигнализации повреждения, внутренний блок питания, блок аварийного включения резервного источника питания, основной и резервный источники питания, устройства включения команд управления установками пожаротушения и обеспечения пожарной безопасности.

11.2.3. Приемно-контрольные приборы, выпускаемые в Российской Федерации

Пульт приемно-контрольный ППК-2 предназначен для приема сигналов от пожарных извещателей с нормально замкнутыми и нормально разомкнутыми контактами, а также активных пожарных извещателей с бесконтактным выходом, формирующих сигнал в виде уменьшения электрического сопротивления до величины, не превышающей 450 Ом при силе тока 20 мА (РИД-6М, ДИП-3МЗ и др.). В полный комплект установки АПС могут входить линейные блоки для расширения емкости системы типа БЛ-20 и БЛ-40, соответственно на 20 и 40 шлейфов. Последние две модификации выполняют в двух корпусах и соединяют электрическим кабелем с ППК-2. Пульт выполнен в настенном варианте на основе блочной системы конструирования (рис. 11.32).

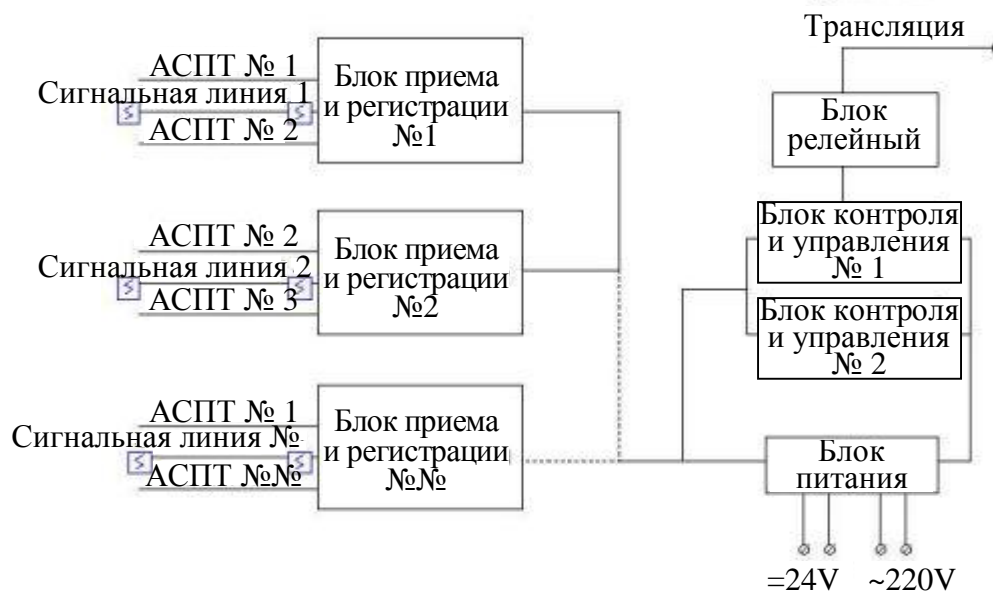


Рис. 11.32. Блок-схема традиционных приемно-контрольных устройств с радиальными шлейфами на примере устройства ППК-2

Пульт состоит из блоков приема и регистрации информации (БПР), блоков контроля и управления (БКУ₁, БКУ₂), блока релейного (БР) и блока пита-

ния. С помощью сигнальных линий к пультам подключаются пожарные извещатели 1 с нормально замкнутыми контактами параллельно нагрузочному резистору R_1 , извещатели с бесконтактным выходом 2 и извещатели 3 с нормально разомкнутыми контактами через диод VD (рис. 11.33). Пульт предусматривает тестовый контроль (с помощью встроенных устройств контроля) работоспособности основных цепей электрической схемы. Число активных пожарных извещателей, включаемых в один шлейф, от 20 до 40 шт.

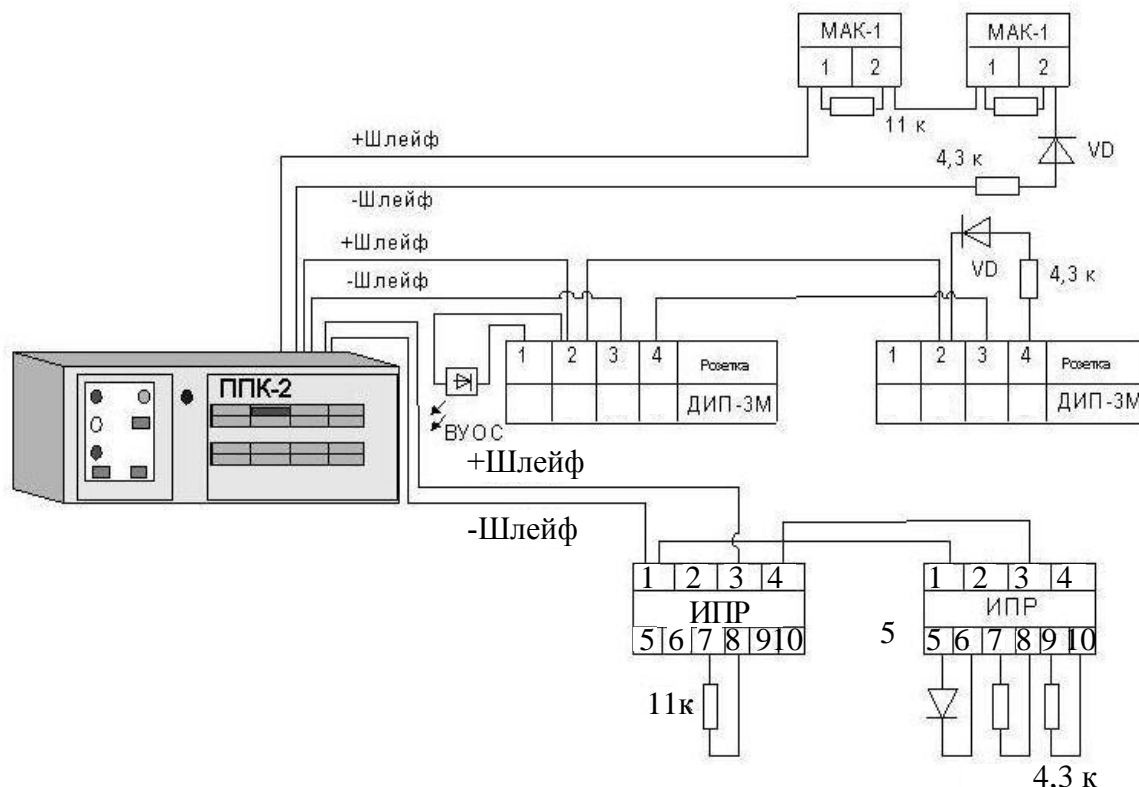


Рис. 11.33. Схема подключения извещателей к приемному пульту на примере ППК-2

Пульт ППК-2 предназначен для работы в двух основных режимах: дежурном сигнализационном режиме; дежурном режиме с автоматическим пуском установки пожаротушения. В первом режиме все кнопки органов управления находятся в отпущенном положении. При поступлении сигнала "Пожар" с защищаемого объекта включается соответствующий адресный и групповой оптические индикаторы и звуковой сигнализатор.

Одновременно срабатывает трансляционное реле и через 25 с срабатывает реле "Оповещение". Сброс всех поступающих сигналов осуществляется нажатием на кнопку "Сброс". Во втором режиме должны быть нажаты все кнопки автоматического пуска установки пожаротушения в блоке приема и регистрации БПР сигналов соответствующих шлейфов.

При поступлении сигналов "Пожар" оператор должен зафиксировать номер шлейфа, с которого поступила информация, и время поступления сиг-

нала. Следует помнить, что недопустимо одновременное отключение питания более пяти шлейфов путем нажатия кнопок отключения шлейфа блока БПР. ППК-2 является основной составной частью установок АПС типа РУПИ-1 и ППС-3.

Выпускаемый промышленностью пульт ППК-2Б отличается от рассмотренного ранее устройства наличием технических функций грозозащиты по каждому шлейфу, применением электромеханического счетчика тревожных извещений, возможностью проверки работоспособности извещателей каждого из 8 шлейфов. Его применение оправдано на малых и средних объектах.

В модификации ППК-2М электрическая схема прибора выполнена на новой, современной элементной базе с использованием ПС-процессоров фирмы "Microchip". Прибор ППК-2К имеет конструктивную особенность, связанную с использованием 10 охранных и 10 пожарных шлейфов АПС. Устройство и функциональные схемы базовых приборов аналогичны пульту ППК-2.

Устройство приемно-контрольное охранно-пожарное "ТОПАЗ" (УПКОП 01041-10/50-1). Устройство предназначено для приема сигналов тревожных сообщений от пожарных извещателей с нормально замкнутыми контактами (ИТМ, ИП-103, ТРВ-2, ИП-105 и др.), контроля за исправностью шлейфов сигнализации, отображения поступающей информации с помощью световых и звуковых сигналов с расшифровкой их вида и адреса, выдачи отдельных сигналов "Пожар", "Тревога", "Авария" по проводным линиям на пульт централизованного наблюдения, а также для формирования адресных команд управления автоматическими установками пожаротушения и дымоудаления. Выпускается три модификации концентратора: на 10 (устройство базовое), 30 и 50 (с линейными блоками) шлейфов сигнализации.

Концентратор "ТОПАЗ" работает как с выделенными линиями городской телефонной сети (ГТС), так и со специальными проводными линиями связи. Особенностью концентратора является то, что в каждом его шлейфе имеется возможность приема сигналов с охраняемого объекта по двум независимым каналам, каждый из которых может индивидуально отключаться.

Устройство сигнально-пусковое УСПП-01Л "Сигнал-42". Устройство предназначено для сигнализации о пожаре и управления автоматическими установками пожаротушения, системами дымоудаления и оповещения о пожаре (АСПТ) и может применяться в противопожарной защите различных объектов народного хозяйства. "Сигнал-42" осуществляет контроль состояния шлейфов АПС с включенными в них автоматическими и ручными пожарными извещателями. "Сигнал-42" работает с дымовыми извещателями типа ИП-212 (ДИП-3МЗ), РИД-6М, извещателем пламени ИП329 "Аметист", тепловыми ИП-101, ИП-103, ИП-105, ручным ИПР. Отличительная особенность устройства – возможность оперативного выбора

алгоритма работы наиболее рациональных для конкретного объекта технических параметров устройства, а также непосредственного (без промежуточных реле) управления средствами автоматического пожаротушения (АСПТ). Функциональная схема прибора представлена на рис. 11.34. Каждому шлейфу сигнализации устройства соответствуют четыре выхода АСПТ: выход 1 представляет безынерционную тиристорную электрическую цепь на замыкание; выходы 2 и 3,4 группы релейных контактов на переключение. Предусмотрены режимы работы, при которых включение средств АСПТ осуществляется при срабатывании одного, двух или четырех извещателей.

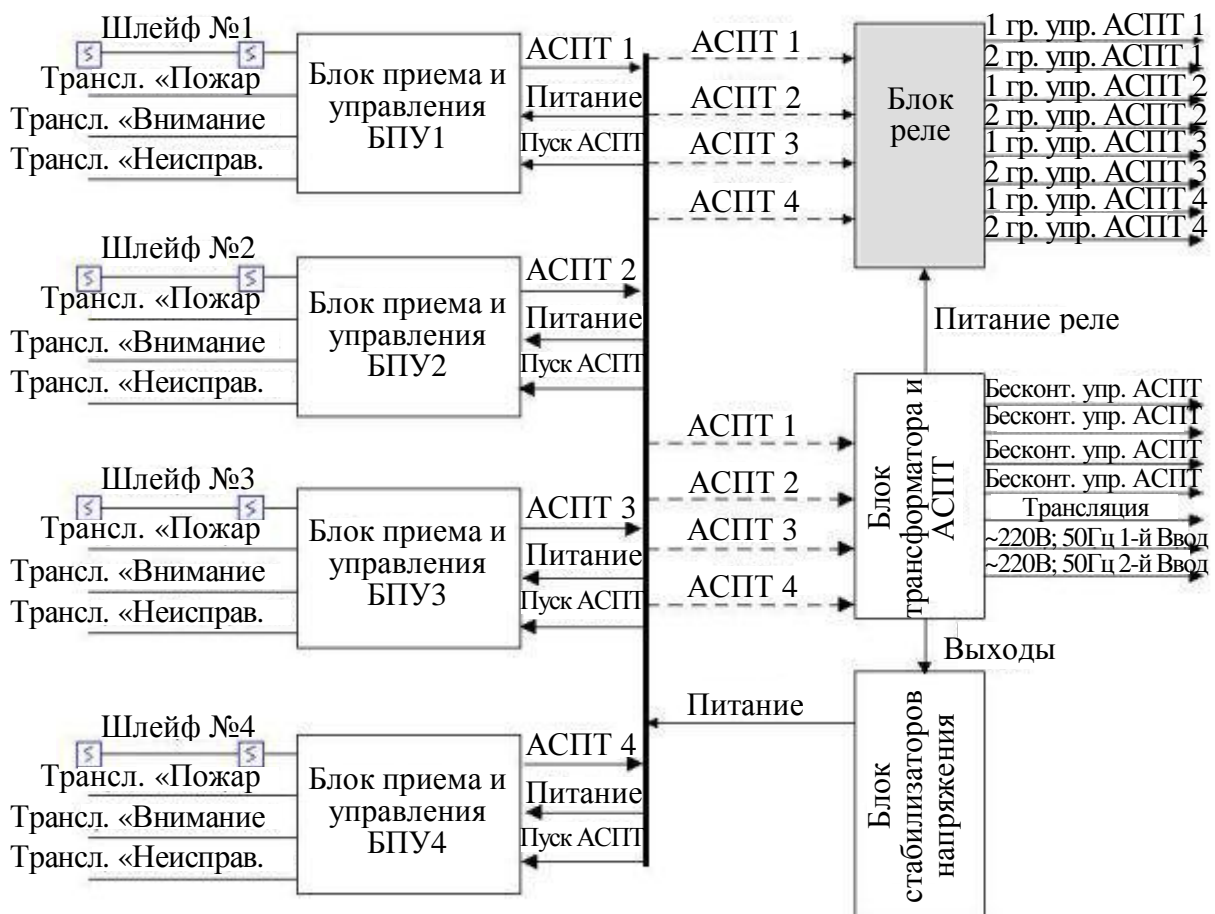


Рис. 11.34. Функциональная схема устройства УСПП-01Л «Сигнал-42»

Максимальное количество шлейфов 4. Особенностью применения УСПП-01Л является эффективное использование в системах АППЗ для запуска систем газового, порошкового пожаротушения; включения, отключения вентиляции, систем оповещения, дымоудаления и т.д. Причем такая возможность предусмотрена для различных вариантов использования схем автоматизации, например при срабатывании извещателей одного шлейфа;

при совпадении сигналов от двух шлейфов; при поступлении сигнала индивидуально по каждому шлейфу прибора.

Прибор приемно-контрольный охранно-пожарный ПШКОП 032-1 "АРГУС". Прибор предназначен для непрерывного круглосуточного контроля состояния шлейфов охранной и пожарной сигнализации, определения нарушений или повреждений шлейфов и выработки сигналов тревожного извещения. Прибор формирует индивидуальные для каждого шлейфа электрические сигналы управления, которые могут быть использованы для управления автоматической системой пожаротушения (АСПТ), выносным многозонным световым оповещателем или для управления другим необходимым оборудованием (системами видеонаблюдения и т.п.). Прибор позволяет подключить печатающее устройство для распечатки протокола работы (события по шлейфам сигнализации и параметры работы прибора). Все регистрируемые прибором события по шлейфам и изменения в режимах работы прибора записываются в энергонезависимую память прибора и сохраняются неограниченное время при полном отключении всех источников питания. Прибор имеет стандартный канал связи с ЭВМ для передачи накопленной информации. Исполнение прибора – настольное. Прибор имеет пять выходных сигналов ("сухие" контакты реле) для подключения на пульт центрального наблюдения. Прибор может выпускаться с любой информационной емкостью от 4 до 128 шлейфов сигнализации (программируемый вариант изделия). Прибор обеспечивает возможность работы каждого шлейфа по одному из двух алгоритмов – без права отключения (БПО) или с правом отключения (СПО) дежурным оператором.

К выходу управления может подключаться обмотка электромагнитного реле постоянного тока или световые индикаторы. Для питания прибора используется внешний источник постоянного тока напряжением до 40 В. Коммутируемая одним выходом мощность – до 25 Вт. Прибор обеспечивает пользователю возможность самостоятельно выбрать алгоритм работы каждого шлейфа, тип шлейфа (пожарный/охранный), на долгий срок отключить неиспользуемые шлейфы.

В системах охранно-пожарной сигнализации нашли широкое применение приемные панели VISTA-501 и VISTA-120. Панели имеют 9 базовых проводных зон. Зона № 1 может работать с двухпроводными пожарными извещателями (до 16), зона № 8 может работать с двухпроводными датчиками разбития стекла с памятью срабатывания. С помощью адресного шлейфа и радиоканального расширения количество зон может быть увеличено у VISTA-120 до 128. Радиоканальное расширение осуществляется посредством приёмников серии 5881. В адресный шлейф могут включаться как адресные датчики, так и адресующие модули: 4208Ц – 8 зон, 420911 – 4 пожарные зоны, в каждую из которых можно подключить до 16 двухпроводных пожарных извещателей. К пане-

лям могут быть подключены клавиатуры 61281 и/или 61391, релейные модули 4204 и/или 360, приёмники серии 5881. Общее число подключённых устройств может достигать 16. Связь с ПЦН может осуществляться с помощью релейного модуля 360, релейного модуля 4204 или через встроенный модем по аналоговым телефонным линиям.

Для защиты помещений и объектов с взрывоопасными технологическими процессами необходимо использовать либо пожарные извещатели в соответствующем взрывозащищенном исполнении, либо обычные извещатели, но подключенные в специальную искробезопасную электрическую цепь. Для этих целей отечественная промышленность выпускает приемно-контрольные приборы ППКОП 019-1-13 "Корунд-1И", УПКОП 135-1-1, "Корунд-20И", соответственно с одним и двадцатью шлейфами, с искробезопасной цепью. Приборы выполнены на современной элементной базе и отвечают всем необходимым требованиям.

Устройство приемно-контрольное охранно-пожарное взрывозащищенное с видом взрывозащиты "Искробезопасная электрическая цепь" УПКОП 135-1-1. Устройство состоит из интерфейсного взрывозащищенного блока и элемента выносного. Устройство предназначено для подключения к приборам приемно-контрольным охранно-пожарным и обеспечения контроля состояния одного искробезопасного шлейфа пожарной и (или) охранной сигнализации (ШС), выдачи сигналов тревожного извещения на шлейф сигнализации ППКОП в случае обрыва или короткого замыкания, срабатывания пожарных и (или) охранных извещателей в искробезопасной цепи. Устройство обеспечивает гальваническую развязку искробезопасного шлейфа и шлейфа сигнализации прибора ППКОП общего исполнения. Устройство содержит оптронную развязку выхода. Блок интерфейсный взрывозащищенный имеет:

искробезопасный вход для подключения шлейфа пожарной и (или) охранной сигнализации;

вход для подключения источника питания постоянного тока;

выход для связи с цепями ШС прибора;

двухцветный оптический светодиодный индикатор наличия напряжения питания и состояния цепи ШС. Устройство рассчитано для работы в составе приборов, имеющих выход от внутреннего источника питания постоянного тока напряжением (12 ± 3) В.

БИБ обеспечивает искробезопасность шлейфа пожарной сигнализации с включенными в него контактными пожарными извещателями и выносным элементом (ВЭ), с уровнем взрывозащиты "1а" по ГОСТ 22782.5-78 для взрывозащищенного электрооборудования группы II, имеет маркировку Ex1a11C в комплекте УПКОП 135-1-1 и предназначен для установки только вне взрывоопасных зон.

Для искробезопасных цепей во взрывоопасных зонах любого класса разрешается открытый способ прокладки небронированных проводов и кабелей.

11.2.4. Принципы построения приемно-контрольных приборов с применением микропроцессоров и методы обработки цифровой или аналоговой информации от пожарных извещателей

Микропроцессорная техника относится к новым технологиям, которые позволяют резко повысить информационные параметры аппаратуры. Существенное отличие микропроцессорной техники от традиционной заключается в гибкости программного обеспечения, возможности создания адресных пожарных извещателей и существенного повышения надежности за счет программирования обработки сигнала от извещателей.

Адресная система пожарной сигнализации (АСПС) – совокупность технических средств пожарной сигнализации, предназначенных (в случае возникновения пожара) для автоматического или ручного включения сигнала "Пожар" на адресном приемно-контрольном приборе посредством автоматических или ручных адресных пожарных извещателей, защищающих помещения.

Адресный пожарный извещатель (АПИ) – компонент АСПС, который передает на адресный приемно-контрольный прибор код своего адреса вместе с извещением о пожаре.

Адресный приемно-контрольный прибор (АПКП) – компонент АСПС, предназначенный для приема адресных извещений о пожаре и сигнала "Неисправность" от других компонентов АСПС, выработки сигналов пожарной тревоги или неисправности системы и для дальнейшей передачи сигналов и выдачи команд на другие устройства. АПКП должен обеспечивать контроль, управление и электрическое питание всех компонентов АСПС.

Шлейф – электрическая соединительная линия в АСПС между АПКП и АПИ.

Дежурный режим – стационарный режим работы АСПС после снятия всех поступивших на АПКП сигналов, в котором АСПС в целом и ее компоненты способны принять и передать сигналы "Пожар" и "Неисправность".

Устойчивость АСПС – возможность сохранять работоспособность при различных воздействиях окружающей среды.

По максимальному количеству подключаемых АПИ АСПС подразделяются на три категории: до 128 АПИ; от 129 до 512 АПИ; свыше 512 АПИ. По способу передачи информации о пожароопасной ситуации в защищаемых помещениях АСПС подразделяются на *аналоговые, дискретные и комбинированные*.

АСПС должна соответствовать требованиям действующих норм и технических условий на конкретную АСПС, введенных в установленном порядке и согласованных с УГПС. АСПС должна автоматически обеспечивать визуальное отображение кодов адресов (далее – номеров) АПИ, от ко-

торых поступил сигнал "Пожар". АСПС должна обеспечивать автоматическую дистанционную проверку работоспособности АПИ с визуальным отображением номеров отказавших АПИ.

В настоящее время можно выделить три основных типа станций пожарной сигнализации: неадресные, адресные, адресно-аналоговые.

Самые известные из них и ранее рассмотренные – традиционные *неадресные*. В шлейф сигнализации такого типа включаются обычные дымовые, тепловые и ручные извещатели. При срабатывании датчика его номер и помещение на станции не указываются. Источник сигнала в лучшем случае определяется визуально по встроенному в извещатель светодиоду или выносному устройству индикации, что очень неудобно. Применение неадресных систем целесообразно для небольших объектов (не более 30 – 60 помещений).

В *адресных системах* анализ состояния окружающей среды и формирование сигнала также производится самим датчиком, но в шлейфе сигнализации реализуется протокол обмена, позволяющий определить, какой именно извещатель сработал. В каждом датчике или монтажном цоколе расположена схема установки адреса.

Адресно-аналоговые системы пожарной сигнализации являются центром сбора телеметрической информации, поступающей от извещателя. Так, для теплового датчика станция постоянно контролирует температуру воздуха в месте его установки, для дымового – концентрацию дыма. По характеру изменения этих параметров именно станция, а не извещатель (как в случае адресных систем) формирует сигнал о пожаре. Это позволяет существенно повысить достоверность определения очага возгорания.

Таким образом, система определяет конкретное место формирования сигнала о пожаре, что повышает оперативность реагирования специальных служб. Примером адресных и адресно-аналоговых систем пожарной (охранно-пожарной) сигнализации могут служить приборы "*HONEYWELL*" (США), "*SECURITON*" (Швейцария), "*eff-eff*" и "*ESSER*" (Германия), "*SCHRACK*" (Австрия), "*CERBERUS*", "*ESMI*" (Финляндия) и др. Адресно-аналоговые приборы находят все большее распространение при защите различных объектов, в том числе для построения систем управления любыми типами установок пожаротушения.

Базовая модель приемно-контрольного прибора обеспечивает подключение двух и более кольцевых шлейфов сигнализации, в каждый из которых может быть включено до 128 адресно-аналоговых извещателей – тепловых, дымовых и ручных, а также до 128 устройств ввода-вывода, осуществляющих контроль и управление локальными системами автоматики и оповещения. Количество шлейфов может быть увеличено до восьми с кратностью наращивания 2. Для повышения "живучести" системы в шлейфы сигнализации вмонтированы устройства локализации короткого замыкания на каком-либо участке, обеспечивающие постоянную работоспособность основного шлейфа.

В адресно-аналоговых системах имеется 5 – 8 релейных выходов, формирующих сигнал о пожаре, и до 4 выходов для подключения информационных сигналов (звуковых или световых). Кроме того, могут быть организованы 32 выхода для управления системами автоматики. В корпусе станции предусмотрено место для установки аккумуляторных батарей, которые обеспечивают ее работоспособность в течение не менее 72 ч после отключения основного электропитания.

Особенностью приемных управляющих панелей приборов является наличие жидкокристаллического дисплея, на который выводится служебная информация на русском языке. В случае срабатывания извещателя, помимо отображаемого на дисплее адреса датчика и номера шлейфа, может быть выведено дополнительное текстовое пояснение.

Приемно-контрольные приборы на микропроцессорах выпускаются, как правило, с двумя центральными процессорами. Один из них – *шлейфный процессор* – обеспечивает связь ПКП с пожарными извещателями и обработку сигнала от них по определенному алгоритму. Другой процессор обеспечивает выработку команд на управление внешними устройствами, обеспечение согласования всех внутренних блоков и контроль их работоспособности в соответствии с заданным алгоритмом. Он называется *главным процессором* (рис. 11.35).

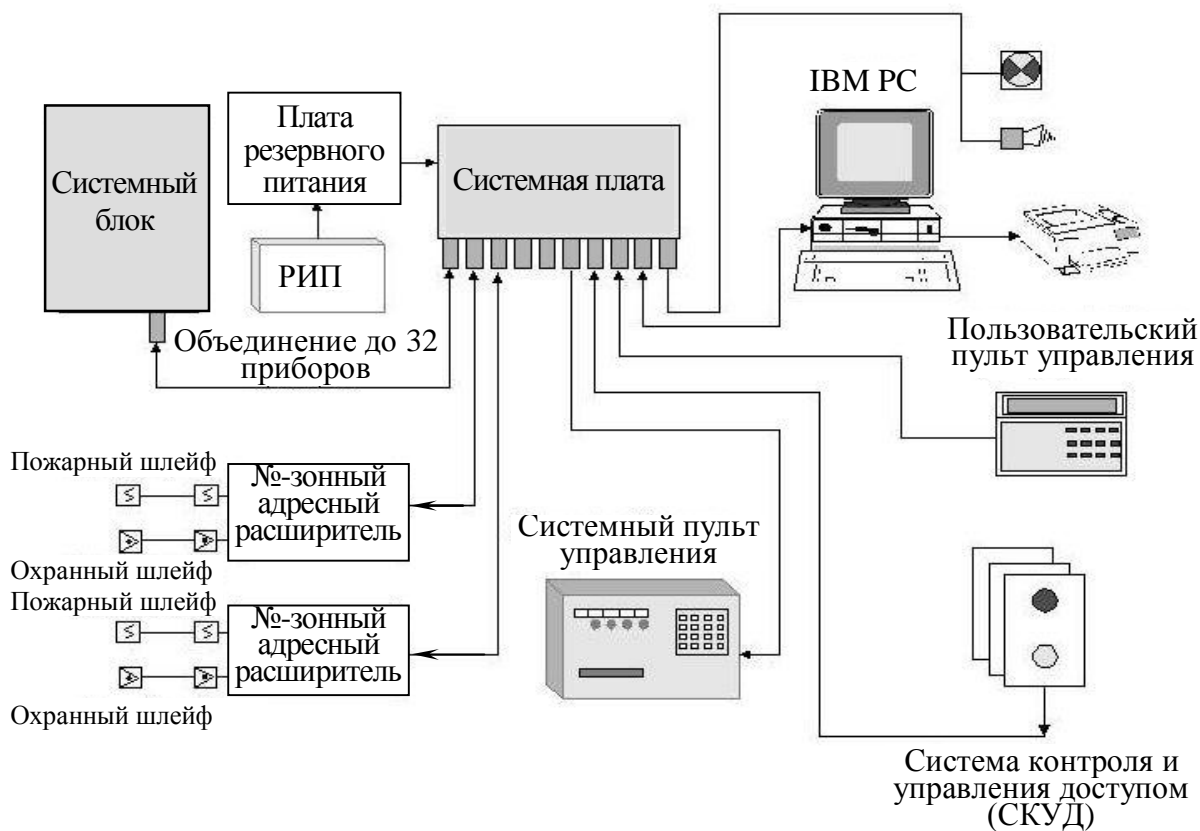


Рис. 11.35. Структура охранно-пожарной сигнализации с использованием адресных расширителей

Прибор приемно-контрольный пожарный серии "РАДУГА-3". В нашей стране разработаны несколько типов ПКП на микропроцессорной технике. Адресные системы пожарной сигнализации предназначены для противопожарной защиты зданий и сооружений с возможной адресацией сработавшего извещателя в шлейфе. Основными составными элементами адресной системы пожарной сигнализации являются: приемный пульт, адресный (адресно-аналоговый извещатель), адресный блок ввода-вывода.

Разработка АО "АРГУС-СПЕКТР" (г. Санкт-Петербург) предназначена для приема адресных извещений от автоматических и ручных пожарных извещателей с замыкающими и размыкающими контактами, а также от активных извещателей, подключенных к адресуемым устройствам. Максимальное количество активных извещателей, подключаемых к прибору, зависит от их энергопотребления и составляет от 200 до 300 шт. Обслуживает 128 групп адресуемых устройств, 64 группы сигнальных и 64 исполнительных устройств, 2 сигнальные линии с возможностью их объединения в кольцо и разветвления на 8 лучей.

Прибор формирует адресные команды на исполнительные устройства.

Формирует режим "Внимание" при срабатывании одного и режим "Пожар" при срабатывании двух и более извещателей с одинаковым адресом; осуществляет проверку срабатывания пожарных извещателей; формирует адресные команды на внешние устройства оповещения и пожарной автоматики (УПА) с контролем их исполнения, осуществляет задержку включения УПА на 30 – 40 с и блокировку включения УПА при открытой двери контролируемого помещения; контролирует исправность сигнальных линий, шлейфов сигнализации, а также активных пожарных извещателей, подключенных к адресуемым модулям; производит отдельную индикацию всех извещений с возможностью определения времени их поступления, типа извещения и адреса; формирует электронный протокол событий с указанием времени поступления извещений ("Пожар" – до 20 извещений, "Неисправность" – до 30 извещений).

Пульт приемно-контрольный ППК-2А. Пульт приемно-контрольный ППК-2А предназначен для приема сигналов тревожных извещений от пожарных извещателей в двух режимах: адресном или безадресном. Пульт ППК-2А позволяет совмещать оба этих режима, используя разные схемы подключения извещателей в шлейфах. Пульт ППК-2А обладает всеми функциональными возможностями ППК-2, включает в свой состав одинаковые с ним блоки и отличается наличием дополнительного блока накопления и обработки информации (БНО-01), позволяющего организовать индивидуальную и групповую адресацию включенных в один шлейф извещателей.

Устройство ППК-2А отличается от ППК-2 только наличием дополнительного блока БНО-01. Принцип действия ППК-2А по определению адреса сработавшего извещателя в шлейфе основан на том, что после

принятия из шлейфа сигнала "Пожар" в него, во время действия длинного полутакта, выдаются опросные импульсы в виде перерывов питания на $(2,5 \pm 1,5)$ мс со скважностью не менее 3. Если в шлейфе имеются специальные адресные блоки БВК-03Л (для адресации извещателя ИП-212-5М) или БВК-04 (для адресации группы извещателей типа ИП-103, ИП-105), или адресные извещатели ИП-212-5МА, то при совпадении порядкового номера опросного импульса с адресом сработавшего извещателя (адресного) или блока, его адресующего (для безадресного), пультом будет зафиксирован дополнительный скачок тока.

Информация об адресе сработавшего извещателя отображается сегментными индикаторами в виде номера шлейфа и номера извещателя. С каждого шлейфа, находящегося в режиме "Пожар", может быть принят только один адрес. При наличии нескольких сигналов "Пожар" (в разных шлейфах) пульт будет выдавать информацию об адресах сработавших извещателей последовательно.

В пульте ППК-2А есть возможность отключить блок БНО полностью (пульт становится полным аналогом ППК-2) или частично, по четыре шлейфа в группе. Максимальное количество шлейфов пожарной сигнализации 20. Максимально возможное количество адресов 29.

Блоки БВК-03Л, БВК-04Л предназначены для определения адреса сработавшего пожарного извещателя, включенного в шлейф пульта ППК-2А. Блок БВК-03 применяется для адресации одного активного пожарного извещателя типа ДИП-3М. Блок БВК-04 применяется для адресации одного или нескольких пожарных извещателей типа ИП-103, ИП-105, ИПР. Блок БВК-03Л состоит из пластмассового корпуса, внутри которого установлена плата с радиоэлементами, соединенная с контактной частью блока, аналогичной по присоединительным размерам розетке извещателей типа ДИП-3МЗ.

Унифицированную структуру охранно-пожарной сигнализации представляет разработка российской фирмы *"Unitronic"*. В состав системы входит адресно-аналоговая пожарная сигнализация с приемным пультом FG 496 на 384 адреса. В системе могут быть использованы отечественные и зарубежные извещатели, адресные блоки и адресные метки, модули управления системами пожаротушения, модули адресации и др. Система полностью адаптирована для сложных объектов общественного и промышленного назначения.

Для защиты больших по площади объектов с применением до 2000 шлейфов АПС используется комплекс оборудования **"Система 2000"** разработка НВП **"БОЛИД"**. Комплекс предназначен для организации интегрированной системы безопасности, включающей подсистемы охранной сигнализации, пожарной сигнализации, контроля доступа и видеонаблюдения на основе приборов "С2000-4", "Сигнал-20П" и релейных модулей управления (рис. 11.36).

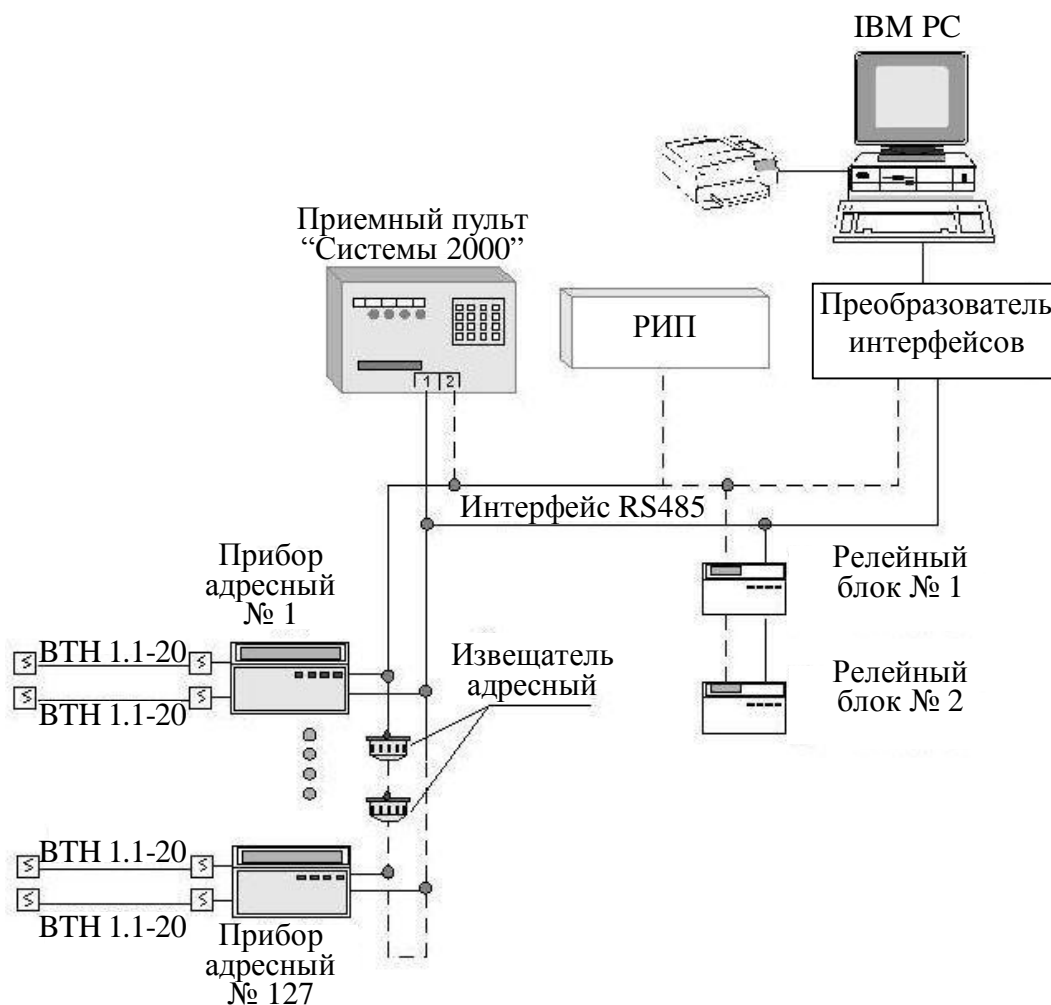


Рис. 11.36. Структура комплекса "Система 2000"

Программное обеспечение АРМ "Система-2000" содержит: оперативную задачу, администратор базы данных, генератор отчетов, средства администрирования и обслуживания.

В двухпроводную магистраль (длина линии последовательного интерфейса RS-485-4000 м) включается до 127 приемно-контрольных приборов типа "Сигнал-20П", одновременно выполняющих роль расширителей на 20 шлейфов АПС. Кроме того, используя релейные блоки С200-СП1, можно управлять различными исполнительными устройствами и звуковыми оповещателями. Операционная система – русская версия Windows 95/98NT.

Система "Рубеж-07" (модификаций 2,3,4) предназначена для охранно-пожарной сигнализации на объектах различного профиля. Система позволяет вести прием извещений о проникновении (или пожаре) от 1 до 508 шлейфов сигнализации, подключаемых через адресные линейные блоки к двухпроводной линии связи, контроль этих шлейфов сигнализации за неисправностью, выдачей тревожной сигнализации о неисправности шлейфов сигнализации обслуживающему персоналу, а также передачей тревожных извещений.

щений и извещений о неисправности на ПЦН по выделенным линиям связи или при помощи аппаратуры уплотнения "Атлас-8", "Атлас-6". В шлейфы сигнализации системы могут включаться следующие типы извещателей:

выходные цепи извещателей ультразвуковых ("Фикус"), приемно-контрольных систем ("УОТС") и им подобных;

извещатели пожарные "ИП-104", магнитоконтактные "ИП-105-2-1".

Система имеет блочную структуру, позволяет реализовать различную тактику охраны объекта, имеет встроенные системы диагностики, производит непрерывный контроль подключенных к системе через линейные блоки датчиков и извещателей.

В г. Нижний Новгород ("НИГА") разработан ППКОП "Дозор-16", предназначенный для построения эффективной пожарной и охранной сигнализации, а также системы управления любыми типами установок пожаротушения. "Дозор-16" используется на средних и больших объектах различного назначения как в автономном, так и объектовом режиме (см. п.11.3.1) с сообщением диспетчеру пожарной охраны или вневедомственной охраны (к центральной ЭВМ) о состоянии прибора по специальному последовательному интерфейсу. Возможна также совместная работа прибора с пультами централизованного наблюдения (ПЦН) и приемно-контрольными приборами через "сухие" НЗ или НР контакты реле. Его использование позволяет:

поддерживать до 128 шлейфов охранной и пожарной сигнализации;

управлять дистанционно с помощью 128 программируемых реле внешней нагрузкой до 400 Вт (включение/выключение вентиляции, систем дымоудаления, звуковых и световых оповещателей, электромагнитных замков и т.п.);

контролировать состояние и выдавать необходимые сигналы управления для 32 направлений установок газового, порошкового или аэрозольного пожаротушения;

хранить в энергонезависимой памяти сведения о текущей конфигурации прибора и о последних 100 обнаруженных событиях;

обеспечивать бесперебойное питание (сеть или аккумулятор);

снижать при помощи специального алгоритма вероятность ложных срабатываний дымовых извещателей;

строить шлейфы сигнализации по многопроводной и двухпроводной схеме;

осуществлять визуальную индикацию на защищаемом объекте при возникновении пожара.

Важное место среди устройств пожарной сигнализации занимают устройства управления установками пожаротушения. К ним относятся сертифицированные в Российской Федерации и нашедшие в последние годы

широкое применение комплексы технических средств для построения адресных систем обработки сигнала о пожаре типа "АРГУС-ППУ", "РОСА-2SL" (рис. 11.37), "КРИСТАЛЛ", "CLP-4" и др .

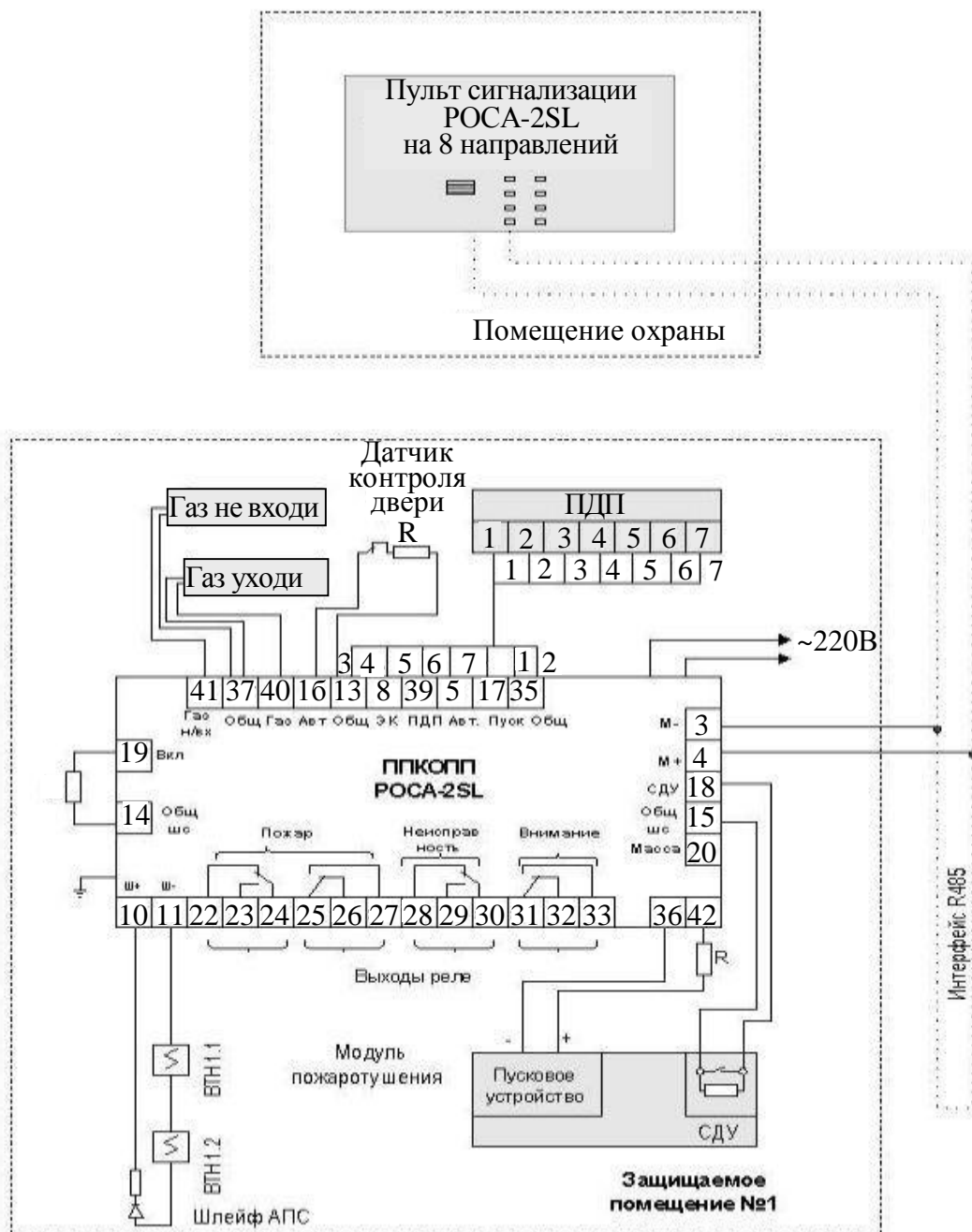


Рис. 11.37. Прибор управления "РОСА-2SL"

Наряду с общепринятыми задачами для АПС пульты позволяют осуществлять специфические функции, определяемые требованиями нормативных документов:

контроль состояния шлейфов АПС и концевого выключателя на входной двери защищаемого помещения;

ввод команд с клавиатуры и контроль состояния переключателя режимов работы;

управление средствами световой и звуковой индикации;

автоматический пуск средств пожаротушения при обнаружении пожара в защищаемом помещении;

блокировку автоматического пуска при открытой входной двери в защищаемое помещение;

переход из автоматического режима в ручной, и наоборот, с помощью переключателя режима работы;

тестирование средств пожаротушения, индикации шлейфов АПС и извещателей.

Прибор "РОСА-2SL" имеет 8 выходных цепей для подключения модулей УАГП с возможностью расширения до 16. Ток в цепи режима пуска составляет 3А. В функции установок при пожаре также входит подача управляющего импульса на отключение вентиляционных приточно-вытяжных устройств при срабатывании системы АПС. В целях исключения ложных срабатываний проектируемой системы противопожарной защиты формирование управляющего сигнала на включение модульных установок газового пожаротушения осуществляется по схеме совпадения сигнала при срабатывании двух пожарных извещателей.

Приемная станция CLP-4 (США) предназначена для управления отечественными и импортными установками, модулями пожаротушения (газовыми, порошковыми, тонкораспыленной водой) и полностью соответствует требованиям действующих нормативных документов.

В состав станции дополнительно включены программируемые реле управления внешними устройствами. Станция осуществляет управление и индикацию состояния двух цепей запуска. В состав системы входит станция *CLP-4*, блок *CLA-A/1*, дымовые извещатели, ручные извещатели в монтажном боксе, блок выбора режима для ручного и автоматического запуска, светозвуковой сигнализатор *HE-8S/S TV*, световой сигнализатор *STW/4S* и аккумулятор. Модуль приема обеспечивает отображение поступающей информации (сигналы "Пожар", "Неисправность") с помощью светодиодных индикаторов и звукового сигнализатора; контроль подачи питания и автоматическую подзарядку аккумуляторных батарей; выдачу сигналов "Пожар", "Неисправность" на центральный пост наблюдения через дублированные контакты реле тревоги; молниезащиту и защиту от электромагнитных помех. При использовании в автоматических системах пожаротушения станция комплектуется модулями *CLP-01* и *CLA-A1*.

При этом дополнительно обеспечивается: выдача команды на пуск автоматических систем пожаротушения по двум направлениям; выдача сигналов для управления системами дымоудаления; контроль состояния сигнализатора давления универсального (СДУ); контроль состояния выходных цепей; выдача сигналов во внешние устройства; управление светозвуковыми сигнализаторами; отображение информации с помощью светодиодных индикаторов.

В состав станции может входить до трех модулей *CLA-A1*, что обеспечивает до шести направлений подачи выходных сигналов. Используемый блок выбора режима (БВР) определяет режим работы системы ("Автоматический", "Ручной") и контролирует состояние положения двери.

Прибор приемно-контрольный и управления пожарный "АСТ-4.2". ППКиУП "АСТ-4.2" предназначен для противопожарной защиты объектов промышленного и гражданского назначения по двум независимым направлениям газового или порошкового пожаротушения с обеспечением автоматического пуска резерва по обоим направлениям. Возможен запуск модулей с тонкораспыленной водой. Обеспечена выдача команды для управления другими устройствами и передача информации на ПЦН.

Блок расширения для приборов управления "Циклон" предназначен для совместной работы с ППКиУП "АСТ-4.2П" либо с блоками "Гермес-Т" и служит для управления пуском порошковых или газовых модулей, а также установок тушения тонкораспыленной водой. К одному ППКиУП "АСТ-4.2П" непосредственно может подключаться до 4 блоков "Циклон" (по 2 в каждое направление). Для увеличения числа управляемых модулей возможен запуск БР "Циклон" от БР "Циклон" (неограниченно). Прибор обеспечивает индивидуальный контроль каждой выходной линии за исправностью (отдельно за ОБРЫВОМ и КЗ), принимает и передает сигналы неисправностей и вскрытия корпуса изделия. Параметры пусковых импульсов напряжением 12 (24) В, до 2,5 (3,7) А. С интервалом пуска (длительностью пускового импульса) от 0,5 до 10 с.

11.2.5. Понятие о системе передачи информации

Системы передачи информации предназначены для сбора информации о возникновении пожара на рассредоточенных объектах и передачи ее на централизованный пункт охраны (рис. 11.38).

Наиболее важными параметрами систем передачи информации и извещений являются: количество контролируемых объектов, помещений; объем сообщений, передаваемых через систему; контроль исправности тракта прохождения информации; показатели надежности системы; быстрое действие. На объекте устанавливается окончательный прибор системы передачи извещений, к которому подключается ПКП.

Объектовый прибор осуществляет только две функции: фиксацию сигналов тревоги, повреждения и передачу извещения о них на систему передачи извещений (СПИ). СПИ состоит из оконечного устройства, предназначенного для кодирования извещения.

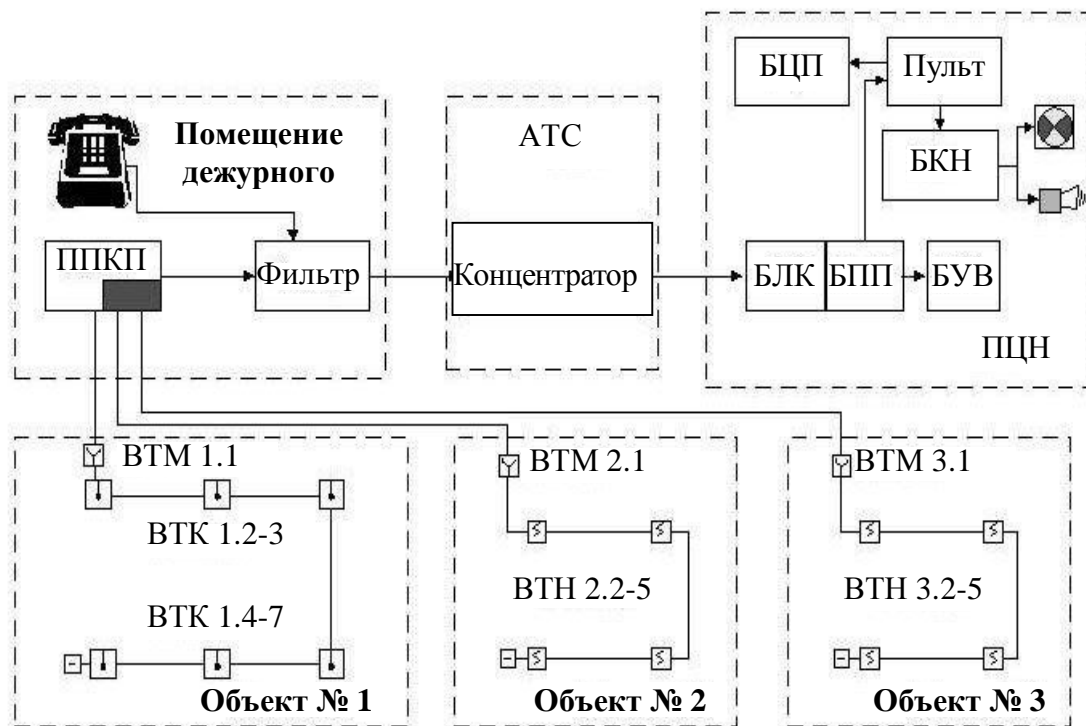


Рис. 11.38. Структурная схема системы передачи тревожных сообщений:
 БЦП – блок цифрпечати; БПП – буферная память пульта;
 БКН – блок контроля направлений; БУВ – блок управления

В настоящее время широко внедряются централизованные системы передачи извещений о пожаре, что позволяет осуществить надежную противопожарную защиту большого числа небольших объектов, где неэффективно круглосуточно содержать оперативный дежурный персонал. К таким объектам относятся: магазины, склады, предприятия бытового обслуживания, квартиры граждан и проч.

На базе систем передачи информации разработана система диспетчеризации жилых домов повышенной этажности. Установки пожарной сигнализации, применяемые в системах противопожарной защиты этих объектов, подключены к объединенным диспетчерским пунктам, где размещены контролируемые системы инженерного оборудования, тем самым обеспечен круглосуточный контроль систем противопожарной защиты.

Современные системы передачи и обработки тревожных извещений предполагают автоматизацию процесса приема объекта под контроль и снятие с контроля, что исключает необходимость предварительных пере-

говоров оператора, материально ответственного или дежурного лица. Вся поступающая информация: текущее время, номер объекта, вид сообщения автоматически регистрируется цифropечатающим устройством (ЦПУ) или принтером.

На ряде объектов г. Москвы применяются телекоммуникационные охранно-пожарные системы "Гольфстрим" и "ЛУЧ", позволяющие осуществить централизованный сбор тревожной информации с охраняемых объектов по радиоканалу с передачей сообщения в дежурные службы УВО и УГПС.

Следует отметить, что технические средства сбора и обработки информации о пожаре непрерывно совершенствуются. С каждым новым поколением электроники (микропроцессоры, контроллеры, персональные ЭВМ) пересматриваются принципы построения, функции и параметры технических средств.

11.3. Принципы построения систем пожарной сигнализации

11.3.1. Структурные схемы систем пожарной сигнализации

Системы пожарной сигнализации (СПС) для объекта необходимо проектировать с учетом социально-экономической обстановки, сочетая технические, эргономические и эстетические показатели технических средств. Существуют следующие типы:

объектовая СПС;

автономная охранно-пожарная система;

централизованная охранно-пожарная система;

комплексная система противопожарной защиты объекта.

На рис. 11.39 представлена объектовая система пожарной сигнализации. Пожарные извещатели (ПИ) размещаются в защищаемых помещениях, приемно-контрольный прибор (ПКП) – в помещении диспетчерской.

Сообщение принимает оператор, который в соответствии с инструкцией передает их на ЦППС (или в случае неисправности СПС в организацию технического обслуживания).

Вызов с ЦППС поступает в пожарную часть, специалисты которой выезжают на тушение пожара. Эффективность системы достаточно высокая, но зависит от степени профессиональной подготовки людей, поэтому постоянно требуется тренировка и переподготовка (особенно диспетчера объекта) людей по соответствующей программе действий при получении сообщений СПС.

На рис. 11.40 показана автономная охранно-пожарная система.

Пожарные и охранные извещатели подключаются к охранно-пожарному ПКП, который при срабатывании выдает сигнал на световой и звуковой оповещатели, размещенные за пределами охраняемого помещения.

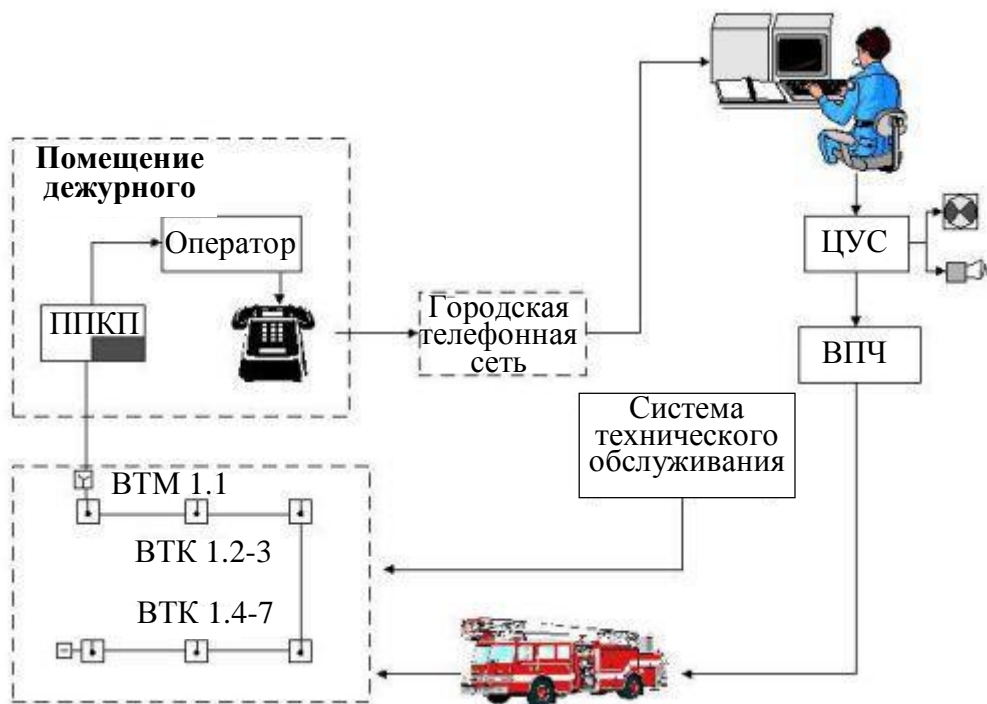


Рис. 11.39. Объектовая система пожарной сигнализации

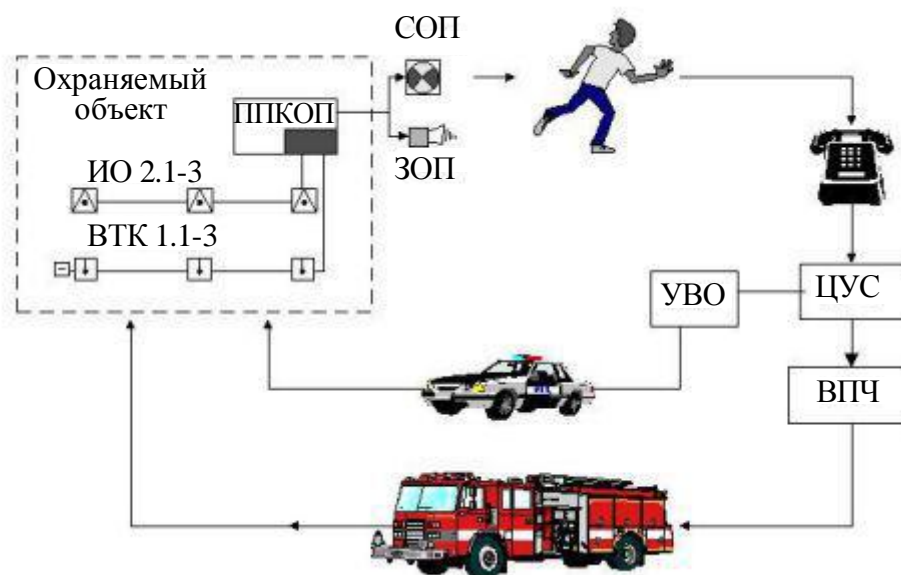


Рис. 11.40. Автономная система охранно-пожарной сигнализации:
 ППКОП – охранно-пожарный приемно-контрольный прибор;
 ЗОП – звуковой оповещатель; СОП – световой оповещатель

Тревожные сигналы воспринимают люди, находящиеся в пределах их досягаемости, и передают по телефону в единую спасательную службу. Такая система малоэффективна, так как сигнал тревоги может быть не воспринят посторонними людьми и не передан по назначению. Кроме того, нет разделения сигналов охранных и пожарных, что ведет к большой потере времени.

С точки зрения эффективности, такая система может применяться на небольших объектах, которые размещаются на одной территории и подвергаются постоянному контролю со стороны профессионально подготовленных людей (обходчики, сторожа, работники охраны и т.п.).

В отличие от автономной централизованная система (ЦС) собирает информацию о состоянии объекта через канал связи (телефонный или радио) на пульт централизованного наблюдения (ПЦН), установленный в пункте охраны, где осуществляется круглосуточное дежурство оператора, который при получении сигнала передает сообщение о пожаре на ЦППС. Таким образом, ЦС имеет замкнутый цикл прохождения информации от извещателя до пожарной охраны.

11.3.2. Принципы выбора систем пожарной сигнализации для защиты объекта

Рассматриваемый вопрос часто встречается в практике пожарной охраны при реализации требований ГУГПС МЧС РФ в области внедрения новой техники автоматической пожарной сигнализации для защиты различного рода объектов.

Выбор СПС осуществляется при проектировании. Технология проектирования включает следующие операции: предпроектное обследование; составление технического задания на проект; принятие основных технических решений (разработка функций и алгоритма работы установки); выбор и размещение технических средств пожарной сигнализации; составление смет и спецификаций.

Предпроектное обследование объекта заключается в сборе исходных данных для проектирования системы пожарной сигнализации. На этой стадии определяют:

- 1) планировку, сущность технологического процесса, происходящего на объекте. Объект разбивают на зоны защиты, чтобы установить требуемое количество направлений (шлейфов). Выясняют особенности потолка (высоту, конфигурацию и т.п.). Выявляют наиболее пожароопасные места объекта;
- 2) возможный ущерб от пожара;
- 3) возможность возникновения взрыва и вероятные его последствия, выявляют опасные факторы пожара. Анализируют возможные пути распро-

странения пожара, устанавливают необходимость применения технических средств оповещения о пожаре и управления безопасной эвакуацией людей;

4) предельные изменения микроклимата защищаемых помещений и категорию пожарной опасности;

5) особые условия. Под "особыми условиями" следует понимать наличие больших (по площади и высоте более 9...12 м) помещений. В таких помещениях следует осуществлять особые мероприятия для повышения эффективности применения пожарных извещателей;

б) наличие подразделений пожарной охраны, их размещение.

На основе информации, собранной об объекте, разрабатывается техническое задание на проектирование системы пожарной сигнализации, в котором содержатся требования к уровню надежности, быстродействию, функциональным особенностям, условиям эксплуатации, микроклимату и проч.

Общие положения при выборе типов пожарных извещателей для защищаемого объекта

В настоящем разделе даны рекомендации по выбору различных типов автоматических пожарных извещателей в зависимости от доминирующего фактора обнаруживаемого очага пожара, размеров и конфигурации защищаемого помещения.

Выбор типа точечного дымового пожарного извещателя рекомендуется производить в соответствии с его способностью обнаруживать различные типы дыма, которая может быть определена по ГОСТ Р 50898.

Линейные дымовые оптико-электронные пожарные извещатели следует применять, если зона контроля представляет собой протяжённый объект больших геометрических размеров (десятки метров), где установка точечных дымовых пожарных извещателей под покрытием (перекрытием) затруднена, при этом в ней в случае возникновения пожара на его начальной стадии предполагается значительное выделение дыма.

Пожарные извещатели пламени следует применять, если в зоне контроля в случае возникновения пожара на его начальной стадии предполагается появление открытого пламени и развитие загорания с высокой скоростью.

Спектральная чувствительность извещателя пламени должна соответствовать спектру излучения пламени горючих материалов, находящихся в зоне контроля извещателя. Пожарные извещатели пламени следует применять для обнаружения загорания тех видов горючих веществ и материалов, которые перечислены в технической документации на извещатели.

Тепловые пожарные извещатели следует применять, если в зоне контроля в случае возникновения пожара на его начальной стадии предполагается значительное тепловыделение.

Тепловые пожарные извещатели дифференциального и максимально-дифференциального действия следует применять для обнаружения очага пожара, если в зоне контроля не предполагается резких перепадов температур, не связанных с возникновением пожара, способных вызвать срабатывание этих типов пожарных извещателей.

Тепловые пожарные извещатели максимального действия следует применять, если в зоне контроля предполагается наличие указанных выше перепадов температур.

Тепловые пожарные извещатели максимального действия не рекомендуется применять в помещениях с низкими температурами (ниже 0 °С) и для хранения материальных и культурных ценностей.

Исключение составляют случаи, когда применение других извещателей невозможно или нецелесообразно.

Линейные тепловые пожарные извещатели (термокабели) рекомендуется применять, если в зоне контроля в случае возникновения пожара на его начальной стадии предполагается значительное тепловыделение, при этом зона контроля представляет собой протяжённый объект (длина объекта значительно больше его ширины) сложной геометрической формы.

Газовые пожарные извещатели (ГПИ) рекомендуется применять, если в зоне контроля в случае возникновения пожара на его начальной стадии предполагается выделение определённого вида газов в концентрациях, которые могут вызвать срабатывание ГПИ. Газовые пожарные извещатели не следует применять в помещениях, в которых при отсутствии пожара могут появляться газы в концентрациях, вызывающих срабатывание ГПИ.

В том случае, когда в зоне контроля доминирующий фактор пожара не определён, рекомендуется применять пожарные извещатели, реагирующие на различные факторы пожара или комбинированные пожарные извещатели.

Пожарные извещатели следует применять в соответствии с требованиями государственных стандартов, норм пожарной безопасности, технической документации и с учетом климатических, механических, электромагнитных и других воздействий в месте размещения пожарных извещателей. Пожарные извещатели, предназначенные для выдачи извещения для управления АУП, дымоудаления, оповещения о пожаре должны быть устойчивы к воздействию внешних помех со степенью жесткости не ниже второй по НПБ 57. Выбор типов пожарных извещателей в зависимости от назначения защищаемого помещения и вида горючей нагрузки производится по табл. 11.10.

Виды пожарных извещателей для различных технологических процессов

Перечень характерных помещений производств, технологических процессов	Вид пожарного извещателя
1. Производственные здания Помещения для производства и хранения: изделий из древесины, синтетических смол, синтетических волокон, полимерных материалов, текстильных, текстильно-галантерейных, швейных, обувных, кожаных, табачных, меховых и целлюлозно-бумажных изделий, целлулоида, резины, резинотехнических изделий, горючих рентгеновских и кинофотопленок, хлопка	Дымовой, тепловой, пламени
лаков, красок, растворителей, ЛВЖ, ГЖ, смазочных материалов, химических реактивов, спиртоводочной продукции	Тепловой, пламени
щелочных металлов, металлических порошков	Пламени
муки, комбикормов, других продуктов и материалов с выделением пыли	Тепловой, пламени
Помещения для производства: бумаги, картона, обоев, животноводческой и птицеводческой продукции	Дымовой, тепловой, пламени
Помещения для хранения: негорючих материалов в горючей упаковке, твердых горючих материалов	Дымовой, тепловой, пламени
вычислительной техники, радиоаппаратуры, АТС	Дымовой
2. Специальные сооружения Помещения для прокладки кабелей, для трансформаторов и распределительных устройств, электрощитовые	Дымовой, тепловой
Помещения для оборудования и трубопроводов по перекачке горючих жидкостей и масел, для испытаний двигателей внутреннего сгорания и топливной аппаратуры, наполнения баллонов горючими газами	Пламени, тепловой
Помещения предприятий по обслуживанию автомобилей	Дымовой, тепловой, пламени
3. Административные, бытовые и общественные здания и сооружения Зрительные, репетиционные, лекционные, читальные и конференц-залы, кулуарные, фойе, холлы, коридоры, гардеробные, книгохранилища, архивы, пространства за подвесными потолками	Дымовой

Перечень характерных помещений производств, технологических процессов	Вид пожарного извещателя
Артистические, костюмерные, реставрационные мастерские, кино- и светопроекционные, аппаратные, фотолаборатории	Дымовой, тепловой, пламени
Административно-хозяйственные помещения, машиносчетные станции, пульта управления, жилые помещения	Дымовой, тепловой
Больничные палаты, помещения предприятий торговли, общественного питания, служебные комнаты, жилые помещения гостиниц и общежитий	Дымовой, тепловой
Помещения музеев и выставок	Дымовой, тепловой, пламени

Адресные аналоговые пожарные извещатели рекомендуется применять в зданиях сложной конфигурации для адаптивного управления оповещением и дымоудалением, а также в помещениях, где изменения фактора пожара требуют дополнительной обработки сигнала.

При выборе и обосновании применения типа АПИ в нормативной литературе даны следующие рекомендации:

Для производственных зданий с выделением пыли, производством комбикормов следует применять *тепловые пожарные извещатели*. Если в производстве используется синтетический каучук, металлические порошки, щелочные металлы, то рекомендуется использовать *извещатели пламени*. В остальных случаях, связанных с производством и хранением сгораемых и несгораемых веществ в сгораемой упаковке, следует использовать *тепловые* или *дымовые извещатели*.

Для защиты специальных сооружений и помещений ЭВМ, управляющих машин, АТС, радиоаппаратных рекомендуется применять *дымовые пожарные извещатели*.

В помещениях для прокладки кабелей, в трансформаторных, щитовых следует использовать *тепловые* или *дымовые пожарные извещатели*. Для помещений по перекачке ЛВЖ, ГЖ, масел, испытания двигателей, наполнения баллонов горючими газами рекомендуется использовать *тепловые* или *световые извещатели*.

В общественных зданиях и сооружениях *дымовые пожарные извещатели* устанавливаются в зрительных залах, репетиционных, читальных и конференц-залах, костюмерных, аппаратных, холлах, фойе, коридорах, книгохранилищах, архивах. В помещениях музеев и выставок кроме *дымовых* могут быть также использованы *извещатели пламени*.

Жилые помещения, больничные палаты, помещения предприятий торговли, общественного питания, бытового обслуживания оборудуются, как правило, *дымовыми АПИ*.

В складах декораций, бутафории и реквизитов, административно-хозяйственных помещениях, пультах управления следует устанавливать *тепловые* или *дымовые извещатели*. Места установки ручных пожарных извещателей в зависимости от назначений зданий и помещений представлены в табл. 11.11.

Таблица 11.11

Место установки пожарных извещателей в различных помещениях

Перечень характерных помещений	Место установки
Производственные здания, сооружения и помещения (цеха, склады и т.п.): одноэтажные многоэтажные	Вдоль эвакуационных путей, в коридорах, у выходов из цехов, складов То же, а также на лестничных площадках каждого этажа
Кабельные сооружения (туннели, этажи и т.п.)	У входа в туннель, на этаж, у аварийных выходов из туннеля, у разветвления туннелей
Административно-бытовые и общественные здания	В коридорах, холлах, вестибюлях, на лестничных площадках, у выходов из здания

Оптимальный выбор системы пожарной сигнализации – это трудоемкая задача, требующая проведения инженерных расчетов и учета таких важных факторов, как темп роста опасных факторов пожара (например, критической температуры пожара), время следования пожарных подразделений и их боевого развертывания и т.д.

На графической модели обнаружения пожара (см. рис. 11.4) приведены временные параметры функционирования системы АППЗ. Если суммарное время обнаружения пожара, следования пожарных подразделений и их боевого развертывания меньше критического времени развития пожара:

$$\tau_{\text{обн}} + \tau_{\text{след}} + \tau_{\text{б.р}} < \tau_{\text{крит}}, \quad (11.39)$$

то применение систем АПС оправданно и эффективно.

Для создания научно обоснованного технического задания на систему пожарной сигнализации мало обследовать объект и произвести предварительные расчеты. Иногда требуется провести экспериментальные исследования. Разработка алгоритма и функций производится с учетом архитектурно-планировочных особенностей и пожарной опасности объекта.

Большое количество функций требует разработки соответствующего алгоритма работы системы пожарной сигнализации, показывающего, в ка-

кой последовательности и в какое время следует производить включение определенных технических средств пожарной защиты. На технику в этом случае возлагается дополнительная функция – предупреждение последствий возможных ошибочных и неточных действий оператора.

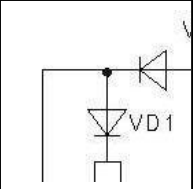
Требуемое быстродействие должно быть обеспечено правильным подбором типа пожарного извещателя и его размещением на объекте. СНиП, НПБ и РД дают рекомендации по выбору типа извещателя для конкретных помещений. Однако для целого ряда помещений рекомендуются два типа извещателей, например тепловой и дымовой. В этом случае следует определить быстродействие каждого из них и принять тот, который обеспечивает $\tau_{\text{доп}}$. В одном помещении устанавливается не менее двух пожарных извещателей (исключение составляют адресные АПИ). Если ПКП предназначен для управления автоматическими установками пожаротушения, дымоудаления и оповещения о пожаре, каждую точку защищаемой поверхности необходимо контролировать не менее чем двумя ПИ.

Для определения требуемого уровня надежности учитывают прежде всего значимость объекта. Для определения существующего уровня надежности производится анализ микроклимата защищаемых помещений и устанавливаются предельные значения влажности, температуры, наличие агрессивных сред и взрывоопасных концентраций паровоздушных смесей. На основании полученных данных производится выбор типа извещателя.

Приемно-контрольный прибор выбирается с учетом его электрических параметров и функциональных возможностей. При этом учитываются типы извещателей, их общее количество, необходимое количество шлейфов станции с обязательным резервом (до 10 %).

11.3.3. Компоновка оборудования в диспетчерских пунктах объекта

Размещение систем пожарной сигнализации должно отвечать требованиям эргономики, технической эстетики, соответствовать ГОСТу, НПБ 88-2001, главам СНиП и РД 78.145. Аппаратуру сигнализации (приемно-контрольные приборы и пульта управления системой) следует устанавливать в помещении, где находится персонал, ведущий круглосуточное дежурство. Допускается устанавливать ПКП в помещениях без персонала, ведущего круглосуточное дежурство, при обеспечении передачи извещений (в том числе и об отсутствии напряжения питания) о пожаре и о неисправности в помещение пожарного поста или другое помещение связи. В помещениях без персонала, ведущего круглосуточное дежурство, следует предусмотреть меры, предотвращающие доступ посторонних лиц к ПКП и ОПС. ПКП следует размещать только в невзрывоопасных и непожаро-



опасных помещениях, на стенах, перегородках и конструкциях с нулевым пределом распространения огня. Установка указанного оборудования допускается на конструкциях из сгораемых материалов при условии защиты этих конструкций металлическим листом толщиной не менее 1 мм или другим листовым несгораемым материалом толщиной не менее 10 мм. При этом листовый материал должен выступать за контуры установленного на нем оборудования не менее чем на 100 мм. Расстояние между ПКП и потолком из сгораемых материалов должно быть не менее 1,0 м. При смежном расположении нескольких ПКП расстояние между ними должно быть не менее 50 мм. Оборудование и аппараты управления, устанавливаемые на стене или стойке, следует размещать на высоте 0,8 – 1,8 м от пола.

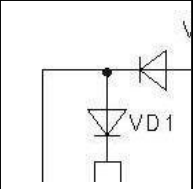
На объектах, где есть пожарный пост, системы сигнализации можно устанавливать в помещении поста. Помещение пожарного поста, в котором размещается аппаратура, должно иметь естественное освещение, а также искусственное освещение не менее 150 Лк для люминесцентных ламп и не менее 100 Лк для ламп накаливания. Кроме рабочего освещения, предусматривается аварийное освещение, которое должно обеспечивать освещенность на рабочих поверхностях не менее 10 % соответствующих норм рабочего освещения. Помещение диспетчерской или пожарного поста должно быть обеспечено телефонной связью с пожарной охраной.

По степени обеспечения надежности электроснабжения электроприемники установок следует относить к 1 категории согласно ПУЭ. Питание электроприемников следует осуществлять согласно ПУЭ. При использовании в качестве резервного источника питания аккумуляторной батареи должна обеспечиваться работа установки в течение не менее 24 ч в дежурном режиме и в течение не менее 3 ч в режиме пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурагимов И.М. Автоматические системы подавления взрыва //Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева.–М.: Химия, 1974. Т. 19. № 5.
2. Андреева Л.Е. и др. Техническая кибернетика.–М.: Машиностроение, 1973.
3. Абросимов А.А., Топольский Н.Г., Фёдоров А.В. Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств.–М.:Академия ГПС МВД России, 2000.
4. Баранюк В.А., Бичугов Е., Черкащенко А.И., Уразгельдиев Ш.У. Основы создания больших АСУ.–М.:Советское радио, 1979.
5. Ваня Я. Анализаторы газов и жидкостей. –М.: Энергия, 1967.
6. Ведомственные указания по противопожарному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. ВУПП–88. –М., 1989.
7. Веселов А.М., Мешман Л.М. Автоматическая пожаро– и взрывозащита предприятий химической и нефтехимической промышленности.–М.: Химия, 1975.
8. Водяник В.И. Взрывозащита технологического оборудования. Киев: Техника,1979.
9. Гордин Е.М., Стародуб К.Я. Автоматическое регулирование. –М.: Высшая школа, 1976.
10. ГОСТ 21.404–85. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. –М., 1985.
11. Дианов В.Г. Автоматизация процессов в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. –М.: Химия, 1968.
12. Дубровский А.К., Ионас С.А. Проектирование щитов и пультов систем автоматизации. –М.: Энергия, 1975.
13. Емельянов А.И. Практические расчеты в автоматике. –М.: Машиностроение, 1967.
14. Зельдович Я.Б. К теории горения неперемешанных газов. Журнал технической физики. –М.:АН СССР,1949. Т. 19. Вып. 16.
15. Исаковия П.Я. Технологические измерения и приборы. –М.: Недра, 1979.
16. Карабский В.В., Пархоменко Л.П., Сагомаян Е.С., Халчев В.Ф. Основы технической диагностики. –М.: Энергия, 1977.
17. Каргу Л.И. и др. Основы автоматического регулирования и управления. –М.: Высшая школа, 1972.
18. Ключев А.С., Глазов Б.В., Дубровский А.Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. –М.: Энергия, 1980.
19. Коффин А., Крюон Р. Массовое обслуживание. Теория и практика. –М.: Мир, 1965.
20. Куликовский Л.Ф. Автоматические информационные измерительные приборы. –М.: Энергия, 1966.
21. Лейн В.М., Полякова Л.В. Системы отображения измерительной информации. Труды ВНИИЭП, 1971. № 7.
22. Литвак Б.И. Электрические устройства автоматической аварийной защиты. –М.: Машиностроение, 1980.
23. Мурин Г.А. Теплотехнические измерения. –М.: Энергия, 1979.
24. Мясников Б.А., Вальков В.М., Омельченко И.О. Автоматизированные и автоматические системы управления технологическими процессами. –М.: Машиностроение, 1978.

25. Навацкий А.Н. Производственная и пожарная автоматика. -М.: РИО ВИПТШ МВД СССР, 1985.
26. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. -М.: Энергия, 1968.
27. Обновленский Л.А., Мусяков Л.А., Чельцов А.Б. Системы защиты потенциально опасных процессов химической технологии. -Л.: Химия, 1978.
28. Обновленский П.А. и др. Основы автоматизации химических производств. -М.: Химия. 1975.
29. Основы производственной автоматики /Под общ. ред. Н.Ф. Бубыря. -М.: ВИПТШ МВД СССР, 1977.
30. Рекомендации по созданию макета системы подавления взрывов в закрытых аппаратах методом вакуумирования.-М.: ВНИИПО МВД СССР, 1979.
31. Руководство по проектированию и применению системы подавления взрывов "Анпирбар".-М.: ВНИИПО МВД СССР, 1978.
32. Рыбковский В.А. Исследование потоков сигналов о нарушениях технологических параметров на химических и нефтехимических производствах. Автоматизация химических производств. -М.: НИИТЭХИМ, 1976. Вып. 6.
33. Смирнов В.М. Автоматика на службе пожарной охраны.-М.: Стройиздат, 1966.
34. СНиП 3.05.07-85. Системы автоматизации. -М., 1986.
35. Стефани Е.П. Основы построения АСУТП.-М.: Энергоиздат, 1982.
36. ТУ-газ-86 . Требования к установке сигнализаторов и газоанализаторов. - М: Министерство нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР, 1986.
37. Чеквакин А.И., Семин В.И., Стародуб К.Я. Основы автоматики. -М.: Энергия, 1977.
38. Шувалов В.В. и др. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. -М.: Химия, 1991.
39. Бубырь Н.Ф., Бабуров В.П., Потапов В.А. Производственная и пожарная автоматика. Ч.II.-М.:ВИПТШ МВД СССР, 1986.
40. Бабуров В.П. Исследование динамических свойств и условий размещения тепловых автоматических пожарных извещателей. Сб.статей. Вып.3.-М.:ВШ МВД, 1976.
41. Бабурин В.В., Бабуров В.П. Оценка эффективности обнаружения пожара дымовыми пожарными извещателями. Сб. Горение и проблемы тушения пожара.-М.:ВНИИПО МВД СССР, 1979.
42. Бабурин В.В., Бубырь Н.Ф., Бабуров В.П. Оценка фактического времени обнаружения пожара.Сб.трудов ВНИИПО МВД СССР. №19, 1980.
43. Бабурин В.В., Исаева Л.К., Бабуров В.П. Результаты исследования дымообразующей способности строительных материалов. Сб. Противопожарная техника и безопасность.-М.:ВИПТШ МВД СССР , 1981.
44. Бабурин В.В. Разработка рекомендаций по выбору и применению средств пожарной сигнализации в установках противодымной защиты зданий повышенной этажности. Автореф.дис... канд.техн.наук.-М.: ВИПТШ МВД СССР,1984.
45. Иванов Е.Н. Автоматическая пожарная защита. -М.: Стройиздат, 1971.
46. Иванов Е.Н. Расчет и проектирование систем пожарной защиты. -М.: "Химия", 1977.
47. Невзоров Д.В. Разработка и исследование характеристик светового пожарного извещателя, реагирующего на УФ-излучение пламени. Автореф.дис... канд. техн. наук. -М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987.
48. Шаровар Ф.И. Устройства и системы пожарной сигнализации.



-М.:Стройиздат,1985.

49. НПБ 88-2001. Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования. –М.: МВД РФ, 2001.

50. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учебное пособие для вузов / П.П. Кучкин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарёв и др. – 2-е изд., испр. и доп.-М.: Высшая школа, 2002.