

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ
Академия Государственной противопожарной службы

А. В. Фёдоров, В. И. Фомин, В. И. Смирнов

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ И ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

Часть 1

Производственная автоматика для предупреждения пожаров и взрывов

Под общей редакцией
доктора технических наук, профессора
А. В. Фёдорова

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 2012

УДК 681.5:614.8(075.8)

ББК 38.96

Ф33

Р е ц е н з е н т ы:

Заместитель директора Департамента
надзорной деятельности МЧС России, майор внутренней службы
канд. техн. наук, ст. науч. сотр., генерал-майор внутренней службы

А. Н. Гилетич

Заместитель начальника кафедры автоматики и сетевых технологий
Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, кандидат
технических наук, доцент, подполковник внутренней службы

А. Д. Анашечкин

Доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ,
профессор, ректор Университета комплексных систем безопасности
и инженерного обеспечения

М. М. Любимов

Производственная и пожарная автоматика : учебник : в 2 ч. Ч. 1 :
Ф33 А. В. Фёдоров, В. И. Фомин, В. И. Смирнов. Производственная
автоматика для предупреждения пожаров и взрывов / под общ. ред.
А. В. Фёдорова. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. – 245 с.

ISBN 978-5-9229-0043-0

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, принцип действия и область применения систем противоаварийной и взрывозащиты. Приводится методика пожарного надзора за проектированием, монтажом и эксплуатацией средств производственной автоматики.

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.

Авторы выражают признательность нормативному отделу ГПС МЧС России, рецензентам за пожелания и советы, способствовавшие совершенствованию рукописи.

Введение, гл. 1, 2, 11 написаны канд. техн. наук, доц. В. И. Фоминым; гл. 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 – д-р техн. наук, проф. А. В. Фёдоровым; гл. 5 – инженером В. И. Смирновым.

УДК 681.5:614.8(075.8)

ББК 38.96

ISBN 978-5-9229-0043-0

© Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, 2012

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 разделяются 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* (2 560 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. Выделяют 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 отвечать 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.

Предельно допустимые значения – докритические значения взрывопожароопасной среды, отличающиеся от критического значения 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 подлежат также выход из строя оборудования, конечные положения движущихся элементов, резкое изменение режима 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 жидкости, расход вещества.

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 автоматической защиты (СПАЗ), которые также автоматически по заданной программе перераспределяют материальные и энергетические потоки, переключают и отключают аппараты, вплоть до остановки технологического процесса. Особенности технологий 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 автоматике.

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, 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 в предельных и внерегламентных режимах с непредсказуемыми последствиями.

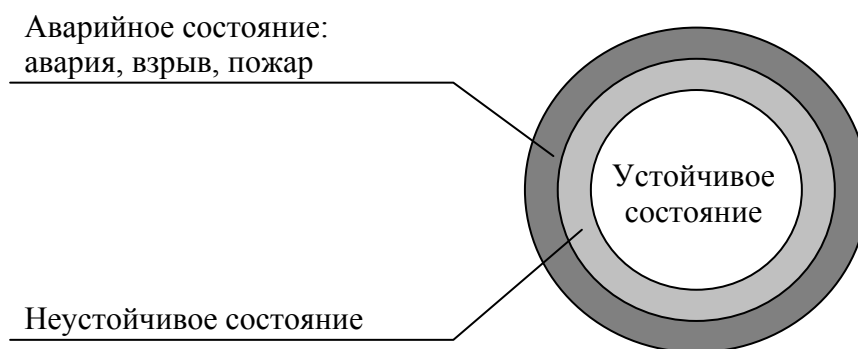


Рис. 1.1. Графическая модель состояний технологического процесса

Каждое из трех состояний (рис. 1.1) технологического процесса – устойчивое (норма), неустойчивое (переходное, 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 аварийное 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 ставит под угрозу жизни людей, сохранность материальных ценностей и целостность оборудования. Для предотвращения аварийных состояний 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 сбора 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. Данные приборной техники и ЭВМ при этом используются для анализа опасных отклонений технологического процесса или выявления причин аварий, взрывов и пожаров.

Внедрение производственной автоматики как средства управления технологическими процессами и обеспечение ее безаварийной работы регламентировано рядом документов. Основным из них для потенциально взрывопожароопасных производств являются «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» (ПБ 09-540-03).

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. Возможность применения автоматической противопожарной защиты в системе пожарной безопасности промышленных объектов представлена на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Возможность применения АППЗ в системе пожарной безопасности:

- возможность применения автоматики для предупреждения пожаров и взрывов;
- возможность применения систем сигнализации и тушения пожаров;
- АУП – автоматическая установка пожаротушения;
- АПС – автоматическая пожарная сигнализация

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.

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.

Деятельность ученых А. А. Андропова, В. С. Кулебакина, А. Н. Колмогорова, И. Н. Вознесенского, Н. Н. Боголюбова, А. В. Михайлова, Е. П. Попова, В. В. Солодовникова, А. Г. Ивахненко и многих других ученых и исследователей в решении теоретических и прикладных вопросов автоматизации заслуживает высокой оценки.

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) на основании определенной информации обеспечивающие 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, выполняющая 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 направлении, 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, увеличивающие 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, в которых 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 устройства автоматики (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 $X_{\text{вх}}$. В активных элементах (рис. 1.3, б) 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.).

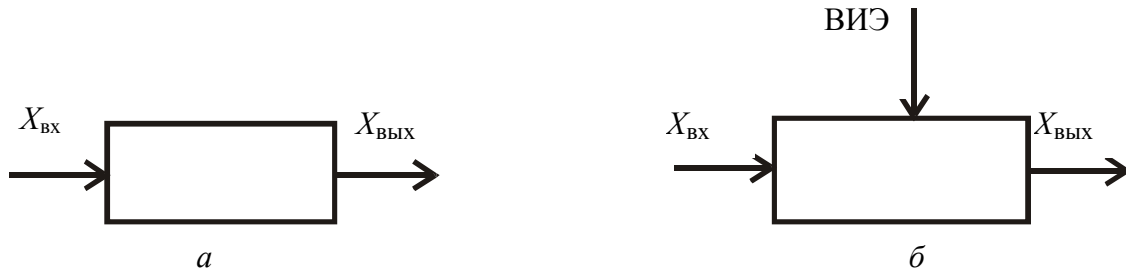


Рис. 1.3. Элементы автоматики:
а – пассивный; б – активный

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 элемента 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*.

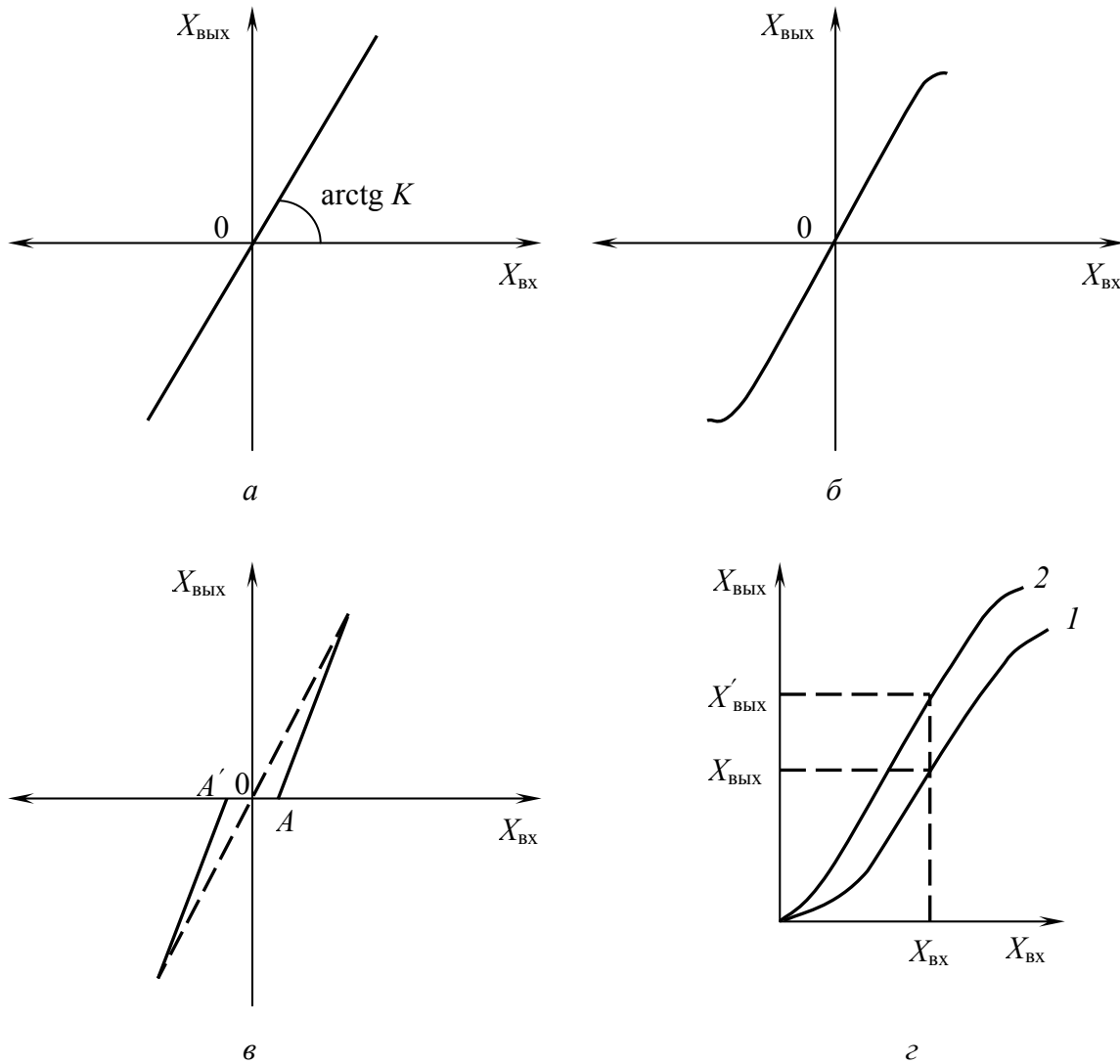


Рис. 1.4. Статические характеристики элементов автоматики

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:

$$K = X_{ВЫХ} / X_{ВХ} . \quad (1.1)$$

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 автоматике 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 OA , 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 пунктиром. Возникновение зоны нечувствительности в различных элементах происходит по разным причинам.

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 неизменном значении входной 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, г 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.

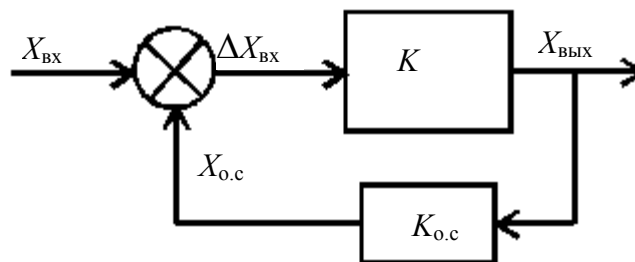


Рис. 1.5. Обратные связи элементов устройства автоматизации

Величина $K_{o.c}$, показывающая, какая часть выходного сигнала $X_{ВЫХ}$ 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

$$\Delta X_{ВХ} = X_{ВХ} - X_{o.c} . \quad (1.5)$$

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

$$\Delta X_{ВХ} = X_{ВХ} \pm X_{o.c} . \quad (1.6)$$

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)

$$X_{o.c} = K_{o.c} X_{вых}.$$

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

$$X_{вых} = K (X_{вх} \pm K_{o.c} X_{вых}), \quad (1.7)$$

где K – передаточный коэффициент элемента без обратной связи.

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

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

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

$$K / (1 \pm K_{o.c} K) = K. \quad (1.9)$$

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 $K_{o.c} K$ называют фактором обратной связи, а двучлен $1 \pm K_{o.c} K$ – 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 коэффициента 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 называется *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).

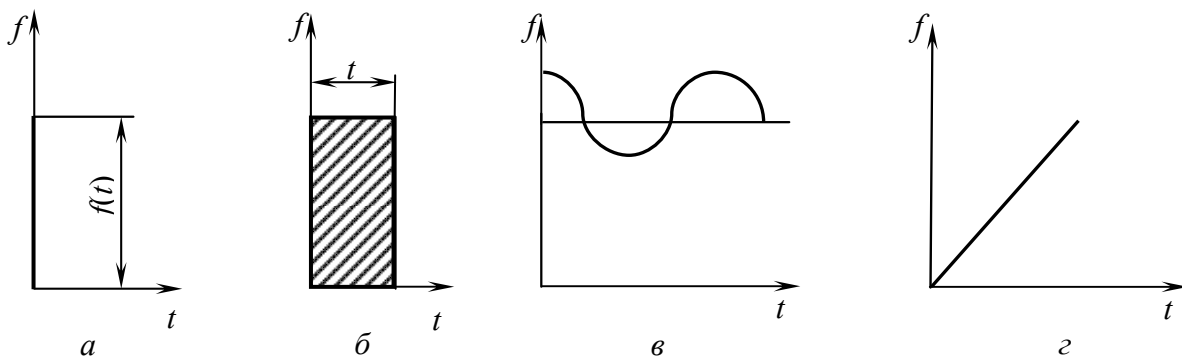


Рис. 1.6. Типовые внешние воздействия

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 различные графики переходных процессов (рис. 1.7).

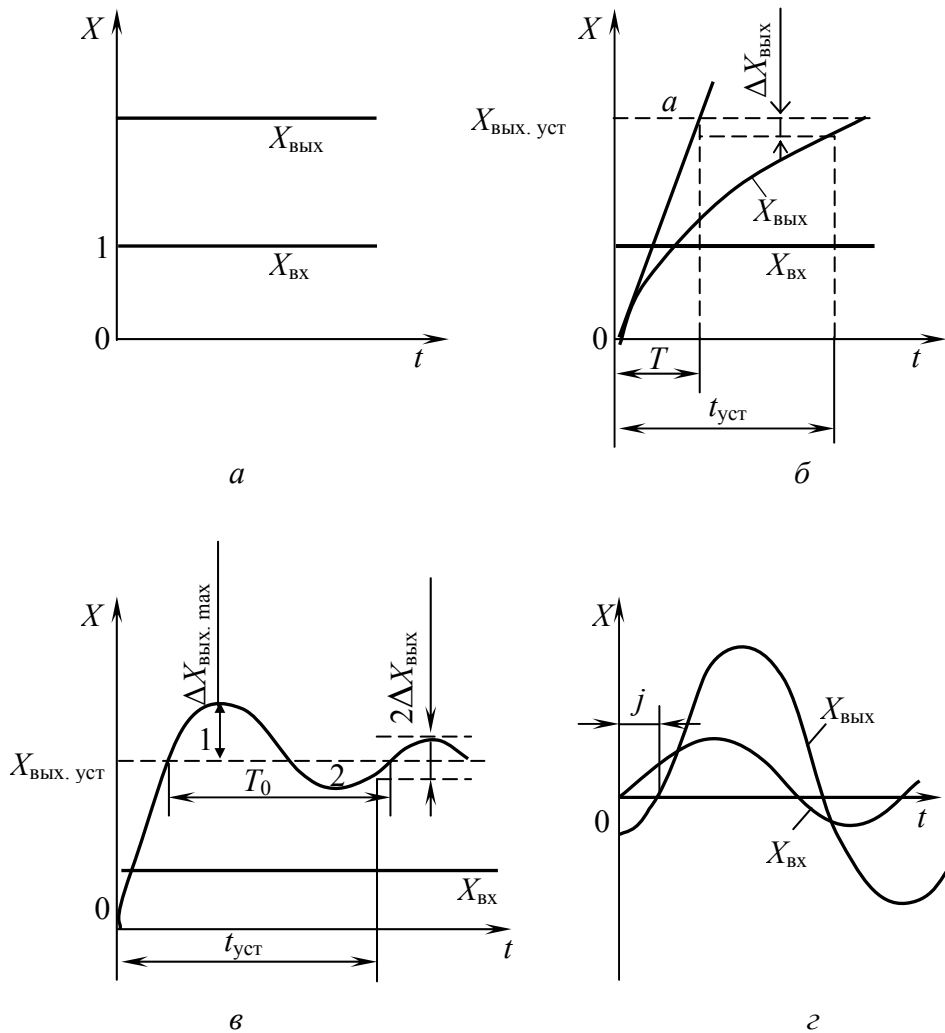


Рис. 1.7. Переходные процессы в элементах автоматики

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.

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 пересечения касательной к экспоненте $0a$ 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 , называется *частотой собственных колебаний элемента*. Она зависит от внутренних свойств элемента и является важным показателем его динамических свойств. Время, в течение которого выходной сигнал достигает значения, незначительно отличающегося от $X_{\text{вых}}$ на величину $\Delta X_{\text{вых}}$, оговоренную техническими условиями элемента, называется *временем установления* или *длительностью переходного процесса* $t_{\text{уст}}$. 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, з). В этих случаях инерционность элемента сказывается на значении фазового сдвига кривой $X_{\text{вых}} = f(t)$ относительно кривой $X_{\text{вх}} = f(t), j$ – фазовый сдвиг кривой.

Исследование переходных процессов элементов автоматики дает возможность установить и их 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 $X_{\text{вых}} = f(t)$.

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.....	24
2.3. Информационная характеристика процесса измерения	28
2.4. Надзор за измерительной техникой.....	31
Глава 3. ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	33
3.1. Приборы контроля и измерения температуры	33
3.2. Приборы контроля и измерения давления	34
3.3. Приборы контроля и измерения уровня жидкости	35
3.4. Приборы контроля и измерения расхода вещества.....	36
3.5. Автоматический уравновешенный мост	37
3.6. Автоматический потенциометр	42
3.7. Многоканальные мосты и потенциометры	46
3.8. Дифференциально-трансформаторные приборы	48
3.9. Приборы с ферродинамическими измерительными схемами.....	50
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 запыленности 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	86
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	105
5.7. Качество регулирования	109
Глава 6. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ И РЕГУЛЯТОРЫ	112
6.1. Объект регулирования	112
6.2. Промышленные регуляторы.....	119
6.3. Выбор регуляторов.....	124

Глава 7. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	127
7.1. Особенности управления пожаро- и взрывоопасными технологическими процессами	127
7.2. Общие принципы построения систем автоматической защиты	129
7.3. Элементы теории логики устройств защиты	135
7.4. Системы аварийной сигнализации и защиты	138
Глава 8. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПОДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВОВ	147
8.1. Методы взрывозащиты	147
8.2. Автоматические системы подавления взрыва	155
8.3. Расчет устройств взрывоподавления	160
8.4. Взрывоподавляющие устройства	163
8.5. Область применения автоматических систем локализации и подавления взрывов	164
Глава 9. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	168
9.1. Автоматизированные системы управления предприятиями	168
9.1.1. Предприятие (производственное объединение) как объект управления	168
9.1.2. Функциональная часть АСУП	171
9.1.3. Обеспечивающая часть АСУП	172
9.2. Автоматизированные системы управления технологическими процессами	174
9.2.1. Основные понятия и определения	174
9.2.2. Задачи АСУТП в общей схеме управления производством и их классификация	176
9.2.3. Состав АСУТП	184
9.3. Автоматизированные системы управления взрывопожарозащитой (АСУВПЗ) промышленных объектов	185
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 автоматизации на промышленном объекте	208
10.5. Нормативные документы и порядок пожарного надзора за производственной автоматикой	216
10.6. Измерительная информация о технологических процессах производств в пожарном надзоре	221
10.7. Диагностика и прогнозирование пожаро- и взрывоопасных состояний технологических процессов	228
10.8. Примеры автоматизации технологических процессов	231
10.8.1. Типовое решение автоматизации перемещения жидкостей и газов	231
10.8.2. Типовое решение автоматизации смешения жидкостей	234
10.8.3. Типовое решение автоматизации отстаивания жидких систем	236
10.8.4. Типовое решение автоматизации нагрева жидкостей	238
10.8.5. Типовое решение автоматизации перемещения твердых материалов	240
ЛИТЕРАТУРА	241

Учебное издание

Фёдоров Андрей Владимирович
Фомин Владимир Иванович
Смирнов Владислав Игоревич

**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
И ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА**

Часть 1

**Производственная автоматика
для предупреждения пожаров и взрывов**

Учебник

Редактор *З. А. Малаховская*
Технический редактор *Е. Н. Титкова*
Корректор *А. В. Бондаренко*

Подписано в печать 14.03. 2012. Формат 60×90 1/16.

Печ. л. 15,25. Уч.-изд. л. 11

Бумага офсетная. Тираж 400 экз. Заказ 157.

Академия ГПС МЧС России
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4