



В.А. Втюрин  
В.В. Ильяшенко

**СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ  
ХИМИКО -  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ  
ПРОЦЕССАМИ**

В.А. Втюрин  
В.В. Ильяшенко

**СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ  
ХИМИКО -  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ  
ПРОЦЕССАМИ**

Санкт-Петербург  
2010

Рассмотрены и рекомендованы к изданию учебно-методической  
комиссией факультета химической технологии и биотехнологии Санкт-  
Петербургской государственной лесотехнической академии  
27 октября 2010 г.

С о с т а в и т е л и :

кандидат технических наук, доцент **В. А. Втюрин**  
магистр, ассистент **В.В. Илющенко**

Отв. редактор

кандидат технических наук, доцент В. А. Втюрин

В учебном пособии изложены вопросы, связанные с содержанием курсовой работы по дисциплине «Системы управления химико-технологическими процессами»: исходные данные, структура курсовой работы (графическая часть работы, пояснительная записка), требования к выполнению графической части и к структурным элементам пояснительной записки.

Содержанием графической части является разработка функциональной схемы автоматизации ФСА. Излагаются принципы и требования к выполнению ФСА. ФСА выполняется с соблюдением современных ГОСТов.

Предложены схемы автоматизации общепромышленных параметров технологических процессов и управление типовыми химико-технологическими процессами.

Также производится выбор приборов и средств автоматизации для объекта (технологического процесса) в курсовом проекте.

Библ. 7 назв., Табл. 12, Ил. 90, Прил. 4

Темплан 2010 г. Изд. №

## ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 2460406 «Технология химической переработки древесины» дневной и заочной форм обучения, изучающих дисциплину «Системы управления химико-технологическими процессами». Выполнение курсовой работы предусмотрено учебным планом и является заключительным этапом обучения студентов по дисциплине.

Основой выполнения является литература по технологии и автоматизации производства продукции химической переработки древесины. Это учебники, учебные пособия, справочники, методические указания, а также каталоги, проспекты отечественных и зарубежных фирм, материалы выставок, разработки ученых ЛТА.

Могут быть использованы и курсовые работы, касающиеся технологических и теплоэнергетических расчетов.

Цель курсовой работы – систематизация, закрепление и расширение теоретических знаний, получение практических навыков расчета и проектирования конкретных задач автоматизации производства на современном уровне достижения науки и техники.

При выполнении курсовой работы решаются следующие задачи: выполнение работ на стадиях технического и рабочего проектирования, освоение методов инженерного выбора и расчета технических приборов и средств автоматизации.

Выполнение курсовой работы способствует более глубокому изучению курса и получению практических навыков проектирования систем автоматизированного управления и расчета первичных измерительных преобразователей и измерительных схем.

Тематика курсового проектирования определяется отчетами по технологической практике на промышленных предприятиях или по заданию преподавателя.

Одним из важных вопросов проектирования является выбор современных средств автоматического контроля, а также методика расчета первичных измерительных преобразователей и принципиальных электрических схем. Приведенные методы расчета позволяют решать задачи с использованием вычислительной техники на базе стандартных программ для ЭВМ.

Углубление и закрепление знаний, полученных в процессе теоретического обучения, выработка навыков самостоятельной работы и инженерного подхода к решению технических задач по автоматическому контролю и сигнализации процессов является основным направлением курсовой работы по дисциплине "Системы управления химико-технологическими процессами".

Конечной целью курсовой работы и раздела дипломного проекта является разработка функциональной схемы (ФСА) технологического объекта управления (ТОУ) или технологического процесса (ТП), выбор необхо-

димых средств автоматизации (в виде спецификации) и описание работы выбранных средств автоматизации.

Завершенная курсовая работа представляется студентом на кафедру за неделю до защиты для ее анализа. Принятие решения о допуске студента к защите курсовой работы осуществляется руководителем проекта. Допуск студента к защите подтверждается подписью руководителя с указанием даты защиты.

Курсовая работа может быть не допущена к защите при не выполнении существенных разделов «Задания», а также при грубых нарушениях правил оформления работы. Защита курсовой работы носит публичный характер, включает доклад студента и его обсуждение. В докладе студент освещает цель и задачи работы, раскрывает сущность работы, отмечает перспективы работы над данной темой и пути внедрения результатов работы в практическую деятельность.

Во введении раскрывается актуальность темы проекта. Сложность и высокая скорость протекания современных технологических процессов, а также чувствительность их к нарушению режима работы, вредность условий работы, взрыво- и пожароопасность, агрессивность перерабатываемых и получаемых веществ ставят сложные задачи перед автоматизацией.

Формулирование задач проекта и их решение должны проводиться с учетом современного состояния и развития технических средств и автоматизированных комплексов.

Во введении приводятся обоснование важности и актуальности выбранной темы проекта, краткая характеристика задач проектирования, используемых методов расчета, перечень задач проекта, выполненных на ЭВМ.

## **1. Задание на проектирование**

### **1.1. Исходные данные**

1.1.1. Технологическая схема производственного процесса.

1.1.2. Данные для анализа и выбора технических средств автоматизации и их описания.

Исходные данные для п. 1.1.1. и 1.1.2. выбираются по отчетам технологической практики или по предлагаемой тематике, в основе которой лежат технологии, технологические регламенты, данные на оборудование (например, конструктивные размеры, производительность), технологические характеристики по исходной схеме.

### **1.2. Задачи курсового проектирования**

1.2.1. Разработать функциональную схему автоматического контроля и сигнализации.

1.2.2. Дать описание технического средства автоматизации (прибора, регулятора и др.).

## **2. Структура курсового проекта**

Курсовой проект содержит графическую часть (чертежи, схемы, графики, таблицы – 1 лист формата А1), текстовую часть (пояснительная записка – 40...50 листов машинописного текста формата А4) таблицы.

### **2.1. Графическая часть проекта**

В графической части проекта разрабатывают:

2.1.1. Функциональную схему автоматизации. Графическая часть курсового проекта выполняется в соответствии с ГОСТ 2.105–95.

### **2.2. Пояснительная записка**

Пояснительная записка включает:

- титульный лист;
- задание на проектирование;
- реферат;
- основную часть;
- содержание;
- заключение;
- библиографический список.

**Пояснительная записка** должна быть выполнена в соответствии с ГОСТ 2.105-95 Общие требования к текстовым докумен-

там. Текст пояснительной записки выполняется на одной стороне белой нелинованной бумаги формата А4 (210х297мм) по ГОСТ 2.301.

Пояснительная записка может быть выполнена одним из следующих способов:

- рукописным;
- с применением ПК (предпочтительней).

### ***Задание***

Задание на проектирование студент получает у преподавателя, согласовывая с ним основные разделы в соответствии с исходными данными (результатами производственной практики, задачами НИР, УИРС), по форме, приведенной в приложении 2.1.

***Титульный лист*** пояснительной записки выполняется по форме, приведенной в приложении 2.2.

***Реферат*** – краткая характеристика курсового проекта, цель, новизна, результаты проектирования, практическое использование, экономический эффект. В конце реферата указывается объем графической части и пояснительной записки – количество листов с указанием формата, иллюстраций, таблиц, использованных источников.

В конце реферата указывают объем графической части и пояснительной записки – количество листов с указанием формата, иллюстраций, таблиц, использованных источников.

### ***Основная часть***

В основной части дается описание технологического процесса с обоснованием выбора параметров контроля, и сигнализации осуществляется в зависимости от:

- а) технологического режима процесса;
- б) технико-экономических показателей работы автоматизируемого участка;
- в) возможных аварийных ситуаций и неисправностей в работе оборудования;
- г) требований охраны труда для обслуживающего персонала.

При выборе параметра необходимо указать:

- а) условия работы датчиков (температура, давление, агрессивность среды, вибрация и т.д.);
- б) максимальное и минимальное его значения, возможные отклонения величины параметра от режимного значения, закон изменения во времени;
- в) наилучшее место установки чувствительного элемента.

Далее составляется перечень функций системы, обеспечивающих нормальное протекание технологического процесса, и формируются требования к качеству выполнения отдельных функций.

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ имени С. М. Кирова»  
Факультет механической технологии древесины

Кафедра автоматизации производственных процессов

Учебная дисциплина: Системы управления  
химико-технологическими процессами

ЗАДАНИЕ на курсовой проект

Тема: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Студент: \_\_\_\_\_

группа \_\_\_\_\_

Дата выдачи:

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

Срок

выполнения: \_\_\_\_\_

Руководитель: \_\_\_\_\_



Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ имени С. М. Кирова»  
Факультет механической технологии древесины  
Кафедра автоматизации производственных процессов

Проект автоматизации процесса (установки)...

Пояснительная записка

Руководитель:

\_\_\_\_\_  
(подпись) Илющенко В.В.

\_\_\_\_\_  
(оценка, дата)

Выполнил:

студент гр. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(дата)

Функции системы автоматизации делятся на информационные и управляющие.

К информационным функциям относятся:

- сбор и первичная обработка информации, включая нормирование;
- непрерывное, периодическое или по вызову измерение, оперативное отображение и регистрация значений технологических параметров;
- обнаружение, регистрация и сигнализация отклонений технологических параметров;
- контроль, регистрация и сигнализация срабатывания блокировок и защит, анализ действия защит;
- представление информации оператору в виде мнемосхем, графиков, диаграмм, таблиц;
- регистрация аварийных ситуаций и событий;
- обработка, архивирование и представление нормативно-справочной информации;
- диагностика состояния технологического оборудования;
- расчет технико-экономических показателей.

К управляющим функциям относятся:

- формирование и передача на входы исполнительных устройств управляющих воздействий;
- дистанционное управление исполнительными устройствами;
- технологические защиты и блокировки, включая АВР (аварийное включение резерва);
- автоматическое регулирование обеспечивающие требуемый режим работы (стабилизацию, изменение по заданной программе, следящее регулирование технологических параметров);
- выбор режима работы системы;
- программно-логическое (функционально-групповое) управление, автоматизированный пуск и останов технологического оборудования в режиме управления или совета.

Для каждой информационной функции определяется диапазон изменения параметра, точность контроля, периодичность, форма представления информации; для каждой управляющей функции определяются режимы управления, требования к качеству управления.

При определении функций системы должны выполняться требования:

- оптимальность – необходимый и достаточный объем систем;
- контроля и управления для нормального ведения процесса;
- гибкость схемы;
- возможность выбора режима работы, наличие блокирующих схем и т.д.;
- четкость работы схемы при аварийных ситуациях и предотвращение повреждения оборудования;
- простота в эксплуатации, обслуживании и ремонте;
- экономичность.

### ***Содержание***

Содержание включает наименование всех разделов и подразделов, а также введение, заключение, библиографический список и перечень приложений. Каждое приложение нумеруют и делают ему заголовок. Последнее слово каждого заголовка соединяют отточием с соответствующим ему номером страницы

Содержание оформляют после того, как работа над текстовым документом закончена.

### ***Заключение***

Заключение должно содержать выводы по каждому разделу пояснительной записки и оценку графической части работы с указанием путей дальнейшего совершенствования результатов проектирования и возможности их реализации. В заключение по возможности представить обоснование экономической эффективности при практической реализации проекта.

### ***Библиографический список***

Список использованных источников должен содержать перечень библиографий, ссылка на которые имеется в тексте.

Составление и группировка литературы в списке использованных источников выполняется в порядке упоминания в тексте или в алфавитном порядке.

Библиографический список произведений печати должен выполняться в соответствии с ГОСТ 7.1 – 2003.

## **3 Требования к выполнению графической части**

### **3.1 Функциональная схема автоматизации**

Функциональную схему автоматизации выполняют **развернутым** способом, при котором на схеме показывают как объект автоматизации, так и состав комплекса технических измерительных средств каждого контура контроля регулирования и сигнализации. Содержание схемы должно соответствовать требованиям ГОСТ 2.1408-93 и РД 50-34.698-90.

На схеме показывают:

- технологическую схему цепи аппаратов или упрощенное изображение агрегатов, подлежащих автоматизации;
- линии связи между отдельными элементами приборных комплексов;
- таблицу условных обозначений, не предусмотренных действующими стандартами;
- основную надпись и дополнительные графы (рис. 3.1).
- параметры измеряемых и регулируемых величин



### 3.1.1. Изображение технологического оборудования

Технологическое оборудование и трубопроводы изображают на схеме автоматизации упрощенно, с соблюдением требований следующих стандартов:

ГОСТ 2.780-68 – для элементов гидравлических и пневматических сетей;

ГОСТ 2.782-68 – для гидравлических и пневматических насосов двигателей;

ГОСТ 2.788-74 – для выпарных аппаратов;

ГОСТ 2.789-74 – для теплообменных аппаратов;

ГОСТ 2.790-74 – для колонных аппаратов;

ГОСТ 2.791-74 – для отстойников и фильтров;

ГОСТ 2.792-74 – для сушильных аппаратов;

ГОСТ 2.793-79 – для элементов и устройств машин и аппаратов химических производств в схемах всех отраслей промышленности и строительства;

ГОСТ 2.794-79 – для питающих и дозирующих устройств;

ГОСТ 2.795-80 – для центрифуг;

ГОСТ 14202-69 – для технологических трубопроводов в зависимости от протекающих в них сред;

ГОСТ 2.785-70 – для запорной арматуры (не регулирующей).

На линиях трубопроводов наносят стрелки по ГОСТ 2.721-74, указывающие направление потока вещества.

### 3.1.2. Изображение комплекса технических средств автоматизации

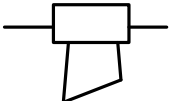
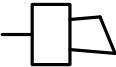
Приборы и средства автоматизации показывают условными обозначениями по ГОСТ 21.404-85 (см. главу 6).

Графические условные обозначения электроаппаратуры, а именно: звонков, сирен, гудков, принимают по ГОСТ 2.741-68, сигнальные лампы (табло) – по ГОСТ 2.732-68 (см. табл. 1).

Таблица 3. 1

Графические условные обозначения

Обозначение	Наименование
	Звонок
	Сигнальная лампа
	Сирена

	Гудок
	Ревун

Буквенные обозначения измеряемых величин и функциональных признаков приборов, не обусловленных ГОСТ 21.404-85, должны сопровождаться необходимыми пояснениями на схеме.

Приборы и средства автоматизации, встраиваемые в технологические трубопроводы, изображают на схеме непосредственно в разрыве трубопроводов (сужающие устройства, ротаметры, счетчики, датчики индукционных расходомеров, регулирующие и запорные органы).

При применении агрегатированных комплексов или управляющих вычислительных машин приводят наименование всего комплекса и сокращенные наименования или типы отдельных его блоков, выполняющих функции измерения, регулирования, сигнализации и др. При этом прямоугольник, изображающий комплекс (ЭВМ), делят горизонтальными линиями на части, число которых соответствует количеству блоков.

### 3.1.3. Изображение линий связи

Линии связи между приборами и средствами автоматизации на схеме изображают однолинейно сплошными линиями по ГОСТ 2.303-68 и приводят к символу прибора в любой точке окружности (сверху, снизу, сбоку).

Для сложных объектов с большим количеством применяемых приборов средств автоматизации, когда изображение непрерывных линий связи затрудняет чтение схемы, допускается их разрывать. Оба конца линий связи в местах разрыва нумеруют одной и той же арабской цифрой.

Допускается комбинированное выполнение линий связи: непрерывными линиями и адресным методом.

На участках линий связи со стороны приборов, изображенных на прямоугольнике «Приборы местные», слева указывают предельные рабочие значения измеряемых или регулируемых величин в Международной системе единиц.

Для приборов, встраиваемых непосредственно в технологическое оборудование или трубопроводы и не имеющих линий связи с другими приборами, предельное значение величин указывают возле обозначений приборов.

Всем приборам, средствам автоматизации и электроаппаратам, изображенным на схеме, присваивают позиции арабскими цифрами (функциональной группе) и буквенными индексами (или цифрами) – строчными буквами русского алфавита (отдельным элементам, входящим в функциональную группу), например: 1а, 1б и т.д. (или 1-1, 1-2 и т.д.).

## 4. Основы проектирования

- ☐ Основы компьютерной графики.
- ☐ Система координат.
- ☐ Единицы измерений.
- ☐ Единая система конструкторской документации.
- ☐ Порядок разработки чертежей технологического оборудования и функциональной схемы автоматизации.

### 4.1. Основы компьютерной графики [1].

Классифицировать компьютерную графику можно по самым различным критериям в зависимости от используемой модели цифрового изображения и выделить следующие разновидности:

- ☐ растровая графика;
- ☐ векторная графика;
- ☐ совмещенная графика.

**Растровая (точечная)** графика представляет собой совокупность дискретных элементов (пикселей), которые различаются только цветом (тоном) и взаимным расположением. В терминологии графики (отрасли практической информатики, занимающейся автоматизацией построения изображений и их обработки с помощью компьютеров) точечным изображением принято называть массив пикселей – одинаковых по размеру и форме плоских геометрических фигур (чаще всего – квадратов или кругов), расположенных в узлах регулярной (т. е. состоящей из ячеек одинаковой формы и размера) сетки. Для каждого пикселя тем или иным способом задается цвет (обычно цвета кодируются числами фиксированной разрядности). Представление точечного изображения в памяти компьютера – это массив сведений о цвете всех пикселей, упорядоченный тем или иным образом (например, по строкам, как в телевизионном изображении). Основной недостаток точечных изображений – большой объем памяти, требующейся для их хранения.

**Векторная графика** представляет собой линейно-контурное изображение, которое состоит из независимого описания границ векторных объектов и их заполнения (заливок). Векторным изображением в машинной графике принято называть совокупность более сложных и разнообразных геометрических объектов. Номенклатура таких объектов может быть более или менее широкой, но, как правило, в нее включаются простейшие геометрические фигуры (круги, эллипсы, прямоугольники, многоугольники, отрезки прямых и дуги кривых линий). Важнейшая особенность векторной графики состоит в том, что для каждого объекта (или, как мы будем более точно говорить далее, класса геометрических объектов) определяются управляющие параметры, конкретизирующие его внешний вид. Например, для окружности такими управляющими параметрами являются диаметр, цвет, тип и толщина линии, а также цвет внутренней области.

В зависимости от размерности модели выделяют два случая:

- двумерная (2D);
- трехмерная (3D).

С двумерной векторной графикой мы сталкиваемся постоянно. Именно такие картинки видим на экране монитора, поскольку каждый из элементов изображения описывается в плоскости двумя координатами ( $X$ ,  $Y$ ) относительно начала координат. Точка – элементарный объект векторной графики. Любая из проекций двумерной модели – это плоский элемент, ограниченный определенным количеством точек с координатами  $X$  и  $Y$ .

Инженерная компьютерная графика, как один из вариантов двумерной векторной графики, является одной из наиболее интенсивно развивающихся отраслей технических знаний.

Инженерная графика – это конструкторская документация, оформление чертежей, изображение и обозначение элементов деталей, изображение сборочных единиц и т. д.

Современные CAD-системы отражают последние достижения инженерной компьютерной графики для автоматизации деятельности инженеров, конструкторов и технологов. Пользователи таких систем должны иметь основательную компьютерную подготовку. Фундамент этой подготовки закладывается в школьных и вузовских общеобразовательных программах геометрических и графических дисциплин.

С помощью CAD-систем создается основная часть конструкторских документов. В курсовом проекте можно использовать любой доступный графический редактор.

На кафедре АПП студенты изучают и используют чертежно-графический редактор КОМПАС-ГРАФИК, который позволит автоматизировать конструкторские работы курсового проекта.

## **4.2. Система координат**

Разработка документации в чертежно-графическом редакторе КОМПАС-ГРАФИК, в режиме фрагментов, разработка спецификаций сборочных чертежей и выпуск документации в текстовом редакторе проводятся в системе двумерного моделирования, т. е. в плоскости ( $X$ ,  $Y$ ), совпадающей с плоскостью экрана. В графическом редакторе КОМПАС-ГРАФИК в режиме создания чертежа и фрагментов используются стандартные, правые декартовы системы координат (далее по тексту — СК). Направление осей системы координат и отсчета углов показано на рис. 4.1.

Систему, которая соответствует правой декартовой системе координат, называют абсолютной системой координат.

Описание координат любой точки плоскости связано с определением ее положения относительно двух взаимно перпендикулярных осей  $X$  и  $Y$ . В углу габаритной рамки формата чертежа вы видите кнопку ТСК текущей системы координат. Она отображена в виде двух ортогональных стрелок. Ее оси параллельны сторонам рамки.





**Рис. 4.1.** Направление осей координат и отсчета углов в прямоугольной системе координат

По умолчанию работа в редакторе предлагается именно в этой системе. Стрелка этой кнопки, обозначенная "X" (ось X системы координат), указывает направление оси абсцисс, а стрелка, помеченная "Y" – оси ординат. Отсчет производится из точки пересечения этих осей, называемых началом координат (0). Абсолютные координаты точки определяются как расстояние от 0 до проекции этой точки на оси координат. Точно так же положение любой точки на плоскости представляется в виде двух значений. Вначале указывается ордината точки, т. е. расстояние от начала координат до проекции этой точки по оси X, затем вводится расстояние от 0 до проекции этой точки на ось Y. По умолчанию точка пересечения координатных осей X и имеет координаты (0, 0). Точки левее нее будут иметь отрицательные координаты X, а точки, расположенные ниже, – отрицательные координаты Y.

Обратите внимание, что при перемещении курсора по экрану на панели инструментов **Текущее состояние** и на Панели свойств в окнах меняются цифры. Это есть текущие координаты центра курсора мыши. Начало текущей системы координат, задаваемой системой КОМПАС-ГРАФИК по умолчанию, всегда находится в левой нижней точке габаритной рамки любого стандартного формата по ГОСТ 2.301-68 в виде двух стрелок, оси которых параллельны сторонам рамки.

В режиме создания фрагмента начало системы координат не имеет такой четкой привязки, как в случае чертежа. Поэтому, когда вы открываете новый фрагмент, то точка начала его системы координат автоматически отображается в центре экрана монитора. И в этом случае отсчет координат точек производится из центра этой системы координат.

### **4.3. Единицы измерения**

В редакторе КОМПАС-ГРАФИК используется стандартная метрическая система мер. По умолчанию единица измерения длины – миллиметр. Расстояния между точками в чертежах и фрагментах отображаются в миллиметрах. Размеры линейных величин тоже вводятся в миллиметрах. В отдельных случаях, возможно, выбирать единицы измерения в сантиметрах, дециметрах и метрах. Угловые размеры вводятся в градусах. Линейные и угловые размеры можно вводить только в виде десятичных чисел. Целая часть числа от дробной отделяется символом "точка". То есть в выбранных единицах будут задаваться и отображаться параметры объектов (длина, радиус), значения размеров и т. д.

Линейные и угловые величины могут быть как положительными, так и отрицательными. В случае отрицательной величины перед числом ставится знак минуса.

### **4.4. Единая система конструкторской документации**

Режим создания чертежа предусматривает разработку двумерных видов деталей, узлов и сборочных единиц в виде чертежей в соответствии с ГОСТ ЕСКД. Давайте кратко рассмотрим основные из них, чтобы не бежать за стандартами, но иметь о них представление и в дальнейшем правильно их применять.

#### **ГОСТ 2.101-68. Виды изделий**

Виды изделий всех отраслей промышленности при выполнении конструкторской документации устанавливает ГОСТ 2.101-68.

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащий изготовлению на конкретном предприятии. Установлены следующие виды изделий.

□ Деталь – это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала (сталь, латунь, алюминий, титан, резина и др.) без применения сборочных операций, например: вал, втулка, ось, литой корпус, печатная плата и т. д. Части детали, имеющие определенное значение, называются элементами чертежа (фаски, скругления, канавки, проточки, ребра и т. п.).

□ Сборочная единица – это изделие, составные части которого подлежат соединению между собой сборочными операциями, такими как

свинчивание, сочленение, склеивание, клепка, сварка, пайка, опрессовка, развальцовка, склеивание, укладка и т. п.

- Комплекс – это два или более изделий, входящих в комплекс.
- Комплект – это два или более изделий, не соединенных сборочными операциями.

## **ГОСТ 2.102-68. Виды и комплектность конструкторских документов**

Этот ГОСТ устанавливает виды и комплектность конструкторских документов. К конструкторским документам относят графические и текстовые, которые определяют состав и устройство изделия, содержат необходимые данные для разработки или изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта. Документы подразделяются на следующие виды.

□ Чертеж детали – графический документ, содержащий изображение детали (если необходимо несколько видов, разрезы и сечения), технические требования, обозначение допусков и шероховатости, необходимые для ее изготовления. В графическом редакторе КОМПАС-ГРАФИК чертеж детали любой сложности строится на основе базовых графических элементов (графических примитивов): точек, отрезков, окружностей и кривых. Иногда разработку чертежей называют инженерной графикой.

□ Сборочный чертеж – графический документ, содержащий изображение нескольких деталей в сборе для изготовления и контроля. Шифр документа: СБ.

□ Чертеж общего вида – документ, определяющий конструкцию изделия в целом, взаимодействие его основных частей и поясняющий принцип работы изделия. Он разрабатывается на начальном этапе проектирования для согласования с заказчиками. Шифр документа: ВО.

□ Габаритный чертеж – документ, определяющий габариты изделия для установки на объекте. Шифр документа: ГЧ.

□ Монтажный чертеж – документ, содержащий упрощенное изображение изделия с необходимыми данными для установки на объекте. Шифр документа: МЧ.

□ Электромонтажный чертеж – документ, содержащий данные, необходимые для выполнения электрического монтажа изделия. Шифр документа: МЭ.

□ Спецификация – документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекта или комплекса. Шифр документа: СП.

Мы рассмотрим только два вида конструкторских документов: чертеж общего вида и спецификация.

## **ГОСТ 2.701-84. Виды и типы схем**

Настоящий стандарт распространяется на схемы, выполняемые вручную или автоматизированным способом, изделий всех отраслей промышленности, а также электрические схемы энергетических сооружений (электрических станций, электрооборудования промышленных предпри-

ятий и т. п.), устанавливает виды и типы схем, и общие требования к их выполнению.

Стандарт полностью соответствует СТ СЭВ 651-77.

1.1. Схемы в зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия (установки), подразделяют на следующие виды:

- электрические;
- гидравлические;
- пневматические;
- газовые (кроме пневматических);
- кинематические;
- вакуумные;
- оптические;
- энергетические;
- деления;
- комбинированные.

**Примечания:**

1. Для изделия, в состав которого входят элементы разных видов, разрабатывают несколько схем соответствующих видов одного типа, например, схема электрическая принципиальная и схема гидравлическая принципиальная или одну комбинированную схему, содержащую элементы и связи разных видов.

2. На схеме одного вида допускается изображать элементы схем другого вида, непосредственно влияющие на работу схемы этого вида, а также элементы и устройства, не входящие в изделие (установку), на которое (которую) составляют схему, но необходимые для разъяснения принципов работы изделия (установки).

Графические обозначения таких элементов и устройств отделяют на схеме штрихпунктирными линиями, равными по толщине линиям связи, и помещают надписи, указывая в них местонахождение этих элементов, а также необходимые данные.

3. Схему деления изделия на составные части (схему деления) выпускают для определения состава изделия.

1.2. Схемы в зависимости от основного назначения подразделяют на следующие типы:

- структурные;
- функциональные;
- принципиальные (полные);
- соединений (монтажные);
- подключения;
- общие;
- расположения;
- объединенные.

## **ГОСТ 2.103-68. Стадии разработки**

Настоящий стандарт устанавливает стадии разработки конструкторской документации всех отраслей промышленности и этапы выполнения работ.

□ Техническое предложение – на этом этапе осуществляется подбор материала для дальнейшего проектирования. Отрабатываются варианты технических решений. Литера: П.

- Эскизный проект – разработка эскизной документации для изготовления макета по результатам технического проекта. Литера: Э.
- Технический проект – разработка технического проекта по результатам испытания макета с присвоением литеры Т.
- Рабочая документация – разработка конструкторской документации для изготовления опытной партии без присвоения литеры. После изготовления, испытаний прибора и корректировки документации присваивается литера: О.

## **ГОСТ 2.104-68. Основные надписи**

Настоящий стандарт определяет формы, размеры и порядок заполнения основных надписей форматов документов по ГОСТ 2.301-68. В графическом редакторе КОМПАС-ГРАФИК все форматы заложены в шаблоны. Шаблон документа – это заготовка документа, содержащая конкретное оформление: рамки, штампы и т. д. Эти шаблоны заложены в состав системы КОМПАС.

## **ГОСТ 2.109-73. Основные требования к чертежам**

Чертеж детали должен отвечать ряду общих требований в соответствии с ГОСТ 2.109-73, независимо от отрасли промышленности и строительства. За последние годы этот стандарт, во-первых, много раз корректировался, а во-вторых, в нем рассмотрены особые случаи оформления чертежей. Чертеж – это основной тип документа, создаваемый в КОМПАС-ГРАФИК. Он полностью должен соответствовать листу формата чертежа (рамки, штампа) и иметь технические требования, обозначения шероховатости неуказанных поверхностей и т. д. Рассмотрим следующую классификацию общих требований:

- При выполнении чертежей соблюдается метод прямоугольного проецирования. Исключения – изображения: виды, разрезы, сечения (см. ГОСТ 2.305-68).
- Чертеж должен быть простым для графического исполнения.
- Чертеж всегда должен быть наглядным и давать четкое представление об изображаемом предмете, его форме, размерах и материале.
- чертеж должен точно воспроизводить форму и размеры изображаемого предмета.
- Чертеж должен быть простым и понятным, чтобы не возникало двойственного чтения. Особенно это важно при изготовлении в производстве.
- Чертеж должен выполняться в строгом соответствии с правилами проецирования с соблюдением установленных требований и условностей.
- Чертеж всегда должен быть выполнен в заданном масштабе. За исключением эскизов, когда рисунок делается от руки и масштаб не соблюдается

□ Поле чертежа всегда должно быть равномерно заполнено. Для видов, разрезов, сечений необходимо зарезервировать место.

□ Число проекций должно быть достаточным для получения полного и однозначного представления о нем. В то же время количество изображений должно быть минимальным.

□ Видимые контуры предметов и их граней выполняются сплошной толстой основной линией. Невидимые части детали – штрихпунктирно линией. Ось детали всегда рисуется осевой линией.

Конечно, всех требований к чертежу не перечислить. Это познается в процессе разработок, но основное требование – это соблюдение комплекса стандартов ЕСКД, часть которых будет рассмотрена далее.

## **ГОСТ 2.301 -68. Форматы**

Разработка чертежа любой детали или сборки начинается с выбора формата чертежа в соответствии с ГОСТ 2.301-68. Все чертежи выполняются на листах стандартного формата.

### **Примечание**

В графическом редакторе все эти форматы вызываются на экран монитора без проблем.

Форматы листов бумаги определяются размерами внешней рамки чертежа. Она проводится тонкой сплошной линией на расстоянии 5 мм слева для подшивки. Самыми распространенным форматом является формат А4 (см. рис. 3.1).

Следующий формат А3 (297х420 мм) Практически это два формата А4, скомпонованных по большей стороне. Далее формат А2 (594х420 мм). Это два формата А3. И наибольший часто применяемый формат – А1. Это два формата А2. Его размеры 594х841 мм. Допускается применение дополнительных форматов. Они образуются увеличением сторон основных форматов кратно размера формата А4. Размеры форматов даны для справки. Штамп чертежа располагается в правом нижнем углу формата.

## **ГОСТ 2.302-68. Масштабы**

Далее разработчику (конструктору) необходимо мысленно представить деталь, а если есть готовая, то измерить ее линейкой и выбрать необходимый масштаб изображения. Изображение детали на чертеже может быть выполнено в натуральную величину, уменьшенным или увеличенным. Отношение всех линейных размеров изображения детали на чертеже к их натуральной Величине называется масштабом.

ГОСТ 2.302-68 устанавливает следующий ряд масштабов изображений на чертеже:

□ натуральная величина;

- масштабы уменьшения 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:75; 1:100;
- масштабы увеличения 2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 40:1; 50:1; 100:1.

## **ГОСТ 2.303-68. Линии**

Далее нам необходимо разобраться, как и какими линиями можно чертить чертеж. ГОСТ 2.303-68 устанавливает типы линий, их толщину и назначение. За исходный тип принята сплошная толстая основная линия. Толщина ее –  $S$  должна выбираться в пределах от 0,6 до 1,5 мм. Она выбирается в зависимости от сложности изображения и качества печатающего устройства. Исходя из толщины сплошной толстой основной линии, выбирают толщину остальных линий при условии, что для каждого типа линий в пределах одного чертежа на всех изображениях она будет одинаковой. Основные линии представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Наименование	Толщина линии по отношению к толщине основной линии	Основное назначение
Сплошная тонкая	от $S/2$	Линии размерные и выносные Линии штриховки Линии выносных элементов
Сплошная волнистая	от $S/3$ до $S/2$	Линии обрыва
Штриховая	от $S/3$ до $S/2$	Линии невидимого контура
Штрихпунктирная тонкая	от $S/3$ до $S/2$	Линии осевые и центровые

Линии могут иметь специальное назначение, например, для изображения резьбы, зон с различной шероховатостью поверхностей и др. Их применение регламентируется специальными стандартами ЕСКД.

## **ГОСТ 2.304-81. Шрифты чертежные**

Все надписи и размерные числа на чертежах должны выполняться стандартными чертежными шрифтами, предусмотренными ГОСТ 2.304-81. Эти шрифты включают русский, латинский и греческий алфавиты, а также арабские и римские цифры.

Стандарт устанавливает следующие размеры шрифта: 1,8; 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40. Размер шрифта  $h$  определяет высоту прописных (заглавных) букв и цифр в миллиметрах.

## **ГОСТ 2.305-68. Изображения - виды, разрезы, сечения**

В соответствии с этим стандартом изображения деталей должны выполняться по методу прямоугольного проектирования. За основные плоскости проекций принимаются шесть граней куба развернутые в плоскости. Изображение на фронтальной плоскости принимается за главный вид. Вид в системе КОМПАС это любое изолированное изображение на чертеже.

Положение каждого вида в системе координат чертежа определяется точкой привязки, углом поворота и масштаба. ГОСТ устанавливает следующие названия основных видов, получаемых на основных плоскостях проекций:

- ☐ вид спереди (главный вид);
- ☐ вид сверху;
- ☐ вид слева.

В большинстве случаев применяются эти три основных вида. Но возможно применение еще трех видов:

- ☐ вид справа;
- ☐ вид снизу;
- ☐ вид сзади.

Изображения на чертеже в зависимости от их содержания разделяются на виды, разрезы и сечения.

☐ Вид – изображение обращенной к наблюдателю видимой частью поверхности предмета (детали, сборочной единицы). Названия видов на чертежах не надписывают, за исключением, когда они смещены относительно главного направления. В этом случае они должны быть отмечены на чертеже надписью "Вид А".

☐ Разрез – изображение части изделия, мысленно разрезанного секущей плоскостью. В разрез попадает и то, что расположено за плоскостью. В зависимости от числа секущих плоскостей разрезы бывают простые (одна плоскость) или сложные (две и более плоскостей).

☐ Сечение – изображение части изделия, мысленно разрезанного секущей плоскостью, но в сечении показывается только то, что попало в эту плоскость.

В курсовом проекте достаточно главного вида технологического оборудования. В случае необходимости можно добавить вид справа или слева.

## **ГОСТ 2.306-68. Обозначения графических материалов и правила их нанесения на чертежах**

Этот стандарт полностью поддерживается системой КОМПАС и устанавливает обозначения различных материалов в разрезах и сечениях. При выполнении штриховки разреза или сечения можно установить любое ее обозначение, шаг и наклон.

### **4.5. Порядок разработки чертежей технологического оборудования и функциональных схем автоматизации**

Мы рассмотрели основные стандарты Единой Системы Конструкторской Документации. Их необходимо знать наизусть и применять при разработке чертежей. Теперь рассмотрим с чего начать построение чертежа детали.



□ В первую очередь вы должны определиться с масштабом чертежа и форматом. При разработке на кульмане можно было ошибиться, и тогда необходимо было перечерчивать чертеж или его надставлять. В системе КОМПАС-ГРАФИК можно поменять масштаб изображения.

□ В основном разрабатываемые детали симметричные, поэтому необходимо наметить и провести ось симметрии.

□ Далее намечают контуры и расположение изображений с помощью вспомогательных линий (горизонтальных, вертикальных, параллельных, различных окружностей и дуг для получения точек пересечения и касания геометрических элементов). Это имитирует построение в "тонких линиях" на кульмане.

□ По полученным отрезкам, дугам и точкам обводим основной линией контуры детали. Вспомогательные линии могут быть удалены.

□ Далее наносим размеры – горизонтальные, вертикальные, диаметральные и т. д. При этом каждый размер указывают только один раз. Общее количество размеров на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля; необходимо избегать пересечения размерных и выносных линий. Поэтому меньшие размеры ставят ближе к контуру изображения, чем большие размеры.

## **5. Функциональные схемы автоматизации (ФСА) [2, 3]**

### **5.1. Назначение функциональных схем**

При проектировании систем автоматизации технологических процессов в лесохимической промышленности все технические решения по автоматизации агрегатов или отдельных участков технологического процесса отображаются на функциональных схемах автоматизации.

Схемы автоматизации являются основным техническим документом, который определяет структуру и функциональные связи между технологическим процессом, приборами, средствами контроля и управления и отражает характер автоматизации технологических процессов.

Схемы выполняют в виде чертежа, на котором схематически, условными изображениями показывают технологическое оборудование, коммуникации, первичные измерительные преобразователи и устройства, вторичные приборы и регуляторы, исполнительные механизмы, регулирующие органы, щиты и пульты, а также связи между технологическим оборудованием, приборами и средствами автоматизации.

При разработке схем автоматизации технологических процессов необходимо решить следующие основные задачи:

- сбор и первичная обработка информации;
- расчет и контроль технико-экономических показателей;
- представление информации диспетчеру;
- контроль состояния оборудования;
- контроль отклонений технологических параметров;

программное и дистанционное управление;  
учет технологических параметров;  
учет технико-экономических показателей;  
учет состояния оборудования.

Эти задачи необходимо решать на основании анализа условий работы технологического оборудования, выявленных законов и критериев управления объектом, а также требований, предъявляемых к точности стабилизации, контроля и регистрации технологических параметров, качеству регулирования и надежности.

## **5.2. Общие принципы выполнения схем**

Современное состояние лесохимических предприятий характеризуется большим разнообразием используемых в них технологических процессов. Практически не ограничены условия их функционирования и требования по управлению и автоматизации. Однако, базируясь на опыте проектирования систем управления и автоматизации [1, 2], можно сформулировать принципы, которыми следует руководствоваться при разработке схем автоматизации.

1. В процессе разработки схем должны учитываться не только существующие требования технологических процессов, но и перспективы их модернизации и развития, а также особенности развития технических средств автоматизации и опыт их внедрения для того, чтобы при минимальных первичных затратах в дальнейшем без существенных переделок обеспечивалась бы возможность наращивания функций систем управления.

2. Уровень охвата технологического процесса системой автоматического управления в каждый период определяется целесообразностью внедрения определенного комплекса технических средств и достигнутым уровнем научно-технических разработок.

3. При проектировании систем автоматизации должна предусматриваться возможность поэтапной реализации системы – от локальной системы к полному комплексу, с возрастающей степенью охвата задач и функций управления.

4. При разработке схем кроме вопросов, связанных с построением систем автоматизации того или иного процесса, агрегата или участка, должны быть решены вопросы о взаимной связи этих систем с автоматизированной системой управления производством (АСУП). Выбор приборов и средств автоматизации должен производиться с учетом возможности их использования для обмена информацией с соответствующими устройствами, входящими в комплекс АСУП.

5. Системы автоматизации технологических процессов должны строиться на базе серийно выпускаемых средств автоматизации и вычислительной техники.

6. В качестве локальных средств сбора и накопления первичной информации, вторичных приборов, регулирующих и исполнительных уст-

ройств следует использовать преимущественно приборы и средства, доступные для приобретения.

7. В качестве технических средств централизованного сбора, передачи и обработки информации также должны использоваться агрегатированные комплексы.

8. При построении схем автоматизации и выборе технических средств должны учитываться: вид и характер производственного процесса, условия пожаро- и взрывоопасности, агрессивность и токсичность окружающей среды и т. д.; параметры (температура и давление) и физико-химические свойства измеряемой среды; расстояния от мест установки датчиков, вспомогательных устройств, исполнительных механизмов, приводов машин и запорных органов до пунктов управления и контроля; требуемая точность и быстродействие контрольной и регулирующей аппаратуры.

9. Выбор аппаратуры автоматизации с точки зрения вспомогательной энергии (электрической, пневматической и гидравлической) определяется условиями пожаро- и взрывоопасности автоматизируемого объекта, агрессивности окружающей среды, требованиями к быстродействию, дальностью передачи сигналов информации и управления.

10. Следует выбирать аппаратуру с тем классом точности, который определяется действительными требованиями автоматизируемой установки. Обычно чем выше класс точности измерительной аппаратуры, тем более сложной является конструкция приборов и выше их стоимость.

11. Для наиболее ответственных узлов и систем автоматизации в проектах следует выполнять расчеты надежности для приближенной оценки ее соответствия требованиям.

12. Необходимо стремиться к применению однотипных средств автоматизации предпочтительно унифицированных систем, характеризующихся простотой сочетания, взаимозаменяемостью и удобством компоновки на щитах управления. Использование однотипной аппаратуры дает значительные эксплуатационные преимущества, как с точки зрения ее обслуживания, так и в отношении обеспечения запасными частями, ремонта, наладки.

13. Количество приборов, аппаратуры и сигнализации, сосредоточенной на оперативных щитах и пультах, должно быть ограничено. Излишек аппаратуры является не менее вредным, чем ее недостаток. Излишняя аппаратура усложняет эксплуатацию и отвлекает внимание обслуживающего оперативного персонала от наблюдения за основными приборами, определяющими ход технологического процесса, увеличивает стоимость установки и удлиняет сроки монтажных работ.

Приборы, не влияющие на ход технологического процесса и необходимые только для анализа работы объекта и составления технико-экономических расчетов, на лицевых панелях оперативных щитов и пультов управления устанавливать не следует.

### **5.3. Изображение технологического оборудования и коммуникаций**

При разработке схем автоматизации технологическое оборудование и коммуникации автоматизируемого объекта их изображают упрощенно по сравнению с технологическими чертежами, но в такой степени, которая позволяет показать функциональную связь и взаимодействие технологического оборудования с приборами и средствами автоматизации.

На технологических коммуникациях показывают ту регулирующую и запорную арматуру, которая непосредственно участвует в контроле и управлении процессом, также запорные и регулирующие органы, которые необходимы для определения расположения мест отбора импульсов или для пояснения необходимости измерений.

В отдельных случаях некоторые части технологического оборудования допускается изображать на функциональных схемах в виде прямоугольников с указанием наименования этих частей.

Если при упрощенном изображении технологического оборудования невозможно получить ясное и полное представление об автоматизируемом объекте, то выбирают такое условное начертание технологического оборудования, которое дает достаточное представление о принципах его работы.

Технологические коммуникации и трубопроводы жидкости и газа на схемах показывают в соответствии с ГОСТ при их однолинейном изображении.

Детали трубопроводов, арматуру, теплотехнические и санитарно-технические устройства и аппаратуру изображают условными обозначениями по ГОСТ 2.785-70.

Для жидкостей и газов, не предусмотренных ГОСТом, могут быть использованы для обозначения и другие цифры, но обязательно с необходимыми пояснениями этих новых условных обозначений.

Для обозначения трубопроводов на функциональных схемах автоматизации могут быть применены и условные обозначения, принятые в технологических схемах.

Внутри контура изображения технологического оборудования и отдельных его элементов и трубопроводов приводятся соответствующие поясняющие надписи (наименование технологического оборудования, номер, если таковой имеется, и др.). Отдельные агрегаты и установки технологического оборудования могут быть изображены условно в виде прямоугольников и оторвано друг от друга, но при этом всегда приводятся необходимые указания на их взаимосвязь.

#### **5.3.1. Изображение оборудования**

Технологическое оборудование чертится на функциональных схемах автоматизации в виде простейших условных изображений без масштаба, соблюдая только зрительное соотношение размеров оборудования. Внутреннюю конструкцию оборудования изображают только тогда, когда это

необходимо для показания связи его с устройствами автоматизации. Расположение оборудования на схемах по вертикали должно соответствовать его расположению в пространстве. При изображении оборудования показываются:

- элементы строительных конструкций и чертежей (фундаментные отметки, стены, колонны, фермы и т.д.);
- элементы конструкций оборудования (опоры, опорные конструкции, патрубки),
- вспомогательное технологическое оборудование, не влияющее на ход технологического процесса (например, резервное и переносное оборудование).

Однотипное оборудование, работающее последовательно, на функциональных схемах автоматизации показывается все, а работающее параллельно – одним аппаратом.

Нумерация оборудования на функциональных схемах автоматизации осуществляется двумя способами.

Первый – название объекта пишется словами внутри конкретного оборудования (одно, два слова, например, котел варочный).

Второй – цифрой арабской внутри контура оборудования (в центре или в любом одном и том же углу внутри контурного изображения).

Последовательность нумерации оборудования может осуществляться мя способами:

- для периодических процессов цифра 1 присваивается главному аппарату, остальные цифры – по последовательности протекания процесса;
- для непрерывных процессов – по ходу протеканию процесса. На технологическое оборудование создается экспликация (спецификация). Пример ее заполнения показан в таблице 5.1.

Таблица 5.1

#### Спецификация технологического оборудования

№ на функциональной схеме	Наименование оборудования	Техническая характеристика	Кол-во	Примечание
1	Котел варочный	Объем – 320 м <sup>3</sup> , биметаллический	10	**

### 5.3.2. Изображение коммуникаций

Коммуникациями называются устройства для передачи или транспортировки вещества или энергии. К ним относятся:

- **трубопроводы** (водопроводы, нефтепроводы, паропроводы и т.д.);
- **технологическое оборудование**, предназначенное для транспортировки веществ (транспортеры, рольганги, шнеки, лифты и т.д.);

**-провода и кабельные линии** (линии питания электрическим током с различным напряжением, линии связи измерительные, сигнальные, компьютерные и т.д.).

На функциональных схемах автоматизации рисуют только первые две группы коммуникаций.

Изображаются все коммуникации в виде сплошных прямых линий. Графика линий бывает следующей:

- в виде вертикальных и горизонтальных линий;
- в виде линий, нарисованных по принципу кратчайшего расстояния между объектами;
- в виде плавных лекальных кривых.

На линиях трубопроводов имеются также условные обозначения мест их соединений (ответвлений) и разветвлений. На наличие соединения указывает точка, изображаемая в месте разветвлений линий трубопроводов. Если такая же точка показана на участке трубопровода, не имеющего отводов по схеме, то в этом случае точка – символ вертикального отвода от трубопровода.

На технологических трубопроводах обычно показывают ту регулируемую или запорную арматуру, которая непосредственно участвует в контроле и управлении процессов, а также запорные и регулирующие органы, необходимые для определения относительного расположения мест отбора, импульсов или поясняющие необходимость измерений.

На трубопроводах, где предусматривается установка отборных устройств и регулирующих органов, указываются диаметры условных проходов (на схеме или в пояснительной записке).

Все линии трубопроводов или других технологических коммуникаций снабжаются стрелками, которые указывают направление движения потока.

Графически стрелки представляют собой равносторонний треугольник со стороной, равной 5 мм.

**Черные**, закрашенные стрелки применяют для обозначения жидкостей или твердых веществ.

**Белые**, незакрашенные стрелки используют для обозначения газа, паров жидкости или водяного пара.

Если по коммуникации транспортируется смесь твердого вещества с газообразным (например, пневмотранспорт гранулированного вещества), стрелка закрашивается наполовину.

На функциональной схеме автоматизации стрелки рисуются в местах:

- в начале и в конце коммуникаций, эти стрелки обязательно подписываются, то есть указывается адрес – куда или откуда идет поток;
- всегда изображаются на входе потока в оборудование (на выходе оборудования их не показывают);
- промежуточные – рисуются, если линии трубопровода имеют сложное переплетение или большую протяженность на схеме, тогда промежуточные стрелки уточняют направление движения потока.

### 5.3.3. Условные обозначения сред, транспортируемых по трубопроводам

При чтении схем автоматизации важно быстро и четко определить вид, назначение и параметр транспортируемой по трубопроводу среды. Для этого на схемах приводят соответствующие условные обозначения, которые выполняют цифровым шифром, он ставится в разрывах линий трубопроводов (причем цифры, всегда перпендикулярны линии трубопровода).

Технологические коммуникации и трубопроводы изображают условными обозначениями в соответствии с ГОСТ 3464—63, приведенными в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Условные цифровые обозначения трубопроводов по ГОСТ 3464—63

Наименование среды, транспортируемой трубопроводом	Обозначение	Наименование среды, транспортируемой трубопроводом	Обозначение
Вода	—1—1—	Горючие и взрывоопасные газы:	
Пар	—2—2—	водород	—16—16—
Воздух	—3—3—	ацетилен	—17—17—
Азот	—4—4—	фреон	—18—18—
Кислород	—5—5—	метан	—19—19—
Инертные газы:		этан	—20—20—
аргон	—6—6—	этилен	—21—21—
неон	—7—7—	пропан	—22—22—
гелий	—8—8—	пропилен	—23—23—
криптон	—9—9—	бутан	—24—24—
ксенон	—10—10—	бутилен	—25—25—
Аммиак	—11—11—	Противопожарный трубопровод	—26—26—
Кислота (окислитель)	—12—12—	Вакуум	—27—27—
Щелочь	13—13—		
Масло	—14—14—		
Жидкое горючее	—15—15—		

Для более детального указания характера среды к цифровому обозначению может добавляться буквенный индекс, например, вода чистая — 1ч, пар перегретый — 2п, пар насыщенный — 2н и т. д. Условные числовые обозначения трубопроводов следует проставлять через расстояния не менее 50 мм.

Для более расширенных условных обозначений сред, транспортируемых по трубопроводам, используют ГОСТ 14202-69 приведенный в таблице 5.4.

Первая обозначает вид транспортируемой среды, последующие цифры показывают разновидность или параметр среды. Цифры разделяют ме-

жду собой точкой; если двух цифр недостаточно для обозначения среды, то вводятся дополнительные цифры также через точку. Условные обозначения трубопроводов приводятся в поле схемы, обычно над штампом.

В обозначениях сред трубопроводов санитарно-технических сред могут использоваться характерные буквенные обозначения: В – водопровод, К – канализация, Т – теплопровод, Н – напорный трубопровод. Для трубопроводов санитарно-технических систем используют обозначения тремя символами, то есть добавляют к букве и цифре еще один цифровой символ для обозначения параметра среды.

В ряде случаев применяются отраслевые обозначения коммуникаций. На все условные обозначения трубопроводов на функциональной схеме или в пояснительной записке даются пояснения в виде таблицы, в которой в первой графе пишется шифр среды, транспортируемой по трубопроводу, а во второй – точное ее наименование (таблица 5.3).

Таблица 5.3

**Наименования сред, протекающих по трубопроводам**

Обозначение	Наименование
1.1	Вода техническая

Таблица 5.4

**Условные цифровые обозначения жидкостей, газов и материалов, транспортируемых по трубопроводам по ГОСТ 14202-69**

Цифровые обозначения	Наименование транспортируемой среды	Цифровые обозначения	Наименование транспортируемой среды
1	2	3	4
	<b>Вода:</b>		<b>Негорючие газы:</b>
1.1	питьевая	5.1	азот и газы,
1.2	техническая		его содержащие
1.3	горячая (водоснабжение)	5.2	резерв
1.4	горячая(отопление)	5.3	хлор и газы,
1.5	питательная		его содержащие
1.6	резерв	5.4	углекислый газ и газы, его
1.7	резерв		содержащие
1.8	конденсат	5.5	инертные газы
1.9	прочие виды	5.6	сернистый газ и газы, его
1.0	отработанная, сточная		содержащие
	<b>Пар:</b>	5.7	резерв
2.1	низкого давления	5.8	резерв
	(до 0.2 МПа)	5.9	прочие виды
2.2	насыщенный	5.0	отработанные
2.3	перегретый		<b>Кислоты:</b>
2.4	отопление	6.1	серная
2.5	влажный (соковый)	6.2	соляная
2.6	отборный	6.3	азотная



2.7	резерв	6.4	резерв
2.8	вакуумный	6.5	неорганические кислоты и их растворы
2.9	прочие виды	6.6	органические кислоты и их
2.0	отработанный		растворы
	<b>Воздух:</b>		
3.1	атмосферный	6.7	растворы кислых солей
3.2	кондиционированный	6.8	резерв
3.3	циркуляционный	6.9	прочие жидкости
3.4	горячий		кислотной реакции
3.5	сжатый	6.0	отработанные кислоты и
3.6	пневмотранспорта		кислые стоки
3.7	кислород		(при pH<6.5)
3.8	вакуум		
3.9	прочие виды		
3.0	отработанный		
	<b>Горючие газы:</b>		<b>Щелочи:</b>
4.1	светильный	7.1	натриевые
4.2	генераторный	7.2	калийные
4.3	ацетилен	7.3	известковые
4.4	аммиак	• 7.4	известковая вода
4.5	водород и газы, его содержащие	7.5	неорганические щелочи и их растворы
4.6	Углероды и их производные	7.6	органические щелочи и их растворы
4.7	окись углерода и газы, его содержащие	7.7	резерв
4.8	резерв	7.8	резерв
4.9	прочие виды	7.9	прочие жидкости
4.0	отработанные	7.0	щелочной реакции
	<b>Горючие жидкости:</b>		отработанные щелочи и щелочные стоки (pH>8,5)
8.1	жидкостные категории А( $t_{в.п.} < 28^{\circ}\text{C}$ )	9.1	<b>Негорючие жидкости:</b>
8.2	жидкости категории Б( $28^{\circ}\text{C} < t_{в.п.} < 120^{\circ}\text{C}$ )	9.2	жидкие пищевкусковые продукты
8.3	жидкости категории В ( $t_{в.п.} > 120^{\circ}\text{C}$ )	9.3	водные растворы (нейтральные)
8.4	смазочные материалы	9.4	прочие растворы (нейтральные)
8.5	прочие органические горючие жидкости	9.5	водные суспензии
8.6	взрывоопасные жидкости	9.6	прочие суспензии
8.7	резерв	9.7	эмульсии
8.8	резерв	9.8	резерв
8.9	прочие горючие жидкости	9.9	резерв
8.0	горючие стоки	9.0	прочие негорючие жидкости
			негорючие стоки (нейтральные)

			<b>Прочие вещества:</b>
		0.1	порошкообразные материалы
		0.2	сыпучие материалы
		0.3	зернистые смеси твердых материалов. с воздухом
		0.4	гели
		0.5	пульпы водяные
		0.6	пульпы прочих жидкостей
		0.7	резерв
		0.8	резерв
		0.9	резерв
		0.0	отработанные твердые материалы

#### 5.4. Рекомендуемые толщины линий на функциональной схеме

Для удобства чтения функциональных схем автоматизации при черчении рекомендуется использовать в учебных проектах следующие толщины линий: технологическое оборудование – от 1 до 1,2 мм, трубопроводы – от 0,5 до 1 мм.

### 6. Изображение приборов и средств автоматизации

#### 6.1. Общие сведения

К приборам и средствам автоматизации относится большая группа устройств, с помощью которых осуществляют измерение, регулирование, управление и сигнализацию технологических процессов различных производств. Приборы и средства автоматизации подразделяют на измерительные и преобразующие приборы, регулирующие органы и исполнительные механизмы. Для понимания и прочтения условных обозначений всех этих устройств необходимо знать их принцип действия и назначение.

Измерительное устройство в общем случае состоит из первичного, промежуточного и передающего измерительных преобразователей.

**Первичным измерительным преобразователем** (или сокращенно первичным преобразователем) называют элемент измерительного устройства, к которому подведена измеряемая величина. Первичный преобразователь занимает первое место в измерительной цепи (канале измерения). Примерами первичных измерительных преобразователей могут служить: преобразователь термоэлектрический (термопара), сужающее устройство для измерения расхода и др. Первичные измерительные преобразователи часто называют датчиками.

**Промежуточным измерительным преобразователем** (или сокращенно промежуточным преобразователем) называют элемент измерительного устройства, занимающий в измерительной цепи место после первич-

ного преобразователя. Основное назначение промежуточного преобразователя – преобразование выходного сигнала первичного измерительного преобразователя в форму, удобную для последующего преобразования в сигнал измерительной информации для дистанционной передачи. Примером промежуточного измерительного преобразователя может служить мембранный блок дифманометра-расходомера. В измерительной цепи измерения расхода он занимает место непосредственно после сужающего устройства и преобразует перепад давления на сужающем устройстве в соответствующее перемещение мембраны мембранного блока и связанной с ней механической системы прибора.

**Передающим измерительным преобразователем** (или сокращенно передающим преобразователем) называют элемент измерительного устройства, предназначенный для дистанционной передачи сигнала измерительной информации. Примером передающего преобразователя могут служить разные электрические или пневматические преобразователи, встраиваемые в дифманометры-расходомеры. С их помощью, например, перемещение мембраны, изменяющее положение сердечника дифференциального трансформатора дифманометра, преобразуется в выходной унифицированный сигнал постоянного тока от 0 до 5 мА (электрический преобразователь) или перемещение гармониковых сильфона-дифманометра в унифицированный выходной пневматический сигнал от 0 до 0,1 МПа (пневматический преобразователь) для дистанционной передачи измерительной информации.

Приборостроительная промышленность выпускает устройства, объединяющие в себе функции первичного, промежуточного и передающего преобразователей в различных сочетаниях. Так, бесшкальные манометры-дифманометры выпускают со встроенными преобразователями и дистанционной передачи показаний. Эти приборы сочетают в себе функции промежуточного и передающего преобразователей. Кроме того, в различных измерительных схемах одни и те же элементы могут выполнять различные функции преобразования измеряемой величины. Если имеется измерительная цепь преобразователь термоэлектрический (термопара) – линия связи милливольтметр, то преобразователь термоэлектрический выполняет функции первичного, промежуточного и передающего преобразователя. В качестве вторичного прибора используется потенциометр с унифицированным входным сигналом 0 – 5 мА, то сигнал с преобразователя термоэлектрического поступает сначала на преобразователь, преобразующий значение измеряемой величины, выраженное в милливольтках, в соответствующее значение, выраженное в миллиамперах постоянного тока. В этом случае преобразователь термоэлектрический выполняет функции только первичного преобразователя.

К первичным преобразователям также относятся отборные и приемные устройства. Под **отборными** и **приемными** устройствами понимают устройства, встраиваемые в технологические аппараты и трубопроводы для отбора контролируемой среды и измерения ее параметров. Примерами таких устройств могут служить устройства отбора давления в аппарате или

трубопроводе, устройства отбора среды для определения, например, концентрации, щелочности и др.

Первичные измерительные устройства могут встраиваться в технологические аппараты и трубопроводы с помощью дополнительных устройств: бобышек, карманов, расширителей и т. п.

Эти устройства на схемах не обозначают, но включают в спецификации и делают ссылки на соответствующий конструктивный чертеж.

Ряд приемных устройств по своей конструкции и принципу действия не требует непосредственного контактирования с измеряемой средой (радиоактивные устройства, излучатели, видеоприемные устройства и др.). Их изображают на схемах в непосредственной близости от объекта измерения.

**Измерительным прибором** называют средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительные приборы могут иметь различные функциональные отличия, могут быть показывающими, регистрирующими, самопишущими, интегрирующими и т.д. Кроме того, в них могут быть встроены регулирующие, преобразующие и сигнализирующие устройства.

В связи с этим условные обозначения приборов и преобразующих устройств состоят из основного условного изображения прибора или устройства и вписываемых в него обозначений контролируемых и регулируемых величин, а также их функциональных признаков.

**Исполнительные механизмы** в отличие от регулирующих органов представляют собой относительно сложные многоэлементные устройства. Они отличаются друг от друга принципом действия, техническими и эксплуатационными характеристиками, а также конструктивными особенностями. По роду используемой энергии исполнительные механизмы подразделяют на гидравлические, пневматические, электрические и комбинированные.

**Регулирующие органы** по конструкции представляют собой устройства, монтируемые непосредственно в технологические трубопроводы: различные клапаны, заслонки, шиберы и т. п. Управление регулирующими органами осуществляется исполнительными механизмами, выполняющими функции их приводов.

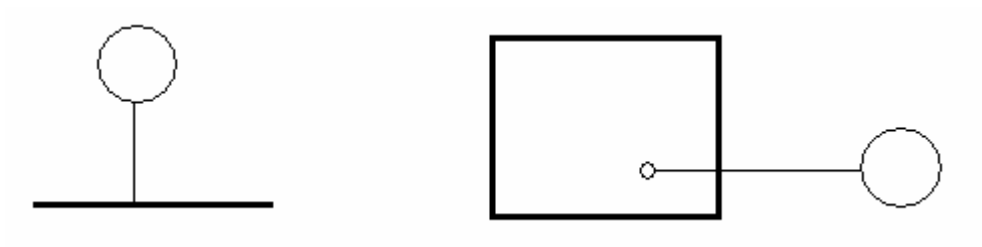
## 6.2. Условные графические обозначения

Графические обозначения приборов, средств автоматизации и линий связи должны соответствовать приведенным в табл. 6.1.

Отборное устройство для всех постоянно подключенных приборов изображают сплошной тонкой линией, соединяющей технологический трубопровод или аппарат с прибором (рис. 6.1). При необходимости указания конкретного места расположения отборного устройства (внутри контура технологического аппарата) его обозначают кружком диаметром 2 мм (рис. 6.1)

## Основные условные обозначения приборов и средств автоматизации

Наименование	Обозначение
1. Прибор, устанавливаемый вне щита (по месту): а) основное обозначение б) допускаемое обозначение	
2. Прибор, устанавливаемый на щите, пульте: а) основное обозначение б) допускаемое обозначение	
3. Исполнительный механизм. Общее обозначение	
4. Исполнительный механизм, который при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала : а) открывает регулирующий орган б) закрывает регулирующий орган в) оставляет регулирующий орган в неизменном положении	
5. Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом	
6. Линии связи. Общее обозначение	
7. Пересечение линий связи без соединения друг с другом	
8. Пересечение линий связи с соединением между собой	



**Рис. 6.1.** Отображение отборного устройства

## Буквенные обозначения

Основные буквенные обозначения измеряемых величин и функциональных признаков приборов должны соответствовать приведенным в табл. 6.2.

Таблица 6.2

### Буквенные условные обозначения

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые прибором		
	Основное значение 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, пере-	—	—	—	—

<i>L</i>	менная программа Уровень	—	—	—	Нижний предел измеряемой величины
<i>M</i>	Влажность	—	—	—	—
<i>N</i>	Резервная буква	—	—	—	—
<i>O</i>	Резервная буква	—	—	—	—
<i>P</i>	Давление, вакуум	—	—	—	—
<i>Q</i>	Величина, характеризующая качество, концентрацию 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 различных измеряемых величин	—	—	—	—
<i>V</i>	Вязкость	—	—	—	—
<i>W</i>	Масса	—	—	—	—
<i>X</i>	Нерекомендуемая резервная буква	—	—	—	—
<i>Y</i>	+	—	—	+	—
<i>Z</i>	+	—	—	+	—

Примечание. Буквенные обозначения, отмеченные знаком «+», являются резервными, а отмеченные знаком «—» не используются.

Дополнительные буквенные обозначения, применяемые для указания дополнительных функциональных признаков приборов, преобразователей сигналов и вычислительных устройств, приведены в табл. 6.3 и 6.4.

Таблица 6.3

**Дополнительные буквенные обозначения, применяемые для указания дополнительных функциональных признаков приборов**

Наименование	Обозначение	Назначение
Чувствительный элемент	<i>E</i>	Устройства, выполняющие первичное преобразование: преобразователи термоэлектрические, термопреобразователи сопротивления, датчики пирометров, и т.п.

Дистанционная передача	$T$	Приборы бесшкальные с дистанционной передачей сигнала: манометры, дифманометры, манометрические термометры
Станция управления	$K$	Приборы, имеющие переключатель для выбора вида управления и устройство для дистанционного управления
Преобразование, вычислительные функции	$Y$	Для построения обозначений преобразователей сигналов и вычислительных устройств

Таблица 6.4

**Дополнительные буквенные обозначения, применяемые для указания преобразователей сигналов и вычислительных устройств**

Наименование	Обозначение
1. Род энергии сигнала: электрический	$E$
пневматический	$P$
гидравлический	$G$
2. Виды форм сигнала: аналоговый	$A$
дискретный	$D$
1. Операции, выполняемые вычислительным устройством: Суммирование	$\Sigma$
умножение сигнала на постоянный коэффициент $k$	$K$
перемножение двух и более сигналов друг на друга	$\times$
деление сигналов друг на друга	$:$
возведение величины сигнала $f$ в степень $n$	$f^n$
извлечение из величины сигнала корня степени $n$	$\sqrt[n]{\phantom{x}}$
логарифмирование	$\lg$
дифференцирование	$dx/dt$
интегрирование	$\int$
изменение знака сигнала	$x(-1)$
ограничение верхнего значения сигнала	$\max$
ограничение нижнего значения сигнала	$\min$



1. Связь с вычислительным комплексом:	
передача сигнала на ЭВМ	$B_i$
вывод информации с ЭВМ	$B_0$

1. Порядок построения условных обозначений с применением дополнительных букв принимают следующим:

основное обозначение измеряемой величины;

одна из дополнительных букв:  $E$ ,  $T$ ,  $K$ , или  $Y$ .

2. При построении условных обозначений преобразователей сигналов, вычислительных устройств надписи, определяющие вид преобразования или операции, осуществляемые вычислительным устройством, наносят справа от графического обозначения прибора.

Буквенные обозначения измеряемых величин технологических объектов и процессов в функциональных схемах и технологических дисциплинах не совпадают. В табл. 6.5. приведено соответствие параметров технологических дисциплин и систем автоматизации.

Таблица 6.5

#### Основные параметры и показатели параметров технологического объекта и процесса

№ п/п	Параметры и показатели	Обозначения	
		В технологических схемах	В схемах автоматизации
1	Расход потоков	$G$	$F$
2	Давление среды	$P$	$P$
3	Температура	$t^\circ$	$T$
4	Концентрация	$C\%$	$Q^{c\%}$
5	Величина $pH$	$pH$	$Q^{pH}$
6	Уровень	$H$ или $h$	$H$
7	Концентрация РВ		
8	Влажность	$W$	$M$
9	Плотность	$\rho$	$D$
10	Качество выхода продукта	$\chi$	$Q^\chi$
11	Белизна	$B\%$	$Q^B$
12	Перепад давления	$\Delta P$	$PD$
13	Содержание лигнина в целлюлозе	$K_{л}\%$	$Q^{Kл}$
14	Температура теплоносителя	$t^\circ$	$T$
15	Расход теплоносителя	$G$	$F$
16	Концентрация дрожжей	$C/\text{г/л}$	$Q^{C/\text{г/л}}$
17	Остаточная влажность	$W$	$M$
18	Скорость теплоносителя	$w$ (м/с)	$S$
19	Отводимое тепло	$Q$ (Вт)	
20			

## Размеры условных обозначений

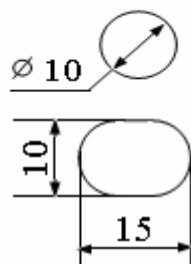
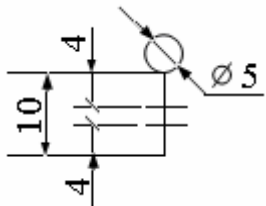
Размеры условных графических обозначений приборов и средств автоматизации в схемах приведены в табл. 6.6.

Условные графические обозначения на схемах выполняют сплошной толстой основной линией, а горизонтальную разделительную черту внутри графического обозначения и линии связи – сплошной тонкой линией по ГОСТ 2.303-68.

Шрифт буквенных обозначений принимают по ГОСТ 2.304-81 равным 2,5 мм.

Таблица 6.6

Размеры условных графических изображений

Наименование	Обозначение
Датчик, прибор:  а) основное обозначение  б) допускаемое обозначение	
Исполнительный механизм	

## 6.3. ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

2.1. Настоящий стандарт устанавливает два метода построения условных обозначений:

- а) упрощенный;
- б) развернутый.

2.2. При упрощенном методе построения приборы и средства автоматизации, осуществляющие сложные функции, например, контроль, регулирование, сигнализацию и выполнение в виде отдельных блоков изображают одним условным обозначением. При этом первичные измерительные преобразователи и всю вспомогательную аппаратуру не изображают.

2.3. При развернутом методе построения каждый прибор или блок, входящий в единый измерительный, регулирующий или управляющий комплект средств автоматизации, указывают отдельным условным обозначением.

2.4. Условные обозначения приборов и средств автоматизации, применяемые в схемах, включают графические, буквенные и цифровые обозначения.

В верхней части графического обозначения наносят буквенные обозначения измеряемой величины и функционального признака прибора, определяющего его назначение.

В нижней части графического обозначения наносят цифровое (позиционное) обозначение прибора или комплекта средств автоматизации.

2.5. Порядок расположения букв в буквенном обозначении принимают следующим:

- основное обозначение измеряемой величины;
- дополнительное обозначение измеряемой величины (при необходимости);
- обозначение функционального признака прибора.

2.6. При построении обозначений комплектов средств автоматизации первая буква в обозначении каждого входящего в комплект прибора или устройства (кроме устройств ручного управления) является наименованием измеряемой комплектом величины.

2.7. Буквенные обозначения устройств, выполненных в виде отдельных блоков и предназначенных для ручных операций, независимо от того, в состав какого комплекта они входят, должны начинаться с буквы *H*.

2.8. Порядок расположения буквенных обозначений функциональных признаков прибора принимают с соблюдением последовательности обозначений: *I, R, C, S, A*.

При построении буквенных обозначений указывают не все функциональные признаки прибора, а лишь те, которые используют в данной схеме.

2.10. Букву *A* применяют для обозначения функции «сигнализация» независимо от того, вынесена ли сигнальная аппаратура на какой-либо щит или для сигнализации используются лампы, встроенные в сам прибор.

2.11. Букву *S* применяют для обозначения контактного устройства прибора, используемого только для включения, отключения, переключения, блокировки.

При применении контактного устройства прибора, для включения, отключения и одновременно для сигнализации в обозначении прибора используют обе буквы: *S* и *A*.

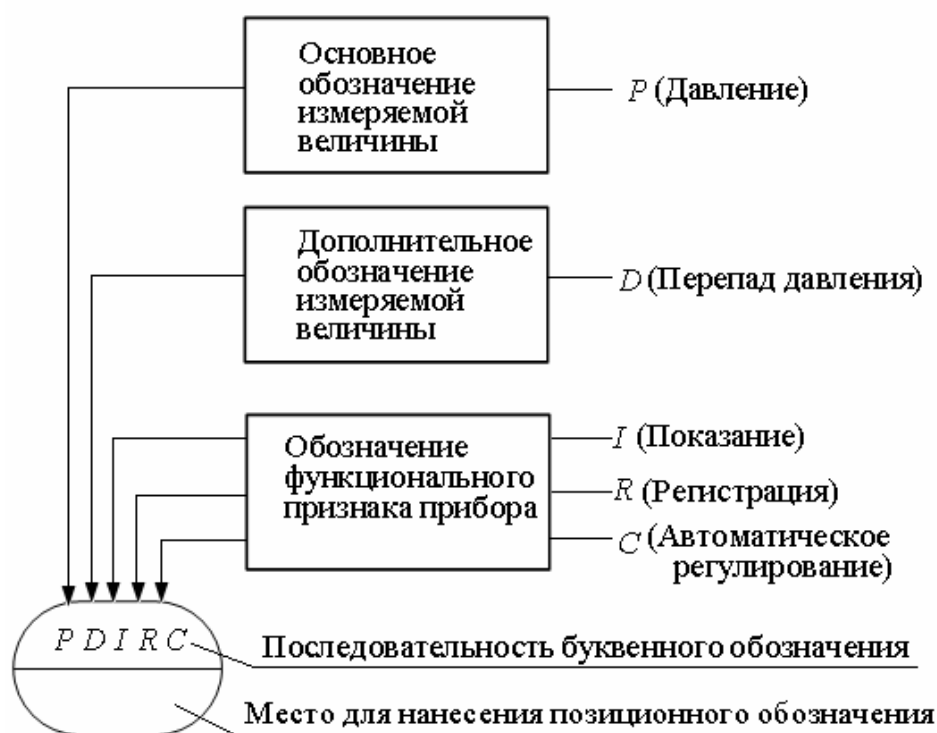
Предельные значения измеряемых величин, по которым осуществляется, например, включение, отключение, блокировка, сигнализация, допускается конкретизировать добавлением букв *H* и *L*. Эти буквы наносят справа от графического обозначения.

2.13. При необходимости конкретизации измеряемой величины справа от графического обозначения прибора допускается указывать наименование или символ этой величины.

2.14. Для обозначения величин, не предусмотренных данным стандартом, допускается использовать резервные буквы. Применение резервных букв должно быть расшифровано на схеме.

2.15. Подвод линий связи к прибору изображают в любой точке графического обозначения (сверху, снизу, сбоку). При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи наносят стрелки.

2.16. Принцип построения условного обозначения прибора приведен на рис. 6.2.









**Рис. 6.2.** Принцип построения условного обозначения прибора

#### ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕНИЯ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ






N п/п	Обозначение	Наименование
1	TE	Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения температуры, установленный по месту. Например: преобразователь термоэлектрический (термопара), термопреобразователь сопротивления, термобаллон манометрического термометра, датчик пирометра и т.п.
2	TI	Прибор для измерения температуры показывающий, установленный по месту. Например: термометр ртутный, термометр манометрический и т.п.
3	TI	Прибор для измерения температуры показывающий, установленный на щите. Например: милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т.п.
4	TT	Прибор для измерения температуры бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: термометр манометрический (или любой другой датчик температуры) бесшкальный с пневмо- или электропередачей

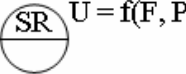

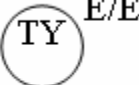


5		Прибор для измерения температуры одноточечный, регистрирующий, установленный на щите. Например: самопишущий милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т.п.
6		Прибор для измерения температуры с автоматическим обес- гающим устройством, регистрирующий, установленный на щите. Например: многоточечный самопишущий потенциометр, мост автоматический и т.п.
7		Прибор для измерения температуры регистрирующий, регулирую- щий, установленный на щите. Например: любой самопишущий регулятор температуры (термо- метр манометрический, милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т. п.)
8		Регулятор температуры бесшкальный, установленный по месту. Например: дилатометрический регулятор температу- ры
9		Комплект для измерения температуры регистрирующий, регулирую- щий, снабженный станцией управления, установленный на щите. На- пример: вторичный прибор и регулирующий блок системы «Старт»
10		Прибор для измерения температуры бесшкальный с контактным уст- ройством, установленный по месту. Например: реле температурное
11		Байпасная панель дистанционного управления, установленная на щите
12		Переключатель электрических цепей измерения (управления), переключатель для газовых (воздушных) линий, установлен- ный на щите
13		Прибор для измерения давления (разрежения) показы- вающий, установленный по месту. Например: любой показывающий манометр, дифманометр, тяго- мер, напорометр, вакуумметр и т.п.
14		Прибор для измерения перепада давления показывающий, уста- новленный по месту. Например: дифманометр показывающий
15		Прибор для измерения давления (разрежения) бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: манометр (дифманометр) бесшкальный с пневмо- или электропередачей
16		Прибор для измерения давления (разрежения) регистри- рующий, установленный на щите. Например: самопишущий манометр или любой вторичный прибор для регистрации давления
17		Прибор для измерения давления с контактным устройством, ус- тановленный по месту. Например, реле давления
18		Прибор для измерения давления (разрежения) показывающий с контактным устройством, установленный по месту. Например: электроконтактный манометр, вакуумметр и т.п.

19		Регулятор давления, работающий без использования постороннего источника энергии (регулятор давления прямого действия) «до себя».
20		Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода, установленный по месту. Например: диафрагма, сопло, труба Вентури, датчик индукционного расходомера и т.п.
21		Прибор для измерения расхода бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: дифманометр (ротаметр), бесшкальный с пневмо- или электропередачей
22		Прибор для измерения соотношения расходов регистрирующий, установленный на щите. Например: любой вторичный прибор для регистрации соотношения расходов
23		Прибор для измерения расхода показывающий, установленный по месту. Например: дифманометр (ротаметр), показывающий
24		Прибор для измерения расхода интегрирующий, установленный по месту. Например: любой бесшкальный счетчик-расходомер с интегратором
25		Прибор для измерения расхода показывающий, интегрирующий, установленный по месту Например: показывающий дифманометр с интегратором
26		Прибор для измерения расхода интегрирующий, с устройством для выдачи сигнала после прохождения заданного количества вещества, установленный по месту. Например: счетчик-дозатор
27		Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения уровня, установленный по месту. Например: датчик электрического или емкостного уровнемера
28		Прибор для измерения уровня показывающий, установленный по месту. Например: манометр (дифманометр), используемый для измерения уровня
29		Прибор для измерения уровня с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле уровня, используемое для блокировки и сигнализации верхнего уровня
30		Прибор для измерения уровня бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: уровнемер бесшкальный с пневмо- или электропередачей
31		Прибор для измерения уровня бесшкальный, регулирующий, с контактным устройством, установленный по месту. Например: электрический регулятор-сигнализатор уровня. Буква Н в данном примере означает блокировку по верхнему уровню.
32		Прибор для измерения уровня показывающий, с контактным устройством, установленный на щите. Например: вторичный показывающий прибор с сигнальным устройством. Буквы Н и L означают сигнализацию верхнего и нижнего уровней

33		Прибор для измерения плотности раствора бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: датчик плотномера с пневмо- или электропередачей
34		Прибор для измерения размеров показывающий, установленный по месту. Например: показывающий прибор для измерения толщины стальной ленты
35	   	<p>Прибор для измерения любой электрической величины показывающий, установленный по месту.</p> <p>Например:</p> <p>Напряжение *</p> <p>Сила тока *</p> <p>Мощность *</p>

1. Надписи, расшифровывающие конкретную измеряемую электрическую величину, располагаются либо рядом с прибором, либо в виде таблицы на поле чертежа.

36		Прибор для управления процессом по временной программе, установленный на щите. Например: командный электропневматический прибор (КЭП), многоцепное реле времени
37		Прибор для измерения влажности регистрирующий, установленный на щите. Например: вторичный прибор влагомера
38	 pH	Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения качества продукта, установленный по месту. Например: датчик pH-метра
39	 O <sub>2</sub>	Прибор для измерения качества продукта показывающий, установленный по месту. Например: газоанализатор, показывающий для контроля содержания кислорода в дымовых газах
40	 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Прибор для измерения качества продукта регистрирующий, регулирующий, установленный на щите. Например: вторичный самопишущий прибор регулятора концентрации серной кислоты в растворе
41	 α, β	Прибор для измерения радиоактивности показывающий, с контактным устройством, установленный по месту. Например: прибор для показания и сигнализации предельно допустимых концентраций α – и β – лучей
42		Прибор для измерения скорости вращения, привода регистрирующий, установленный на щите. Например: вторичный прибор тахогенератора

43		Прибор для измерения нескольких разнородных величин регистрирующий, установленный по месту. Например: самопишущий дифманометр-расходомер с дополнительной записью давления. Надпись, расшифровывающая измеряемые величины, наносится справа от прибора
44		Прибор для измерения вязкости раствора показывающий, установленный по месту. Например: вискозиметр показывающий
45		Прибор для измерения массы продукта показывающий, с контактным устройством, установленный по месту. Например: устройство электронно-тензометрическое, сигнализирующее
46		Прибор для контроля погасания факела в печи бесшкальный, с контактным устройством, установленный на щите. Например: вторичный прибор запально-защитного устройства. Применение резервной буквы В должно быть оговорено на поле схемы
47		Преобразователь сигнала, установленный на щите. Входной сигнал электрический, выходной сигнал тоже электрический. Например: преобразователь измерительный, служащий для преобразования т.э.д.с. термометра термоэлектрического в сигнал постоянного тока
48		Преобразователь сигнала, установленный по месту. Входной сигнал пневматический, выходной – электрический
49		Вычислительное устройство, выполняющее функцию умножения. Например: множитель на постоянный коэффициент К
50		Пусковая аппаратура для управления электродвигателем (включение, выключение насоса; открытие, закрытие задвижки и т.д.). Например: магнитный пускатель, контактор и т.п. Применение резервной буквы N должно быть оговорено на поле схемы
51		Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления (включение, выключение двигателя; открытие, закрытие запорного органа, изменение задания регулятору), установленная на щите. Например: кнопка, ключ управления, задатчик
52		Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления, снабженная устройством для сигнализации, установленная на щите. Например: кнопка со встроенной лампочкой, ключ управления с подсветкой и т.п.

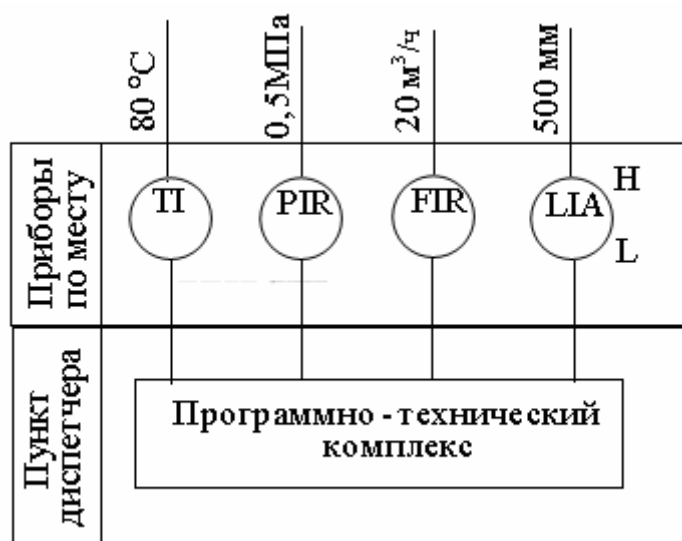
#### 6.4. Изображение щитов, пультов, стативов

Щиты, стативы и пульты управления на функциональных схемах изображают условно в виде прямоугольников произвольных размеров достаточных для нанесения графических условных обозначений устанавливаемых на них приборов, средств автоматизации, аппаратуры управления и сигнализация.

Комплектные устройства (машины централизованного контроля, управляющие машины, комплекты телемеханики и др.) обозначаются на



схемах также в виде прямоугольника произвольных размеров с указанием внутри прямоугольника типа устройства (см. рис. 6.3).



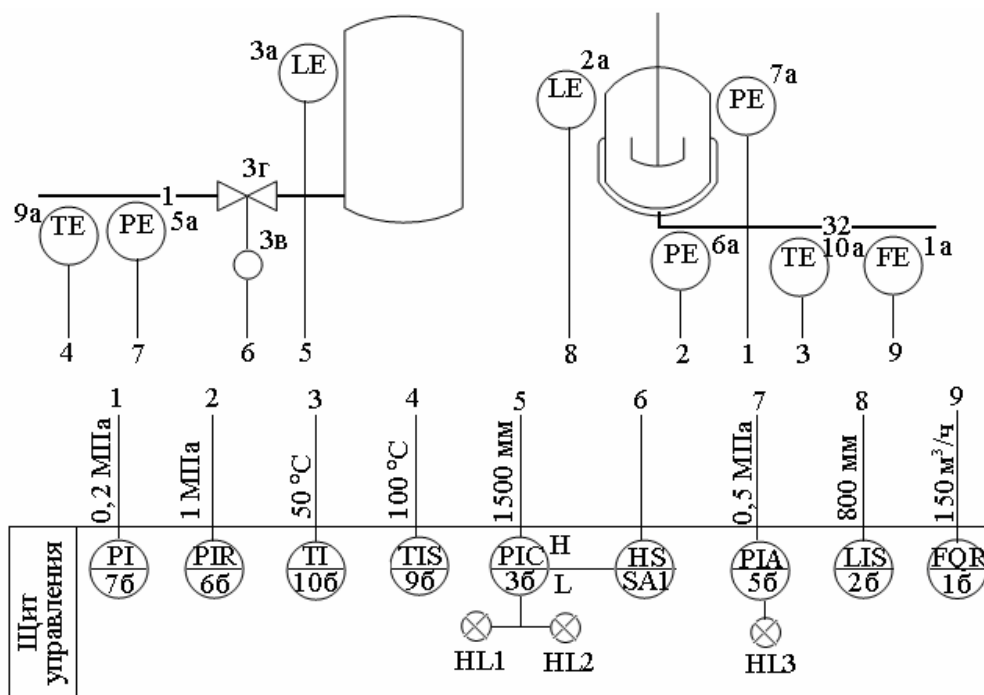
**Рис. 6.3.** Пример комплектного изображения устройства ПТК

Функциональные связи между технологическим оборудованием и установленными на нём первичными преобразователями, а также со средствами автоматизации, установленными на щитах и пультах, на схемах, показываются тонкими сплошными линиями. При этом каждая связь изображается одной линией независимо от фактического количества проводов или труб, осуществляющих эту связь. К условным обозначениям приборов и средств автоматизации для входных и выходных сигналов линии связи допускается подводить с любой стороны. Линии связи должны наноситься на чертежи по кратчайшему расстоянию и проводиться с минимальным числом изгибов и пересечений. При этом допускается пересечение линиями связи изображений технологического оборудования и коммуникаций. Пересечение линиями связи условных обозначений приборов и средств автоматизации не допускается.

Для больших и сложных систем автоматизации, когда вычерчивание непрерывных линий связи ведет к сложным их переплетениям, затрудняющим чтение чертежа, линии связи допускается разрывать (см. рис. 6.4). При этом для удобства чтения схемы оба конца линий связи в местах разрыва нумеруются одной и той же арабской цифрой. Номера линий связи располагаются в горизонтальных рядах. Для нижнего ряда (со стороны щитовых приборов) номера должны следовать в возрастающем порядке, для верхних рядов они могут располагаться как угодно.

Линии связи должны четко отображать функциональные связи приборов от начала прохождения сигнала (воздействия) до конца.

При необходимости на линиях связи между приборами показывается условными обозначениями в соответствии с ГОСТ 2.721–74 направление передачи сигнала (см. табл. 6.7).



**Рис. 6.4.** Пример выполнения схемы автоматизации с разрывами линий связи и позиционными обозначениями

Таблица 6.7

### Виды и направление передачи сигнала

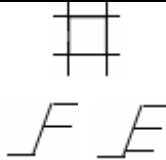
Наименование	Изображение
Электрический	
Пневматический	
Гидравлический	

Для агрегатных комплексов (систем телемеханики, вычислительной техники, программно-технических комплексов и др.) у точек входа и выхода допускается на линиях связи указывать вид электрического сигнала согласно табл. 6. 8.

Таблица 6.8

### Виды электрических сигналов на линиях связи

Наименование	Изображение
Непрерывные частотные	
Аналоговые постоянного тока и напряжения	
Переменного тока	
Числоимпульсные (нормальный единичный код)	
Времяимпульсные	

Кодированные	
Двух– и трехпозиционные	

Всем приборам и средствам автоматизации, изображенным на схемах, присваиваются позиционные обозначения (позиции), которые сохраняются во всех материалах проекта. Применяют два способа позиционных обозначений.

1. Позиционные обозначения приборов и средств автоматизации образуются из двух частей: обозначения арабскими цифрами номера функциональной группы и строчными буквами русского алфавита – номера приборов и средств автоматизации в данной функциональной группе (рис. 6.4).

Под функциональной группой понимается совокупность взаимосвязанных элементов, выполняющих определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию.

Буквенные обозначения присваиваются каждому элементу функциональной группы в порядке алфавита в зависимости от последовательности прохождения сигнала – от устройств получения информации к устройствам воздействия на управляемый процесс (например, приемное устройство – датчик, вторичный преобразователь – задатчик – регулятор – указатель положения – исполнительный механизм – регулирующий орган).

2. Позиционные обозначения приборов и средств автоматизации образуются из двух частей: обозначения арабскими цифрами номера функциональной группы и номера приборов и средств автоматизации в данной функциональной группе (рис. 6.5).

Последовательность прохождения сигнала следующая: датчик давления 1–1 вырабатывает сигнал, по импульсной линии 1 преобразователю поз. 1–2 (прибор по месту на рис. 6.5. – I уровень контроля); далее на нормирующий преобразователь поз. 1–3 и регулятор 1–4 (I I уровень управления). От преобразователя 1–3 сигнал поступает на щиты (I I I уровень управления – АСУТП, IV уровень управления – АСУ производства (например, варочной кислоты), V уровень управления (например, предприятие ЦБП)).

Позиционные обозначения отдельных приборов и средств автоматизации, таких, как регулятор прямого действия, манометр, термометр др., состоят только из порядкового номера.

Позиционные обозначения должны присваиваться всем элементам функциональных групп, за исключением:

- а) отборных устройств;
- б) приборов и средств автоматизации, поставляемых комплектно с технологическим оборудованием;

в) регулирующих органов и исполнительных механизмов, входящих в данную систему автоматического управления, но заказываемых и устанавливаемых в технологических частях проектов.

## **6.5. Графическое оформление схем автоматизации**

Схемы автоматизации должны быть выполнены на листах формата, установленного ГОСТ 2.301—68.

При выполнении схемы автоматизации на нескольких листах все пояснения, таблицы выполняются на первом листе схемы в соответствии с ГОСТ 2.316—68.

Дополнительные условные обозначения, не предусмотренные государственными стандартами, располагают на первом листе схемы автоматизации над основной надписью в виде таблицы. Заполнение таблицы рекомендуется производить в следующем порядке:

- условные обозначения трубопроводов;
- условные обозначения приборов и средств автоматизации;
- буквенные обозначения, применяемые для обозначения контролируемых величин или функциональных признаков приборов, сокращения, принятые для условных обозначений отдельных блоков, устройств.

Толщину линий на схеме выбирают в соответствии с ГОСТ 2.303—68.

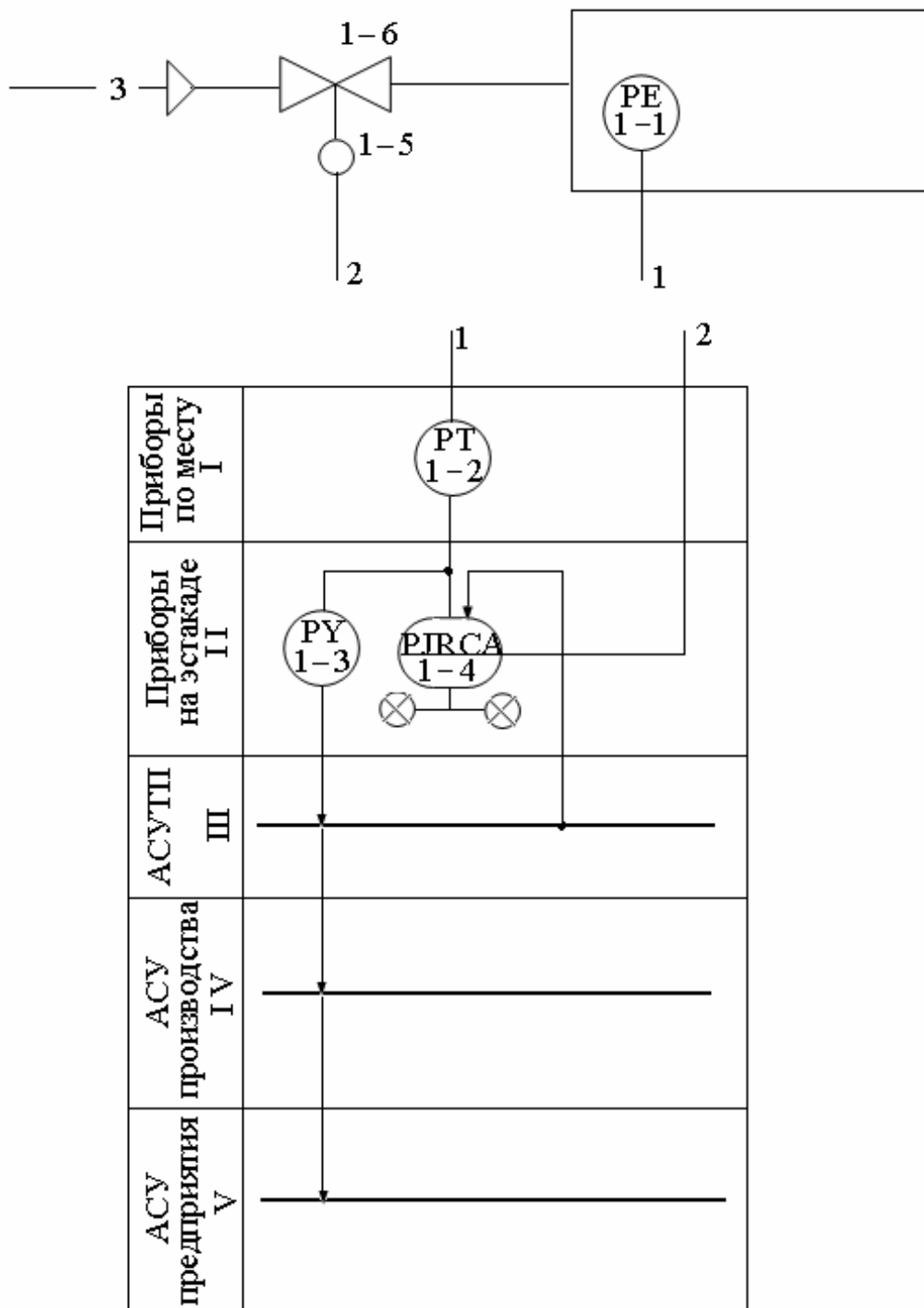
Рекомендуется использовать линии следующей толщины:

- контурные — для агрегатов, установок, оборудования 0,2— 0,5 мм;
- трубопроводов 0,5—1,5 мм;
- изображение приборов и средств автоматизации 0,5—1,0 мм;
- линий связи 0,2—0,3 мм.

Размеры цифр и букв для позиций, позиционных обозначений и надписей выбирают в соответствии с ГОСТ 2.304—68.

Рекомендуется применять следующие размеры шрифта:

- для буквенных обозначений измеряемой величины и функциональных признаков приборов, позиционных обозначений 3,5 мм.
- для пояснительного текста и надписей 3,5 или 5 мм.



**Рис. 6. 5.** Фрагмент ФСА  
(контур управления давлением с цифровыми позиционными обозначениями)

## 7. Задачи управления технологическими процессами [3]

Общая задача управления технологическим процессом формулируется обычно как задача максимизации (минимизации) некоторого критерия (себестоимости, энергозатрат, прибыли) при выполнении ограничений на технологические параметры, накладываемых регламентом. Решение такой задачи для всего процесса в целом очень трудоемко, а иногда практически невозможно ввиду большого числа факторов, влияющих на ход процесса.

Поэтому весь процесс разбивают на отдельные участки, которые характеризуются сравнительно небольшим числом переменных. Обычно эти участки совпадают с законченными технологическими стадиями, для которых могут быть сформулированы свои подзадачи управления, подчиненные общей задаче управления процессом в целом.

Задачи управления отдельными стадиями обычно направлены на оптимизацию (в частном случае, стабилизацию) технологического параметра или критерия, легко вычисляемого по измеренным режимным параметрам (производительность, концентрация продукта, степень превращения, расход энергии). Оптимизацию критерия проводят в рамках ограничений, задаваемых технологическим регламентом.

На основании задачи оптимального управления отдельными стадиями процесса формулируют **задачи автоматического регулирования** технологических параметров для отдельных аппаратов.

Важным этапом в разработке системы автоматизации является **анализ основных аппаратов** как объектов регулирования, то есть выявление всех существенных входных и выходных переменных и анализ статических и динамических характеристик каналов возмущения и регулирования. Исходными данными при этом служат математическая модель процесса и (как первое приближение) статическая модель в виде уравнений материального и теплового балансов. На основе этих уравнений с учетом реальных условий работы аппарата все существенные факторы, влияющие на процесс, разбиваются на следующие группы.

### **7.1. Возмущения, допускающие стабилизацию**

К ним относят независимые технологические параметры, которые могут испытывать существенные колебания, однако по условиям работы могут быть стабилизированы с помощью автоматической системы регулирования. К таким параметрам обычно относятся некоторые показатели входных потоков. Так расход питания можно стабилизировать, если перед аппаратом имеется буферная емкость, сглаживающая колебания расхода на выходе из предыдущего аппарата; стабилизация температуры питания возможна, если перед аппаратом установлен теплообменник, и т. п. Очевидно, при проектировании системы управления целесообразно предусмотреть автоматическую стабилизацию таких возмущений. Это позволит повысить качество управления процессом в целом. В простейших случаях на основе таких систем автоматической стабилизации возмущений строят разомкнутую (относительно основного показателя процесса) систему автоматизации, обеспечивающую устойчивое ведение процесса в рамках технологического регламента.

### **7.2. Контролируемые возмущения**

К ним условно относят те возмущения, которые можно измерить, но невозможно или недопустимо стабилизировать (расход питания, подавае-

мого непосредственно из предыдущего аппарата; температура окружающей среды т. п.). Наличие существенных нестабилизируемых возмущений требует применения либо замкнутых по основному показателю процесса системы регулирования, либо комбинированных САР, в которых качество регулирования повышается введением динамической компенсации возмущения.

### 7.3. Неконтролируемые возмущения

К ним относятся те возмущения, которые невозможно или нецелесообразно измерять непосредственно. Первые – это падение актива катализатора, изменение коэффициентов тепло- и массопередачи и т.п. Примером вторых может служить давление греющего пара в заводской сети, которое колеблется случайным образом и является источником возмущений тепловых процессах. Выявление возможных неконтролируемых возмущений – важный этап в исследовании процесса и разработке системы управления. Наличие таких возмущений требует, как и в предыдущем случае, обязательного применения замкнутых по основному показателю процесса систем автоматизации.

### 7.4. Возможные регулирующие воздействия

Это материальные или тепловые потоки, которые можно изменять автоматически для поддержания регулируемых параметров.

### 7.5. Выходные переменные

Из их числа выбирают регулируемые координаты. При построении замкнутых систем регулирования в качестве регулируемых координат выбирают технологические параметры, изменение которых свидетельствует о нарушении материального или теплового баланса в аппарате. К ним относятся:

**уровень жидкости** – показатель баланса по жидкой фазе;

**давление** – показатель баланса по газовой фазе;

**температура** – показатель теплового баланса в аппарате;

**концентрация** – показатель материального баланса по компоненту

Анализ возможных регулирующих воздействий и выходных координат объекта позволяет выбрать каналы регулирования для проектируемых САУ. При этом в одних случаях решение определяется однозначно, а в других имеется возможность выбора, как регулируемой координаты, так и регулирующего воздействия для заданного выхода.

Окончательный выбор каналов регулирования проводят на основе сравнительного анализа статических и динамических характеристик различных каналов. При этом учитывают такие показатели, как коэффициент усиления, время чистого запаздывания, его отношение к наибольшей постоянной времени канала  $t/T$ .

На основе анализа технологического процесса как объекта регулирования проектируют систему автоматизации, обеспечивающую решение поставленной задачи регулирования. Начинают с *проектирования одноконтурных САР отдельных параметров*: они наиболее просты в наладке и надежны в работе, поэтому широко используются при автоматизации технологических объектов.

Однако при неблагоприятных динамических характеристиках каналов регулирования (большом чистом запаздывании, большом отношении  $t/T$ ) даже в случае оптимальных настроек регуляторов качество переходных процессов в одноконтурных САР может оказаться неудовлетворительным. Для таких объектов анализируют возможность построения *многоконтурных САР*, в которых качество регулирования можно повысить, усложняя схемы автоматизации, то есть, применяя каскадные, комбинированные, взаимосвязанные САР.

Окончательное решение о применении той или иной схемы автоматизации принимают после *моделирования различных САР* и *сравнения* качества получаемых процессов регулирования.

## 8. Регулирование основных технологических параметров [4]

К основным технологическим параметрам, подлежащим контролю и регулированию в химико-технологических процессах, относят температуру, расход, уровень, давление, значение рН и показатели качества (концентрацию, плотность, вязкость и др.).

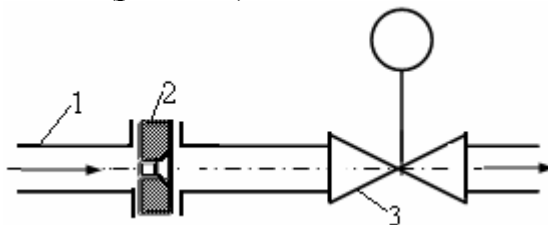
### 8.1. Регулирование расхода

При регулировании расхода нужно учитывать некоторые особенности, не присущие обычно системам регулирования других технологических параметров. Первая особенность – небольшая (обычно пренебрежимо малая) инерционность объекта регулирования, который представляет собой, как правило, участок трубопровода между первичным измерительным преобразователем для измерения расхода и регулирующим органом. После перемещения штока регулирующего органа в новое положение новое значение расхода устанавливается за доли секунды или, в крайнем случае, за несколько секунд. Это означает, что динамические характеристики системы определяются главным образом инерционностью измерительного устройства, регулятора, исполнительного устройства и линией передачи сигнала (импульсных линий). Вторая особенность проявляется в том, что сигнал, соответствующий измеренному значению расхода, всегда содержит помехи, уровень которых высок. Частично шум представляет собой физические колебания расхода, частота которых настолько велика, что система не успевает на них реагировать. Наличие высокочастотных составляющих в сигнале изменения расхода – результат пульсаций давления в трубопроводе, которые в свою очередь являются следствием работы насосов, компрессоров, случайных колебаний расхода, например,



при дросселировании потока через сужающее устройство. Поэтому при наличии шума, чтобы избежать усиления в системе случайных возмущений, следует применять малые значения коэффициента усиления регулятора.

Рассмотрим объект регулирования расхода – участок трубопровода 1, расположенный между местом измерения расхода (местом установки первичного измерительного преобразователя, например диафрагмы 2) и регулирующим органом 3 (рис. 8.1).



**Рис. 8.1.** Фрагмент системы регулирования расхода:  
1 – участок трубопровода, 2 – диафрагма, 3 – регулирующий орган

Длина прямого участка трубопровода определяется правилами установки нормальных сужающих устройств и регулирующих органов и может составить несколько метров. Динамику объекта (трубопровода) – канала расход вещества через регулирующий клапан – расход вещества через расходомер – можно представить статическим звеном первого порядка с транспортным запаздыванием. Значение постоянной времени  $T$  составляет несколько секунд; время транспортного запаздывания  $\tau_{\text{зан}}$ , для газа – доли секунды, для жидкости – несколько секунд.

Поскольку инерционность объекта при регулировании расхода незначительна, к выбору технических средств управления и методов расчета АСУ предъявляются повышенные требования.

Большинство современных первичных измерительных преобразователей расхода возможно рассматривать как статические звенья нулевого порядка, а исполнительное устройство (исполнительный механизм вместе с регулирующим органом) – как статическое звено первого порядка с постоянной времени  $T$  в несколько секунд. Для повышения быстродействия пневматического исполнительного устройства применяют позиционеры. Пневматические линии связи представляют статическим звеном первого порядка с транспортным запаздыванием (постоянная времени  $T$  и время транспортного запаздывания  $\tau_{\text{зан}}$ , определяются длиной линии связи и составляют несколько секунд).

Если расстояния между функциональными элементами системы управления велики, то по длине импульсной линии устанавливают дополнительные усилители мощности, чтобы увеличить быстродействие системы.

Реально существующая нелинейная зависимость между перепадом давления на стандартном сужающем устройстве (например, диафрагме) и расходом приводит к тому, что при изменении расхода степень устойчивости системы регулирования изменяется. Заметим, что увеличение коэффи-

циента усиления объекта с увеличением расхода теоретически может быть скомпенсировано, если эффективное значение коэффициента усиления регулирующего клапана будет изменяться обратно пропорционально расходу. Практически регулирующего клапана с такой характеристикой не существует. Если требуется обеспечить качественное регулирование расхода при условии, что его значение может изменяться более чем вдвое, то для получения сигнала, пропорционального расходу, необходимо использовать преобразователь, осуществляющий операцию извлечения корня. Безусловно, указанная нелинейность отсутствует, если в качестве первичного измерительного преобразователя используется, например, электромагнитный расходомер или другие средства измерения расхода.

Другой тип нелинейности встречается в случае использования позиционера. Небольшое изменение сигнала на входе в позиционер приводит к тому, что на регулирующий клапан подается максимальный управляющий сигнал. При дальнейшем увеличении сигнала на входе в позиционер его выходной сигнал не изменяется. Таким образом, частотные характеристики системы зависят от величины сигнала, и настройки регулятора, удовлетворительные при больших возмущающих воздействиях, не обеспечивают нужного качества регулирования при малых возмущающих воздействиях.

В системах регулирования расхода применяют различные способы изменения расхода:

- дросселирование потока вещества через регулирующий орган (клапан, заслонка, шибер и др.), установленный на трубопроводе;
- изменение угловой скорости вращения рабочего вала насоса или вентилятора;
- байпасирование потока (под байпасированием понимается переброс части вещества из основной магистрали в обводную линию).

## **8.2. Регулирование устройств для перемещения жидкостей и газов**

Для транспортировки жидкостей по трубопроводам часто применяют центробежные и поршневые насосы, для транспортировки газов – вентиляторы, газодувки, центробежные компрессоры и др. Цель регулирования работы насосов, вентиляторов, компрессоров – поддержать их заданную производительность. Рассмотрим для примера схему регулирования расхода, создаваемого центробежным насосом (рис. 8.2). Датчик расхода 2 устанавливается после центробежного насоса 1 на линии нагнетания перед регулирующим клапаном 4. При отклонении расхода жидкости от заданного значения регулятор 3 формирует командный сигнал, в соответствии с которым исполнительный механизм перемещает затвор регулирующего клапана 4. Проходное сечение регулирующего клапана изменяется, что приводит к изменению суммарного сопротивления гидравлической линии и, следовательно, расхода жидкости.

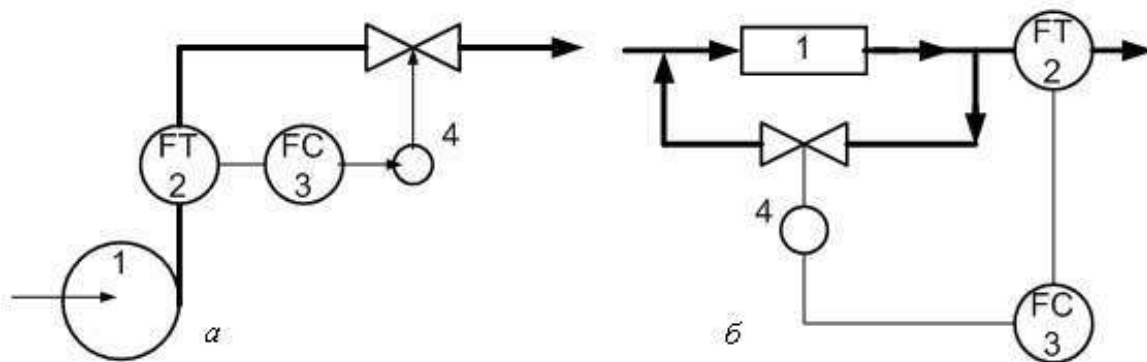


Рис. 8.2. Схема регулирования расхода, создаваемого  
а – центробежным насосом, б – поршневым насосом  
1 – насос; 2 – датчик расхода; 3 – регулятор

Устанавливать первичный измерительный преобразователь, например диафрагму, на линии всасывания центробежного насоса не рекомендуется: дросселирование потока через диафрагму может вызвать кавитацию в насосе, приводящую к его быстрому износу, снижению производительности и напора насоса.

Предложенный вариант регулирования расхода жидкости не применим, если для перемещения жидкости используют поршневой насос: по команде регулятора регулирующий клапан может полностью закрыться, что, в конечном итоге, приведет к разрыву трубопровода. Если регулирующий клапан установить на линии всасывания поршневого насоса, то это приводит к помпажу.

Тогда для регулирования расхода используют байпасирование потока (рис. 8.2,б): часть жидкости перепускают из нагнетательной линии во всасывающую линию. Таким же способом регулируют производительность шестеренчатых и лопастных насосов.

Производительность центробежных компрессоров стабилизируют системами регулирования с регулирующим клапаном, установленным на линии всасывания, и противопомпажной автоматической защитой (рис. 8.3).

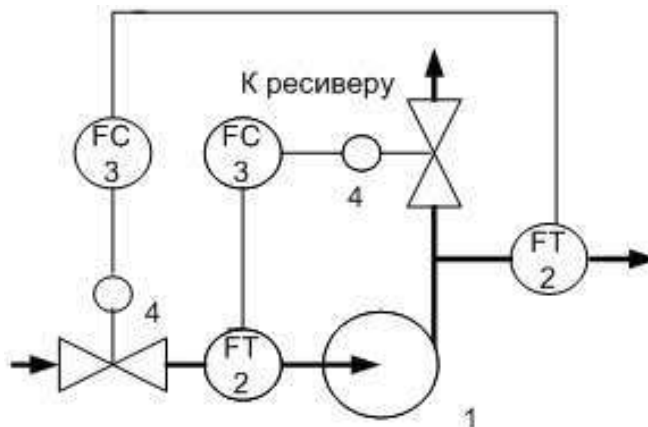


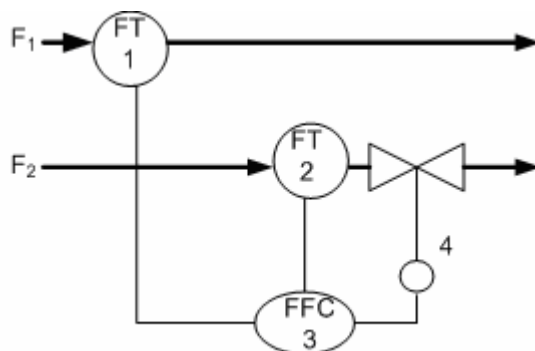
Рис. 8.3. Схема регулирования производительности центробежного компрессора  
с противопомпажной защитой:  
1 – компрессор; 2 – датчик расхода; 3 – регуляторы; 4 – регулирующие клапаны

Для защиты применяется система сброса части сжатого газа в ресивер, уменьшая при этом расход сжатого газа в линии потребителя. В случае приближения режима работы компрессора к области помпажа, регулятор расхода открывает регулирующий клапан, установленный на линии нагнетания к ресиверу. Это приводит к увеличению производительности компрессора, снижению давления в нагнетательной линии, повышению давления во всасывающей линии, что предотвращает помпаж компрессора.

### Регулирование соотношения расходов двух веществ

Существует несколько вариантов регулирования соотношения расходов двух веществ.

Первый вариант (рис. 8.4). Суммарный расход двух веществ не задан, при этом расход одного из веществ  $F_1$  может меняться произвольно. Назовем этот расход «ведущим». Расход второго вещества  $F_2$  назовем «ведомым». Соотношение между расходами второго и первого вещества должно быть постоянным и равным  $n$ . Следовательно, «ведомый» расход равен

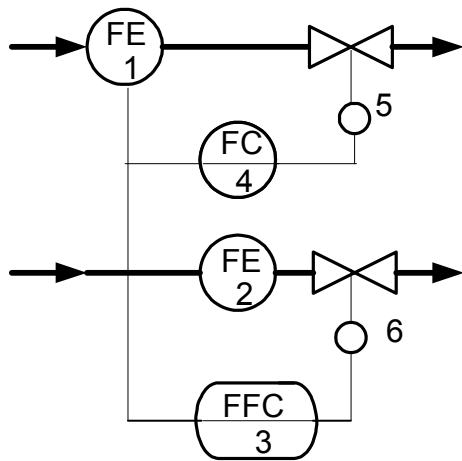
$$F_2 = nF_1. \quad (8.1)$$


**Рис. 8.4.** Схема регулирования соотношения расходов при произвольной нагрузке:

1, 2 – датчики расхода; 3 – регулятор расходов; 4 – регулирующий клапан

Второй вариант (рис. 8.5). Заданы: соотношение расходов двух веществ и ведущий расход  $F_1$ . Помимо регулирования соотношения расходов двух веществ применяют дополнительно еще регулирование «ведущего» расхода. При таком регулировании изменение задания по «ведущему» расходу  $F_1$  автоматически изменяет и «ведомый» расход  $F_2$  в заданном соотношении с  $F_1$ .

Третий вариант (рис. 8.6). При заданном «ведущем» расходе регулирование соотношения расходов двух веществ проводится с коррекцией по третьему технологическому параметру. Регулирование соотношения расходов двух веществ является внутренним контуром в каскадной системе регулирования третьего технологического параметра, например, уровня в реакторе-смесителе 1. Заданный коэффициент соотношения расходов двух веществ устанавливается внешним регулятором уровня 6 в зависимости от третьего параметра.



**Рис. 8.5.** Схема регулирования соотношения расходов при заданной нагрузке:

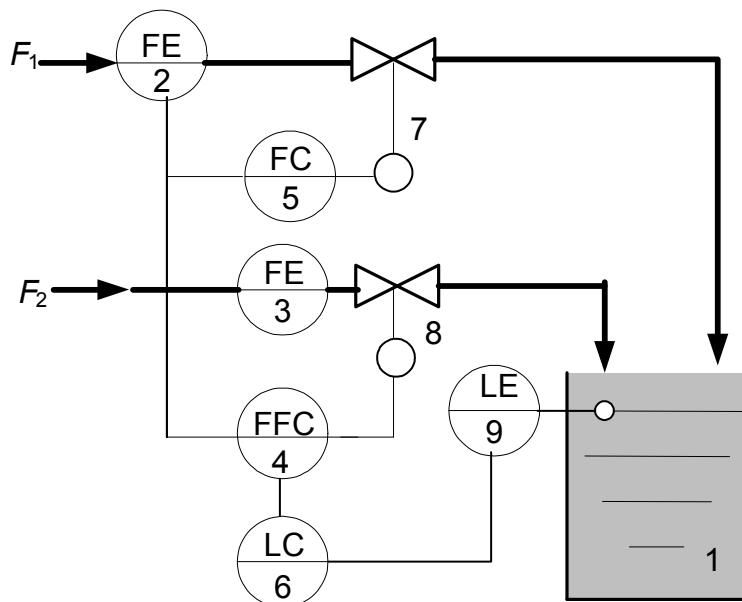
1, 2 – датчики расхода; 3 – регулятор соотношения расходов; 4 – регулятор расхода; 5, 6 – регулирующие клапаны

Особенность настройки каскадных САУ заключается в том, что на задание внутреннему регулятору (в данном случае регулятору соотношения расходов двух веществ) устанавливается ограничение:

$$n_H \leq n \leq n_B,$$

где  $n_H$ ,  $n_B$  – нижнее и верхнее соотношения расходов веществ соответственно.

Если выходной сигнал внешнего регулятора (регулятора уровня) выходит за пределы  $[u_H, u_B]$ , то задание внутреннему регулятору (в данном случае регулятору соотношения расходов двух веществ) не меняется, а остается на предельно допустимом значении  $n$  (а именно или  $n_H$  или  $n_B$ ).



**Рис. 8.6.** Схема регулирования соотношения расходов с коррекцией по третьему параметру (уровню) при заданной нагрузке:

1 – реактор-смеситель; 2, 3 – датчики расхода; 4 – регулятор соотношения расходов; 5 – регулятор расхода; 6 – регулятор уровня; 7, 8 – регулирующие клапаны; 9 – датчик уровня

### О выборе регуляторов расхода

Требуемое (заданное) качество переходных процессов предопределяет выбор законов управления. Для регулирования расхода без установившейся (статической) погрешности в одноконтурных системах управления применяют ПИ-регуляторы. Если система управления расходом явля-

ется внутренним контуром двухконтурной каскадной системы управления, то в качестве регулятора расхода может использовать П-регулятор.

В промышленных САР расхода не рекомендуется применять ПД - или ПИД-регуляторы. Если в сигнале изменения расхода присутствуют высокочастотные сигналы (помехи), то использование Д-составляющих в законе регулирования без предварительного сглаживания сигнала расхода может вызвать неустойчивую работу системы управления.

### 8.3. Регулирование уровня

Постоянство уровня жидкости в технологическом аппарате означает сохранение материального баланса, т. е. приток жидкости равен ее стоку, а скорость изменения уровня равна нулю:

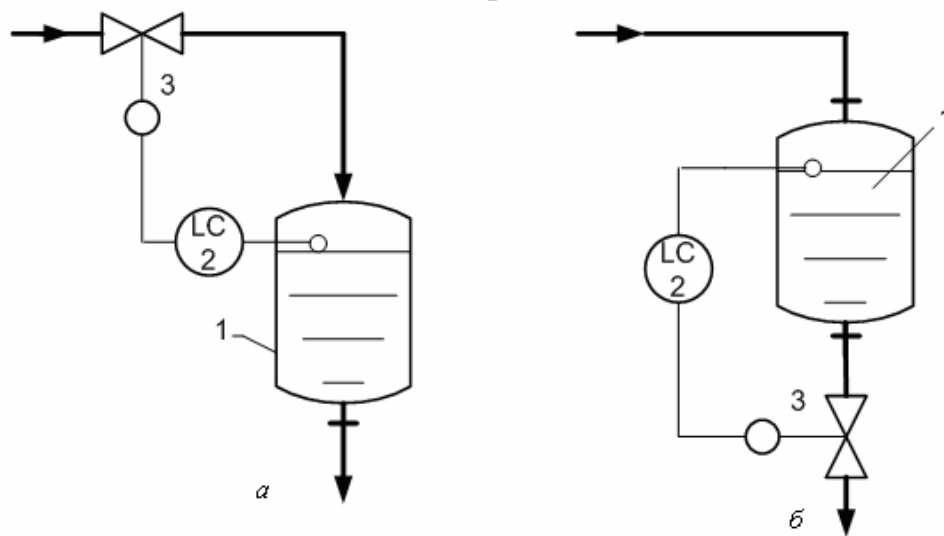
$$F_{\text{вх}} = F_{\text{вых}}; \quad dL/d\tau = 0. \quad (8.2)$$

Понятия «приток» и «сток» рассматриваются как обобщенные понятия.

Уровень жидкости в аппарате можно регулировать, применяя различные схемы регулирования.

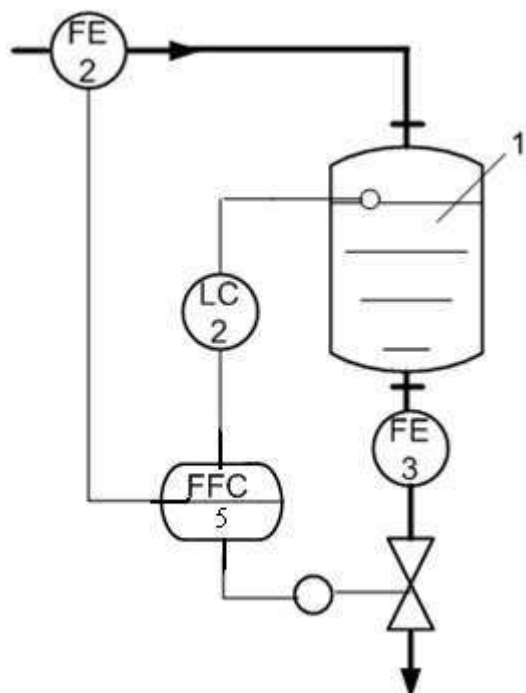
Первый вариант (рис. 8.7,а) – регулирование «на притоке», изменяя расход жидкости на входе в аппарат.

Второй вариант (рис. 8.7,б) – регулирование «на стоке», изменяя расход жидкости на выходе из аппарата.



**Рис. 8.7.** Схема непрерывного регулирования уровня: а – «на притоке»; б – на «стоке»: 1 – аппарат; 2 – регулятор уровня; 3 – регулирующий клапан

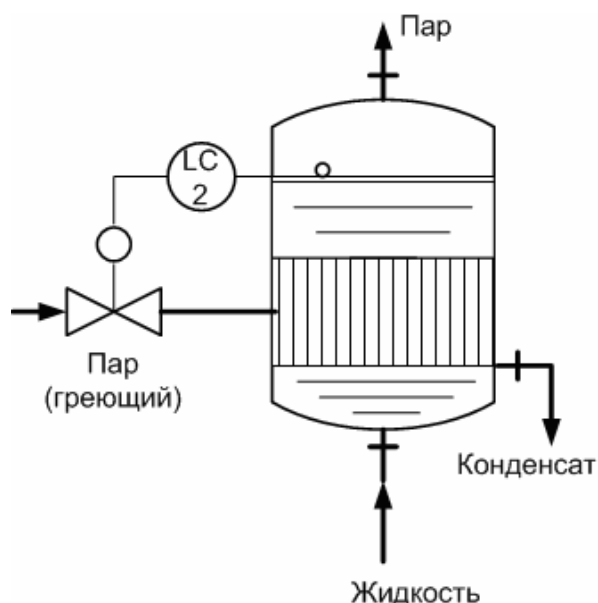
Третий вариант (рис. 8.8) – регулирование соотношения расходов жидкости на входе в аппарат и выходе из него с коррекцией по третьему технологическому параметру – уровню (каскадная система регулирования).



**Рис. 8.8.** Схема непрерывного регулирования уровня каскадной САР:

1 – аппарат; 2, 3 – датчики расхода; 4 – регулятор уровня (ведущий); 5 – регулятор соотношения двух расходов (ведомый); 6 – регулирующий клапан

Если в аппарате (испарителе, конденсаторе, ректификационной колонне и т. п.) имеют место фазовые превращения веществ, тогда уровень является характеристикой и гидродинамических, и тепло-массообменных процессов. Приток и сток должны учитывать фазовые превращения веществ. В этом случае уровень регулируют изменением расхода теплоносителя, например греющего пара или хладагента (рис. 8.9).



**Рис. 8.9.** Схема непрерывного регулирования в испарителе: 1 – испаритель;

2 – регулятор уровня; 3 – регулирующий клапан

В указанных аппаратах уровень связан с другими технологическими параметрами, например давлением. Естественно, в каждом конкретном случае система регулирования уровня реализуется с учетом других контуров регулирования.

Изменение уровня жидкости в аппарате с постоянной по высоте площадью поперечного сечения  $A$  в общем случае можно представить уравнением

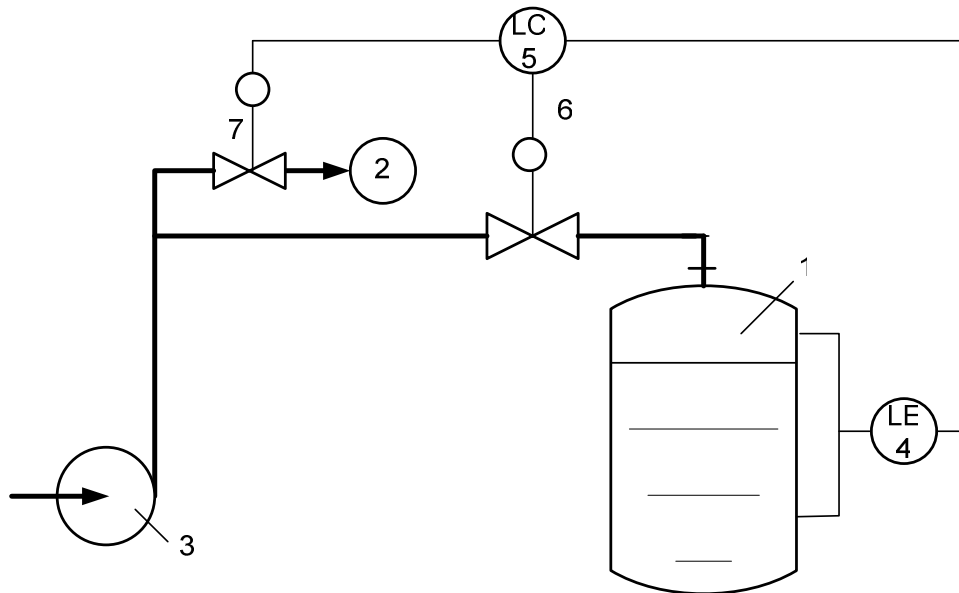
$$A \frac{dL}{d\tau} = F_{\text{âð}} - F_{\text{âûð}}, \quad (8.3)$$

где  $F_{\text{вх}}$ ,  $F_{\text{вых}}$  – приток и сток жидкости соответственно с учетом фазовых и химических превращений.

Выбор непрерывного или позиционного регулятора определяется требуемой точностью поддержания уровня в аппарате. Если необходимо уровень жидкости в аппарате поддерживать на заданном значении, а постоянные колебания уровня недопустимы, то используют непрерывный регулятор. Позиционные регуляторы применяются обычно для поддержания уровня в сборниках жидкости, промежуточных емкостях в заданных (достаточно широких) пределах

$$L_{\text{н}} \leq L \leq L_{\text{в}},$$

где  $L_{\text{н}}$ ,  $L_{\text{в}}$  – нижнее и верхнее значения уровня жидкости в аппарате соответственно.



**Рис. 8.10.** Схема позиционного регулирования уровня:

1 – сборник жидкости; 2 – резервный сборник жидкости; 3 – насос;  
4 – датчик уровня; 5 – регулятор уровня; 6, 7 – регулирующие клапаны

Схема позиционного регулирования уровня приведена на рис. 8.10. Если уровень достигает своего предельного значения  $L_{\text{в}}$  (верхнего), поток автоматически переключается на резервный сборник жидкости.

### О выборе регуляторов уровня

П-регуляторы применяются, если не требуется высокое качество регулирования и возмущающие воздействия не имеют постоянной составляющей, приводящей к накоплению статической погрешности. Но уровень жидкости может оказать значительное влияние на тепловые процессы, например, в паровых теплообменниках поверхность теплообмена определя-



ется уровнем конденсата. Для регулирования уровня в таких объектах без статической погрешности применяют ПИ-регуляторы.

#### 8.4. Регулирование давления

Давление является показателем соотношения расходов газовой фазы на входе в аппарат и выходе из него. Постоянство давления свидетельствует о сохранении материального баланса аппарата по газовой фазе, записываемого в виде:

$$V \frac{dp}{d\tau} = f[F_{\text{вх}} - F_{\text{вых}}], \quad (8.4)$$

где  $V$  – объем аппарата;  $F_{\text{вх}}$  и  $F_{\text{вых}}$  – приток и сток газа соответственно с учетом химических и фазовых превращений в аппарате, как и в (8.3).

Обычно давление в технологической установке стабилизируют в каком-либо одном аппарате, а по всей системе оно устанавливается в соответствии с гидравлическим сопротивлением технологических линий и аппаратов. Например, в многокорпусной выпарной установке (рис. 8.11) стабилизируют вакуум в последнем выпарном аппарате 2, выбрав в качестве управляющего воздействия изменение расхода охлаждающей воды, подаваемой в конденсатор 3 (изменение расхода охлаждающей воды влияет на скорость конденсации вторичного пара, т. е. на  $F_{\text{вых}}$ ). В остальных аппаратах при отсутствии возмущающих воздействий устанавливается разрежение, определяемое из условий материального и теплового балансов с учетом гидравлического сопротивления технологической линии.

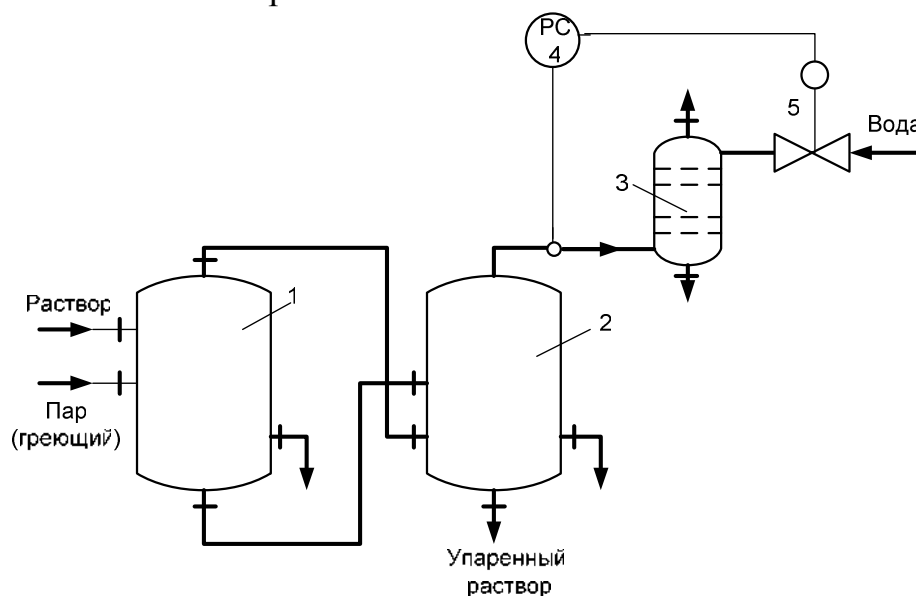
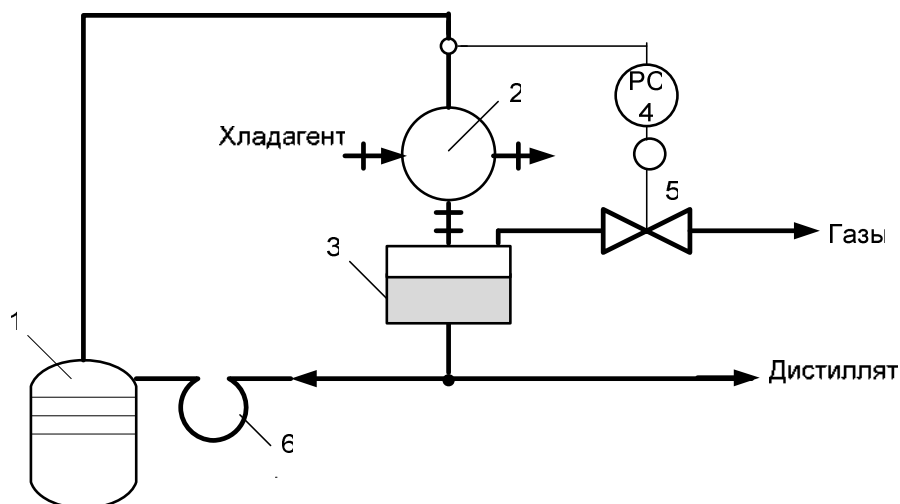


Рис. 8.11. Регулирование вакуума в выпарной установке: 1, 2 – выпарные аппараты; 3 – тарельчатый конденсатор; 4 – регулятор вакуума; 5 – регулирующий клапан

Если давление значительно влияет на кинетику процесса, то предусматривается система стабилизации давления в отдельных аппаратах. Таким примером является процесс ректификации, для которого кривая фа-

зового равновесия зависит от давления. При регулировании процесса бинарной ректификации часто в качестве косвенного показателя состава смеси используют ее температуру кипения, однозначно связанную с составом только при постоянном давлении.

Поэтому в продуктовых ректификационных колоннах, как правило, предусмотрены специальные системы стабилизации давления, где в качестве управляющего воздействия выбрано изменение расхода не сконденсировавшихся газов, отводимых из верхней части колонны (рис. 8.12).



**Рис. 8.12.** Регулирование давления в ректификационной колонне при наличии неконденсирующихся примесей: 1 – колонна; 2 – дефлегматор; 3 – сборник флегмы; 4 – регулятор давления; 5 – регулирующий клапан; 6 – гидрозатвор

Из сравнения уравнений (6.3) и (6.4) следует, что способы регулирования давления аналогичны способам регулирования уровня.

## 8.5. Регулирование температуры

Температура показатель термодинамического состояния системы – выбирается как выходная координата при регулировании тепловых процессов. Динамические характеристики объектов в системах регулирования температуры в значительной степени зависят от физико-химических параметров процесса и конструкции аппарата. Поэтому общие рекомендации по выбору систем регулирования температуры сформулировать весьма сложно, и для каждого конкретного технологического процесса требуется свой детальный анализ.

Но общие особенности системы управления температурой можно выделить. К ним, в первую очередь, необходимо отнести значительную инерционность тепловых процессов, а также некоторую инерционность промышленных датчиков температуры. Итак, одной из основных задач проектирования САР температуры является уменьшение инерционности промышленных датчиков температуры, и в этом направлении достигнуты определенные успехи.

Термоэлектрический преобразователь (термопара) широко применяется в ИИС и системах управления. Входной величиной термопары является температура  $t$  измеряемой среды, а выходной величиной термоэлектродвижущая сила (ТЭДС). Можно считать, что динамические свойства термопары описываются дифференциальным уравнением вида

$$\frac{mc}{\alpha A} \frac{dE}{dt} + E = Kt, \quad (8.5)$$

где  $m$  – масса рабочего спая термопары;  $c$  – удельная теплоемкость спая;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией;  $A$  – площадь поверхности теплопередачи рабочего спая;  $K$  – коэффициент усиления.

Рассмотрим динамические характеристики термопары в защитном чехле. Термопару в защитном чехле можно представить как последовательное соединение трех тепловых емкостей, разделенных тепловыми сопротивлениями: защитного чехла, воздушной прослойки, отделяющей термопару от стенок защитного чехла и собственно термопары. Все элементы можно аппроксимировать статическими звеньями первого порядка.

Как уменьшить инерционность промышленных датчиков температуры? На основе анализа уравнения (8.5) предлагается ряд общих рекомендаций:

- увеличение коэффициентов теплоотдачи от измеряемой среды к защитному чехлу в результате правильного выбора места установки датчика, при этом скорость движения среды должна быть максимальной; при прочих равных условиях более предпочтительна установка датчика (термопары в защитном чехле) в жидкой фазе (по сравнению с газообразной), в конденсирующем паре (по сравнению с конденсатом) и т. п.;
- уменьшение теплового сопротивления и тепловой емкости защитного чехла подбором соответствующего материала и толщины при его изготовлении;
- уменьшение постоянной времени воздушной прослойки, например, припаявая рабочий спай термоэлектрических преобразователей (термопар) к защитному чехлу;
- правильный выбор типа первичного измерительного преобразователя; например, при наборе первичных измерительных преобразователей: термометр сопротивления, термопара и манометрический термометр, необходимо учитывать, что наименьшей инерционностью обладает термопара (в малоинерционном исполнении), наибольшая инерционность присуща манометрическому термометру.

## 8.6. Регулирование pH

Различают две основные системы регулирования pH в зависимости от требуемой точности регулирования. К первому типу систем можно отнести позиционные системы регулирования для поддержания pH в заданных пределах:

$$pH_H \leq pH \leq pH_B,$$

где  $pH_H$  и  $pH_B$  – нижний и верхний пределы регулирования  $pH$  соответственно.

Такие системы применяются, когда скорость изменения  $pH$  мала, а допустимые пределы ее колебаний достаточно широки.

Пример: регулирование  $pH$  в процессе ферментации, в котором благодаря большому времени пребывания раствора и медленному исчезновению реагента можно сравнительно легко осуществить позиционное регулирование величины  $pH$ .

Второй тип систем регулирования точно поддерживает заданное значение  $pH$ . В этом случае применяются непрерывные ПИ- или ПИД-регуляторы.

К одному из основных факторов, затрудняющих точное регулирование  $pH$  в процессе нейтрализации, относят наличие нелинейной зависимости величины  $pH$  от расхода реагентов (нелинейная статическая характеристика процессов). Небольшое изменение задания регулятору может во много раз изменить коэффициент усиления объекта и привести к неустойчивым колебаниям в системе. Если наклон статической характеристики объекта резко изменяется, то настройки регулятора необходимо устанавливать, принимая во внимание изменения коэффициента усиления объекта. Необходимо отметить, что эта особенность возникает не только при регулировании  $pH$ , но и при регулировании всех объектов с нелинейной статической характеристикой.

Типичная кривая титрования (рис. 8.13) показывает, сколь трудной является задача поддержания заданного значения  $pH$ .

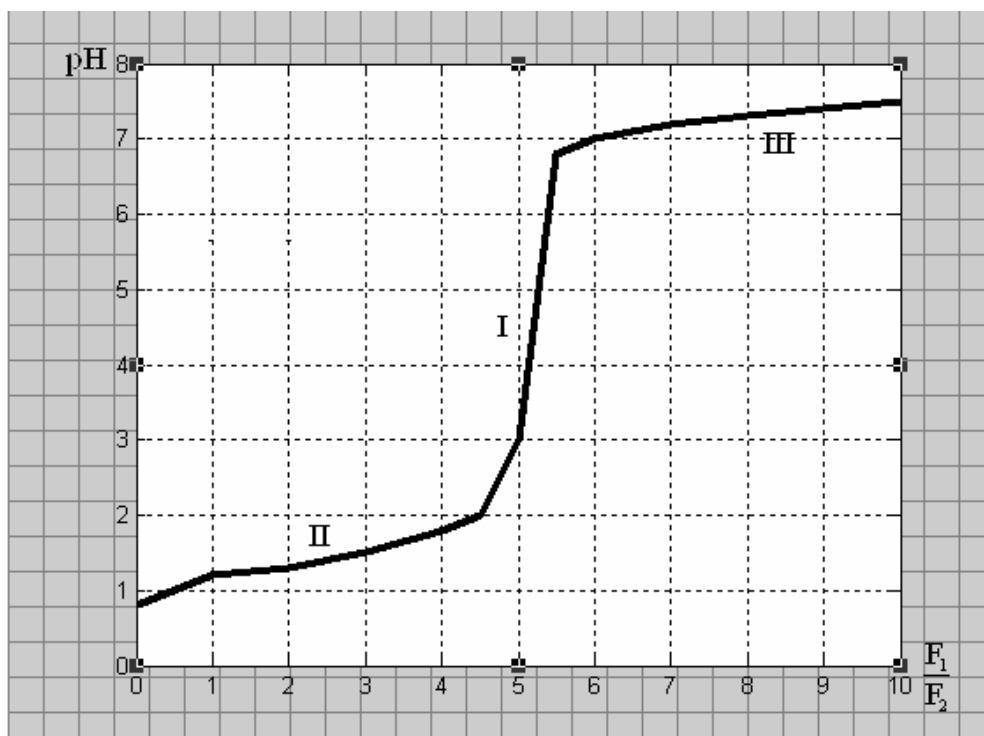


Рис. 8.13. Пример кривой титрования

На кривой титрования выделяются три характерных участка: первый (в середине) относится к нейтральным средам и характеризуется большим коэффициентом усиления; второй и третий участки относятся к сильно-кислым или сильнощелочным средам и имеют небольшие коэффициенты усиления. Если режим работы объекта соответствует первому участку статической характеристики, то допустимый коэффициент усиления регулятора очень мал и не обеспечивает нужного качества регулирования при работе в режимах, соответствующих второму и третьему участкам статической характеристики. Естественно, при использовании простой системы регулирования возможны значительные отклонения текущего значения pH от заданного значения.

Реакция нейтрализации идет практически мгновенно, поэтому динамические свойства промышленных аппаратов с перемешивающими устройствами определяются процессом смешения и вполне точно описываются дифференциальными уравнениями первого порядка с запаздыванием. Наблюдается такая тенденция: чем меньше постоянная времени аппарата, тем сложнее обеспечить устойчивое регулирование процесса pH, поскольку проявляются инерционность других элементов системы регулирования (измерительных и исполнительных устройств, регулятора) и запаздывание в импульсных линиях.

Необходимо также учитывать, что системы регулирования величины pH в отработанных средах должны справляться с достаточно большими возмущениями, вызываемыми изменениями концентраций и расходов. Большие изменения нагрузки влияют на коэффициент усиления объекта и могут даже изменить постоянные времени системы.

Почему при регулировании величины pH возникают проблемы?

Одним из основных источников трудностей является то, что шкала pH соответствует концентрации ионов водорода от 100 до  $10^{-14}$  моль/л. Другого общепромышленного измерения, охватывающего столь огромный диапазон, не существует. Еще одним источником трудностей, внутренне присущим системам регулирования величины pH, является то, что измерительные электроды pH-метров могут реагировать на изменения величины pH даже на 0,001, что делает возможным отслеживание таких маленьких изменений концентрации ионов водорода, как  $5 \cdot 10^{-10}$  моль/л при величине pH 7. Другого общепромышленного измерения с такой огромной чувствительностью также нет.

Последствия столь большого диапазона измерения и высокой чувствительности можно проиллюстрировать, рассмотрев систему регулирования непрерывной нейтрализации сильной кислоты сильным основанием. Поток реагента, по существу, должен быть пропорционален разности между концентрацией иона водорода в технологическом потоке и заданным значением. Следовательно, регулирующий клапан на линии подачи реагента должен иметь диапазон изменения расхода больше чем  $10\,000\,000 : 1$  для заданного значения pH<sub>зд</sub> 7, когда величина pH входящего потока изменяется между 0 и 7. Более того, неопределенность в ходе штока регулирующего клапана преобразуется напрямую в ошибку регулирования pH,

так что гистерезис всего лишь в 0,00005 % может вызвать отклонение величины рН на 1 при рН<sub>зд</sub> 7.

Как же все-таки можно регулировать процесс при таких условиях? Ограничения, связанные с большим диапазоном измерения и высокой чувствительностью, могут быть преодолены приближением к заданному значению в несколько стадий, последовательно используя регулирующие клапаны меньшего размера с высококачественными позиционерами.

Могут быть предложены различные варианты повышения устойчивости и качества регулирования рН.

1. Увеличение объема реактора, где происходит нейтрализация, увеличивает его постоянную времени, и уменьшает отношение  $\tau_{зап}/T$ . Это повышает устойчивость системы регулирования, позволяет устанавливать более высокие значения коэффициента усиления регулятора, что приводит к уменьшению максимальной ошибки регулирования  $\varepsilon_{\max}$ . Кроме того, реактор большого объема сам по себе лучше сглаживает колебания рН, вызванные флуктуациями расхода и концентрации исходной смеси, поступающей на нейтрализацию.

2. Использование вместо одного реактора двух (или более), соединенных последовательно, при этом поток реагента по реакторам распределяют так (рис. 8.14): большую часть реагента подают в первый реактор (форнейтрализатор), где, в основном, и происходит реакция нейтрализации («грубая»). Во второй реактор подают оставшуюся (малую) часть реагента, необходимую для окончательного завершения реакции нейтрализации («точной»), т. е. до достижения рН<sup>0</sup> (точки нейтрализации на кривой титрования). Такое распределение потока реагента по реакторам связано с особенностями кривой титрования (см. рис. 8.13), которые были обсуждены выше.

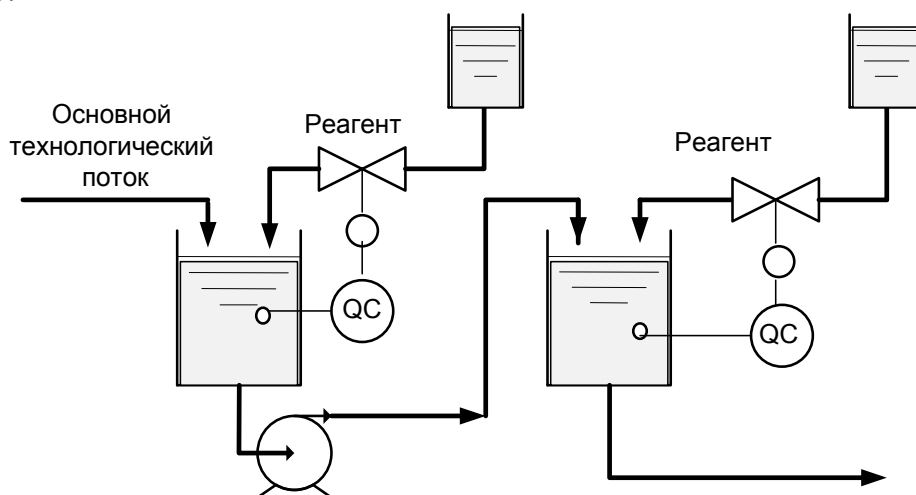
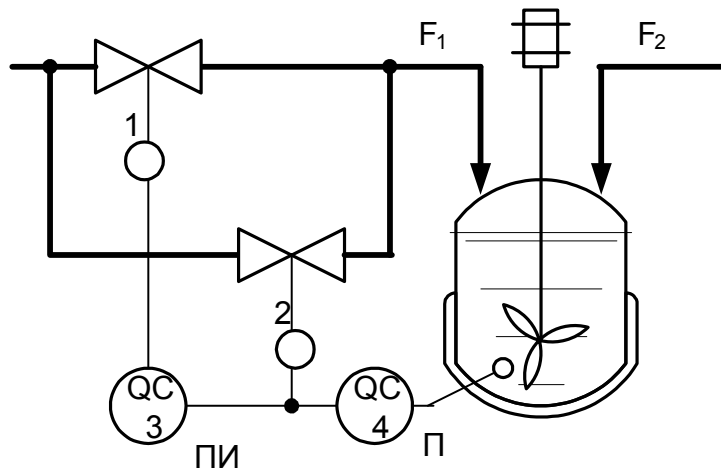


Рис. 8.14. Схема регулирования рН с использованием двух реакторов

3. Регулирование рН с использованием двух регулирующих клапанов разного размера (рис. 8.15) позволяет «компенсировать» нелинейность статической характеристики объекта в большом диапазоне изменения расхода реагента  $F_1$ .



**Рис. 8.15.** Схема регулирования pH с двумя регулирующими клапанами

Клапаном малого размера (с малым условным проходным диаметром) 2 с равнопроцентной расходной характеристикой управляет П-регулятор 4, выходной сигнал которого поступает также на вход ПИ-регулятора 3, имеющего зону нечувствительности. ПИ-регулятор управляет клапаном большого размера 1 с линейной расходной характеристикой.

При небольших отклонениях pH от величины, соответствующей точке нейтрализации, когда коэффициент усиления объекта велик, командный сигнал П-регулятора оказывается в зоне нечувствительности ПИ-регулятора. Выходной сигнал ПИ-регулятора не изменяется и положение затвора большого клапана 1 остается прежним. Регулирование процесса нейтрализации осуществляется с помощью малого клапана 2. Изменение командного сигнала регулятора приводит к небольшому изменению расхода реагента  $F_1$ , т. е. коэффициент усиления исполнительного устройства в этом случае мал.

Если значение pH сильно отклоняется от величины, соответствующей точке нейтрализации, т. е. объект работает в режиме, где его коэффициент усиления мал, то командный сигнал П-регулятора выходит из зоны нечувствительности ПИ-регулятора. При этом затвор малого клапана занимает одно из крайних положений, а регулирование осуществляется с помощью большого клапана. Изменение командного сигнала регулятора приводит к большому изменению расхода реагента  $F_1$  т. е. коэффициент усиления исполнительного устройства в этом случае велик. Таким образом, изменение коэффициента усиления объекта компенсируется изменением коэффициента усиления исполнительного устройства. Естественно, что полная компенсация изменения коэффициента усиления контура регулирования может быть осуществлена только при определенном соотношении между величиной pH и степенью открытия обоих клапанов (и большого, и малого размеров).

Если размер большого клапана превышает размер малого в 20 раз, то система регулирования с двумя регулирующими клапанами обеспечивает изменение расхода реагента  $F_1$  почти в 700 раз. Если такого изменения расхода реагента недостаточно, рекомендуется проводить процесс нейтра-

лизации в две или более стадий. При изменении величины рН раствора, подаваемого на нейтрализацию, в обе стороны от точки нейтрализации  $pH^0$ , применяется вторая система регулирования (точно такая же, как и на рис. 8.15), управляющая подачей другого реагента в тот же самый реактор.

### **8.7. Регулирование параметров состава и качества**

Качественные параметры (концентрация вещества в потоке, состав газовой смеси) должны точно поддерживаться на заданном уровне. Сложность регулирования качественных параметров определяется, в первую очередь, сложностью их измерения. В последнее время одним из способов регулирования качественных параметров является регулирование по косвенному показателю с дальнейшим уточнением алгоритма его расчета по данным прямых анализов, получаемых анализаторами состава газа и жидкости.

### **8.8. Регулирование типовых тепловых процессов**

Теплообменные аппараты классифицируются по виду теплообменной поверхности (с поверхностью из трубок, с плоской поверхностью, с поверхностью непосредственного контакта теплоносителей); по физическому процессу, происходящему с основным технологическим веществом (нагреватели, холодильники, испарители, конденсаторы); по характеру работы во времени (рекуперативные, регенеративные и т. д.) и другим признакам. Поверхностные теплообменники довольно широко используются в химической технологии, поскольку теплоносители в таких аппаратах разделены теплопередающей поверхностью: в трубчатых теплообменниках – стенки трубок, в пластинчатых теплообменниках – плоские или рифленые листы. Распространенной конструкцией теплообменной аппаратуры трубчатого типа является кожухотрубный теплообменник. Кожухотрубные теплообменники делят на теплообменники с неизменяемым агрегатным состоянием веществ, например, теплообменники типа газ–газ, газ–жидкость, жидкость–жидкость, а также теплообменники с изменяющимся агрегатным состоянием веществ (например, парогазовые, парожидкостные теплообменники, испарители, конденсаторы).

Особенностью теплообменников с изменяющимся агрегатным состоянием веществ, рассматриваемых как объекты регулирования, является равенство температур жидкой и паровой фаз при постоянном давлении и отсутствии переохлаждения образующегося конденсата (перегрева образующегося пара). Поскольку температура жидкой и паровой фаз одинакова, она не может служить показателем процесса испарения или конденсации. Тогда в качестве основного показателя процесса теплообмена выбирают уровень жидкой фазы.

В испарителях или конденсаторах, предназначенных для испарения или конденсации жидкости, задача регулирования сводится к поддержанию материального баланса по технологическому потоку (газу или жидко-



сти). В кожухотрубных парожидкостных теплообменниках, предназначенных для нагревания жидкости до заданной температуры за счет теплоты конденсации греющего пара, основной задачей регулирования является стабилизация температуры жидкости на выходе из теплообменника.

### 8.8.1. Динамические характеристики парожидкостного теплообменника

Рассмотрим динамические характеристики теплообменника с изменяющимся агрегатным состоянием одного из веществ, используя в качестве примера такого теплообменника аппарат с мешалкой, снабженный паровой рубашкой (рис. 8.16, а). Жидкость нагревается насыщенным водяным паром (расход  $F_p$ , кг/с) до температуры  $t_{\text{вых}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ . Параметры жидкости: расход  $F$ , температура на входе в теплообменник  $t_{\text{вх}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ , удельная теплоемкость  $c_{\text{ж}}$ , Дж/(кг  $\cdot$  К).

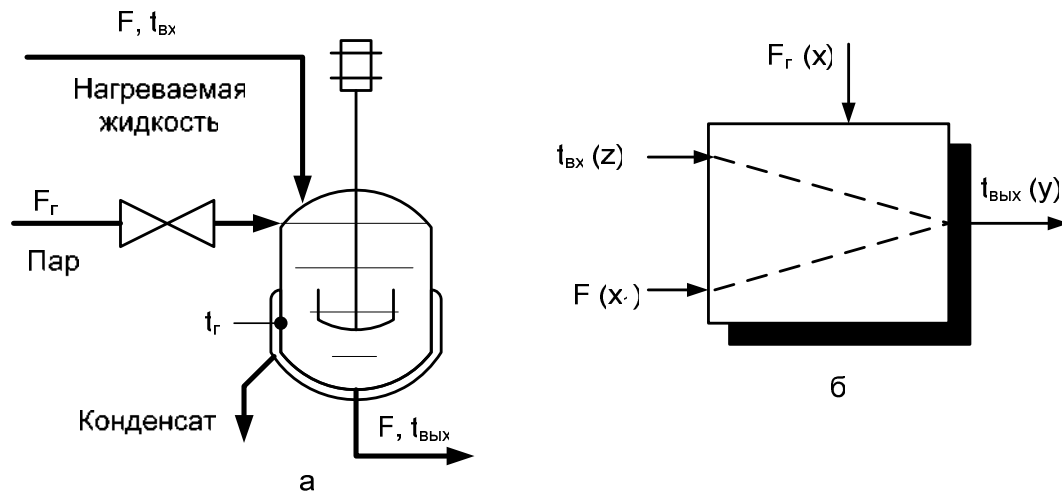


Рис. 8.16. Схема парожидкостного теплообменника (а) и его структурная схема

Входные величины: изменение расхода пара  $F_p$ , кг/с; изменение расхода жидкости  $F$ ; изменение температуры жидкости на входе в теплообменник  $t_{\text{вх}}$ .

Получим уравнение динамики парожидкостного теплообменника, предположив, что теплообменник является стационарным объектом с сосредоточенными параметрами, и сделав следующие допущения:

- температура жидкости в теплообменнике  $t_{\text{вых}}$  одинакова по всему объему;
- температура теплопередающих стенок  $t_c$  одинакова во всех точках, а их термическое сопротивление пренебрежимо мало;
- коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  [Вт/(м<sup>2</sup>  $\cdot$  К)] между жидкостью и поверхностью металлических стенок, а также удельные теплоемкости жидкости  $c_{\text{ж}}$  и материала стенок  $c_c$  постоянны во времени;
- насыщенный водяной пар при прохождении через паровую рубашку теплообменника конденсируется полностью, отдавая теплоту фазового перехода, и выводится в виде конденсата при температуре конденсации;

•теплота, выделяющаяся при конденсации пара, расходуется на изменение температуры теплопередающих стенок и нагревание жидкости.

Запишем уравнение теплового баланса для теплопередающих стенок за время  $d\tau$ , принимая во внимание высказанные допущения:

$$F_{\text{п}} r_{\text{п}} d\tau = m_{\text{н}} c_{\text{н}} dt_{\text{н}} + \alpha A (t_{\text{н}} - t_{\text{а\u00d0\delta}}) d\tau, \quad (8.6)$$

где  $r_{\text{п}}$  – удельная теплота конденсации пара (теплота фазового перехода), Дж/кг;  $m_{\text{н}}$  – масса теплопередающих стенок, кг;  $A$  – площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>.

Приведем итоговое уравнение динамики теплообменника без вывода, полученное [4].

$$T_2^2 \frac{d^2 y}{d\tau^2} + T_1 \frac{dy}{d\tau} + y = kx - k \left( T_3 \frac{dx_1}{d\tau} + x_1 \right) + (1-k) \left( T_3 \frac{dz}{d\tau} + z \right), \quad (8.7)$$

где

$$T_2^2 = \frac{m_{\text{н}} c_{\text{н}} m_{\text{ж}}}{\alpha A F^0}; \quad T_1 = \frac{m_{\text{н}} c_{\text{н}}}{\alpha A} + \frac{m_{\text{н}} c_{\text{н}}}{F^0 \tilde{n}_{\text{ж}}} + \frac{m_{\text{ж}}}{F^0};$$

$$T_3 = \frac{m_{\text{н}} c_{\text{н}}}{\alpha A}; \quad k = \frac{t_{\text{а\u00d0\delta}}^0 - t_{\text{ж}}^0}{t_{\text{а\u00d0\delta}}^0}.$$

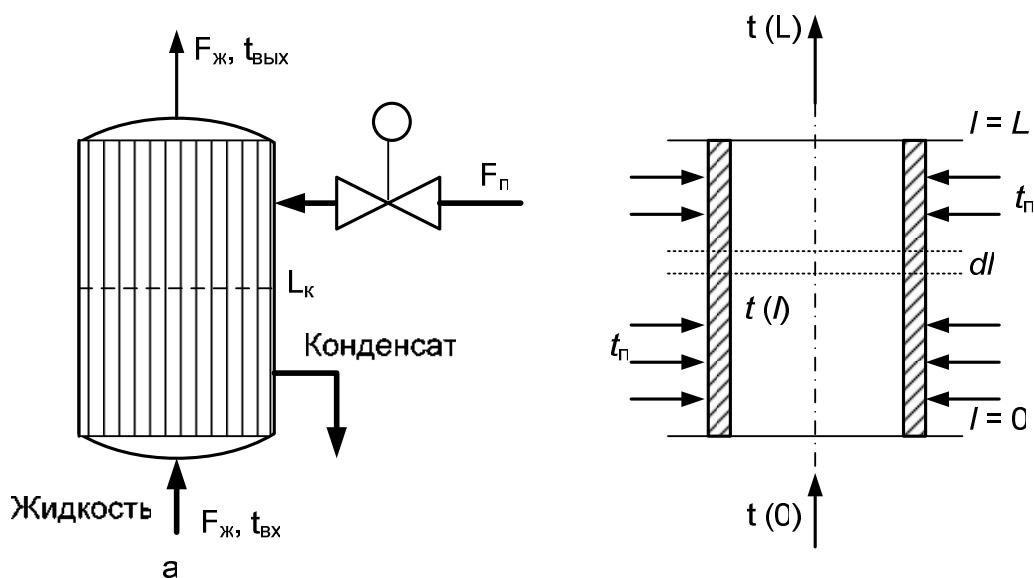
Можно прийти к следующему выводу: при сделанных выше допущениях парожидкостный теплообменник, представляющий собой аппарат с мешалкой, снабженный паровой рубашкой, является устойчивым объектом второго порядка. Из уравнения (8.7) следует, что температура жидкости  $y$  на выходе из теплообменника повышается при увеличении расхода пара  $x$  и температуры жидкости  $z$  на входе в теплообменник и понижается при возрастании расхода жидкости  $x_1$ .

### 8.8.2. Динамические характеристики кожухотрубного парожидкостного теплообменника

Однородность температуры в той части кожухотрубного теплообменника, где конденсируется (или испаряется), вещество, позволяет рассматривать ее как объект (звено) с сосредоточенными параметрами. Но существует еще другая часть теплообменника, в которой нагревается (или охлаждается) вещество без изменения агрегатного состояния, и температура вещества изменяется по длине труб теплообменника. Эту часть теплообменника необходимо рассматривать как объект (звено) с распределенными параметрами.

Получим передаточную функцию кожухотрубного парожидкостного теплообменника в общем виде по каналу регулирования расход пара – температура жидкости на выходе теплообменника  $F_{\text{п}} - t_{\text{вых}}$  (рис. 8.17), рассматривая теплообменник как объект с распределенными параметрами,

при этом принимая следующие допущения: пар – насыщенный, а конденсат из теплообменника отводится при температуре конденсации.



**Рис. 8.17.** Схемы кожухотрубного парожидкостного теплообменника (а) и теплообмена в его трубе (б)

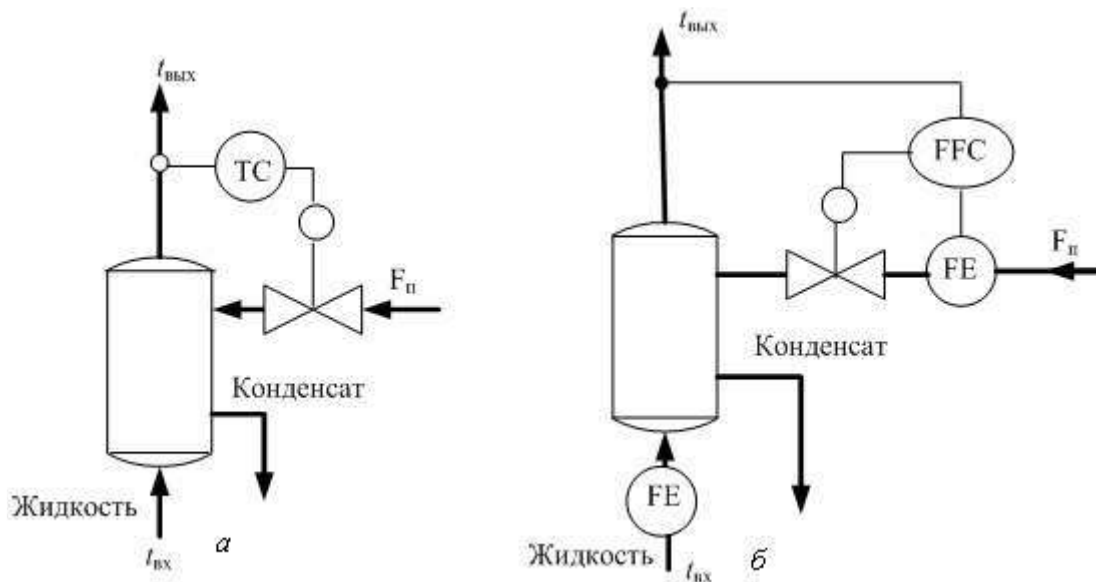
Нагревание жидкости в кожухотрубном парожидкостном теплообменнике идет от  $t_{вх}$  до  $t_{вых}$  (рис. 8.17, а).

Для практических расчетов можно воспользоваться приближенными передаточными функциями, в которых учитывают только наибольшие постоянные времени и время запаздывания. Особенность промышленных кожухотрубных парожидкостных теплообменников, как объектов управления, – небольшие значения постоянных времени и времени транспортного запаздывания (секунды). Вследствие малой инерционности этих теплообменников к выбору и расчету системы контроля и регулирования предъявляются повышенные требования:

- применение по возможности малоинерционных первичных преобразователей;
- при расчете системы регулирования учитываются инерционность измерительного и исполнительного устройств, а также каналов связи.

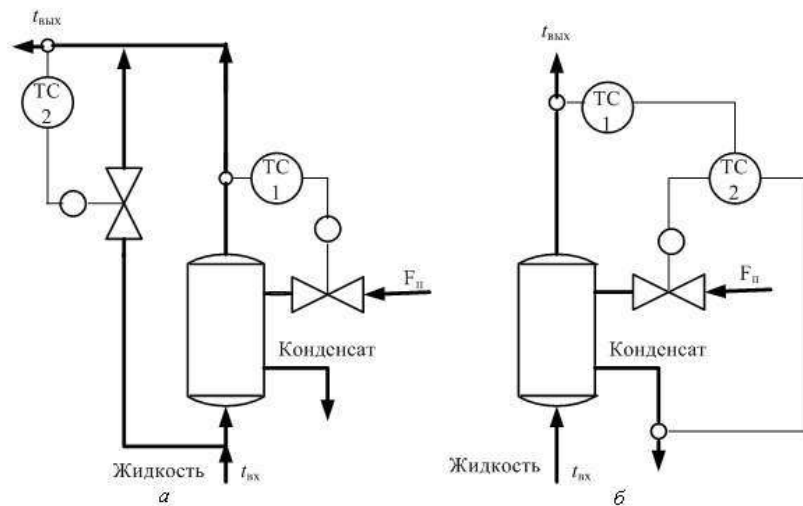
Теперь с учетом выявленных основных возмущающих и управляющих воздействий можно предложить несколько вариантов систем регулирования температуры жидкости на выходе из промышленных кожухотрубных парожидкостных теплообменников.

**Первый вариант.** Для регулирования выходной температуры жидкости без статической ошибки можно применить одноконтурную замкнутую САР с использованием ПИ-регулятора или ПИД-регулятора (рис. 8.18,а), изменяющего расход греющего пара. Недостатки такого регулирования: при сильных возмущающих воздействиях по каналам расхода или температуры жидкости на входе в теплообменник качество переходного процесса оказывается неудовлетворительным.



**Рис. 8.18.** САР температуры жидкости: а – в одноконтурной замкнутой системе в кожухотрубном парожидкостном теплообменнике; б – каскадная система в кожухотрубном парожидкостном теплообменнике (с регулятором соотношения расходов во внутреннем контуре)

Второй вариант. Если имеют место возмущающие воздействия по каналам расхода  $F_{ж}$  или температуре жидкости на входе  $t_{вх}$ , то ограничиваются их статической компенсацией. Реализовать такой подход возможно применением каскадной САР соотношения расходов пара и жидкости  $F_{п}/F_{ж}$  с коррекцией по третьему параметру – температуре жидкости на выходе  $t_{вых}$  теплообменника (рис. 8.18,б).



**Рис. 8.19.** САР температуры жидкости: а – каскадная САР в кожухотрубном парожидкостном теплообменнике (с регулятором температуры конденсата во внутреннем контуре): 1 – регулятор температуры жидкости на выходе из теплообменника; 2 – регулятор температуры конденсата в кожухе; б – регулирование жидкости в схеме кожухотрубного парожидкостного теплообменника с байпасированием холодного потока: 1 – регулятор температуры жидкости на выходе из теплообменника; 2 – регулятор температуры жидкости после смешения

Третий вариант. При сильных возмущающих воздействиях по каналам изменения давления или температуры греющего пара возможно

применить каскадную систему регулирования температуры (или давления) в межтрубном пространстве теплообменника с коррекцией задания по  $t_{\text{вых}}$  (рис. 8.19,а). Температура (или давление) в межтрубном пространстве теплообменника – промежуточная координата, значительно быстрее реагирующая на указанные возмущающие воздействия, чем температура жидкости на выходе теплообменника  $t_{\text{вых}}$ .

Четвертый вариант. Чтобы обеспечить высокое качество регулирования температуры, желательно иметь дополнительное управляющее воздействие. Для этого жидкость, поступающую на нагревание, перед теплообменником делят на два потока  $F_1$  и  $F_2$ . Часть жидкости (поток  $F_1$ ) направляют в теплообменник и нагревают до температуры несколько выше заданной. Другая часть жидкости (поток  $F_2$ ) минует теплообменник, оставаясь холодной. За теплообменником нагретый и холодный потоки смешиваются для получения жидкости заданной температуры. Таким образом, реализуется схема с байпасированием (рис. 8.19,б). В этом случае регулятор температуры 1 стабилизирует температуру после теплообменника (вспомогательная функция). Регулятор температуры 2 регулирует температуру жидкости после смешения  $t_{\text{вых}}$  (основная задача). При этом качество регулирования  $t_{\text{вых}}$  определяется динамикой основного контура, в котором объект представляет собой безынерционное звено, поскольку постоянная времени процесса смешения нагретой и холодной жидкостей практически равна нулю.

### 8.8.3. Регулирование массообменных процессов

К массообменным процессам, получившим наибольшее распространение в химической технологии, относят абсорбцию, ректификацию, экстракцию, кристаллизацию, адсорбцию, сушку. К общим особенностям регулирования массообменных процессов можно отнести то, что в результате проявления различного рода случайных возмущающих воздействий нарушаются материальные и тепловые балансы, изменяются температура и давление, что приводит к нарушению состава и качества получаемых продуктов. Поэтому одной из основных задач регулирования массообменных процессов является задача стабилизации режимных параметров, решение которой позволяет сохранить материальные и тепловые балансы.

Аппараты, в которых осуществляется большинство массообменных процессов, как правило, – крупногабаритные аппараты колонного типа (диаметр таких аппаратов может достигать несколько метров, высота равняется нескольким десяткам метров), поэтому вполне естественно, что постоянные времени и запаздывание таких аппаратов могут составлять десятки минут. Если для регулирования массообменных процессов использовать одноконтурные системы регулирования, то они будут характеризоваться большой длительностью переходных процессов и большой максимальной ошибкой. Чтобы повысить качество переходных процессов, для регулирования массообменных процессов используют комбинированные САР, для которых характерно введение коррекции по наиболее сильным

возмущающим воздействиям, а также каскадные САР, характеризующиеся применением дополнительных сигналов из промежуточных точек массообменных аппаратов.

Рассмотрим особенности регулирования массообменных процессов на примере регулирования ректификационной установки.

### 8.8.3.1. Управление ректификационной установкой

Ректификационные установки служат для разделения многокомпонентной смеси на составляющие ее компоненты в результате противоточного взаимодействия смеси паров и жидкой смеси. Обычно целью любой системы регулирования ректификационной установки является разделение многокомпонентной смеси с соблюдением качества по одному из конечных продуктов при минимальных потерях конечного продукта на другом конце колонны. Оптимизация может иметь своей целью увеличение прибыли за счет, например, сокращения эксплуатационных затрат или увеличения производительности.

Разработка любой стратегии управления обычно начинается с идентификации всех входов и выходов ректификационной колонны, а также типов возможных управляющих воздействий. Выполним анализ различных стратегий управления ректификационной колонной (рис. 8.20), предназначенной для разделения бинарной смеси, содержащей легколетучий компонент  $\omega_F$  на дистиллят и кубовую жидкость. Принимаем следующие обозначения  $F_F, F_R, F_D$  – расходы питания, флегмы, дистиллята;  $L_B, L_D$  – уровни в кубе-испарителе (нижней части) колонны, во флегмовой емкости;  $Q_f, Q_d, Q_b$  – тепловые нагрузки подогревателя питания (разделяемой исходной смеси), дефлегматора, кипятильника (ребойлера).

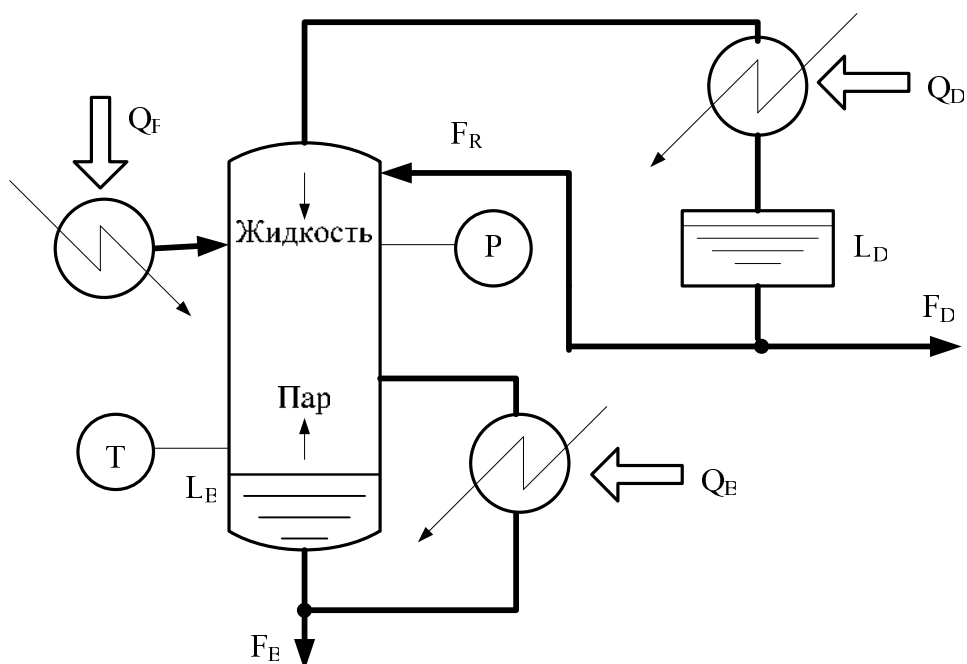
Уравнение материального баланса колонны учитывает расходы сырья, дистиллята и кубового продукта, объемы жидкости в кубе и флегмовой емкости, запас жидкой фазы на тарелках.

Контрольно-измерительные приборы, установленные на колонне, позволяют определять уровни дистиллята во флегмовой емкости и кубового продукта в кубе-испарителе колонны, температуру и давление в колонне. Изменение уровня дистиллята во флегмовой емкости и кубового продукта в кубе-испарителе свидетельствует о нарушении материального баланса или изменении запаса жидкой фазы на тарелках колонны. Последнее обстоятельство объясняет невозможность быстрой корректировки материального баланса даже при использовании наиболее совершенных и точных расходомеров.

Управляющими переменными служат: теплота, сообщаемая исходному сырью в подогревателе питания; тепловая нагрузка кипятильника (ребойлера); теплота, отбираемая в дефлегматоре.

Кроме того, существенную роль играет и температуры исходного и конечного продуктов. Последние параметры, хотя и редко, но используются в схемах управления колонной, за исключением тех случаев, когда

кубовый остаток из колонны направляется на подогрев исходного продукта.



**Рис. 8.20.** Входные и выходные параметры ректификационной колонны

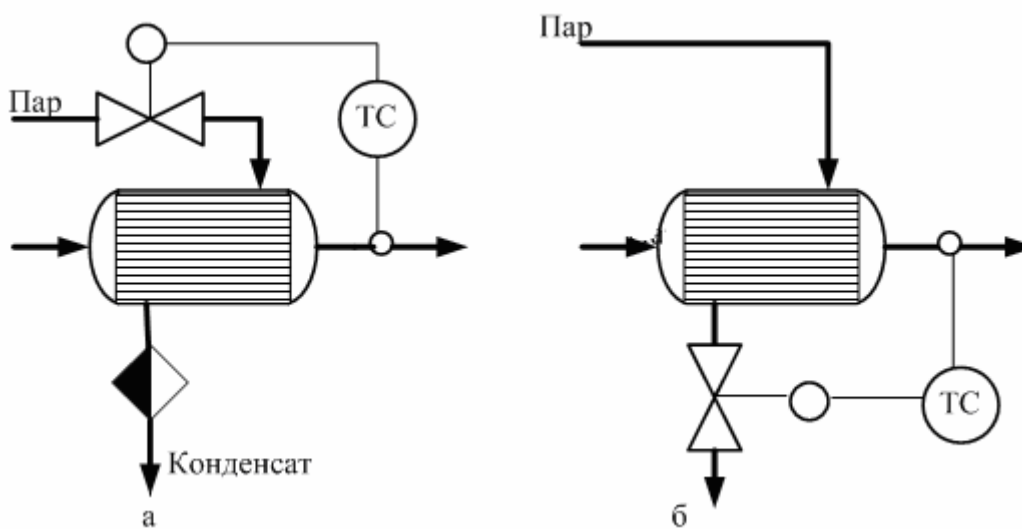
При разработке стратегии системы управления рабочее давление в колонне обычно считается неизменным, а его значение определяется, например, физическими свойствами углеводородов исходной смеси и конструктивными параметрами самой колонны. Регулирование рабочего давления в колонне входит в функции контура регулирования теплового баланса.

Регулируя материальный баланс в колонне на основании показаний уровнемеров, а давление – по количеству теплоты, переданной в кипятильнике (ребойлере), можно наметить в общих чертах схему регулирования температуры в колонне, определяющую тепловой баланс в колонне. Такой процесс является саморегулирующимся, так как количество переданной теплоты является функцией перепада температур в теплообменнике. Так, например, с увеличением тепловой нагрузки подогревателя питания температура дистиллята начнет повышаться, но сама разница температур будет снижаться, вызывая уменьшение теплового потока, т. е. возникнет обратная отрицательная связь, что и приводит к так называемому эффекту саморегулирования.

Величина перепада температур потоков в теплообменнике зависит от многих факторов. Чем больше эта разность, тем меньшую площадь поверхности теплообмена можно использовать. Необходимо учитывать, что слишком большая разность температур способна привести к такому режиму кипения в трубках теплообменника, при котором значительно снижается коэффициент теплопередачи. Кроме того, слишком высокая температура может испортить продукт и повредить трубы теплообменника.

Основным параметром обратной связи системы регулирования является расход флегмы, тогда как тепловая нагрузка кипятильника позволяет регулировать расход паровой фазы в колонне.

Регулирование материального баланса можно осуществить за счет изменения расходов соответствующих потоков с помощью подходящих клапанов. Регулирование теплового баланса возможно двумя способами, продемонстрированными на рис. 8.21: изменением разности температур в теплообменнике или изменением поверхности теплообмена. В данном случае регулировать тепловой баланс колонны можно, изменяя поверхность теплообмена в дефлегматоре.



**Рис. 8.21.** Схемы регулирования теплового баланса ректификационной установки: а – изменение разности температур путем изменения давления пара в паровом пространстве теплообменника; б – изменение поверхности теплопередачи за счет изменения уровня конденсата в теплообменнике

## 9. Управление типовыми химико-технологическими процессами [3].

Типовые химико-технологические процессы проходят в различных по свойствам объектах. В них по различным закономерностям изменяются параметры. Очень часто для ведения конкретной технологии требуется несколько объектов, взаимосвязанных между собой, то есть значения параметров в одном объекте влияет на работу других объектов.

Рассмотрев системы регулирования отдельных параметров типовых объектов, познакомимся с системами регулирования наиболее распространенных процессов.

### 9.1 Управление гидромеханическими процессами

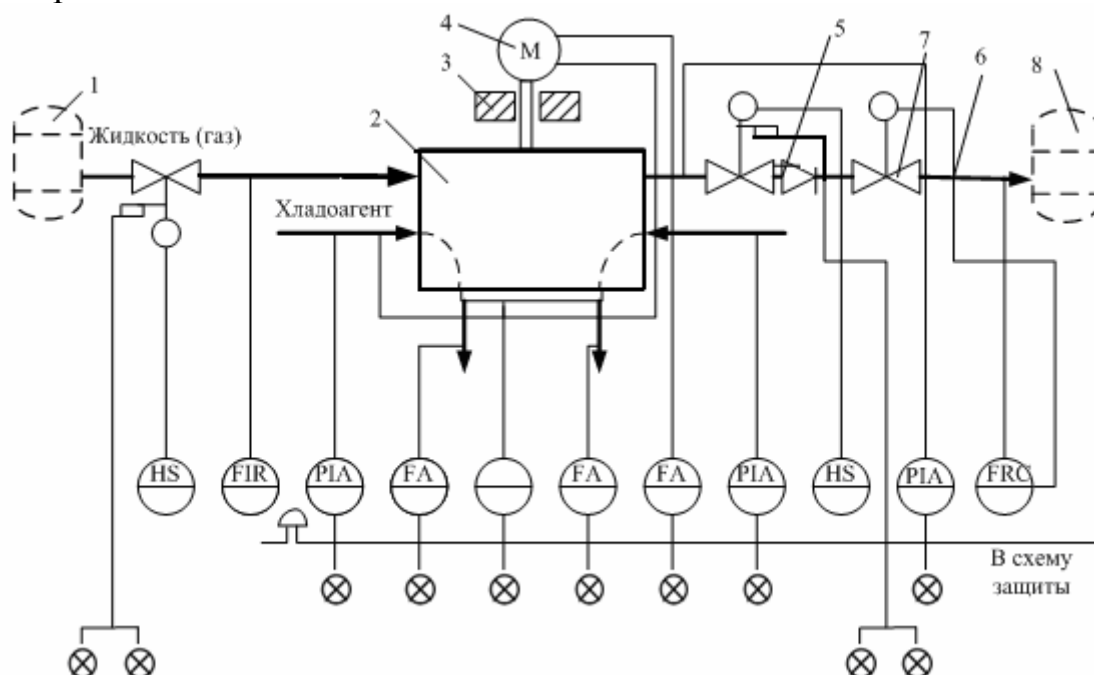
#### 9.1.1 Перемещение жидкостей и газов

Процесс перемещения в химической промышленности является вспомогательным; его необходимо проводить таким образом, чтобы



обеспечивался эффективный режим основного процесса (химического, массообменного), обслуживаемого данной установкой перемещения.

В связи с этим необходимо поддерживать определенное, чаще всего постоянное, значение расхода  $F$ . Это и будет целью управления установкой перемещения.



**Рис. 9.1.** Схема автоматизации процесса перемещения потока:

1, 8 – технологические аппараты; 2 – насос (компрессор); 3 – подшипники; 4 – электродвигатель; 5 – обратный клапан; 6 – трубопровод; 7 – дроссельный орган

В качестве объекта управления принимаем трубопровод 6, по которому транспортируется жидкость от аппарата 1 к аппарату 8, и центробежный насос (компрессор) 2 с приводом от асинхронного двигателя 4 (рисунок 9.1).

Параметром, характеризующим выполнение задачи, поставленной перед установкой перемещения, служит расход перемещаемой жидкости.

Сильными возмущениями, которые будут поступать в объект управления, нарушать режим его работы и приводить к непредсказуемым изменениям расхода жидкости (если автоматические устройства их не компенсируют), являются:

- изменение давления в аппаратах 1 и 8 – они определяются технологическим режимом процессов, протекающих в этих аппаратах;
- изменения вязкости и плотности перемещаемой жидкости – они определяются технологическим режимом предыдущих процессов;
- изменения общего гидравлического сопротивления трубопроводов вследствие засорения и засоления трубопроводов и арматуры.

Для того чтобы при наличии возмущений расход  $F$  все же был равен заданному значению, необходимо вносить в объект управления управляющие воздействия, которые будут компенсировать поступившие возмущения. В качестве регулируемой величины здесь необходимо взять сам рас-

ход  $F$  и формировать управляющие воздействия в зависимости от того, насколько текущее значение расхода отличается от заданного.

Наиболее простым способом внесения управляющих воздействий при этом является изменение положения дроссельного органа на трубопроводе нагнетания, что повлечет за собой изменение его гидравлического сопротивления и общего сопротивления системы в целом. Основные автоматические устройства представляют собой датчик расхода, установленный на магистрали нагнетания, контрольно-измерительный прибор расхода, регулятор расхода, исполнительный механизм и регулирующий орган.

(Все рассуждения, относящиеся к жидкостям, справедливы и для газов при скорости газов меньше скорости звука).

Устанавливать дроссельный орган на трубопроводе всасывания не рекомендуется, так как это может привести к кавитации и быстрому разрушению лопастей насоса.

При пуске, наладке и поддержании нормального режима процесса перемещения необходимо контролировать:

- давление на всасывающей и нагнетательной линиях насоса;
- для правильной эксплуатации установки перемещения требуется контролировать температуру подшипников и обмоток электродвигателя насоса;
- температуру и давление смазки и хладагента;
- для подсчета технико-экономических показателей процесса следует контролировать количество энергии, потребляемой приводом.

Сигнализации подлежит давление в линии нагнетания, поскольку значительное изменение его свидетельствует о серьезных нарушениях процесса. Кроме того, следует сигнализировать давление и наличие потока в системе смазки и охлаждения, температуру подшипников и обмоток электродвигателя, масла и воды. Сигнализируется 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 срабатывать автоматические устройства защиты. Они отключают действующий аппарат перемещения и включают резервный (на рисунке 9.1 не показан). Рассмотрим ряд наиболее распространенных частных случаев перемещения потоков и особенности схем их автоматизации.

### **Регулирование при различных целях управления**

Часто установкой перемещения необходимо управлять так, чтобы обеспечивалась стабилизация какого-либо параметра процесса, предшествующего процессу перемещения или следующего за ним. Например, может быть поставлена следующая задача: изменением расхода газа поддерживать постоянное давление в аппарате или же изменением расхода жидкости в трубопроводе стабилизировать уровень в аппарате.

Учитывая многообразие процессов химической технологии и задач, которые ставятся при их проведении, можно сказать, что в качестве регу-

лируемой величины при перемещении потоков могут служить любые параметры этих процессов: температура, концентрация, плотность, толщина пленки и т. д.

### **Регулирование методом дросселирования потока в байпасном трубопроводе**

При использовании поршневых насосов (компрессоров) регулирующие органы устанавливать на нагнетательном трубопроводе нельзя, так как изменение степени открытия такого органа приводит лишь к изменению давления в нагнетательной линии; расход же практически остается постоянным. Полное закрытие регулирующего органа может привести к такому повышению давления, при котором произойдет разрыв трубопровода или повреждение арматуры на нем.

В этих случаях регулирование может быть осуществлено дроссельным органом, установленным на байпасной линии (обводной), соединяющей всасывающий и нагнетательный трубопроводы. Такое же регулирование применяют при использовании шестеренчатых и лопастных насосов.

Если по какой-либо причине невозможно дросселировать поток в байпасном трубопроводе поршневых машин, жидкость дросселируют в нагнетательной линии, но при этом на байпасном трубопроводе устанавливают предохранительный клапан. При повышении давления до критического значения клапан открывается, и часть жидкости байпасируется (возвращается) во всасывающую линию.

### **Регулирование изменением числа оборотов вала насоса**

Дроссельное регулирование имеет существенный недостаток – низкую экономичность, так как потери на регулирующем органе при дросселировании жидкости уменьшают к.п.д. насоса. Более экономичен метод регулирования изменением числа оборотов рабочего вала насоса. Однако при использовании в качестве привода насоса асинхронных электродвигателей переменного тока изменение числа оборотов рабочего вала может быть осуществлено лишь за счет сложного и дорогостоящего оборудования.

В связи с этим наиболее эффективным методом изменения числа оборотов вала насоса является использование вариаторов и муфт скольжения, позволяющих изменять число оборотов рабочего вала насоса при неизменном числе оборотов вала электродвигателя. Кроме того, они обеспечивают быстрое и легкое дистанционное сцепление и расцепление электродвигателя и насоса; сглаживание ударов от электродвигателя к насосу, и наоборот; возможность разгона насоса с начальным моментом сопротивления, превышающим пусковой момент двигателя; ограничение передаваемого вращающего момента.

### **Регулирование изменением числа ходов и длины хода поршня**

При использовании прямодействующих паровых поршневых насосов (компрессоров) регулирование расхода осуществляется дросселированием пара в линии пуска его в паровой цилиндр, что вызывает изменение числа ходов поршня.

В настоящее время находят применение поршневые насосы, в которых расход регулируют изменением хода поршня.

### **Регулирование изменением угла наклона рабочих лопастей или лопаток**

Производительность центробежных машин можно регулировать изменением угла наклона рабочих лопастей. Этот метод эффективен, однако поскольку для его реализации требуется использование специальных насосов и компрессоров с устройствами поворота лопастей, он не нашел широкого распространения. Это же можно сказать и о регулировании изменением угла наклона поворотных лопаток, устанавливаемых специально для этой цели перед входом в рабочее колесо центробежных компрессоров.

### **Регулирование работы насосной станции**

Если жидкость перемещается насосной станцией, то появляется возможность воздействовать на расход изменением числа работающих насосов или же переключением насосов с параллельного соединения на последовательное, и, наоборот (при последовательном соединении складываются напоры, при параллельном – подачи).

### **Специальные методы регулирования поршневых компрессоров**

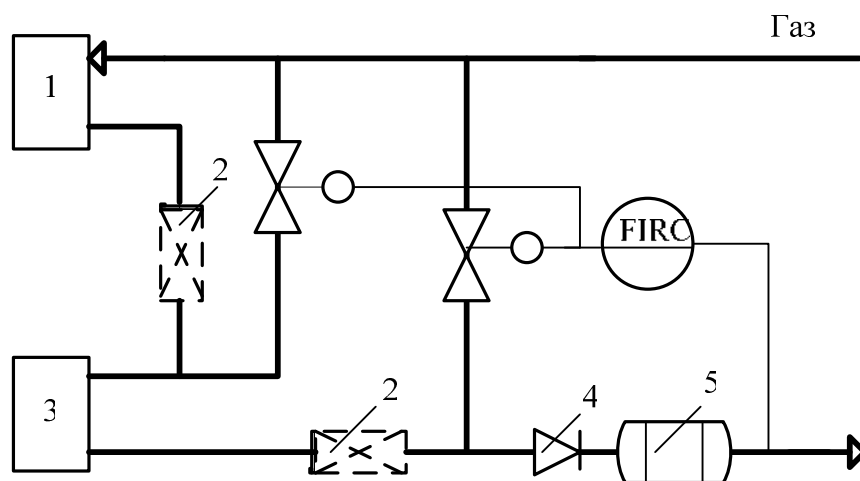
Для создания больших давлений в химической промышленности широко используют поршневые компрессоры. При их автоматизации регулируемой величиной служит давление в нагнетательной линии, а регулирующее воздействие вносится путем изменения производительности компрессора. Изменять производительность можно разными способами; некоторые из них были рассмотрены выше. Для поршневых компрессоров, кроме того, разработан ряд специальных способов регулирования. Применение их основано на том, что на стороне нагнетания у поршневых компрессоров устанавливают ресиверы большой емкости для сглаживания пульсаций потоком газа. Это позволяет вносить регулирующие воздействия периодическим отключением компрессора от потребителя (при отключении потребитель получает газ из ресивера). При этом качество регулирования давления обеспечивается варьированием частоты отключения.

Отключение компрессора от потребителя можно производить различными способами:

- переводом компрессора на холостой ход;
- периодическим пуском и остановкой электродвигателя компрессора;
- расцеплением компрессора и электродвигателя;

- перекрытием всасывающей линии;
- соединением полости цилиндра с всасывающим трубопроводом на всем ходе сжатия;
- механическим удержанием пластин клапанов компрессора в открытом состоянии на всем ходе сжатия;
- периодическим подключением дополнительного мертвого пространства к объему цилиндра компрессора.

Простым и доступным способом внесения регулирующего воздействия является перевод компрессора на холостой ход, при котором в случае превышения давления над заданным газ сбрасывается из нагнетательной линии во всасывающую по байпасному трубопроводу. Для этой цели на байпасном трубопроводе устанавливают запорный орган с исполнительным механизмом, получающим сигнал от позиционного регулятора. В случае многоступенчатых компрессоров газ сбрасывается во всасывающую линию как после первой, так и после остальных ступеней (рисунок 9.2).



**Рис. 9.2.** Схема регулирования работы двухступенчатого поршневого компрессора переводом его на холостой ход:

1 – первая ступень компрессора; 2 – холодильник; 3 – вторая ступень компрессора;  
4 – обратный клапан; 5 – ресивер

Этот метод значительно экономичнее, чем дросселирование газа в байпасном трубопроводе, так как перепускаемый со стороны нагнетания на сторону всасывания газ сжимается лишь настолько, чтобы преодолеть сопротивление, создаваемое клапанами и трубопроводами компрессорной установки.

Другим способом внесения регулирующего воздействия является периодический пуск и останов электродвигателя компрессора.

Для этого необходимо перевести электродвигатель на автоматический режим, при котором состояние магнитного пускателя определяется двухпозиционным регулятором давления. Правда, резкие толчки тока при пуске влияют на работу других потребителей, а также приводит к нагреванию обмоток электродвигателя.

В связи с этим мощность электродвигателей не должна превышать определенных значений (для асинхронных короткозамкнутых – 100 кВт,

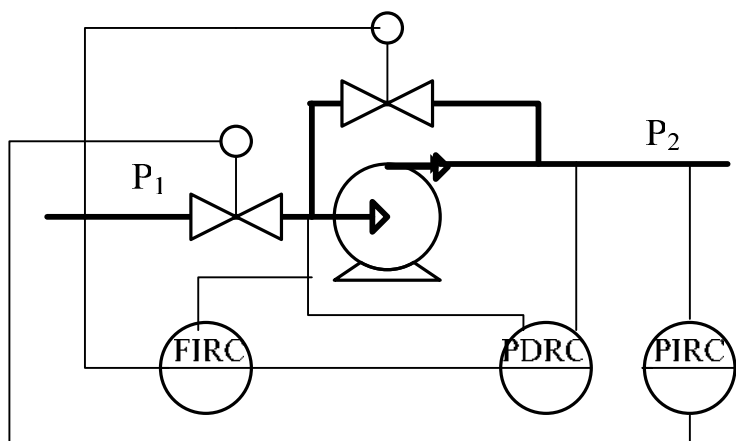
для асинхронных с фазным ротором – 250 кВт), а число включений должно быть не больше 15 за один час.

Для уменьшения пускового тока в случае короткозамкнутого электродвигателя целесообразно переключить обмотки со звезды на треугольник. Допустимое число включений в этом случае возрастает до 30 за один час. Еще больший эффект дает пуск электродвигателя при холостом ходе компрессора. Полностью избежать резких толчков пускового тока можно установкой регулируемых муфт скольжения. В этом случае потребляемая электродвигателем мощность составляет только 15% рабочей.

### Специальные методы регулирования центробежных компрессоров

Необходимость специальных методов регулирования центробежных компрессоров объясняется тем, что при сильном уменьшении потребления газа давление в линии нагнетания возрастет до такого значения, при котором изменится направление газового потока в компрессоре. Это будет происходить до тех пор, пока давление на выходе компрессора не снизится до некоторого значения. Кратковременные изменения давления могут перейти в пульсации (помпаж), способные вызвать серьезные повреждения компрессора.

Следовательно, нельзя допускать уменьшения расхода газа до значения меньшего, чем критическое  $F_{кр}$ . Этого можно добиться путем перепуска части газа из линии нагнетания в линию всасывания по байпасной магистрали. При этом расход через компрессор увеличится. Схема регулирования, реализующая этот метод, представлена на рисунке 9.3.



**Рис. 9.3.** Схема регулирования центробежного компрессора путем перепуска газа по байпасной линии

Предположим, что расход газа уменьшился по какой-либо причине, например вследствие увеличения гидравлического сопротивления аппарата, потребляющего этот газ. Тогда давление увеличится. Регулятор давления уменьшит подачу, и давление уменьшится, а перепад давления увеличится. Регулятор перепада увеличивает задание регулятору расхода, который начинает увеличивать перепуск газа из линии нагнетания в линию

всасывания, что, с одной стороны, приводит к уменьшению перепада, а с другой – к увеличению расхода через компрессор.

Простым методом регулирования работы центробежного компрессора в предпомпажном режиме является выпуск части сжатого газа в атмосферу. Такое регулирование позволяет поддерживать расход газа выше критического независимо от потребления.

В том случае, если сжимаемый газ ядовит или дорог и регулирование данным методом неприемлемо, используют методы дросселирования газа по байпасному трубопроводу или отключения компрессора от сети. Последний метод можно применять только при наличии нескольких компрессоров работающих параллельно, или ресивера большой емкости, установленный на нагнетательной линии.

### **Регулирование работы дозирочных насосов**

Дозирочные насосы находят широкое применение в промышленности для дозирования и смешения, небольших количеств растворов, суспензий и сжиженных газов. Производительность таких насосов можно регулировать изменением числа ходов поршня (штока) или длины хода поршня.

### **Автоматизация компрессоров, перемещающих горючие продукты**

Для компрессоров (и насосов), перемещающих горючие продукты, обязательно следует предусматривать установку на линиях всасывания и нагнетания запорных и отсекающих устройств с дистанционным управлением. Тип арматуры и места ее установки выбирают при проектировании в каждом конкретном случае в зависимости от диаметра и протяженности трубопровода и характеристик транспортируемой среды.

Для удаления жидкой фазы из перемещаемой газовой среды на всасывающей линии компрессора устанавливают сепаратор. Он должен быть оснащен приборами уровня и сигнализации (по максимальному уровню) и средствами, обеспечивающими автоматическое удаление жидкости из него и отключение компрессора при превышении предельно допустимого значения уровня.

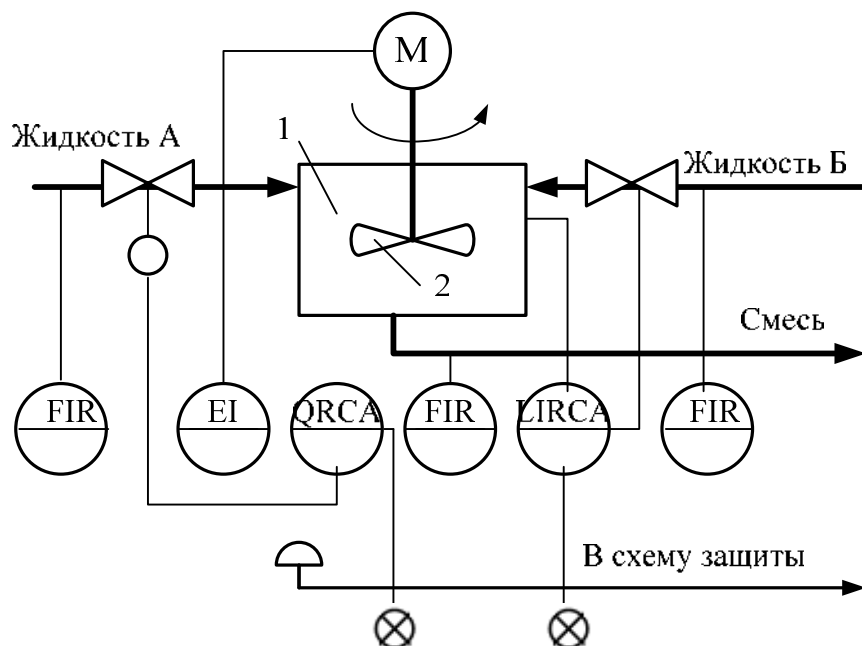
Всасывающие линии компрессора должны находиться под избыточным давлением. Если это невозможно, необходимо осуществить контроль за содержанием кислорода в горючем газе. В случае превышения содержания кислорода в горючем газе выше предельно допустимого значения необходимо предусмотреть блокировку, обеспечивающую отключение привода компрессора или подачу инертного газа.

#### **9.1.2. Смешение жидкостей**

Основные принципы автоматизации процесса смешения покажем на примере емкости, в которой смешиваются две жидкости А и Б (см. рис. 9.4).

В качестве показателя эффективности процесса перемешивания прием концентрацию искомого компонента в смеси ( $Q_{см}$ ), а целью управле-

ния будет получение смеси с определенной концентрацией этого оппонента.



**Рис. 9.4.** Схема автоматизации процесса смешения жидкостей:  
1 – емкость; 2 – механическая мешалка

Концентрация искомого компонента в смеси зависит от расходов жидкостей А и Б, а также от концентрации в них искомого компонента. Все эти параметры определяются технологическим режимом предыдущих процессов, и воздействовать на них из соображений достижения цели управления процессом смешения невозможно.

Так, в смеситель могут поступать возмущающие воздействия, поэтому следует регулировать непосредственно концентрацию  $Q_{см}$ , внося регулирующие воздействия изменением одного из расходов жидкостей.

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 жидкостей, поступающих в смеситель, и расхода смеси. Если расход смеси определяется ходом последующего процесса, то его нельзя ни стабилизировать, ни использовать для внесения регулирующих воздействий. Один из расходов жидкостей (например, жидкости А), как уже сказано, будет использоваться для внесения регулирующих воздействий при регулировании концентрации  $Q_{см}$ . Следовательно, единственным каналом для внесения регулирующих воздействий при стабилизации уровня является расход другой жидкости. Осуществляя регулирующие воздействия, регулятор уровня создает возмущения для регулятора концентрации  $Q_{см}$ .

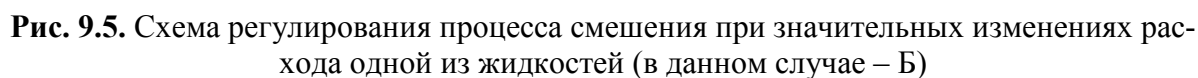
Для успешной эксплуатации смесителя, оперативного управления им и подсчета технико-экономических показателей следует контролировать концентрацию  $Q_{см}$ , расходы жидкостей и смеси, уровень жидкости в сме-



### **Регулирование уровня путем изменения расхода смеси**

Если расход смеси не обусловлен ходом последующего технологического процесса, его нужно использовать для регулирования уровня в смесителе – качество регулирования уровня при этом улучшится по сравнению с описанным выше.

Если расход жидкостей сильно изменяется, то для улучшения качества регулирования следует использовать регулятор соотношения расходов жидкостей с коррекцией по концентрации смеси  $Q_{\text{см}}$  (рис. 9.5).



Если по каким-либо причинам концентрация  $Q_{\text{см}}$  все же изменится (например, при изменении концентрации искомого компонента в жидкостях А и Б), то изменится задание регулятору соотношения.

## Регулирование барботажных смесителей

88

ном давлении воздуха обеспечивается равномерное распределение одной жидкости в другой.

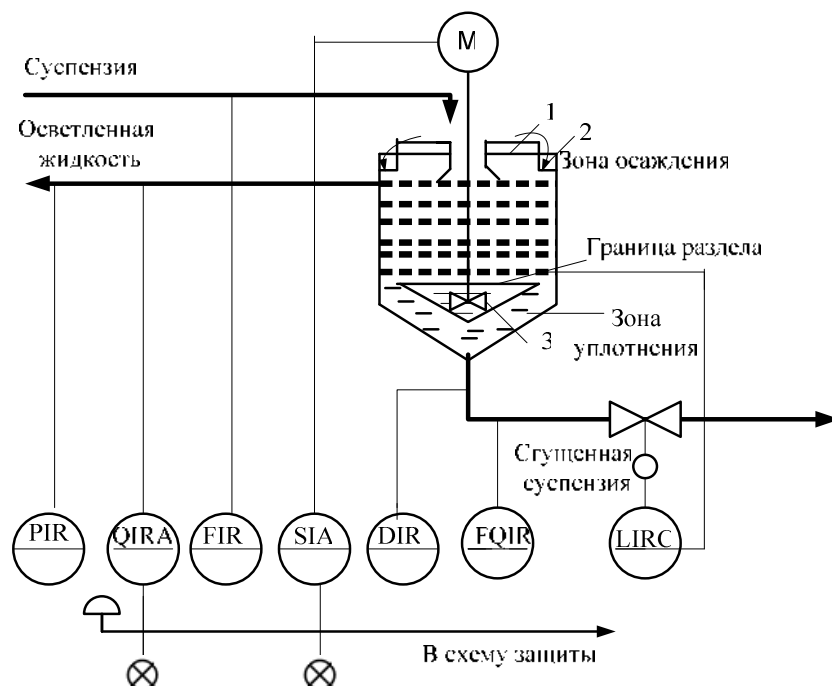
### Автоматизация процесса смешения горючих продуктов

В технологических блоках 1 категории взрывоопасности необходимо проводить с помощью микропроцессорной техники контроль состава смеси и регулирование соотношения горючих веществ и окислителя. При отклонении концентрации окислителя от регламентных значений средства аварийной защиты должны прекратить поступление компонентов на смешение. При получении парогазовых смесей необходимо регулировать, кроме того, давление в смесителе.

Подводящие к смесителям коммуникации должны быть оснащены обратными клапанами или другими устройствами, исключающими (при нарушении технологического режима) поступление обратным ходом в эти коммуникации подаваемых на смешение горючих продуктов, окислителей и смесей.

### 9.1.3 Отстаивание жидких систем

Основные принципы управления при автоматизации процессов отстаивания рассмотрим на примере отстойника со скребковым устройством (рис. 9.6).



**Рис. 9.6.** Схема автоматизации процесса отстаивания:

1 – отстойник; 2 – переливное устройство; 3 – мешалка

Процессы отстаивания проводят, как правило, с целью полного извлечения твердой фазы (ценного продукта) из жидкости, поэтому показателем эффективности процесса будем считать концентрацию твердой фазы в осветленной жидкости, а целью управления – поддержание ее на задан-

ном (минимально возможном для данных производственных условий) значении.

В объект управления процесса разделения могут поступать многочисленные возмущающие воздействия: изменение расхода суспензии, плотностей твердой и жидкой фаз, концентрации и вязкости 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.

На твердую частицу суспензии в отстойнике действуют одновременно сила инерции и сила тяжести. Поэтому истинное значение скорости  $V$  движущейся частицы является результирующей горизонтальной составляющей и вертикальной составляющей скорости, а положение частицы определяется отношением этих скоростей

Скорость 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 оседать в бункер, подбирают такие значения расхода суспензии и диаметра отстойника, которые обеспечивают нужное соответствие скоростей. 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 с помощью 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. Сигнализации подлежат также повышение мутности осветленной жидкости.

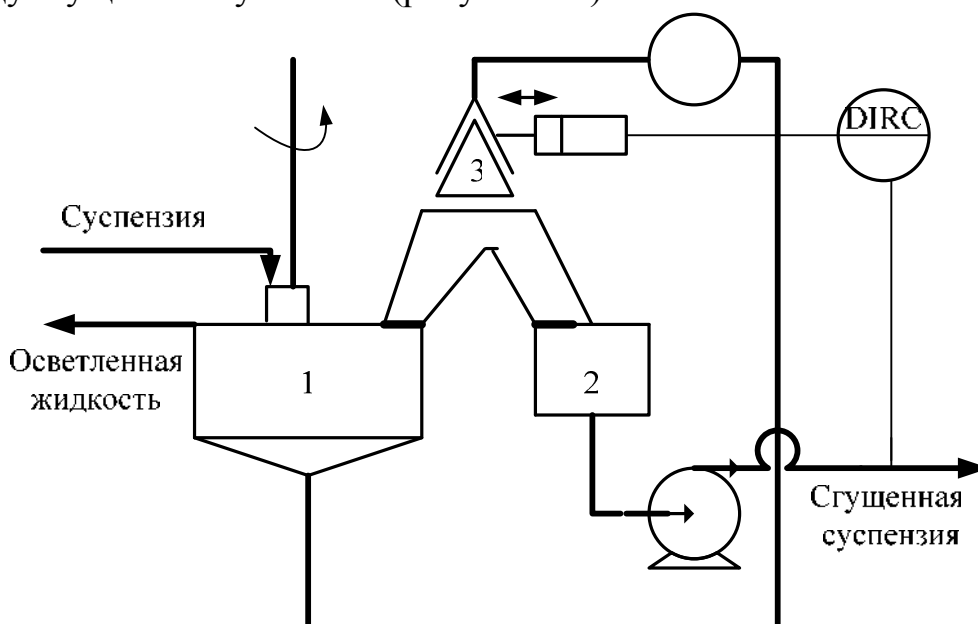
### Регулирование изменения расхода суспензии

В отдельных случаях расход исходной суспензии не зависит от предшествующего технологического процесса; тогда его можно изменять, стабилизируя мутность осветленной жидкости, то есть уменьшать при увеличении мутности выше заданного значения и увеличивать при уменьшении. При отсутствии датчика мутности расход суспензии стабилизируют, что приводит к ликвидации одного из самых сильных возмущений.

### Регулирование плотности сгущенной суспензии

В ряде отстойников проводится процесс сгущения суспензии до заданного содержания твердой фазы (влажность осадка при отстаивании может колебаться от 35 до 55%); при этом содержание твердой фазы в сливе приобретает второстепенное значение. В этом случае идут по пути регулирования плотности сгущенной суспензии изменением ее расхода.

В отдельных технологических схемах при повышенных требованиях к концентрации твердой фазы в сгущенной суспензии применяют рециркуляцию части сгущенной суспензии из промежуточной емкости. В этих случаях плотность регулируют путем изменения коэффициента рециркуляции, то есть отношения расхода циркулирующей жидкости к общему расходу сгущенной суспензии (рисунок 9.7).



**Рис. 9.7.** Схема регулирования плотности сгущенной суспензии с рециркуляцией:  
1 – отстойник; 2 – промежуточная емкость; 3 – регулятор перераспределения расходов

### Регулирование подачи коагулянта

Для лучшего отстаивания некоторых веществ в суспензию добавляют коагулянт – вещество, способствующее коагулированию (укрупнению) твердой фазы. Расход коагулянта изменяют в зависимости от высоты границы раздела между зонами уплотнения и осаждения или в зависимости от расхода исходной суспензии.

### **Регулирование режима работы гребкового механизма**

Плотность осадка можно регулировать и по косвенному параметру – нагрузке на валу гребкового устройства, которая связана прямой зависимостью с плотностью сгущенной суспензии в нижней части отстойника. Регулятор нагрузки в этом случае последовательно воздействует сначала на исполнительный механизм на магистрали сгущенной суспензии, а затем на привод подъема скребков. При перегрузке привода происходит подъем скребкового устройства, и наоборот.

### **Управление процессом противоточного отстаивания**

В случае если один отстойник не справляется с поставленной задачей, устанавливают несколько аппаратов, соединяя их по противоточной схеме. Степень извлечения твердой фазы, обеспечиваемая всей схемой, во многом определяется работой первого отстойника, поэтому для управления процессом отстаивания в нем регулируют плотность сгущенной суспензии и высоту раздела зон (подачей коагулянта); контролируют расход суспензии и щелоков, мутность осадка. Требования к работе следующих отстойников менее жесткие, поэтому на них установлены только регуляторы плотности сгущенной суспензии, а расход коагулянта изменяется вручную.

### **Управление отстойником периодического действия**

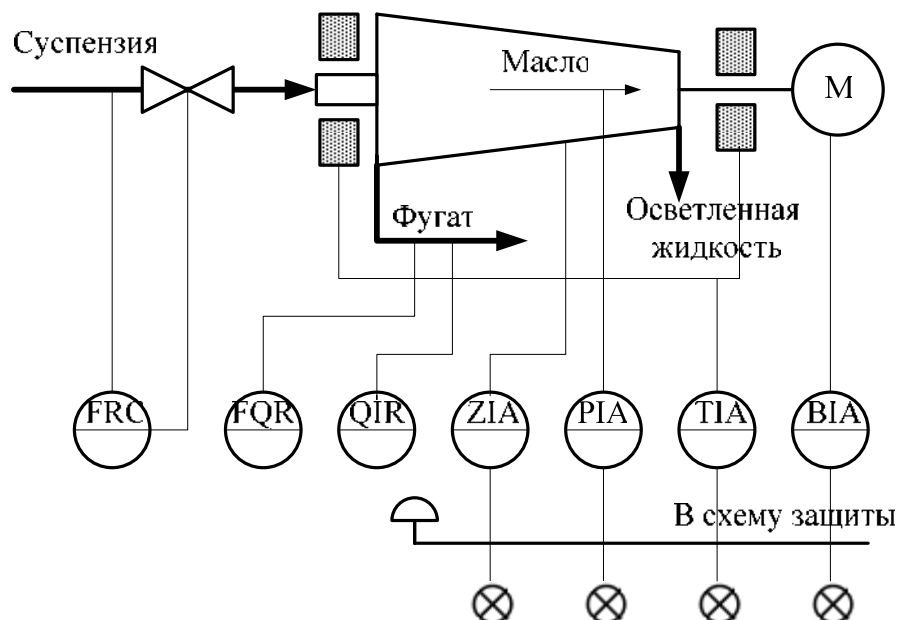
В промышленности находят применение отстойники периодического действия, в которых выгрузка осадка является отдельной операцией. Для автоматического перевода отстойника с режима отстаивания на режим выгрузки на определенной высоте аппарата устанавливают датчик прозрачности, который дает сигнал на закрытие трубопровода исходной суспензии и включение откачивающего насоса.

#### **9.1.4. Центрифугирование жидких систем**

В качестве объекта управления при автоматизации процесса центрифугирования рассмотрим центрифугу непрерывного действия (рис. 9.8).

Полученный в результате центрифугирования осадок в дальнейшем, как правило, поступает в сушилку, энергетические затраты которой определяются в основном влажностью осадка, поэтому при управлении центрифугами ставится задача получения заданной (минимально возможной при данных условиях) влажности осадка (она может колебаться, например, при отстойном центрифугировании, от 10 до 30%). Это и будет являться целью управления.

В реальных условиях производства в центрифугу поступают многочисленные возмущения в виде изменения гранулометрического состава твердого вещества, начальной концентрации его в суспензии, вязкости жидкой фазы и т. д.



**Рис. 9.8.** Схема автоматизации процесса центрифугирования жидких систем:  
В – момент на валу электродвигателя; Z – уровень вибрации

Наиболее сильным возмущающим действием является изменение подачи суспензии. В частности, увеличение расхода суспензии ведет к вымыванию части осадка из центрифуги и повышению его влажности, а уменьшение расхода нарушает равномерность слоя осадка и приводит к сильной вибрации ротора.

Для того чтобы при наличии многочисленных возмущений достигалась цель управления, устанавливают центрифуги с высокой разделяющей способностью. Разделяющая способность определяется, прежде всего, числом оборотов вала ротора. Изменением этого параметра в объект можно вносить сильные управляющие воздействия. Однако во многих современных центрифугах в качестве привода используют, как правило, асинхронные электродвигатели с постоянным числом оборотов вала. К тому же и в настоящее время отсутствуют высококачественные датчики влажности конечного продукта. В связи с этим выбирают электродвигатель с таким числом оборотов  $n$ , при котором даже при значительных возмущающих воздействиях центрифуга обеспечивала бы заданную влажность осадка.

Для компенсации сильных возмущений, вызванных изменением расхода суспензии, предусматривается узел стабилизации этого параметра. Для поддержания материального баланса в центрифуге не требуется установка регуляторов, так как уровень фугата и осадка поддерживается путем их свободного удаления из аппарата. Стабилизация расхода суспензии и соблюдение баланса обеспечивают постоянную производительность центрифуги.

В связи с высокими скоростями вращения центрифуг, большим потреблением энергии, а также возможностью неравномерного распределения материала в барабане центрифуги особое внимание уделяется контролю, сигнализации и защите параметров центрифугирования. Контролиру-

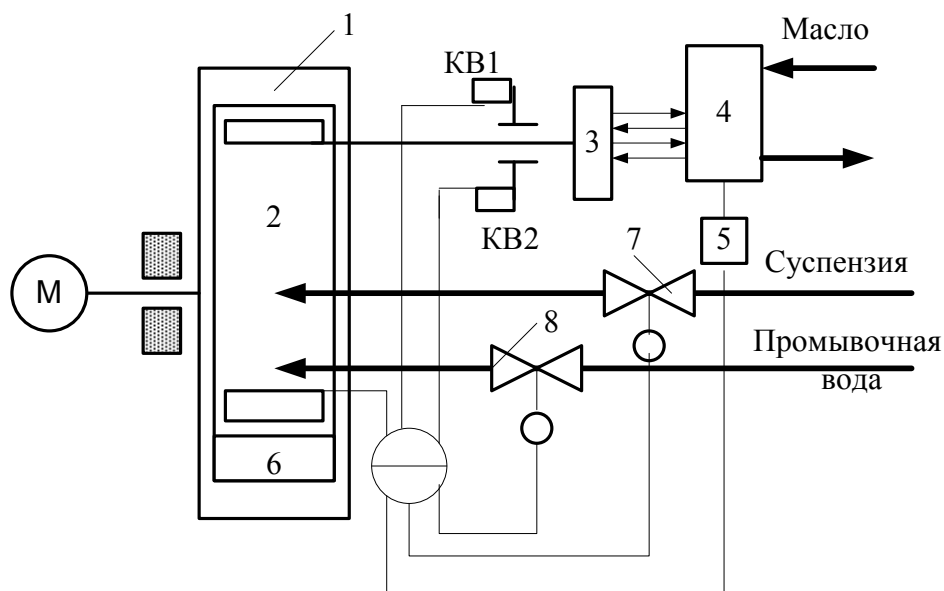
ются расходы суспензии и фугата, мутность фугата, количество потребляемой электродвигателем энергии. При перегрузке электродвигателя срабатывает сигнализация. Контролю и сигнализации подлежат также давление масла в системе смазки и температура подшипников, причем при резком падении давления и повышении температуры должны сработать устройства защиты, отключающие центрифугу. Отключение должно производиться и в случае вибрации барабана, являющейся признаком неравномерного распределения материала в центрифуге.

### Регулирование отстойных центрифуг

Изменяя продолжительность отстаивания и сушки осадка в отстойных центрифугах, в объект можно вносить сильные регулирующие воздействия. В соответствии с результатами лабораторных анализов важности осадка производят изменение длительности указанных операций путем изменения числа ходов поршня при выгрузке осадка пульсирующим поршнем или же изменения числа оборотов шнека в шнековых центрифугах.

### Управление центрифугами периодического действия

Центрифуги периодического действия в связи с простотой конструкции находят широкое применение в промышленности (рисунок 9.9). Регулирующие воздействия в них могут быть внесены путем вменения продолжительности отдельных операций в зависимости от влажности осадка. Однако на практике ввиду отсутствия датчиков влажности процесс ведут по жесткой временной программе с помощью командного прибора.



**Рис. 9.9.** Система управления периодической центрифугой:

1 – барабан; 2 – нож; 3 – гидравлический исполнительный механизм; 4 – маслораспределитель; 5 – переключающее устройство; 6 – датчик загрузки; 7, 8 – запорные клапаны

На него поступают сигналы от датчика загрузки 6 барабана 1 центрифуги и конечных выключателей положений ножа 2, служащего для ре-

зания осадка и приводимого в движение масляным исполнительным механизмом 3. При срабатывании датчика загрузки командный прибор формирует сигнал на закрытие клапана 7; операция загрузки при этом прекращается.

Длительность следующих операций (подсушки и промывки) устанавливается вручную с помощью задатчиков времени командного прибора и обеспечивается срабатыванием клапана 8. На некоторых центрифугах поочередно осуществляется несколько операций подсушки и промывки с различной выдержкой. Заданная последовательность и длительность их также выдерживается командным прибором. По завершении этих операций прибор выдает импульс на переключающее устройство 5 маслораспределителя 4, который с помощью исполнительного механизма 3 приводит в движение нож 2. Начинается операция выгрузки твердого продукта из барабана 1. Движение ножа продолжается до крайнего положения, что обеспечивается конечным выключателем КВ1. По его команде происходит обратное движение ножа до срабатывания второго конечного выключателя – КВ2; начинается новая загрузка или же вновь открывается магистраль промывной воды для регенерации сетки барабана 1. Далее цикл повторяется.

В качестве параметра, характеризующего степень загрузки, может использоваться уровень суспензии в барабане. Чувствительным элементом уровня является пластинка, контактирующая с верхним слоем жидкости в нем. При изменении положения этого слоя пластинка поворачивается вместе с валом, на котором установлен кулачок. Положение последнего преобразуется в аналоговый или дискретный сигнал, соответствующий уровню жидкости. Таким же способом можно контролировать и уровень твердого осадка; тогда в качестве чувствительного элемента используется гребенка, представляющая собой сопротивление только для твердой фазы.

В промышленности для контроля загрузки используют также емкостные датчики, измеряющие электрическую емкость между датчиком и уровнем суспензии в барабане или его стенкой, датчики скорости вращения барабана и мощности приводного электродвигателя.

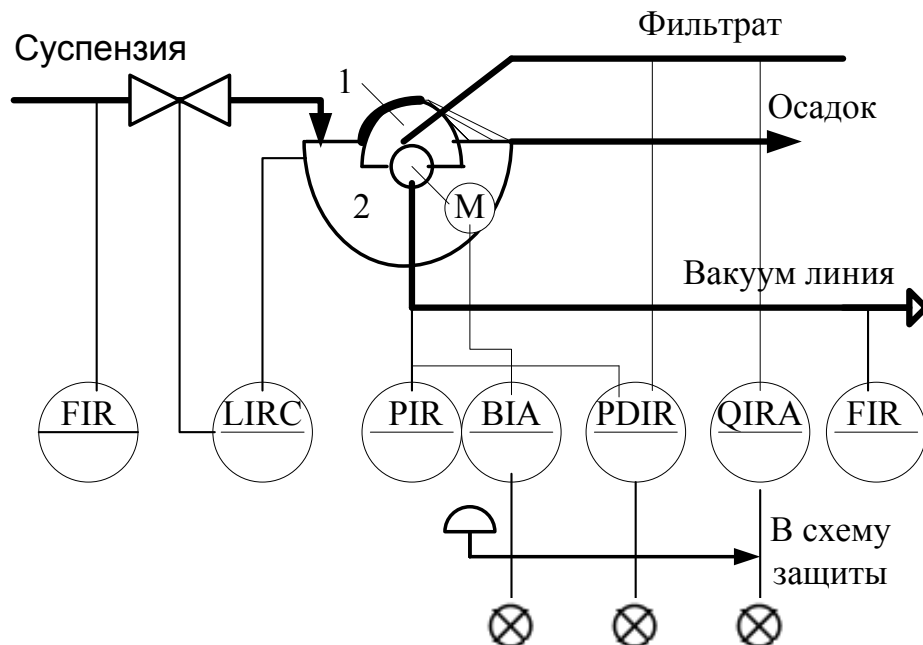
### **Регулирование скорости вращения центрифуг периодического действия**

Значительного улучшения эксплуатационных характеристик центрифуг периодического действия можно добиться путем изменения скорости вращения ротора при осуществлении различных операций, так как каждой из них соответствует своя оптимальная скорость. Для этой цели в качестве привода центрифуги применяют специальные электродвигатели и командные устройства, работающие по жесткой программе.

#### **9.1.5. Фильтрация жидких систем**

В качестве объекта управления при фильтрации жидких систем прием барабанный (дисковый) вакуум-фильтр (рис. 9.10).





**Рис. 9.10.** Схема автоматизации процесса фильтрации жидких систем:  
1 – барабан (диск); 2 – ванна

Фильтровальные аппараты устанавливают, как правило, с той же целью, что и центрифуги, поэтому и цели управления в обоих случаях совпадают. То же можно сказать и о возмущающих воздействиях, а также о выборе таких технологических и конструктивных параметров установки, которые обеспечили бы минимально возможную (для конкретных условий) влажность осадка. Устройства регулирования устанавливают на данном объекте только для обеспечения определенного уровня суспензии в ванне. Регулирующим воздействием в данном случае служит изменение расхода суспензии.

Серьезной опасностью при работе вакуум-фильтров является прорыв фильтровальной ткани, так как через отверстия в ней будет теряться целевой продукт. Для предотвращения таких ситуаций устанавливают датчики мутности фильтрата, а также устройства сигнализации и защиты. Кроме того, на вакуум-фильтре устанавливают еще один датчик сигнализации и защиты – датчик перегрузки электродвигателя барабана. Контролю подлежат расходы суспензии и фильтрата, уровень жидкости в ванне, разрежение в вакуум линии, перепад давления до и после фильтровальной ткани, мутность фильтрата, мощность электродвигателя.

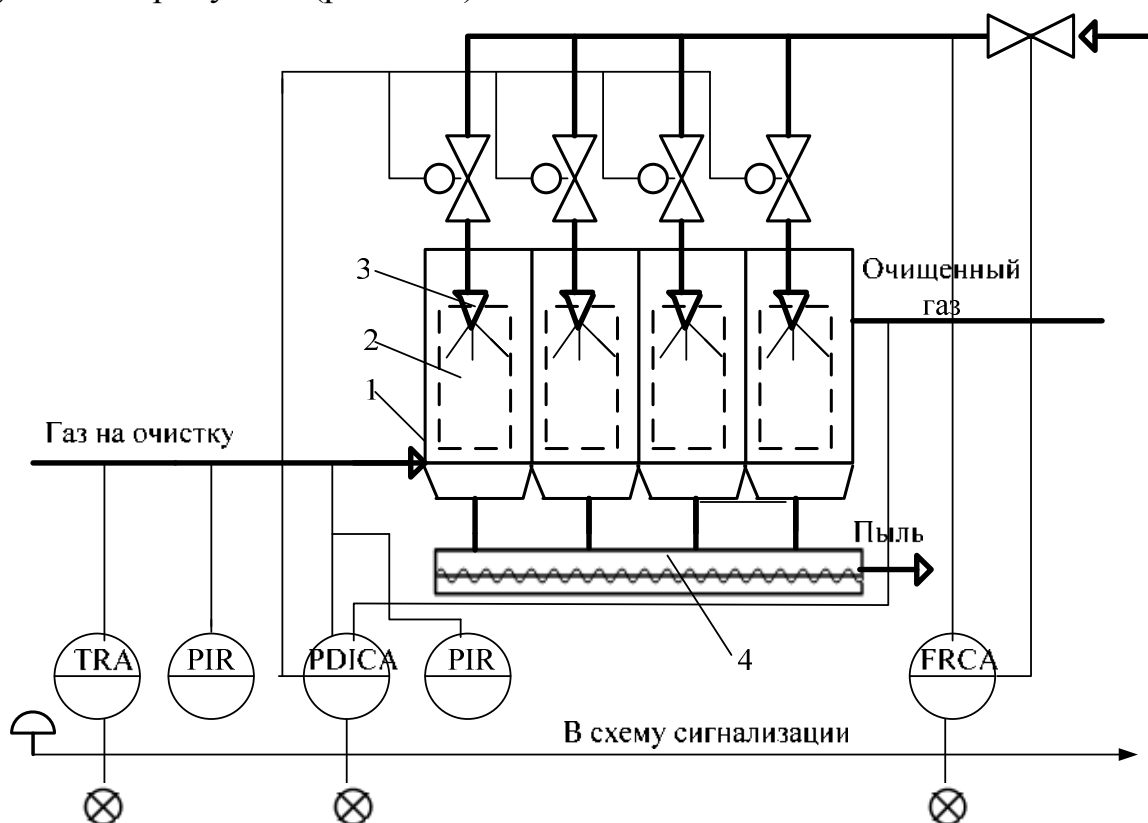
### Регулирование толщины осадка

Толщина осадка является важнейшим режимным параметром. Увеличение толщины приводит к значительному повышению влажности осадка, поэтому целесообразна стабилизация этого параметра. С этой целью регулирующие воздействия могут быть внесены как изменением вакуума, так изменением скорости вращения барабана. Необходимо отметить узкий диапазон возможных регулирующих воздействий в последнем варианте,

что связано с увеличением влажности осадка при значительном повышении скорости вращения.

### 9.1.6. Фильтрация газовых систем

Объектом управления в данном случае будет рукавный фильтр с импульсной продувкой (рис. 9.11).



**Рис. 9.11.** Схема автоматизации процесса фильтрации газовых систем:  
1 – корпус фильтра; 2 – рукава; 3 – сопла импульсной продувки; 4 – шнек

Рукавные фильтры устанавливают, как правило, для полной очистки газа от вредных веществ, являющихся ценным продуктом, поэтому показателем эффективности процесса будем считать концентрацию твердого вещества в газе на выходе из фильтра, а целью управления – поддержание его на заданном значении.

Процесс фильтрации газовых сред во многом аналогичен процессу фильтрации жидких систем. В частности, аналогичны возмущающие воздействия и возможности их ликвидации. В рукавные фильтры дополнительно могут поступать возмущения по каналу сжатого воздуха, подаваемого в сопла для регенерации.

Определенные сложности при автоматизации рукавных фильтров создает отсутствие в настоящее время надежных концентратометров пыли. В связи с этим регулируют перепад давления  $\Delta P$  в камерах загрязненного и очищенного газа, который наиболее полно отражает ход процесса. Регулировать перепад давления  $\Delta P$  можно изменением массы пыли, осевшей на

фильтровальной ткани. Это осуществляется следующим образом. При достижении максимального перепада позиционный регулятор выдает сигнал на электромагнитные клапаны, установленные на магистрали сжатого воздуха. Клапаны открываются, импульсы сжатого воздуха через сопла поступают в рукава и деформируют ткань, сбивая при этом пыль. Регенерация ткани происходит до достижения минимального перепада давления.

При отсутствии датчика измерения перепада давления регенерация фильтровальной ткани может осуществляться по жесткой временной программе, заложенной в командный прибор.

Качественная регенерация ткани рукавов будет достигаться только при определенном значении давления сжатого воздуха, подаваемого на продувку. Для стабилизации этого давления устанавливают регулятор.

Контролю и сигнализации подлежат следующие параметры: температура загрязненного газа (фильтровальная ткань рассчитана только на определенные температуры), давление сжатого воздуха, перепад давления. При критических значениях давления сжатого воздуха и перепада давления (превышение критического значения перепада приводит к разрыву ткани) срабатывает устройство защиты, отключающее рабочий фильтр и включающее резервный. Контролю подлежит расход газового потока.

### **Регулирование по жесткой временной программе**

Измерение давления газовых пылевых потоков связано с определенными трудностями, так как импульсные трубки забиваются пылью и искажают показания приборов. С другой стороны, при стабильном технологическом режиме появляется возможность отказаться от регулирования по перепаду  $\Delta P$  и перейти на управление по жесткой программе, в которой задается определенная длительность импульсов сжатого воздуха и пауз между ними. Для реализации такой программы устанавливают командный прибор, который управляет объектом по ременной программе независимо от состояния фильтра.

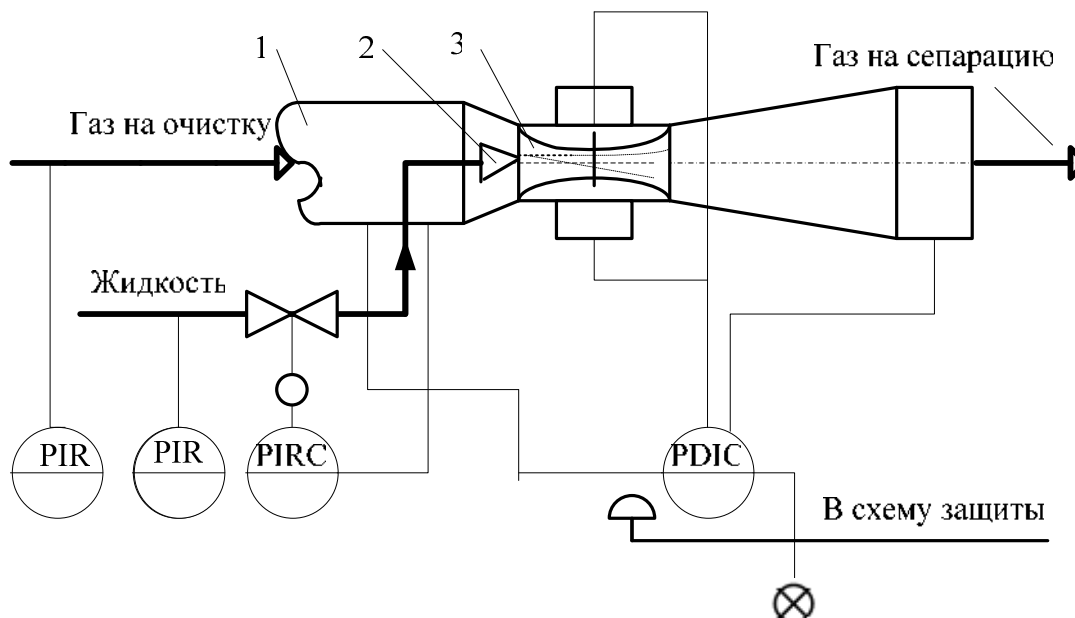
#### **9.1.7. Мокрая очистка газов**

В качестве объекта управления рассмотрим форсуночную трубу Вентури, в которой жидкость под небольшим давлением подается через распылитель, установленный параллельно газовому потоку, движущемуся с большой скоростью (рис. 9.12).

Цель управления данным процессом аналогична цели управления процессом фильтрования газовых систем.

Перепад давления на трубе является движущей силой процесса перемещения газа, поэтому его стабилизация обеспечивает не только качественную дисперсность распыла, но и постоянство расхода газа – второго режимного параметра процесса мокрой очистки, определяющего показатель эффективности.

Для эффективного применения труб Вентури необходимо регулировать давление жидкости перед форсункой и перепад давления газа.



**Рис. 9.12.** Схема автоматизации мокрой очистки газов:  
1 – корпус трубы Вентури; 2 – форсунки; 3 – регулируемая горловина

Мокрые пылеочистители склонны к забиванию, поэтому о достижении предельного значения перепада давления следует, кроме того, сигнализировать. При критическом значении перепада  $\Delta P$  устройство защиты включает резервный пылеочиститель и отключает рабочий. Контролю в данном процессе подлежат расходы жидкости и газа.

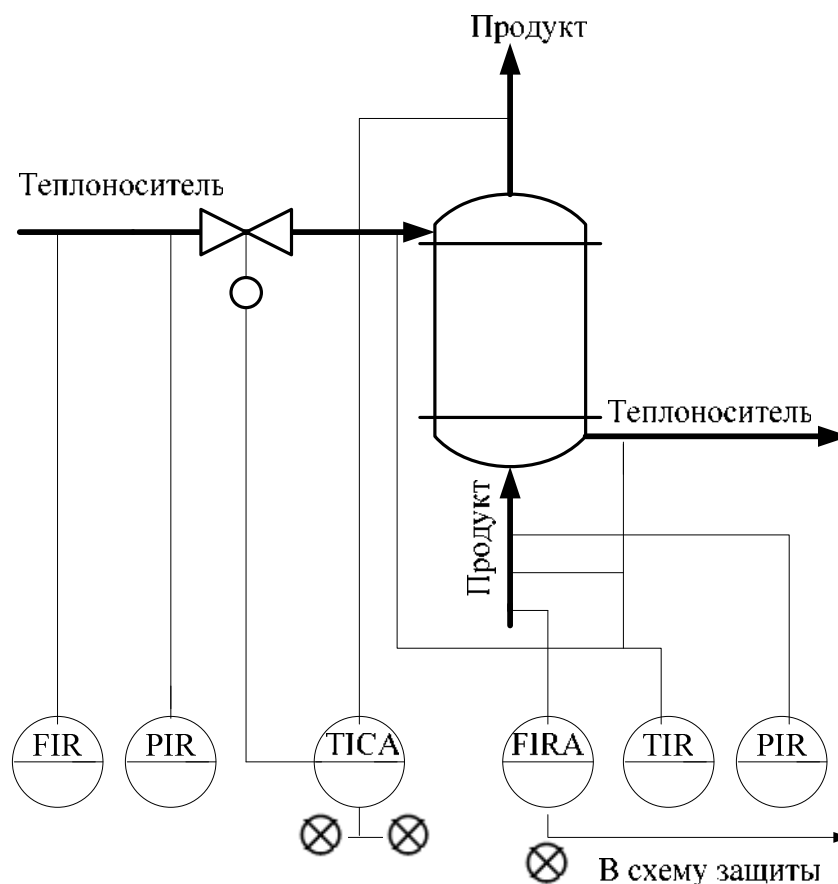
## 9.2. Управление тепловыми процессами

### 9.2.1. Нагревание жидкостей

Основные принципы управления процессом нагревания рассмотрим на примере поверхностного кожухотрубчатого теплообменника (рис. 9.13), в который подают нагреваемый продукт и теплоноситель.

Показателем эффективности данного процесса является температура продукта на выходе из теплообменника, а целью управления – поддержание этой температуры на определенном уровне.

Расход теплоносителя можно легко стабилизировать или использовать для внесения эффективных регулирующих воздействий. Расход продукта определяется другими технологическими процессами, а не процессом нагревания, поэтому он не может быть ни стабилизирован, ни использован для внесения регулирующих воздействий; при изменении в теплообменник будут поступать сильные возмущения. Начальные температуры продукта и теплоносителя, а также их удельные теплоемкости определяются технологическими режимами других процессов, поэтому стабилизировать их при ведении процесса нагревания невозможно. К неликвидируемым возмущениям относятся также изменения температуры окружающей среды и свойств теплопередающей стенки вследствие отложения солей и коррозии.



**Рис. 9.13.** Схема автоматизации процесса нагрева

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.

Теплообменники как объект регулирования температуры обладают большими запаздываниями, поэтому следует уделять особое внимание выбору места установки датчика и закона регулирования. Для уменьшения транспортных запаздываний датчик температуры необходимо помещать как можно ближе к теплообменнику. Для устранения запаздывания значительный эффект может дать 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 требуется знать также для подсчета технико-экономических показателей процесса, а расход и температуру – для оперативного управления процессом.

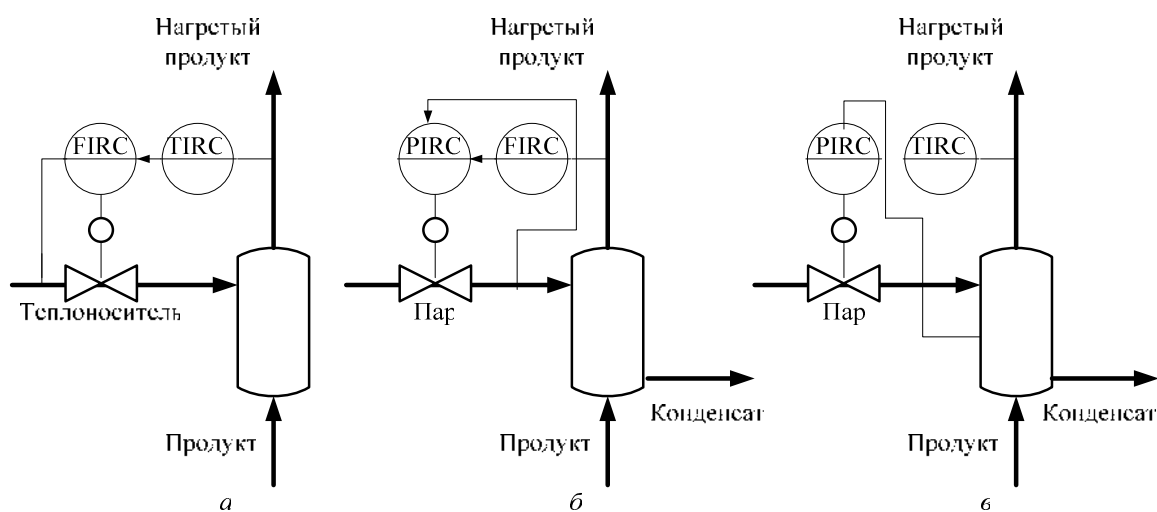
Сигнализации подлежат температура и расход продукта. Поскольку резкое падение расхода продукта может послужить причиной выхода из строя теплообменника, устройство защиты в этом случае должно перекрывать линию подачи теплоносителя.

Все рассуждения в отношении процесса нагрева справедливы и для процесса охлаждения. Объектом управления в этом случае будет кожухотрубчатый теплообменник, в который подают 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.

### ***Каскадно-связиное регулирование***

Использование двухконтурных АСР значительно улучшает качество регулирования конечной температуры продукта, если вспомогательной регулируемой величиной выбрать параметр, изменение которого будет сильным возмущением для процесса теплообмена. Часто в качестве вспомогательного параметра выбирают расход теплоносителя (рис. 9.14); если теплоносителем служит пар с переменным давлением, то предпочтительнее измерять давление теплоносителя или давление в межтрубном пространстве.

Последний вариант следует использовать при переменных расходе и температуре нагреваемого продукта, так как давление в межтрубном пространстве является гораздо менее инерционным параметром, чем конечная температура продукта.



**Рис. 9. 14.** Двухконтурные системы регулирования процесса нагрева с использованием в качестве вспомогательной регулируемой величины расхода теплоносителя (а), давления пара (б) и давления в межтрубном пространстве

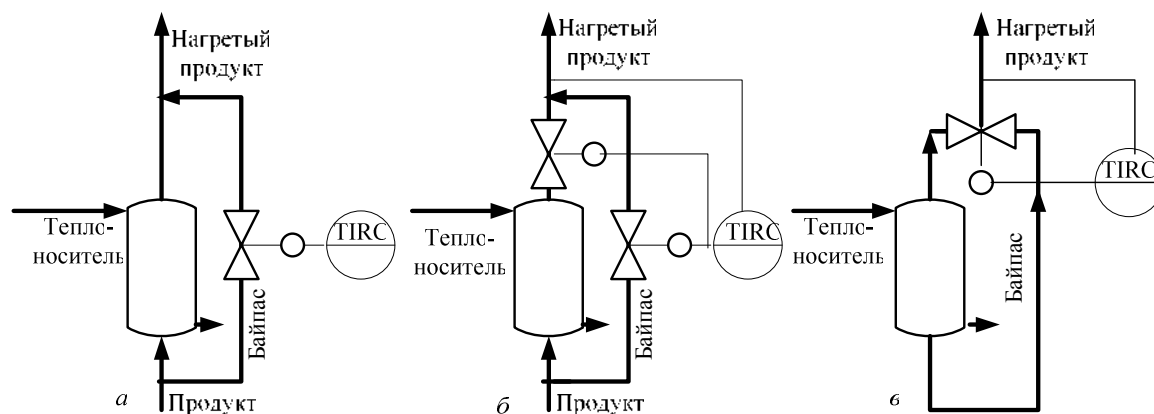
### ***Регулирование байпасированием продукции***

Для регулирования систем, в которых изменение расхода теплоносителя недопустимо, используют метод байпасирования.

Регулирующее воздействие в этом случае осуществляется изменением расхода байпасируемого продукта (рис. 9. 15 а).

Поскольку перемещение регулирующего органа на байпасной линии все же приводит к некоторому изменению расхода продукта, при высоких требованиях к постоянству этого расхода устанавливают два мембранных исполнительных механизма разного типа (НО или НЗ, рисунок 9.15, б). Аналогичный эффект достигается при установке трехходового смесительного клапана (рисунок 9.15, в).

Регулирование методом байпасирования улучшает динамическую характеристику системы, так как при этом из цепи регулирования исключается теплообменник.



**Рис. 9.15.** Схема регулирования температуры изменением расхода продукта в байпасном трубопроводе: а – с помощью одного клапана; б – с помощью двух клапанов; в – с помощью трехходового клапана

### ***Регулирование изменением расхода конденсата греющего пара***

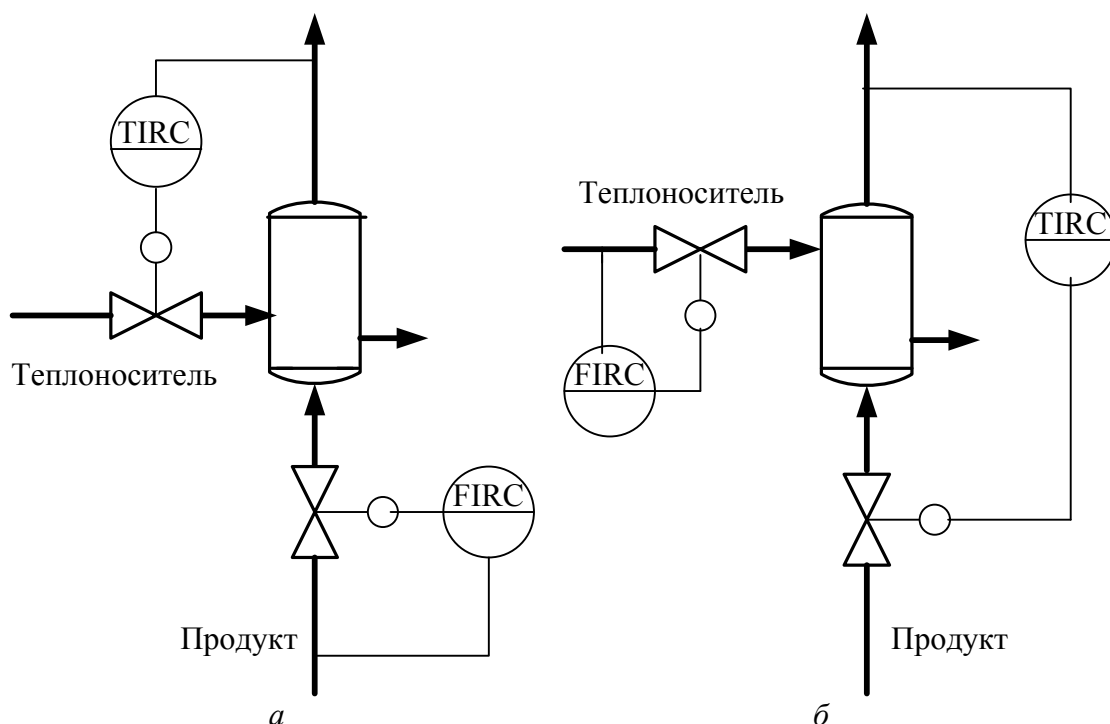
Если теплообменник работает при частичном заливе конденсата, регулирующие воздействия можно вносить изменением расхода конденсата, что приводит к изменению уровня конденсата в теплообменнике. При этом распределяются поверхности теплообмена между конденсирующимся паром и продуктом, с одной стороны, и конденсатом и продуктом – с другой. Интенсивность теплообмена, а затем и температура продукта на выходе из теплообменника меняются. Такая система позволяет повысить эффективность работы теплообменника на 6 - 7% благодаря полному использованию тепла пара и конденсата. Однако вследствие больших запаздываний эта система может быть рекомендована лишь при условии отсутствия резких возмущающих воздействий.

### ***Регулирование изменением температуры горячего теплоносителя***

Если насос теплоносителя установлен после теплообменника, то стабилизировать конечную температуру продукта можно путем изменения начальной температуры горячего теплоносителя за счет рециркуляции части отработанного теплоносителя. Достоинством данного метода является постоянство расхода и скорости теплоносителя в теплообменнике, что обеспечивает высокие и стабильные значения коэффициента теплоотдачи.

### ***Регулирование изменением расхода продукта***

Если для качественного управления процессом теплообмена допустимо изменение или стабилизация расхода продукта, то, в зависимости от возможных возмущающих воздействий, может быть принят один из вариантов схем регулирования, показанных на рисунке 9.16.



**Рис. 9.16.** Схема регулирования процесса нагрева: а – со стабилизацией расхода продукта; б – с изменением расхода продукта в зависимости от конечной температуры

Стабилизирующие регуляторы расхода теплоносителя и расхода продукта ликвидируют возмущения до поступления их в систему.

### ***Регулирование процесса в теплообменниках смешения***

Малейшие изменения параметров теплоносителя при непосредственном смешении двух и более жидкостей приводят к значительным и быстрым изменениям конечной температуры продукта, поэтому при управлении теплообменниками смешения часто применяют связанное регулирование и регулирование соотношения расхода теплоносителя и продукта с коррекцией по температуре продукта.

### ***Регулирование работы трубчатых печей***

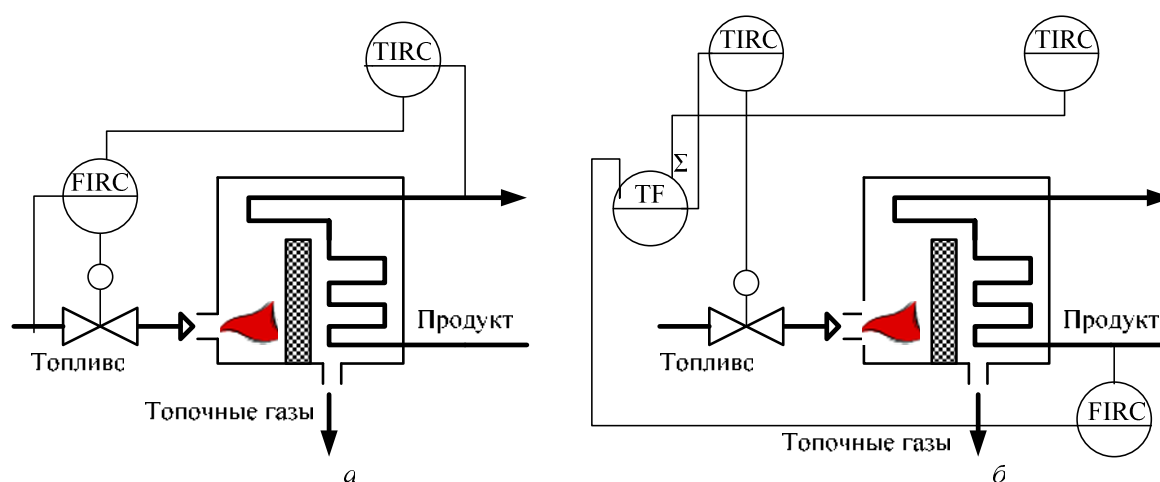
В трубчатых печах, продукт, непрерывно прокачиваемый через змеевик, нагревается за счет тепла, выделяющегося при сжигании топлива. Трубчатая печь является сложным объектом регулирования; стабилизацию конечной температуры продукта в ней необходимо обеспечить при значительно изменяющихся температуре и расходе продукта.



Постоянно изменяется также состояние змеевика и тепловой изоляции. Компенсация всех возмущений осуществляется изменением количества подаваемого в печь топлива.

В связи с тем, что для трубчатой печи характерны большие запаздывания (20...30 мин по каналу «расход топлива – конечная температура продукта»), целесообразно использовать связанное регулирование.

На рисунке 9.17, а представлена схема регулирования расхода топлива с коррекцией по температуре нагреваемого продукта на выходе из печи. Качество регулирования заметно улучшается при введении вспомогательного контура регулирования температуры топочных газов над перевальной стенкой.



**Рис. 9.17.** Схемы связанного регулирования процесса в трубчатой печи

Это улучшение сильно влияет на температуру продукта на выходе из печи. Схема на рисунке 9.17,б обеспечивает регулирование температуры продукта на выходе из печи с учетом изменений температуры над перевальной стенкой и расхода нагреваемого продукта.

Качество регулирования можно улучшить также, введя дополнительно регулятор расхода нагреваемого продукта.

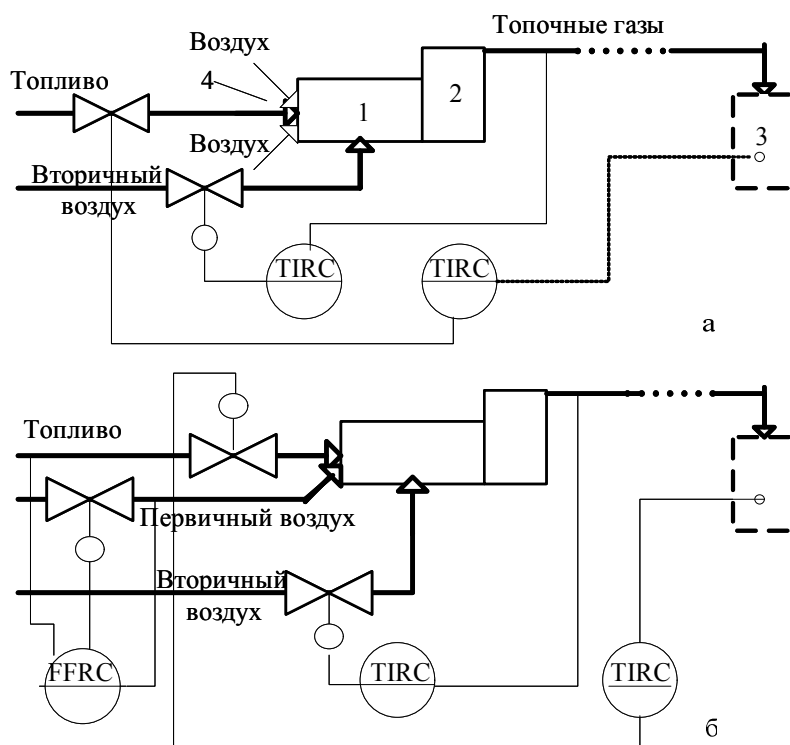
В случае нагрева горючих продуктов трубчатые печи необходимо оснащать системами регулирования соотношения топлива, воздуха и водяного пара; блокировками, прекращающими поступление газообразного топлива и воздуха при снижении их давления ниже установленных параметров, а также при прекращении электро- (или пневмо-) питания приборов автоматизации; средствами сигнализации о прекращении поступления топлива и воздуха при принудительной подаче их в топочное пространство; средствами контроля за уровнем тяги и прекращения подачи газообразного топлива в зону горения при остановке дымососа или недопустимом снижении разрежения в печи; средствами подачи водяного пара в топочное пространство и змеевики при прогаре труб.

Противоаварийная защита змеевиков нагревательных печей обеспечивается:

- аварийным опорожнением змеевиков печи от нагреваемого жидкого продукта при повреждении труб или прекращении его циркуляции;
- блокировками по отключению подачи топлива при прекращении подачи сырья;
- средствами дистанционного отключения подачи сырья и топлива при аварии в системах змеевиков;
- средствами сигнализации о падении давления в системах подачи сырья.

### **Регулирование процесса в топках**

При сушке, выпаривании, обжиге и других процессах в качестве теплоносителя часто используют топочные газы, получаемые в топках в результате сжигания топлива.



**Рис. 9.18.** Схемы регулирования топок:

а – с инжекционной горелкой; б – с принудительной подачей первичного воздуха  
1 – топка; 2 – смесительная камера; 3 – технологический аппарат; 4 – горелка

В зависимости от требований, предъявляемых к топочному газу, в промышленности используют топки разных конструкций. Наиболее простой является топка с инжекционными горелками (рис. 9.18а).

Расход топлива в этом случае изменяется в зависимости от температуры (или какого-либо другого параметра) того процесса, в котором используют полученные топочные газы. Соотношение расходов топлива и воздуха, подсасываемого из атмосферы, поддерживается постоянным за счет изменения инжекционной способности горелки при изменении расхода топлива. Температуру топочных газов сразу после топки регулируют изменением расхода вторичного воздуха.

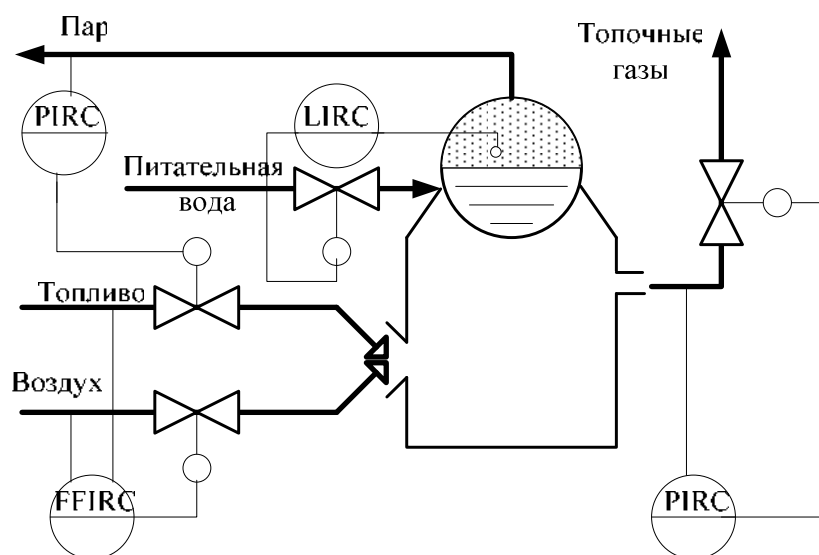
При использовании горелок с принудительной подачей первичного воздуха возникает необходимость в регуляторе соотношения топливо – первичный воздух (рисунок 9.18,6).

В отдельных случаях разбавляющий воздух подают одновременно в охлаждающую рубашку топки и в смесительную камеру. Расход вторичного воздуха при такой технологии изменяется в зависимости от температуры во внутренней футеровке топки или в топке вблизи футеровки, а расход третичного воздуха – от температуры после смесительной камеры.

### ***Регулирование работы парокотельных установок***

На многих химических предприятиях имеются свои парокотельные установки, предназначенные для получения пара заданных значений параметров. Основной регулируемой величиной парокотельной установки является давление получаемого пара. Заметим, что для насыщенного пара существует определенная зависимость между давлением и температурой, поэтому стабилизация давления обеспечит и постоянство температуры.

Одной из серьезных задач при регулировании процесса горения в топках парокотельных установок является экономичное сжигание топлива благодаря подаче определенного количества воздуха. Показателем соответствия расходов воздуха и топлива может служить коэффициент избытка воздуха, то есть теоретическое значение расхода воздуха, обеспечивающего полное сжигание топлива. При постоянной теплотворной способности топлива заданное значение этого коэффициента ( $\sim 1,1$ ) может обеспечить простой регулятор соотношения расходов топлива и воздуха (рис. 9.19).



**Рис. 9.19.** Схема регулирования работы

Если же качество топлива изменяется, то требуется более сложная система регулирования, позволяющая непрерывно определять оптимальное значение по содержанию кислорода в топочных газах.

Схема регулирования построена таким образом, что при изменении давления пара одновременно изменяется подача топлива и воздуха.

Изменение разрежения в топке отражается на расходах топлива и воздуха. Для компенсации этого возмущения устанавливают регулятор разрежения в топке. Поддержание материального баланса в схеме обеспечивается регулятором уровня, при этом регулирующее воздействие вносится изменением расхода питательной воды.

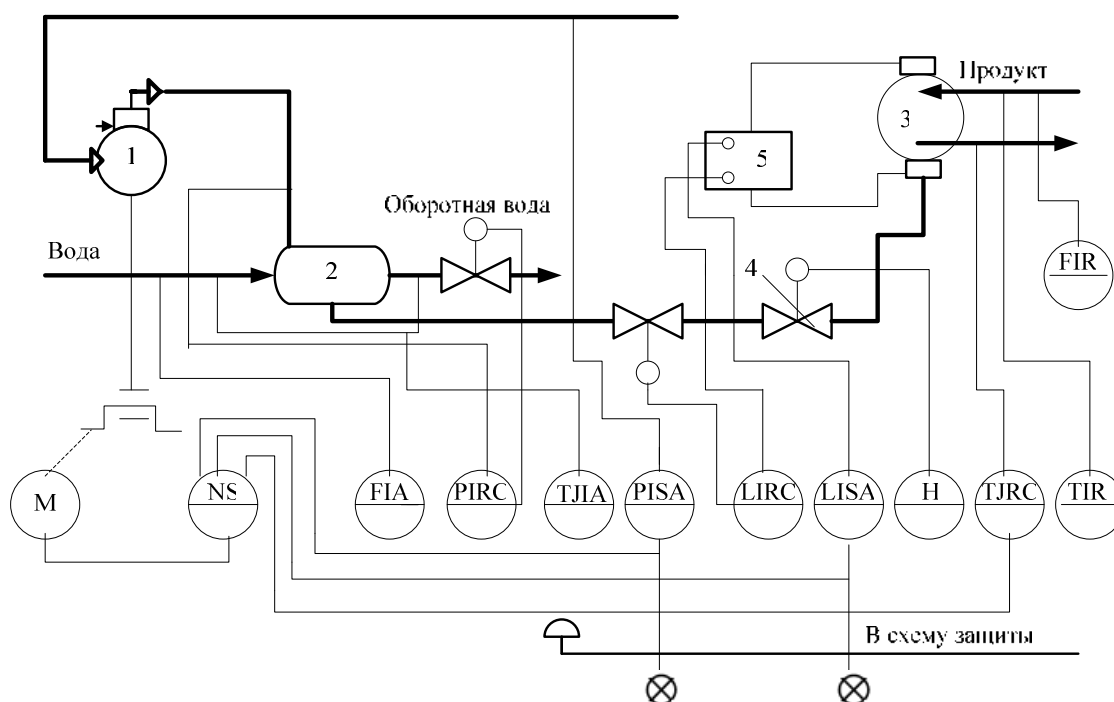
### ***Автоматизация процесса нагревания горючих продуктов***

Чтобы исключить взрывоопасную ситуацию в поверхностных теплообменниках, необходимо предусмотреть методы и средства, предотвращающие взаимное проникновение теплоносителей (если оно может привести к образованию взрывоопасной среды). Особенно это касается тех теплообменников, в которых давление горючего теплоносителя выше, чем давление негорючего.

При снижении уровня нагреваемой горючей жидкости в теплообменнике и оголении поверхности теплообмена (что может привести к перегреву, высушиванию и разложению горючего продукта, развитию неуправляемых процессов) должны сработать устройства сигнализации и блокировки (последние должны прекратить подачу греющего агента).

### **9.2.2. Искусственное охлаждение**

Типовое решение автоматизации рассмотрим на примере установки охлаждения, состоящей из поршневого компрессора 1, конденсатора 2, испарителя 3 (с кипящим хладагентом в межтрубном пространстве) и дросселирующего элемента 4 (рисунок 9.20).



**Рис. 9.20.** Схема автоматизации процесса искусственного охлаждения:  
1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – испаритель; 4 – дросселирующий элемент;  
5 – выносная камера

В качестве показателя эффективности примем конечную температуру охлаждаемого продукта  $t_k$  (часто рассола). Поддержание ее на постоянном значении путем корректировки технологических режимов аппаратов, входящих в объект управления, будет целью управления процессом искусственного охлаждения.

Конечная температура охлаждаемого продукта определяется параметрами охлаждаемого продукта и хладагента, поступающих в испаритель. Параметры продукта зависят от хода технологического процесса, для проведения которого применяется данная установка охлаждения. С их изменением, а также с изменением параметров воды, подаваемой в конденсатор, в объект будут поступать внешние возмущения: температура  $t_k$  при этом будет отклоняться от заданного значения. С другой стороны, варьируя параметры хладагента (в частности, его расход), сравнительно легко управлять процессом. Из сказанного следует, что главным и ведущим, основным узлом регулирования процесса искусственного охлаждения должен быть регулятор температуры  $t_k$ , а регулирующие воздействия, целесообразно вносить изменением расхода хладагента, используя метод пуска и останова поршневого компрессора. При этом холодопроизводительность установки будет изменяться так, что возмущающие и регулирующие воздействия полностью компенсируются.

Одним из сильных возмущений, которые могут поступать в испаритель через дросселирующий элемент 4, является изменение давления в конденсаторе 2. Последнее может произойти, например, при колебаниях параметров охлаждающей воды. Для ликвидации таких возмущений давление конденсации стабилизируют, изменяя расход воды, подаваемой в испаритель.

Работа испарителя в значительной мере определяется также степенью заполнения его жидким хладагентом. Для большинства испарителей существует оптимальная степень заполнения, при отклонении от которой эффективность процесса снижается вследствие неполного использования теплопередающей поверхности испарителя или из-за «влажного» хода компрессора. Определенная степень заполнения поддерживается стабилизацией уровня, который измеряется в выносной камере 5. Регулятор уровня воздействует на регулирующий орган, помещенный между конденсатором и испарителем. В случае непрерывного дросселирования хладагента (что обеспечивают все регуляторы, кроме позиционных) регулирующий орган будет одновременно служить и дросселирующим элементом 4, изменяющим давление хладагента от значения, соответствующего давлению конденсации, до значения, соответствующего давлению кипения.

Для безаварийной работы установки следует сигнализировать повышение уровня хладагента выше предельного значения для предотвращения «влажного» хода компрессора, а также ввиду возможности замерзания продукта. В случае достижения этими параметрами предельно допустимых значений срабатывают устройства защиты, отключающие компрессор.

При искусственном охлаждении контролю подлежат расходы продукта и охлаждающей воды, а также их начальные и конечные температуры. Сигнализации и контролю, кроме того, подлежат все параметры компримирования газов.

### ***Регулирование компрессоров установок искусственного охлаждения***

В зависимости от типа компрессора регулирование его работы может производиться различными способами. В наиболее мощных холодильных установках используют винтовые компрессоры, снабженные специальным золотником (ползуном). Перемещаясь параллельно осям винтов под действием исполнительного механизма регулятора, золотник изменяет их ход сжатия и тем самым – производительность компрессора.

### ***Регулирование перегрева паров после испарителя***

При использовании хладагентов с низкой теплотой парообразования (например, фреонов) нельзя принимать уровень хладагента в качестве параметра, характеризующего степень заполнения испарителя (ввиду бурного вспенивания). Кроме того, точность работы уровнемера с выносной камерой часто недостаточно высока, так как уровень жидкости в этой камере может отличаться от уровня в испарителе. Это обуславливается различной степенью насыщения кипящей жидкости паром и, следовательно, различным значением плотности кипящей жидкости.

Косвенным параметром, по которому судят о степени заполнения испарителя, служит перегрев паров на выходе испарителя: чем больше перегрев, тем меньше заполнение, то есть больше теплопередающая поверхность, и наоборот. В зависимости от разности температур кипящего хладагента и перегретых паров, позиционный регулятор открывает или закрывает клапан на линии жидкого хладагента.

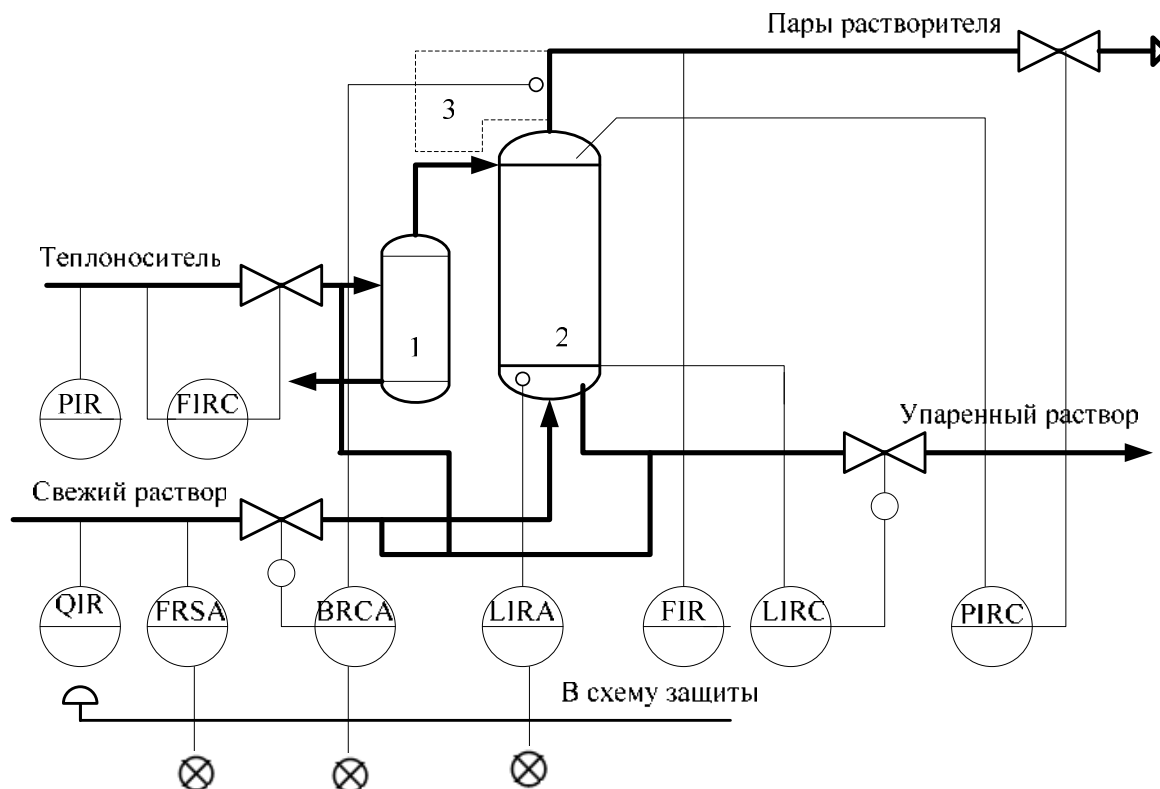
### **9.2.3. Выпаривание**

Основные принципы управления процессом выпаривания рассмотрим на примере однокорпусной выпарной установки естественной циркуляции (рис. 9.21). Показателем эффективности процесса является концентрация упаренного раствора, а целью управления – поддержание определенного значения этой концентрации.

Расход свежего раствора можно стабилизировать или изменять для достижения цели управления процессом выпаривания. Его уменьшение приводит к снижению скорости движения раствора по аппарату и, следовательно, к увеличению концентрации. Это же можно сказать и о расходе упаренного раствора.

Концентрация свежего раствора определяется предшествующими технологическими процессами; ее изменения будут сильными возмущениями для процесса выпаривания. Расход паров растворителя определяется параметрами исходного раствора, а также режимными технологическими

параметрами в аппарате: температурой, давлением, концентрацией раствора и интенсивностью подвода тепла.



**Рис. 9.21.** Схема автоматизации процесса выпаривания: 1 – кипятильник; 2 – выпарной аппарат; 3 – устройство для измерения температурной депрессии

Если предположить, что цель управления достигнута, то есть концентрация  $Q_{уп}$  на выходе из аппарата постоянна и соответствует заданной, то между температурой и давлением в аппарате будет соблюдаться определенная зависимость. Поэтому достаточно стабилизировать только один из этих параметров. В большинстве случаев это – давление в аппарате, которое можно регулировать изменением отбора пара из аппарата.

Интенсивность подвода тепла к кипятильнику определяется параметрами теплоносителя: расходом, температурой, давлением и энтальпией.

К наиболее сильным возмущающим воздействиям относятся изменения расхода теплоносителя. Эти возмущения компенсируют установкой стабилизирующего регулятора расхода. При целенаправленном изменении расхода теплоносителя в объект могут вноситься регулирующие воздействия. Однако при этом может возникнуть «пленочное кипение», что неэкономично. С изменением других параметров теплоносителя в объекте появятся другие возмущения.

Анализ объекта управления показал, что часть параметров, определяющих концентрацию, будет изменяться. Сильным возмущением процесса выпаривания, как правило, является и «засоление» греющей камеры теплообменника. Чтобы при наличии возмущающих воздействий цель управления была достигнута, следует в качестве главной регулируе-

мой величины брать концентрацию, а регулирующее воздействие вносить изменением расхода свежего раствора. Можно в качестве регулирующего воздействия использовать и изменение расхода упаренного раствора, а также расхода теплоносителя.

Концентрацию упаренного раствора определяют по разности между температурами кипения раствора и растворителя (по температурной депрессии). О ее значениях можно судить и по другим косвенным параметрам: плотности, удельной электропроводности, показателю преломления света или температуре замерзания упаренного раствора.

Для достижения цели управления процессом следует регулировать температурную депрессию, давление в аппарате и расход теплоносителя. Для поддержания материального баланса в аппарате необходимо регулировать уровень раствора изменением расхода упаренного раствора.

В процессе выпаривания контролируют расходы растворов, а также паров растворителя; температуры растворов; температуру, давление и расход теплоносителя; давление, температуру и уровень в аппарате; температурную депрессию. Сигнализации подлежат отклонение концентрации упаренного раствора от заданного значения и прекращение подачи раствора. В последнем случае устройство защиты должно отключить линию теплоносителя для предотвращения порчи продукта и аварии.

### ***Регулирование с помощью двухконтурных систем***

Улучшить качество регулирования можно, используя многоконтурное регулирование расхода свежего раствора, упаренного раствора, паров растворителя с коррекцией соответственно по температурной депрессии, уровню и давлению в аппарате.

### **Регулирование разрежения в вакуум-выпарных аппаратах**

Разрежение в вакуум-выпарных аппаратах создается с помощью барометрических конденсаторов и вакуум-насосов, служащих для отсоса смеси не сконденсировавшихся газов с воздухом. Регулировать разрежение можно изменением расхода и температуры воды; расхода паров растворителя, поступающих в барометрический конденсатор; расхода воздуха, подсасываемого вакуум-насосом из атмосферы.

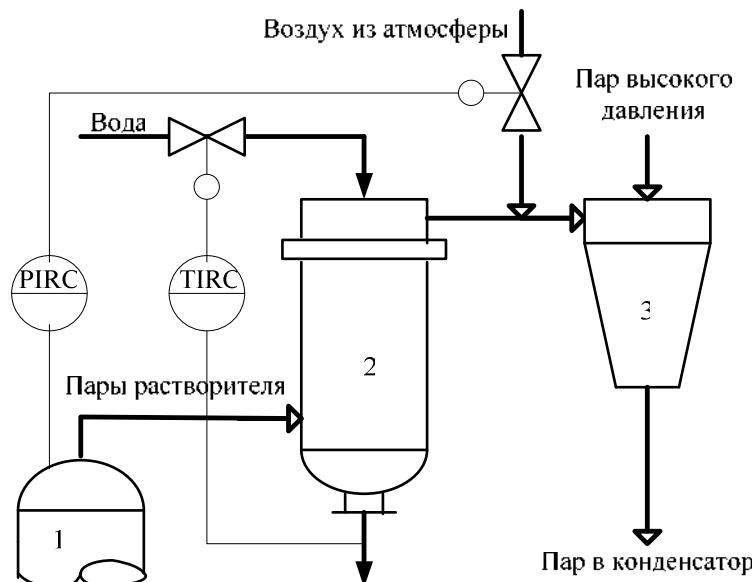
Все эти способы нашли применение в промышленности, но наиболее часто применяют последний способ (рис. 9.22).

Расход воды при этом изменяется в зависимости от температуры стоков из барометрического конденсатора (в качестве регулируемой величины можно использовать также перепад температур воды на входе и выходе конденсатора).

### ***Регулирование концентрации упаренного раствора изменением его расхода***

В отдельных случаях для предотвращения оголения греющих труб кипятильника предъявляют повышенные требования к узлу регулирования уровня в выпарном аппарате.





**Рис. 9.22.** Схема регулирования системы создания вакуума:  
1 – выпарной аппарат; 2 – барометрический конденсатор; 3 – вакуум-насос

Качество регулирования уровня можно улучшить, внося регулирующие воздействия изменением расхода свежего раствора. Концентрацию упаренного раствора в этих случаях стабилизируют изменением расхода упаренного раствора, а узлы регулирования расхода теплоносителя и давления в аппарате остаются прежними.

Такая схема предпочтительна также при частых «засолениях» поверхности теплообмена и связанных с ними промывках теплообменника, так как регуляторы могут быть включены сразу после промывки. При регулировании концентрации в соответствии с типовым решением включение выпарного аппарата производится вручную.

### ***Регулирование концентрации упаренного раствора изменением расхода теплоносителя***

Если расход свежего раствора определяется ходом предшествующего технологического процесса, то этот параметр нельзя использовать для регулирования концентрации или уровня. В этих случаях концентрацию упаренного раствора регулируют изменением расхода теплоносителя. Аналогичная ситуация возникает и в случае, если расход упаренного раствора определяется следующим процессом. Тогда расход свежего раствора следует использовать для стабилизации уровня, и единственным регулирующим воздействием при стабилизации концентрации будет изменение расхода теплоносителя.

### ***Регулирование при постоянной концентрации растворенного вещества в свежем растворе***

Если отсутствует одно из самых сильных возмущающих воздействий – изменение концентрации вещества в свежем растворе, целесообразно вместо сложного и ненадежного узла регулирования концентрации упаренного раствора использовать изменение расхода теплоносителя.

ренного раствора установить регулятор расхода свежего раствора. При этом концентрацию только контролируют и по ее значению периодически производят перенастройку регуляторов системы.

При сильно изменяющихся расходах свежего раствора и теплоносителя качество регулирования показателя эффективности можно улучшить (уменьшить запаздывание), регулируя соотношение этих расходов изменением расхода теплоносителя. Регулятор соотношения будет реагировать и на другие возмущения, так как они приведут в конечном итоге к срабатыванию регулятора концентрации раствора и изменению расхода свежего раствора.

**Управление выпарными аппаратами периодического действия**  
Операция выпарки здесь осуществляется при стабилизации уровня изменением расхода свежего раствора до момента достижения заданного значения температурной депрессии. При срабатывании реле температурной депрессии устройство управления дает сигнал на открытие магистрали упаренного раствора и закрытие магистралей свежего раствора и теплоносителя путем прекращения питания регуляторов уровня и давления (давление в аппаратах периодического действия регулируется изменением расхода теплоносителя). Начинается операция выгрузки. При полном опорожнении аппарата по сигналу от реле уровня вновь начинается операция загрузки и выпарки.

Можно осуществлять и полупериодический режим работы, когда выпарной аппарат опорожняется лишь частично. Для этой цели регулятор уровня должен быть дополнен логическим устройством, которое при достижении уровнем какого-то промежуточного значения срабатывает и дает сигнал на открытие клапана свежего раствора. Добавляемый в аппарат свежий раствор снижает концентрацию раствора, срабатывает реле температурной депрессии, и выгрузка продукта прекращается.

### **Регулирование работы многокорпусных и многоступенчатых установок**

При управлении процессом выпаривания в установках такого типа стабилизируют концентрацию упаренного раствора в последнем корпусе изменением расхода упаренного раствора. Уровень во всех корпусах при таком способе стабилизации концентрации регулируется изменением расхода раствора, подаваемого в корпус. В промышленности реализованы также схемы стабилизации концентрации упаренного раствора изменением расхода раствора, подаваемого в последний корпус. Соответственно изменится способ регулирования уровня.

Стабилизация давления в корпусах установки обеспечивается самостоятельными регуляторами давления путем сброса части пара в общую линию паров растворителя. В том случае, если весь пар из предыдущего корпуса направляется в кипятильник следующего, стабилизируют давление только в последнем корпусе изменением расхода выводимых из него паров растворителя.

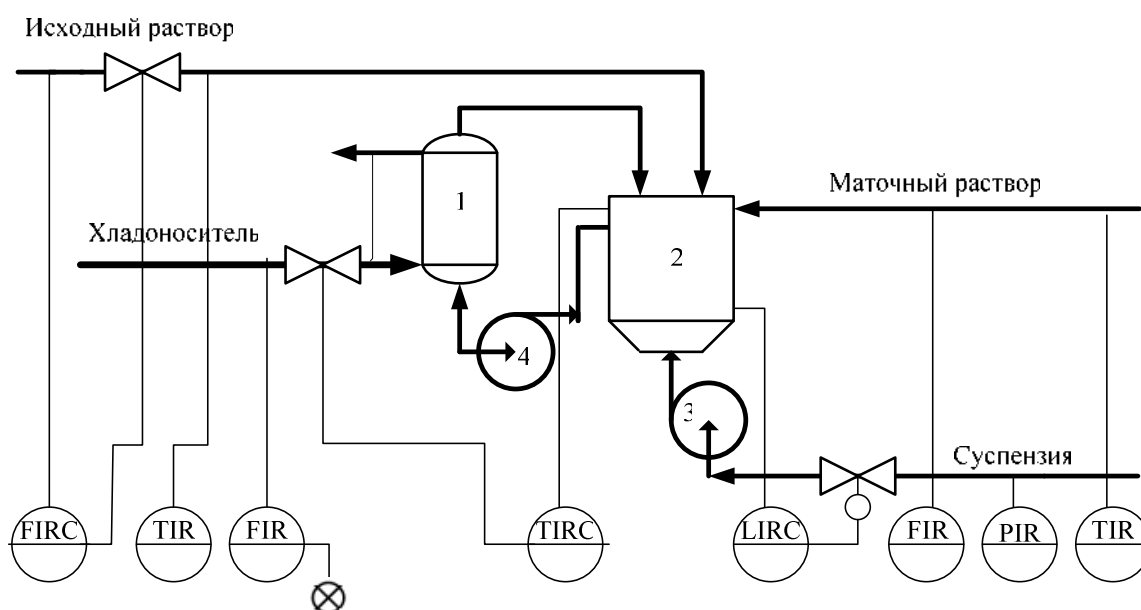
Расход теплоносителя, поступающего в кипятильник, стабилизируют регулятором расхода.

### ***Регулирование работы теплообменника свежего раствора***

Нормальный технологический режим выпарного аппарата возможен лишь при температуре свежего раствора, близкой к температуре кипения. При более низкой температуре раствора нарушится циркуляция раствора и снизится коэффициент теплопередачи; перегрев раствора приведет к вскипанию его на входе в аппарат, что сопровождается выделением кристаллов соли и забивкой трубопроводов. Поэтому при наличии теплообменника на линии свежего раствора температуру раствора на его выходе регулируют изменением расхода теплоносителя.

## **9.2.4. Кристаллизация**

Основные принципы управления процессом кристаллизации рассмотрим на примере кристаллизатора с выносным холодильником (рис.9.23).



**Рис. 9.23.** Схема автоматизации процесса кристаллизации: 1 – холодильник; 2 – кристаллизатор; 3 – насос для суспензии; 4 – циркуляционный насос

Показателем эффективности процесса является размер полученных кристаллов. Для обеспечения текучести и неслеживаемости кристаллических веществ необходимо получать кристаллы одинакового размера, что и является целью управления. Размер кристаллов определяется, с одной стороны, условиями, при которых проводится процесс (температурой в аппарате, интенсивностью охлаждения и перемешивания раствора), а с другой – свойствами поступающего на кристаллизацию раствора (степенью на-

сыщения твердой фазой, то есть начальной концентрацией, а также температурой, содержанием примесей и т. д.).

Постоянство температуры в кристаллизаторе можно обеспечить изменением расхода хладоносителя. Интенсивность охлаждения раствора при постоянной температуре в аппарате будет определяться скоростью прохождения раствора через аппарат; для поддержания ее на постоянном уровне стабилизируют расход раствора. Интенсивность перемешивания раствора в кристаллизаторе при использовании насоса с постоянными характеристиками можно считать постоянной.

Концентрация твердой фазы в исходном растворе, температура его и наличие примесей являются начальными параметрами процесса, определяемыми предыдущим технологическим процессом. Их изменения будут приводить к нарушению технологического режима кристаллизации.

В связи с тем, что в кристаллизатор поступают многочисленные возмущения, в качестве регулируемой величины следовало бы взять размеры кристаллов. Однако пока отсутствуют датчики как непосредственного, так и косвенного измерения размеров-кристаллов, поэтому ограничиваются стабилизацией температуры в аппарате. Для поддержания материального баланса кристаллизатора следует стабилизировать уровень в аппарате. Регулирующим воздействием при этом может быть изменение расхода суспензии. Маточный раствор выводится из аппаратов за счет перелива, поэтому его расход не регулируется. Стабилизация указанных параметров, как правило, обеспечивает заданные размеры кристаллов.

Контролировать следует расходы поступающего раствора, маточного раствора, суспензии и хладоносителя, их температуру, уровень и температуру в кристаллизаторе. Контролируются и сигнализируются, кроме того, параметры насосов раствора и суспензии.

### ***Регулирование концентрации кристаллов в суспензии***

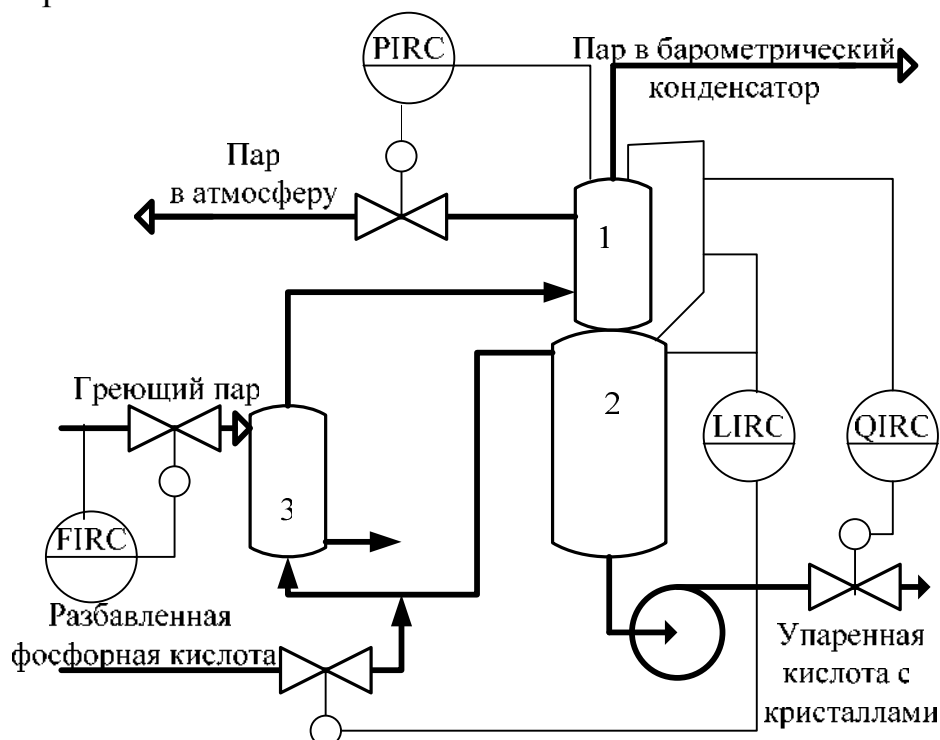
В отдельных случаях параметром, характеризующим процесс кристаллизации, является концентрация кристаллов в суспензии. Тогда, требуется управлять процессом таким образом, чтобы концентрация кристаллов была постоянной, максимально возможной для данных условий. Концентрация кристаллов в суспензии в некоторой степени характеризует и их размеры; например, чем больше концентрация, тем интенсивнее процесс кристаллизации и тем больше размер кристаллов. На практике концентрацию кристаллов определяют по плотности суспензии.

Регулирующие воздействия следует вносить путем изменения расхода исходной смеси; все остальные узлы регулирования остаются теми же, что при типовом решении.

### **Регулирование кристаллизатора выпарного типа**

Кристаллизацию за счет испарения части растворителя проводят в аппаратах выпарного типа, поэтому регулирование процессов в таких аппаратах аналогично регулированию процесса выпаривания.

На рисунке 9.24 показана схема регулирования испарителя-кристаллизатора с естественной циркуляцией. Особенностью схемы является регулирование перепада уровней в верхней и нижней камерах выпарного аппарата.



**Рис. 9.24.** Схема регулирования одноступенчатого кристаллизатора выпарного типа:  
1 – верхняя камера; нижняя камера;

### 9.3. Управление массообменными процессами

#### 9.3.1 Ректификация

Процесс ректификации относится к основным процессам химической технологии. Показателем эффективности его является состав целевого продукта. В зависимости от технологических особенностей в качестве целевого продукта могут выступать как дистиллят, так и кубовый остаток. Поддержание постоянного состава целевого продукта и будет являться целью управления. Состав другого продукта при этом может колебаться в определенных пределах вследствие изменения состава исходной смеси. В дальнейшем будем считать целевым продуктом дистиллят. В качестве объекта управления при автоматизации процесса ректификации примем установку для разделения бинарной смеси, состоящую из тарельчатой ректификационной колонны 2, выносного кипятильника 4, дефлегматора 3 и теплообменника для подогрева исходной смеси 1 (рисунок 9.25).

Ректификационная установка является сложным объектом управления со значительным временем запаздывания (например, в отдельных случаях выходные параметры процесса начнут изменяться после изменения параметров сырья лишь через 1 – 3 ч), с большим числом параметров, характеризующих процесс, многочисленными взаимосвязями между ними, распределенностью их и т. д.

Трудность регулирования процесса объясняется также частотой и амплитудой возмущений. Возмущениями являются изменения начальных параметров исходной смеси, тепло- и хладоносителей, изменения свойств теплопередающих поверхностей, отложение веществ на стенках и т. д. Кроме того, на технологический режим ректификационных колонн, устанавливаемых под открытым небом, влияют колебания температуры атмосферного воздуха.

Показатель эффективности процесса – концентрация искомого компонента в дистилляте самым непосредственным образом зависит от начальных параметров исходной смеси. С их изменением в процесс могут поступать наиболее сильные возмущения, в частности по каналу состава исходной смеси, так как состав определяется предыдущим технологическим процессом.

Расход сырья может быть стабилизирован с помощью регулятора расхода. Диафрагма и исполнительное устройство регулятора должны быть установлены до теплообменника, так как после нагревания смеси до температуры кипения в этом теплообменнике поток жидкости может содержать паровую фазу, что нарушает работу автоматических устройств.

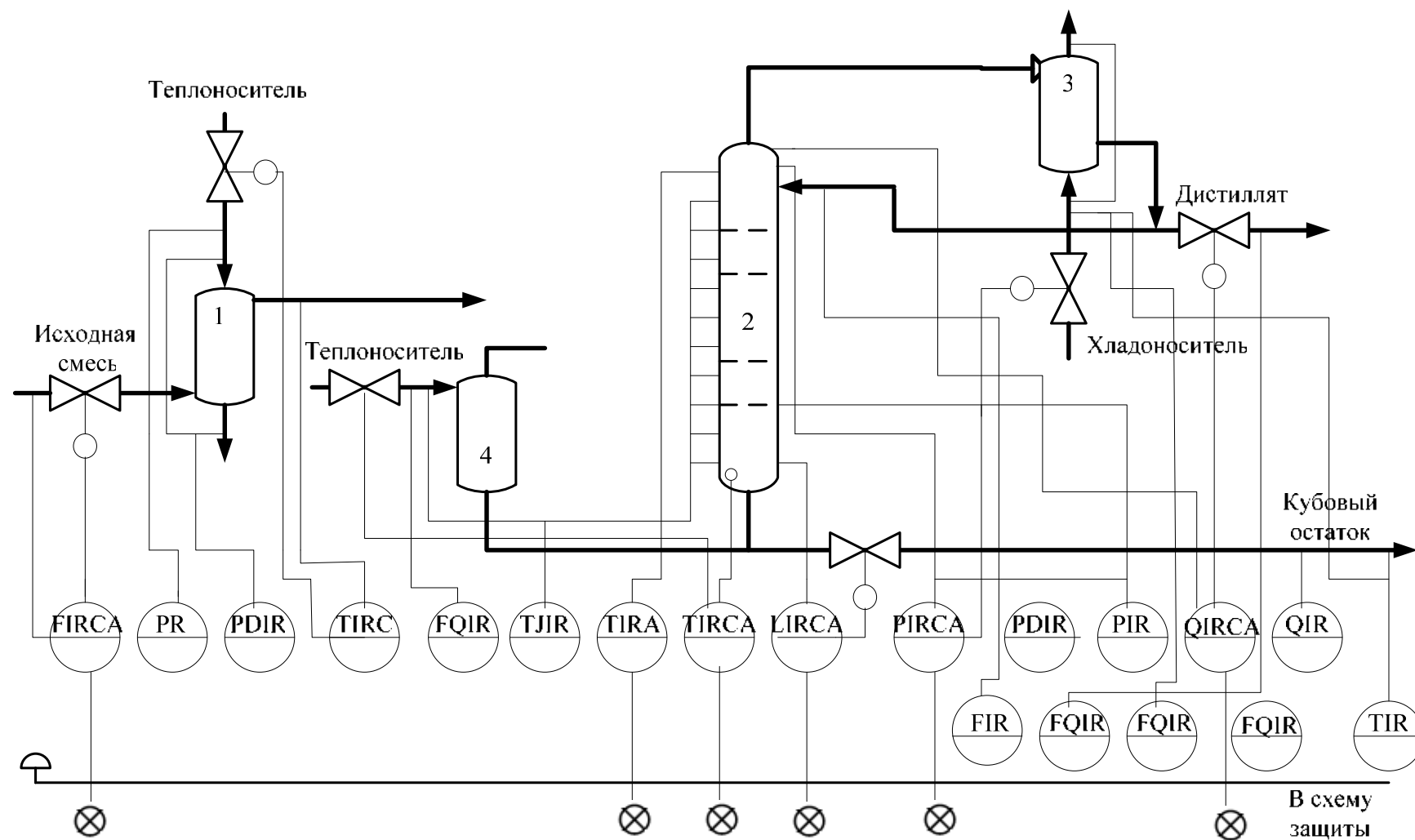
Большое значение для процесса ректификации имеет температура исходной смеси. Если смесь начинает поступать в колонну при температуре, ниже температуры кипения, она должна нагреваться до этой температуры парами, идущими из нижней части колонны. Конденсация паров при этом возрастает, что нарушает весь режим процесса ректификации. Поэтому температуру исходной смеси стабилизируют изменением расхода теплоносителя, подаваемого в теплообменник.

Рассмотрим возможности регулирования режимных параметров верхней (укрепляющей) части ректификационной колонны, непосредственно определяющих состав дистиллята.

Давление легко стабилизировать изменением расхода пара из колонны. Исполнительное устройство при этом устанавливают не на шлемовой трубе, соединяющей верхнюю часть ректификационной колонны с дефлегматором, а на линии хладоносителя, поступающего в дефлегматор. Это вызвано, в частности, тем, что при дросселировании пара в шлемовой трубе дефлегматор начинает работать в режиме переменного давления, что неблагоприятно влияет на процесс конденсации.

Стабилизация давления в верхней части колонны необходима не только для поддержания заданного состава целевого продукта, но и для обеспечения нормального гидродинамического режима колонны, так как при понижении давления может произойти «захлебывание» колонны и восходящий поток пара начинает препятствовать стеканию жидкости (по тарелкам вниз), а при его повышении уменьшается скорость парового потока, что связано с уменьшением производительности установки.

Сравнительно просто регулировать также концентрацию изменением расхода флегмы: чем выше этот расход, тем больше в жидкости низкокипящего компонента, и наоборот.



**Рис. 9.25.** Схема автоматизации процесса ректификации: 1 – теплообменник исходной смеси; 2 – ректификационная колонна; 3 – дефлегматор; 4 – кипятильник

На практике часто регулируют состав паров (а в отдельных случаях и непосредственно состав дистиллята) изменением расхода флегмы. Регулирующий орган во всех случаях может быть установлен как на линии флегмы, так и на линии дистиллята, что равноценно. В качестве анализаторов состава используют хроматографы и газоанализаторы.

Итак, для достижения цели управления необходимо стабилизировать давление и состав жидкости в верхней части колонны. Качество регулирования этих параметров зависит от состава и скорости паров, движущихся из нижней (исчерпывающей) части колонны и определяемых ее технологическим режимом – главным образом давлением, температурой и составом жидкости в кубе колонны.

Необходимость стабилизации давления паров в кубе отпадает, так как ректификационная колонна обладает хорошо выраженными свойствами самовыравнивания по этому параметру, и регулирование давления в укрепляющей части колонны приведет к тому, что давление в кубе через несколько минут примет определенное (несколько большее, чем в верхней части колонны) значение.

Этого нельзя сказать о температуре (составе) жидкости в кубе (как и в верхней, части колонны, в кубе, кроме давления, достаточно регулировать лишь один параметр). Изменение расхода флегмы с целью регулирования второго параметра приводит к изменению параметров в кубе колонны лишь, через несколько часов. В связи с этим для поддержания нормального режима в кубе возникает необходимость независимого регулирования одного из этих параметров. Обычно стабилизируют температуру, поскольку, с одной стороны, датчик температуры значительно проще и надежнее, чем анализаторы состава, а с другой стороны, если целевым продуктом является» дистиллят, то требования к технологическому режиму в нижней части колонны менее жесткие, чем в верхней части. Итак, в кубе колонны следует регулировать температуру.

Регулирующие воздействия в нижней части колонны могут осуществляться изменением расходов кубового остатка и теплоносителя, подаваемого в кипятильник. Если учесть, что расход остатка следует использовать для поддержания материального баланса, то есть для стабилизации уровня жидкости в кубе, то единственным регулирующим воздействием при регулировании температуры является изменение расхода теплоносителя.

Таким образом, если целевым продуктом является дистиллят, то для достижения цели управления следует регулировать расход исходной смеси, температуру исходной смеси, давление в верхней части колонны, состав жидкости в верхней части колонны, температуру и уровень жидкости в кубе.



(Если же целевым продуктом является кубовый остаток, то в нижней части колонны регулируют состав жидкости изменением расхода теплоносителя, а в верхней – температуру изменением расхода флегмы). Контролю подлежат: расход исходной смеси, дистиллята, флегмы, остатка, тепло- и хладоносителей; состав и температура конечных продуктов; температура исходной смеси, тепло- и хладоносителя; уровень в кубе колонны; температура по высоте колонны; давления в верхней и нижней частях колонны, а также перепад этих давлений.

Сигнализации подлежат значительные отклонения состава целевого продукта, уровня и давления в колонне от заданных значений. При давлении в колонне выше допустимого, а также при прекращении поступления исходной смеси должны сработать автоматические устройства защиты, отключающие ректификационную установку. При этом магистрали теплоносителей, остатка и дистиллята перекрываются, а магистрали хладоносителя и флегмы полностью открываются.

### ***Регулирование параметров на контрольных тарелках***

Основными регулирующими воздействиями, с помощью которых компенсируются возмущения, и достигается цель управления, являются изменения расхода флегмы в верхней части колонны и расхода теплоносителя, подаваемого в кипятильник, – в нижней. От правильности выбора параметров, по значениям которых будут осуществляться изменения этих расходов, во многом зависит достижение цели управления.

Если запаздывания в колонне невелики (колонна имеет небольшое число тарелок, температуры кипения разделяемых компонентов значительно различаются и т. п.), в качестве регулируемых величин могут быть взяты непосредственно составы дистиллята и остатка. При больших запаздываниях этот вариант неприемлем, так как регулирующие воздействия начнут реализовываться только после серьезных нарушений режима всей колонны. Восстановление же режима произойдет лишь после значительно-го отрезка времени. Гораздо удобнее в этих случаях использовать в качестве регулируемой величины состав на промежуточной тарелке, который изменяется гораздо быстрее и сильнее (в 20...50 раз), чем состав на выходе колонны.

### ***Перекрестное регулирование температуры и уровня в кубе ректификационной колонны***

Такое регулирование применяют при разделении смесей сжиженных' газов, а также низкокипящих жидкостей с близкими температурами кипения. При увеличении содержания низкокипящего компонента в кубе колонны температура снижается. Регулятор температуры прикрывает клапан

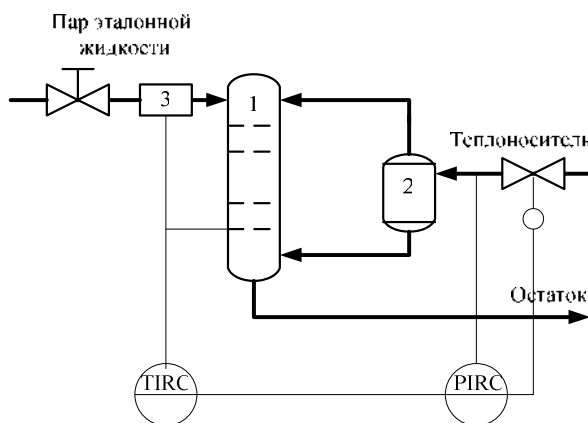
на линии отбора остатка, а связанное с этим увеличение уровня в кубе заставляет регулятор уровня увеличивать подачу пара. Начинается более интенсивное испарение жидкости из куба колонны преимущественно за счет низкокипящего компонента. Температура и уровень возвращаются к заданным значениям. Таким образом, остаток выводится из куба в большом количестве только в том случае, если его состав соответствует заданному. При обычном же способе регулирования температуры и уровня в кубе возможен значительный расход кубовой жидкости с большим содержанием низкокипящего компонента.

### ***Регулирование физико-химических переменных целевых продуктов***

При разделении многокомпонентных смесей находят применение регуляторы физико-химических переменных этих продуктов. К таким переменным параметрам относятся: разность парциальных давлений паров продукта и эталонной жидкости, плотность, температура вспышки, разность температур кипения продукта и эталонной жидкости, начало и конец кипения и др.

Особенно предпочтительны приборы, которые на выходе имеют сигнал, пропорциональный разности значений параметров эталонной жидкости и продукта, так как их выход может непосредственно использоваться в схемах регулирования.

На рисунке 9.26. показан, в частности, узел регулирования состава по разности температур кипения продукта и эталонной жидкости при постоянном давлении в исчерпывающей части колонны.



**Рис. 9.26.** Схема регулирования состава целевого продукта по разности температур кубового остатка и эталонной жидкости:

1 – ректификационная колонна; 2 – кипятильник; 3 – камера конденсации

В куб колонны непрерывно подается небольшое количество насыщенных паров эталонной жидкости – кубового остатка заданного состава.

В камере 3 они конденсируются; температура их измеряется термопарой. Другой термопарой измеряется температура кипящей жидкости в колонне. Термопары соединены по дифференциальной схеме; разность их термоэлектродвижущих сил подается на регулирующий прибор.

Равенство давлений в кубе колонны и в камере 3 обеспечивается небольшой длиной; и достаточно большим (10...15 мм) диаметром трубки, соединяющей камеру конденсации с колонной.

### ***Регулирование температуры***

Температура в колонне обладает значительно меньшим запаздыванием, чем состав. К тому же датчики температуры проще и надежнее, чем датчики состава. Поэтому если к чистоте целевого продукта не предъявляют очень высоких требований, то расход флегмы (или теплоносителя в кипятильник) изменяется не по составу, а по температуре в верхней (нижней) части колонны. Если возмущения поступают в колонну по многим каналам (с изменением параметров исходной смеси, теплоносителей, хладоносителей и т. д.), то улучшения качества регулирования составов целевых продуктов добиваются стабилизацией перепада температур на двух соседних контрольных тарелках, так как перепад температур быстрее реагирует на возмущения, чем температура.

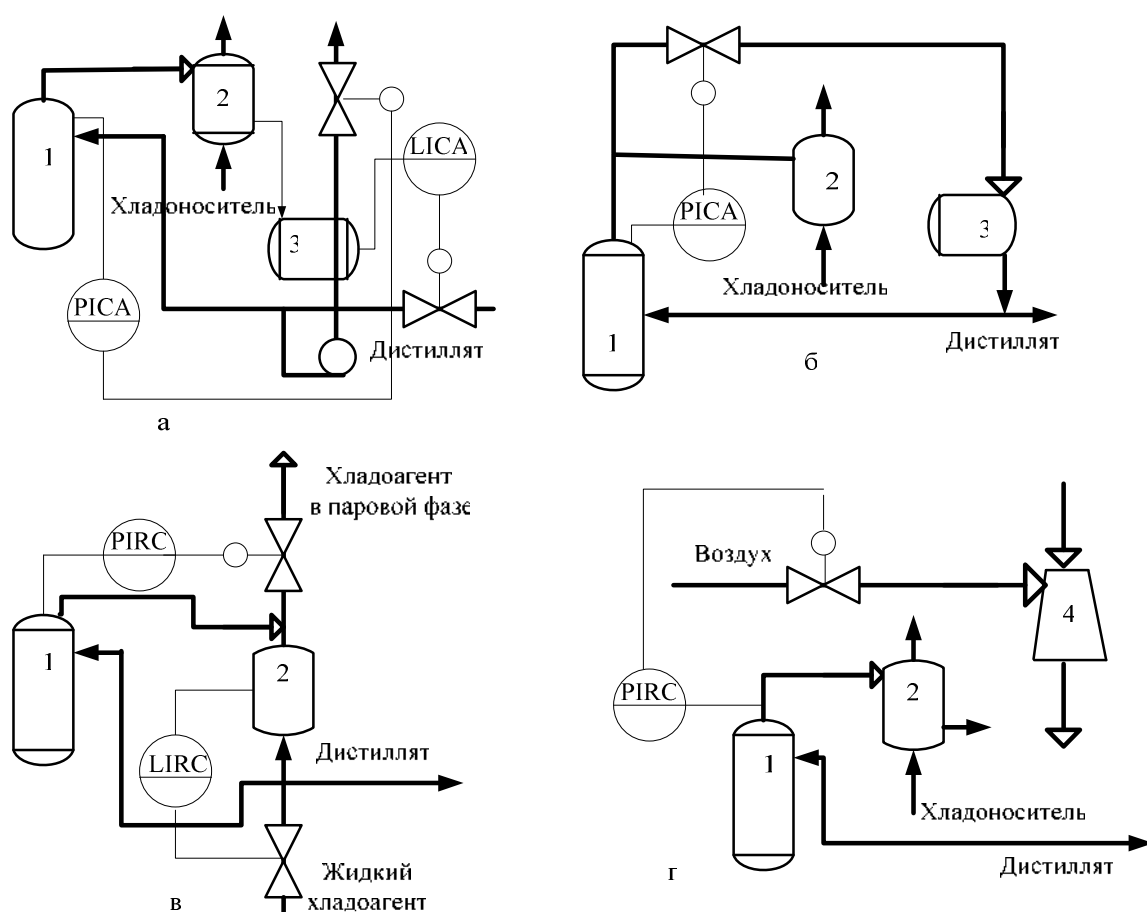
### ***Регулирование давления в верхней части колонны***

Типовой метод регулирования давления изменением расхода хладоносителя, подаваемого в дефлегматор, связан с большими запаздываниями, поэтому нашли применение и другие способы регулирования давления (рисунок 9.27).

Если в парах, выходящих из верхней части колонны, содержатся не конденсирующиеся в дефлегматоре компоненты, применяют схему регулирования давления сбросом этих компонентов из сепаратора. Роль сепаратора может играть и флегмовая емкость (рисунок 9.27, а). Она обеспечивает запас флегмы, необходимый для стабилизации состава дистиллята при значительных возмущениях.

Для поддержания материального баланса в этой емкости следует регулировать уровень изменением расхода дистиллята. Стабилизация уровня, кроме того, обеспечивает постоянное гидростатическое давление перед клапаном на линии-флегмы и, следовательно, улучшает качество регулирования состава.

Улучшение качества регулирования давления в верхней части колонны с отдувкой может быть достигнуто установкой двух исполнительных устройств – на линиях хладоносителя и отдувки. Область работы этих исполнительных механизмов должна быть различной.



**Рис. 9.27.** Схемы регулирования в верхней части колонны: 1 – колонна; 2 – дефлегматор; 3 – емкость; 4 – эжектор (струйный насос для отсасывания жидкости)

Для поддержания материального баланса в этой емкости следует регулировать уровень изменением расхода дистиллята.

Стабилизация уровня, кроме того, обеспечивает постоянное гидростатическое давление перед клапаном на линии флегмы и, следовательно, улучшает качество регулирования состава.

Улучшение качества регулирования давления в верхней части колонны с отдувкой может быть достигнуто установкой двух исполнительных устройств на линиях хладоносителя и отдувки. Область работы этих исполнительных механизмов должна быть различной.

Для регулирования давления используют и метод байпасирования (рис. 9.27, б). В этом случае часть паров из колонны ( $\approx 10\%$ ) перепускают помимо дефлегматора во флегмовую емкость, где они конденсируются. Если запаздывание в системе регулирования давления надо свести к минимальному, дросселируют пары, выходящие из колонны. Оба способа требуют использования крупногабаритных паровых регулирующих органов, что является их недостатком.

В случае полного отсутствия неконденсирующихся паров применяют метод регулирования давления изменением величины поверхности конденсации в дефлегматоре. При уменьшении давления в колонне регулятор давления прикрывает клапан на линии слива конденсата из дефлегматора. При этом уровень конденсата повышается, поверхность конденсации уменьшается, и давление принимает заданное значение.

Если конденсация паров в дефлегматоре осуществляется за счет испарения хладагентов (аммиака, фреона и т. п.), то улучшение качества регулирования давления может быть достигнуто изменением расхода отводимых из дефлегматора паров хладагента. Это приводит к быстрому изменению давления и температуры кипения хладагента и, следовательно, интенсивности испарения. Расход жидкого хладагента может измеряться, или по уровню в дефлегматоре (рисунки 9.2, в), или по перегреву паров с помощью терморегулирующего вентиля.

Разрежение в вакуумных колоннах обычно регулируют изменением подачи воздуха или инертного газа в линию между дефлегматором и паровым (водяным) эжектором (рисунки 9.2, г).

Необходимо заметить, что если возможны сильные изменения расхода хладоносителя, подаваемого в дефлегматор, во всех приведенных выше схемах наряду с узлом регулирования давления следует предусмотреть узел стабилизации расхода хладоносителя.

### ***Регулирование давления в кубе колонны***

При значительном гидравлическом сопротивлении колонны стабилизация давления в верхней ее части не обеспечивает постоянства давления в нижней. Если в колонне разгоняется смесь, состав которой более чувствителен к изменению давления, чем к изменению температуры, то стабилизируют давление не только в верхней части колонны, но и в нижней части изменением расхода теплоносителя в кипятильник.

При ректификации ряда жидких смесей к гидродинамическому режиму колонны предъявляют повышенные требования: в процессе работы должны быть исключены как режим захлебывания, так и режим уноса капель жидкости паровым потоком. В этих случаях стабилизируют перепад давления по высоте колонны.

### **Регулирование расхода флегмы**

В отдельных случаях целесообразно не изменять расход флегмы по составу или температуре в верхней части колонны, а стабилизировать его.

Для такого регулирования имеются следующие предпосылки: отсутствие приборов для непрерывного автоматического определения состава дистиллята, в то время как температура в верхней части колонны при срав-

нительно больших изменениях состава меняется в очень узких пределах; значительная связь между регуляторами температуры в верхней и нижней частях колонны; наличие в исходной смеси примесей компонента с температурой кипения ниже температуры кипения основного низкокипящего компонента; большие запаздывания в массо- и теплопередаче при большой высоте тарельчатых колонн.

Как правило, стабилизация расхода флегмы связана с перерасходом теплоносителя, подаваемого в кипятильник, так как флегма подается заведомо в избытке из расчета компенсации самого сильного возмущения.

### **Регулирование энтальпии исходной смеси**

При значительных изменениях состава исходной смеси регулирование температуры не дает нужного эффекта, так как заданное регулятору значение температуры не всегда соответствует температуре кипения. В этих случаях целесообразнее поддерживать постоянную энтальпию смеси. Для расчета энтальпии устанавливают вычислительное устройство, на вход которого подают значения состава, температуры, и давления исходной смеси. Регулирующее воздействие вносится изменением расхода теплоносителя, подаваемого в теплообменник исходной смеси.

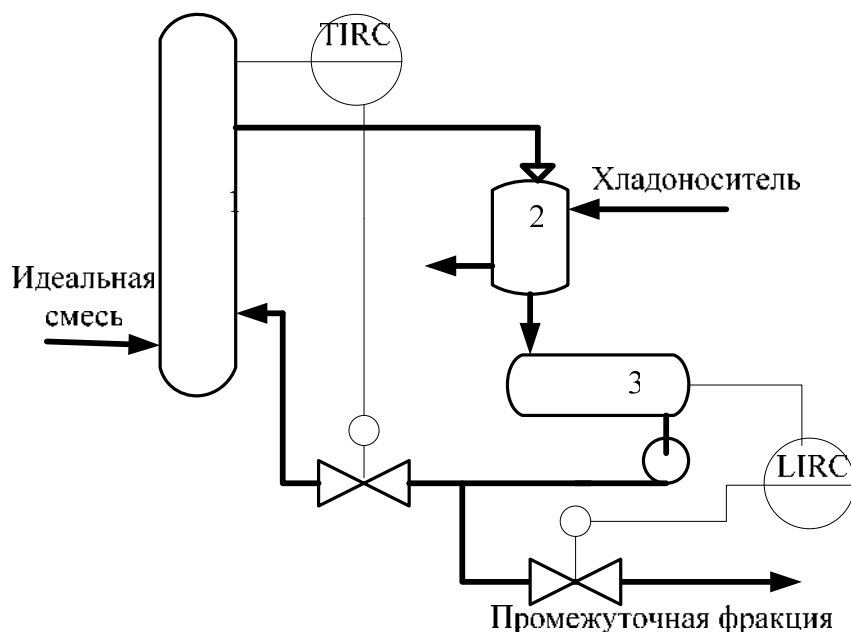
### ***Регулирование температуры паров, возвращаемых из кипятильника в колонну***

Если основные возмущения связаны с изменением параметров теплоносителя, подаваемого в кипятильник, а не с изменением параметров исходной смеси, то датчик температуры нижней части колонны следует, устанавливать на линии пара, движущегося из кипятильника. При этом резко уменьшаются запаздывания в системе.

### ***Регулирование процесса отбора промежуточной фракции***

При ректификации многокомпонентных смесей ряд компонентов отбирают из промежуточной части колонны в виде пара. Затем пар конденсируется в дефлегматоре. Конденсат собирается в емкости, откуда возвращается в колонну, а частично отбирается в виде одного из целевых продуктов (рисунок 9.28).

Для того чтобы обеспечивался заданный состав промежуточной фракции, на тарелке отбора этой фракции необходимо поддерживать постоянный состав или температуру жидкости (постоянство давления пара над тарелкой поддерживается регулятором давления верхней части колонны). Какой из этих параметров следует брать в качестве регулируемого параметра, зависит от требований к чистоте промежуточной фракции (на схеме регулируется температура).



**Рис. 9.28.** Схема регулирования процесса ректификации при отборе промежуточной фракции: 1 – колонна; 2 – дефлегматор; 3 – емкость

Наиболее часто регулирующее воздействие осуществляется изменением расхода промежуточной фракции, возвращаемой в колонну. Если к составу верхнего продукта не предъявляют высоких требований, то регулирующие воздействия могут реализоваться изменением расхода флегмы, так как уменьшение расхода флегмы приводит к уменьшению концентрации низкокипящего компонента в целевой промежуточной фракции, и наоборот. Для соблюдения материального баланса по промежуточной фракции уровень в емкости регулируют.

### ***Каскадно-связанное регулирование***

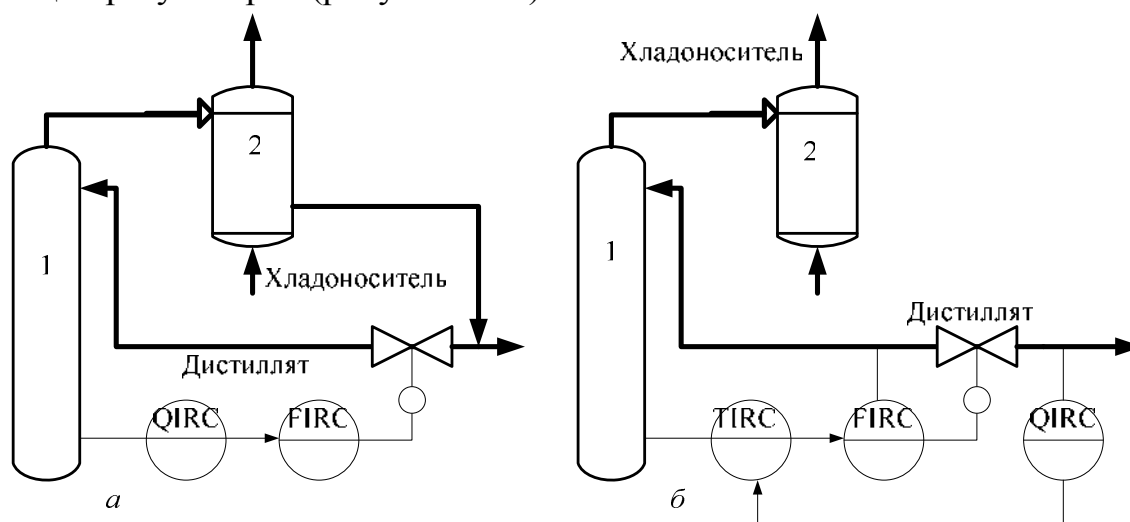
Ректификационные колонны являются объектами управления с большими запаздываниями, поэтому возмущения успевают существенно изменить режим всей колонны прежде, чем изменится состав целевых продуктов и начнется их компенсация основными регуляторами схемы. Улучшения качества управления процессом можно добиться введением дополнительных контуров регулирования.

Каскадно-связанное регулирование почти всегда применяют при регулировании состава конечных продуктов, что объясняется невысокой надежностью анализаторов состава. В качестве вспомогательного параметра при регулировании состава в верхней части колонны (или на контрольной тарелке) используют расход флегмы (рисунок 9.29, а). Если регулируют состав дистиллята, то вспомогательным параметром лучше брать температуру на контрольной тарелке. Можно использовать и трехконтурную сис-

тому (рисунок 9.29, б), в которой первым вспомогательным контуром будет контур регулирования температуры, а вторым – регулирования расхода.

При регулировании состава кубового остатка вспомогательными параметрами могут быть расход теплоносителя (либо его давление, если в качестве теплоносителя используют пар), или температура в нижней части колонны, или же оба параметра.

Когда расход исходной смеси определяется предыдущим технологическим процессом и сильно изменяется во времени, большой эффект могут дать регуляторы соотношения расходов исходной смеси и флегмы (или исходной смеси и теплоносителя, подаваемого в кипятильник) с коррекцией по составу дистиллята (или остатка). Если же сильным изменениям подвержен состав исходной смеси, то целесообразно установить вычислительное устройство (ВУ), которое по текущим значениям параметров входной смеси и с учетом состава целевых продуктов будет рассчитывать значения расходов флегмы и теплоносителя и корректировать работу соответствующих регуляторов (рисунок 9.30).

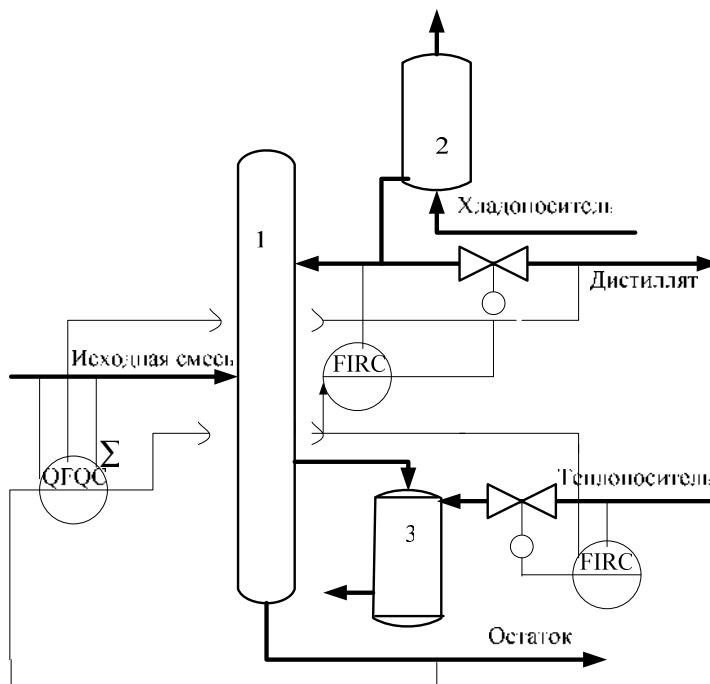


**Рис. 9.29.** Схема двухконтурной (а) и трехконтурной (б) систем регулирования состава дистиллята: 1 – колонна; 2 – дефлегматор

Находит применение и способ автоматического изменения: точки ввода исходной смеси в колонну. Для этого устанавливают специальное устройство, которое в зависимости от состава переключает линию подачи питания на соответствующие тарелки.

Во всех приведенных выше схемах вследствие недостаточной надежности анализаторов состава целесообразно вводить ограничения на корректирующий сигнал по составу, что устраняет нежелательные последствия, возможные при выходе анализатора из строя.





**Рис. 9.30.** Схема регулирования соотношения расходов с коррекцией по составу целевых продуктов: 1 – колонна; 2 дефлегматор; 3 – кипятильник

При регулировании температуры в верхней и нижней частях колонны в качестве вспомогательных параметров обычно берут расходы соответственно флегмы и теплоносителя, подаваемого в кипятильник, при регулировании давления – расход теплоносителя, подаваемого в дефлегматор.

#### ***Регулирование при использовании экстремальных регуляторов и вычислительных машин***

При управлении процессом ректификации могут ставиться задачи получения продуктов максимально возможной чистоты, достижения максимальной производительности колонны, получения минимальной себестоимости целевого продукта и т. п.

Процесс ректификации является одним из самых сложных процессов химической технологии, поэтому применение простых регуляторов, как правило, не исчерпывает всех возможностей увеличения производительности и уменьшения себестоимости продукции. Возникает необходимость применения экстремальных регуляторов или управляющих вычислительных машин.

Экстремальный регулятор, например, служит для изменения расхода флегмы с целью получения максимально возможной чистоты дистиллята. На работу такого регулятора накладываются ограничения по расходу флегмы.

Большой эффект может дать применение управляющих машин, на которые возлагаются следующие функции:

- вычисление оптимальной нагрузки колонны и установление задания регулятору расхода смеси;
- вычисление оптимальных соотношений расходов смеси и флегмы, смеси и теплоносителя и установление задания регуляторам расхода флегмы и теплоносителя;
- корректировка вычисленных соотношений расходов по составу целевого продукта;
- вычисление номера оптимальной тарелки питания и переключение устройств ввода питания на эту тарелку;
- вычисление оптимального значения энтальпии исходной смеси и установление задания регулятору расхода теплоносителя, подаваемого в теплообменник для нагревания смеси;
- переход от одного алгоритма управления к другому при изменении цели управления, при переходе с пускового режима на нормальный и с нормального на останов (алгоритм машины включает ограничения, например, по качеству целевых продуктов) и т. д.

Если ректификации подвергается многокомпонентная смесь, управляющая машина рассчитывает номер тарелки для отбора промежуточного продукта и производит переключение устройств отбора на нужную тарелку.

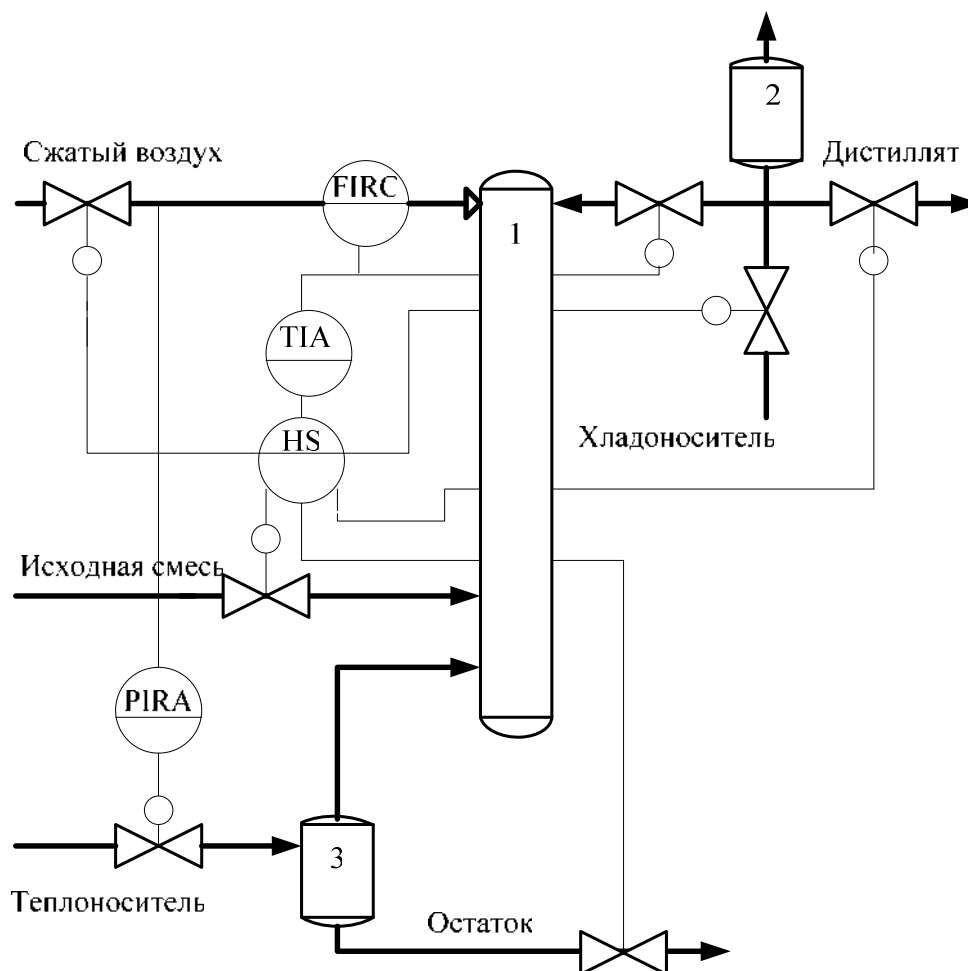
### ***Регулирование периодической ректификации***

Схемы регулирования периодически действующих ректификационных колонн значительно отличаются от приведенных выше. Кроме введения дополнительного программного устройства, которое осуществляет переключение ректификационной установки с одной операции на другую, видоизменяются следующие узлы регулирования (рисунок 9.31).

Регулятор состава (температуры) в нижней части колонны заменяют регулятором расхода теплоносителя. Это объясняется тем, что время, необходимое для разделения исходной смеси в таких колоннах, обратно пропорционально скорости подвода тепла в куб колонны. Поэтому расход теплоносителя целесообразно поддерживать на постоянном, максимально возможном для данных технологических условий значении.

Регулятор давления в периодических колоннах отсутствует, а регулятор температуры в верхней части колонны снабжают специальным блоком. Он получает информацию о степени открытия клапана на магистрали флегмы и настраивается на определенное значение, соответствующее минимальному расходу отбираемого дистиллята, ниже которого процесс становится экономически невыгодным, так как производство себестоимости

дистиллята на его количество, уменьшаясь, достигает уровня эксплуатационных затрат. В этот момент заканчивается отбор дистиллята и начинается отбор остатка.



**Рис. 9.31.** Регулирование колонны периодического действия:  
1 – колонна; 2 – дефлегматор; 3 – кипятильник

### ***Регулирование процесса экстрактивной ректификации***

Особенностью такого процесса является введение в верхнюю часть колонны растворителя, снижающего парциальное давление одного из компонентов. Растворитель должен подаваться в строгом соотношении с расходом исходной смеси, так как в противном случае происходит либо неоправданное увеличение нагрузки колонны, либо некачественное разделение компонентов смеси. С целью поддержания соотношения расходов исходной смеси и растворителя устанавливают регулятор соотношения. Остальные узлы регулирования экстракционной колонны и колонны регенерации растворителя аналогичны приведенным выше.

### ***Автоматизация процесса ректификации горючих продуктов***

Колонны ректификации горючих смесей должны быть обязательно оснащены:

- средствами контроля и регулирования уровня и температуры жидкости в кубе, а также температуры, поступающей на разделение исходной смеси и флегмы;

- средствами сигнализации опасных отклонений значений параметров, определяющих взрывоопасность процесса, и при необходимости, перепада давления между нижней и верхней частями колонны.

В колоннах, работающих под разрежением, с веществами, способными образовывать с кислородом воздуха взрывоопасные смеси, предусматривается автоматический контроль за содержанием кислорода в парогазовой фазе. Для технологических объектов III категории взрывоопасности допускается предусматривать средства периодического лабораторного контроля.

При подаче флегмы в колонну насосами, остановка которых может привести к опасным отклонениям технологического режима, должны быть разработаны меры, обеспечивающие непрерывность технологического процесса.

### **9.3.2. Примеры систем автоматизации ректификационных установок**

Для автоматизации используются различные схемы регулирования.

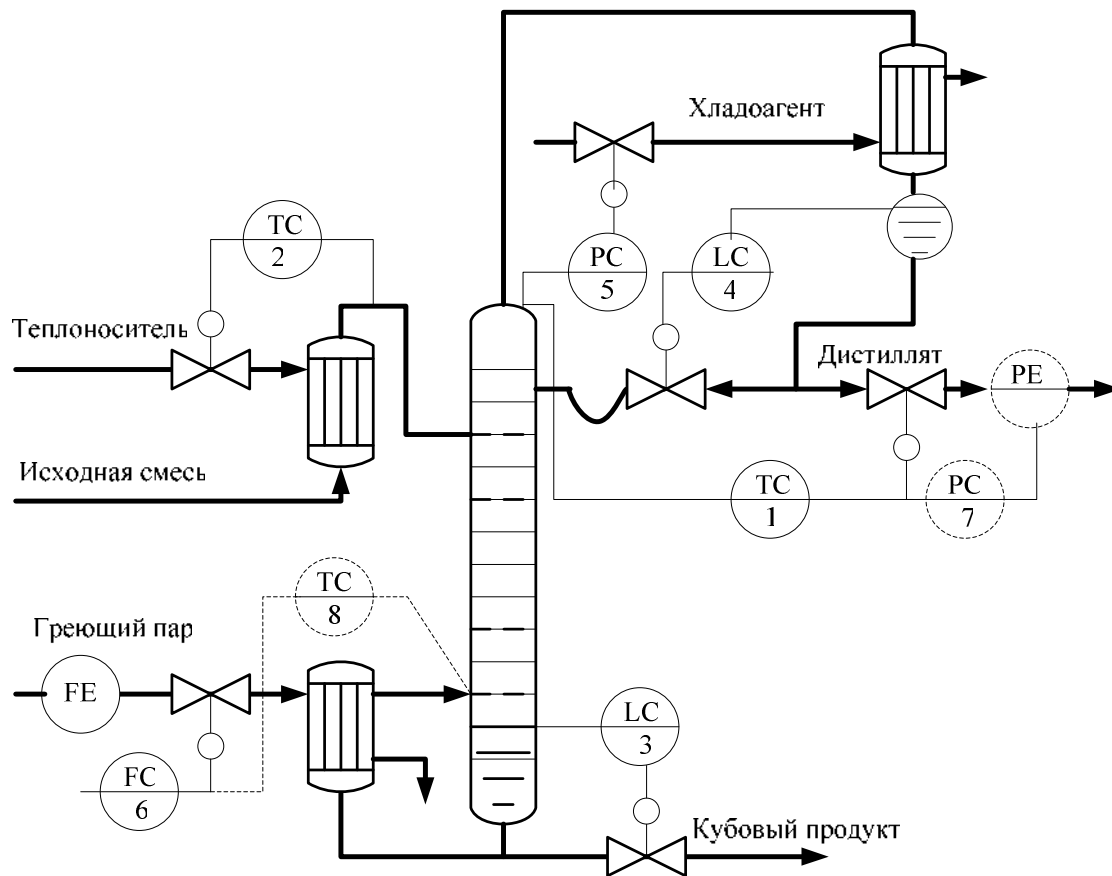
*Вариант 1.* Простейшая система автоматизации ректификационной установки включает шесть одноконтурных САР (рисунок 9.32), каждая из которых выполняет одну из рассмотренных выше задач регулирования.

В целом эта система обеспечивает стабилизацию состава дистиллята и поддержание материального и теплового балансов в установке.

Основным регулятором, стабилизирующим состав дистиллята (при разделении бинарной смеси при постоянном давлении), является регулятор температуры верха колонны 1, воздействующий на отбор дистиллята. Регулятор температуры 2 стабилизирует температуру питания. Регуляторы уровня 3 и 4 обеспечивают поддержание баланса в системе по жидкой фазе, а регулятор давления 5 – по паровой фазе. Регулятор расхода 6 стабилизирует подачу греющего пара в кипятильник.

Если задачей регулирования является стабилизация состава кубового продукта, то расход греющего пара задается регулятором температуры низа колонны 8, а расход дистиллята стабилизируется регулятором 7. Одновременное регулирование составов (или температур) верха и низа колонны обычно не применяют, так как эти координаты связаны между собой, и их

одновременное регулирование по обратной связи может привести к снижению запаса устойчивости системы.



**Рис. 9.32.** Система автоматизации ректификационной установки, построенная на одноконтурных САР отдельных технологических параметров:

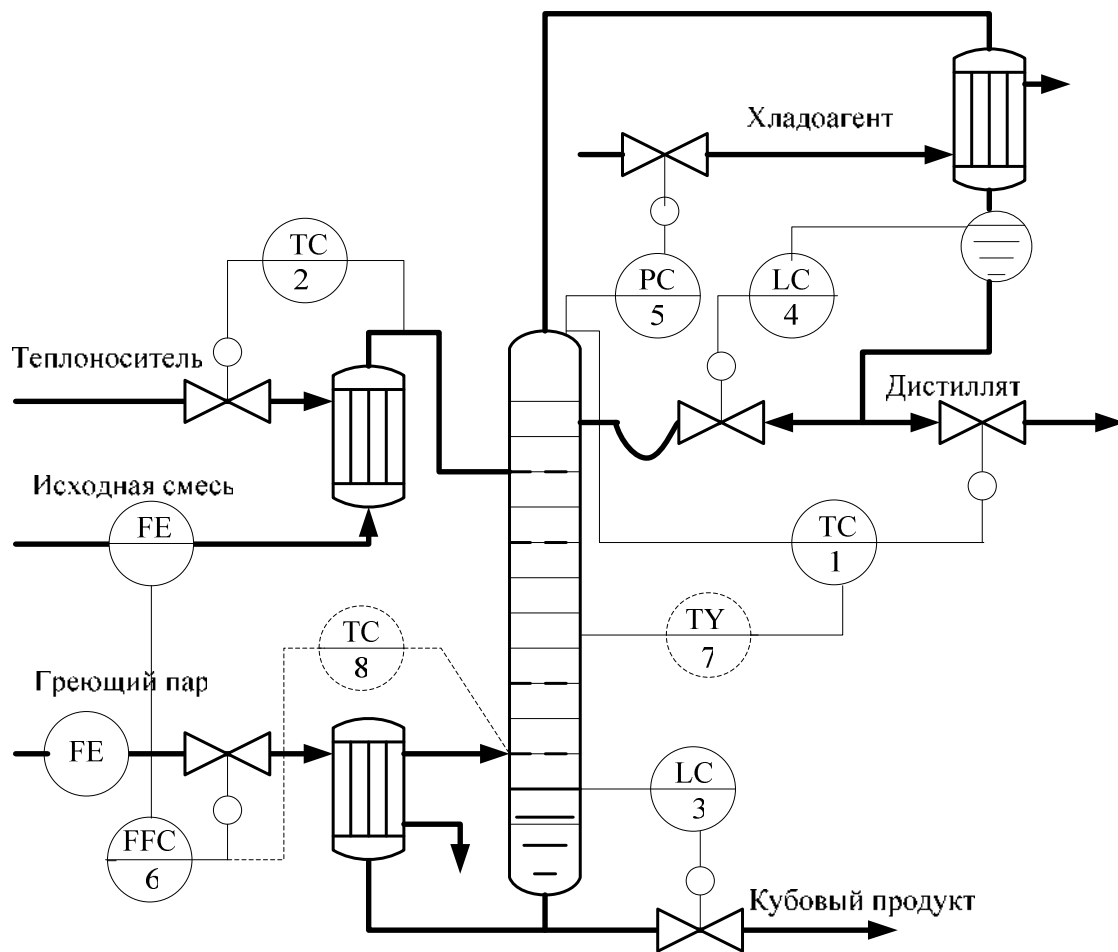
- 1 – регулятор температуры верха колонны; 2 – регулятор температуры питания;
- 3 – регулятор уровня в кубе колонны; 4 – регулятор уровня во флегмовой емкости;
- 5 – регулятор давления в колонне; 6 – регулятор расхода греющего пара;
- 7 – регулятор расхода дистиллята; 8 – регулятор температуры низа колонны

Несмотря на простоту, рассматриваемая система автоматизации обладает рядом недостатков. Так, стабилизация расхода греющего пара без учета реальной обстановки в системе обычно приводит к перерасходу пара, поскольку регулятору расхода устанавливается завышенное задание с учетом возможных колебаний энтальпии греющего пара, переохлаждения флегмы и других возмущений в процессе.

Отсутствие компенсирующих воздействий по возмущениям со стороны питания приведет к большим динамическим ошибкам регулирования составов продуктов, так как регулятор состава (или температуры) на конце колонны получит сигнал об отклонении регули-

руемой координаты от заданного значения лишь после того, как изменится состав жидкости по всей высоте колонны.

Использование температуры продукта для регулирования его состава имеет еще один существенный недостаток: колебания температуры при изменении состава соизмеримы с ее колебаниями при изменении давления в аппарате и часто оказываются соизмеримы с погрешностью контрольно-измерительного прибора.



**Рис. 9.33.** Система автоматизации ректификационной установки со статической компенсацией возмущений по расходу питания и с каскадной САР температуры верха колонны: 1 – регулятор температуры верха колонны; 2 – регулятор температуры питания; 3, 4 – регуляторы уровня; 5 – регулятор давления; 6 – регулятор соотношения; 7 – дифференциатор

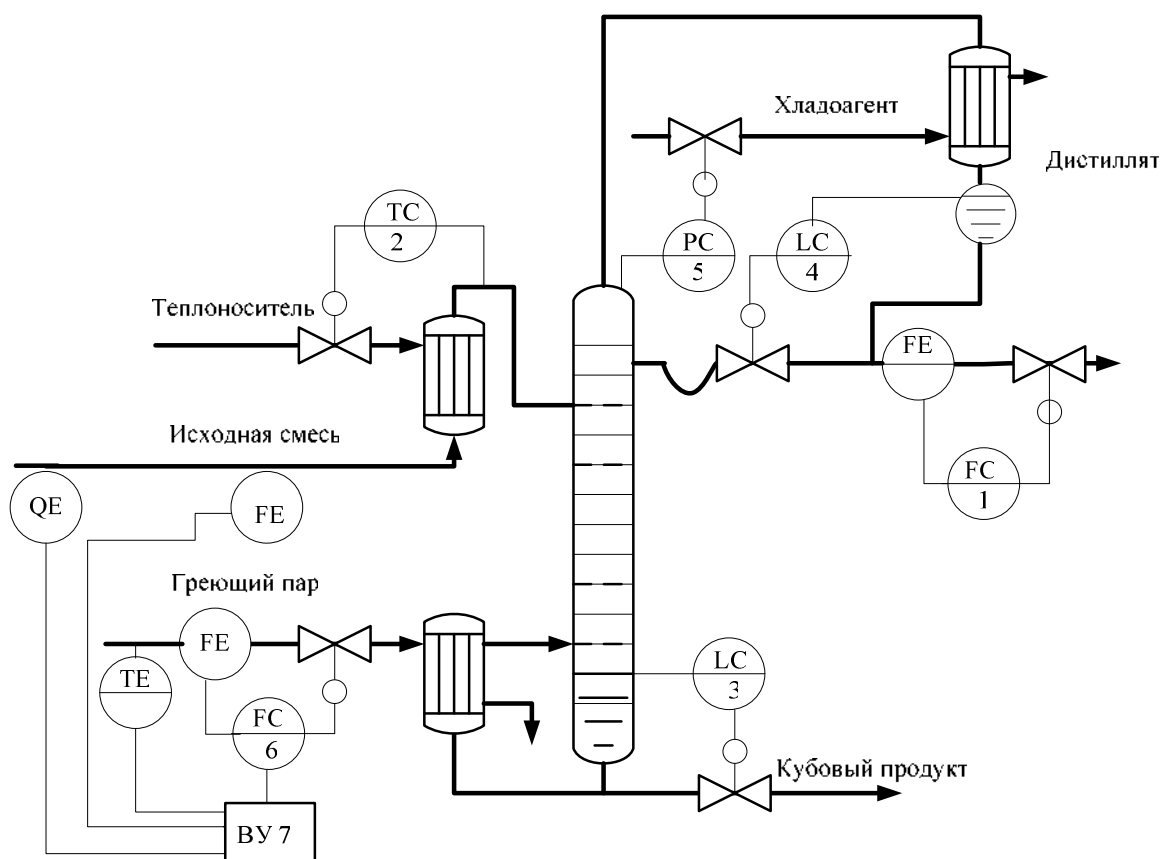
Например, при разности температур кипения чистых продуктов 20 °С (например, 0к = 100 °С; 0д = 80 °С) и допустимых колебаниях состава продукта ± 1 % соответствующие колебания температуры составят ±0,2 °С. В то же время для потенциометра составят ±0,2 °С. В то же время для по-

тенциометра со шкалой 0 - 150 °С и классом точности 0,5 погрешность измерения составит 0,75 °С.

На практике при разделении близко кипящих по температуре смесей веществ сколько-нибудь ощутимые колебания температуры можно наблюдать только в средней части каждой секции колонны. Эту особенность следует учитывать при выборе класса точности и шкалы вторичного прибора, а также места отбора импульса по температуре.

*Вариант 2* (рисунок 9.33) отличается от первого использованием регуляторов 6 соотношения расходов греющего пара и питания (или расходов флегмы и питания), обеспечивающих минимизацию энергозатрат на разделение.

Кроме того, для регулирования температуры продукта применяют каскадную САР с дополнительным импульсом по производной от температуры на контрольной тарелке (регуляторы 1 и 7), что позволяет уменьшить динамическую ошибку регулирования.



**Рис. 9.34.** Система автоматизации ректификационной установки с компенсацией возмущений по расходу и составу питания и температуре греющего пара:

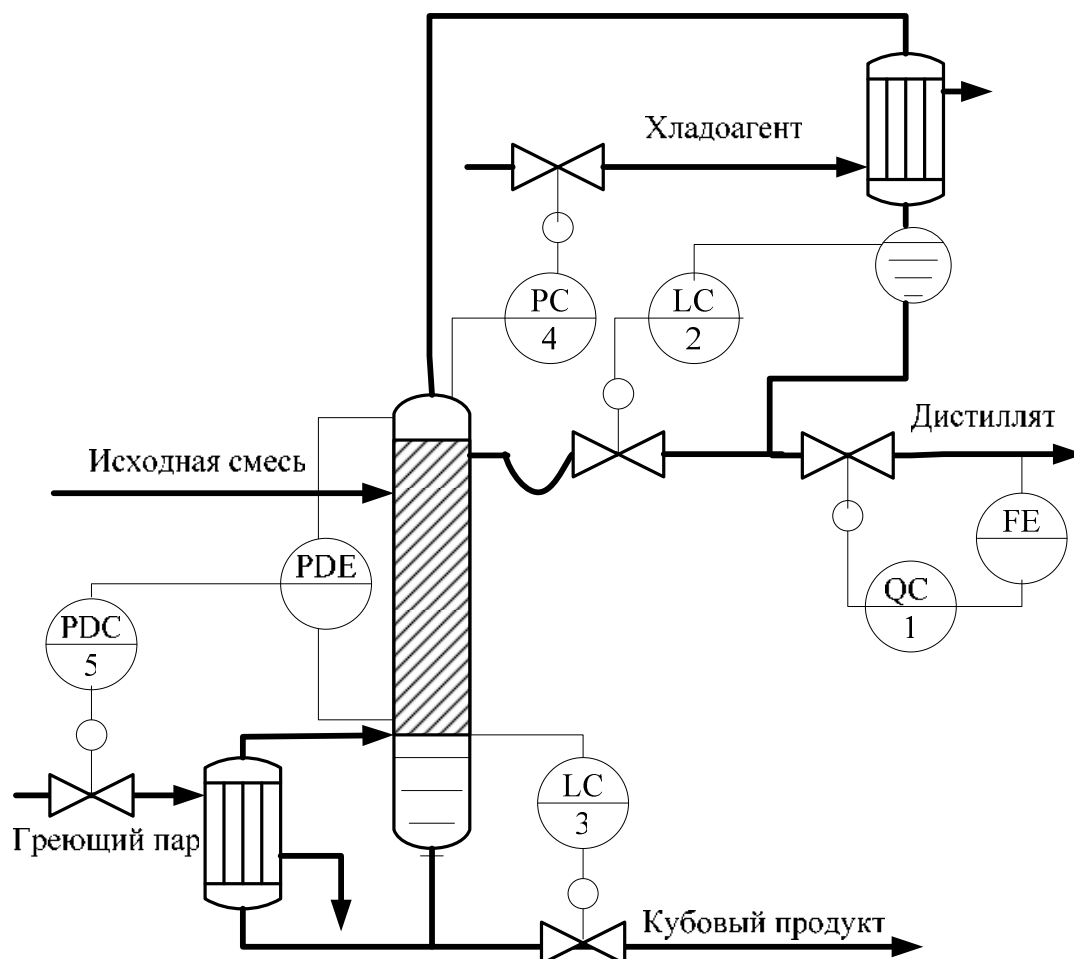
1 и 6 – регуляторы расхода; 2 – регулятор температуры; 3 и 4 – регуляторы уровня;  
5 – регулятор давления; 7 – вычислительное устройство

Вариант 3 (рис. 9.34) является примером системы автоматизации, которая может быть реализована с применением средств вычислительной техники.

Здесь расходы дистиллята и греющего пара регулируются регуляторами 1 и 6, задания которым корректирует вычислительное устройство 7 в зависимости от расхода и состава питания и энтальпии греющего пара с учетом динамических характеристик колонны.

Эта САР должна обеспечить приближенную инвариантность системы по отношению к контролируемым возмущениям. Однако наличие неконтролируемых возмущений (например, переохлаждение флегмы) приведет к нарушению режима в колонне и отклонению состава продукта от заданного.

Рассмотренные системы не исчерпывают всего многообразия способов и систем регулирования, применяемых для ректификационных установок.



**Рис. 9.35.** Система автоматизации насадочной ректификационной колонны:  
1 – регулятор состава; 2 и 3 – регуляторы уровня; 4 – регулятор давления;  
5 – регулятор перепада давления



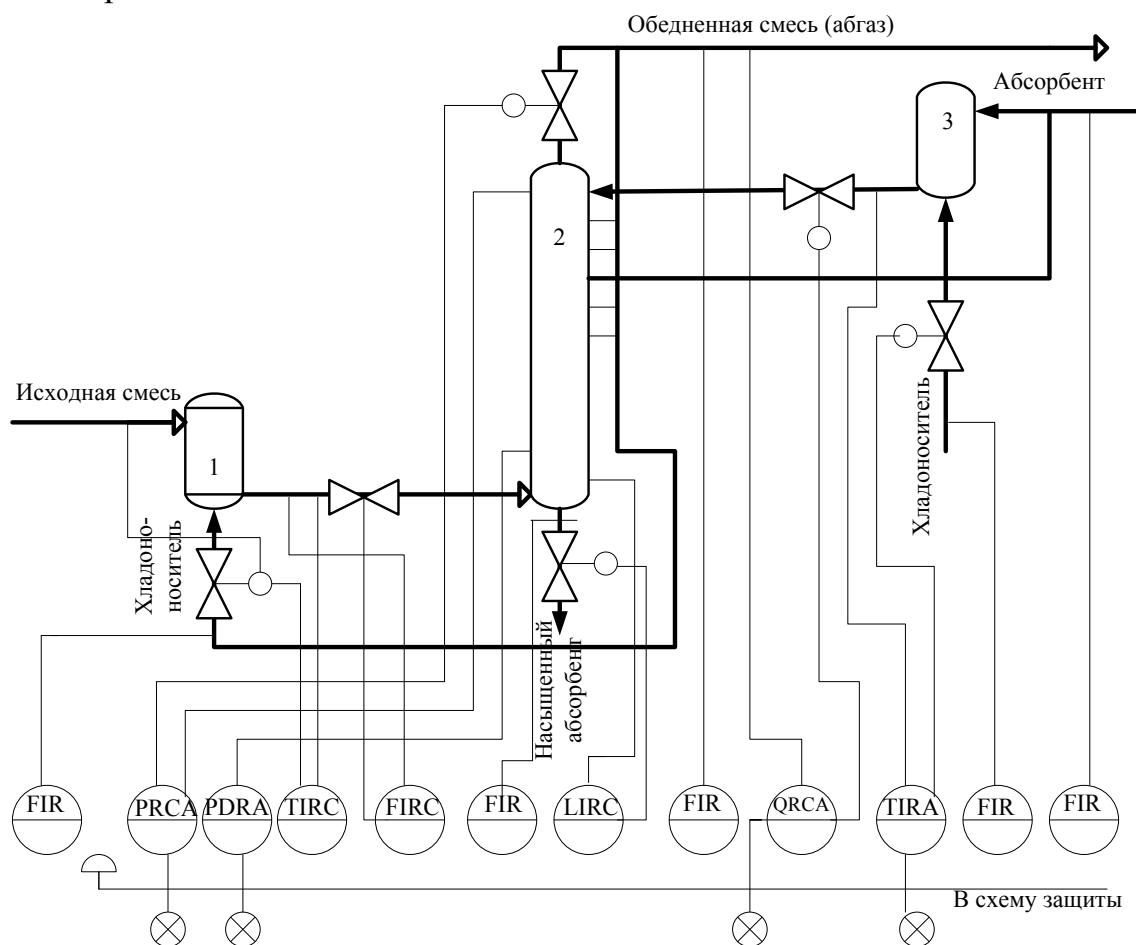
В насадочных ректификационных колоннах одним из основных регулируемых параметров является перепад давления, обеспечивающий заданный гидродинамический режим в аппарате. Обычно перепад давления регулируют изменением подачи греющего пара в кипятильник (регулятор 5 на рисунке 9.35).

### 9.3.3. Абсорбция

В качестве объекта управления процессом абсорбции примем абсорбционную установку, состоящую из абсорбционной колонны и двух холодильников – на линиях абсорбента и газовой смеси (рис. 9.36).

Показателем эффективности процесса является концентрация  $Y_k$  извлекаемого компонента в обедненной смеси, а целью управления – достижение определенного значения этой концентрации.

Концентрация  $Y_k$  определяется разностью количеств извлекаемого компонента, поступающего в колонну с газовой смесью и поглощаемого из нее абсорбентом.



**Рис. 9.36.** Схема автоматизации процесса абсорбции:  
1 и 3 – холодильники; 2 – абсорбционная колонна

Количество компонента, поступающего в колонну, однозначно определяется расходом газовой смеси  $F_c$  и начальной концентрацией в ней извлекаемого компонента  $Y_n$ .

Таким образом, концентрация  $Y_k$  зависит от расхода газовой смеси, концентраций  $X_n$  и  $Y_n$ , отношения расходов  $F_a/F_c$  ( $F_a$  – расход абсорбента и  $F_c$  – расход смеси), температуры и давления в аппарате.

Изменения расхода газовой смеси могут быть сильными возмущениями, поэтому расход газа следует стабилизировать. Изменять же его с целью регулирования показателя эффективности нецелесообразно, так как при этом производительность абсорбера может оказаться ниже расчетной и экономичность процесса снизится.

Концентрации определяются режимами других технологических процессов; с их изменением в объект будут вноситься возмущающие воздействия.

Отношение  $F_a/F_c$  можно поддерживать постоянным путем стабилизации обоих расходов. Это отношение можно использовать также для регулирования процесса, причем изменять его следует путем изменения расхода  $F_a$ .

Температура в абсорбере зависит от многих параметров: температуры, теплоемкости и расхода газовой и жидкой фаз, интенсивности массообмена между фазами (процесс абсорбции экзотермичен), потерь тепла в окружающую среду. Часть этих параметров обычно подвержена значительным колебаниям во времени; это относится, например, к интенсивности массообмена, которая для достижения цели управления должна быть переменной при изменяющихся концентрациях. Такие возмущения приводят к нарушению теплового баланса и, следовательно, изменению температуры в абсорбере. Чтобы этого не происходило, температуру следовало бы регулировать, однако в рассматриваемом абсорбере нет внутреннего охлаждения, поэтому ограничивают стабилизацией температур абсорбента  $T_a$  и газовой смеси  $T_c$  на входе в абсорбер путем изменения расходов хладоносителей.

Давление в абсорбере целесообразно стабилизировать путем изменения расхода обедненной смеси.

Итак, стабилизировать все параметры, влияющие на показатель эффективности, практически невозможно. Поэтому в качестве регулируемой величины следует взять концентрацию, а регулирующие воздействия реализовать изменением отношения расходов  $F_a/F_c$ .

Для улучшения качества регулирования показателя эффективности надо предусмотреть узлы регулирования расхода  $F_c$ , температур  $T_a$  и  $T_c$ , давления в колонне.

В нижней части абсорбера должно находиться некоторое количество

жидкости, обеспечивающее гидравлический затвор, что исключает поступление газовой смеси из абсорбера в линию насыщенного абсорбента и позволяет регулировать давление в абсорбере. Постоянное количество этой жидкости поддерживается регулированием уровня в абсорбере путем изменения расхода насыщенного абсорбента.

В качестве параметров, которые необходимо контролировать, следует выбрать расход и температуру исходного и насыщенного абсорбентов, исходной и обедненной газовой смеси, хладоносителей, а также концентрацию извлекаемого компонента в обедненной смеси, уровень в нижней части колонны, температуру по высоте колонны, давление и перепад давления в ней. Сигнализации подлежат отклонения давления в колонне и концентрация извлекаемого компонента в абгазе от предельных значений.

Схемой автоматизации должно быть предусмотрено устройство защиты, исключающее значительное повышение давления в колонне. Это устройство при определенном значении давления обеспечивает прекращение питания регуляторов воздухом. Выбор регулирующих органов должен производиться так, чтобы регулирующий орган на магистрали обедненной смеси открылся, а на остальных – закрылся.

### ***Регулирование концентрации извлекаемого компонента в насыщенном абсорбенте***

Такая цель управления часто ставится при проведении процесса абсорбции в производстве кислот. В этом случае из газовой смеси необходимо поглощать такое количество компонента, которое бы обеспечило постоянство концентрации  $Y_k$ . В качестве основного регулируемого параметра следует брать эту концентрацию (часто используют также плотность продукта), а регулирующее воздействие должно осуществляться изменением расхода абсорбента. При этом датчик состава с целью уменьшения запаздывания может быть установлен не на линии насыщенного абсорбента, а в кубе колонны.

### ***Регулирование состава при переменном расходе газовой смеси***

Если расход газовой смеси определяется технологическим режимом предшествующего процесса, то стабилизировать его нельзя, а изменения его являются для абсорбера сильными возмущениями. Для качественного регулирования процесса эти возмущения следует компенсировать до распространения их в объекте. Эту задачу решает регулятор соотношения расходов газовой смеси и абсорбента с коррекцией по концентрации  $Y_k$ . Если на установку поступает смесь постоянного состава, то исключается одно из сильных возмущающих воздействий. Тогда достаточно

вместо регулирования концентрации  $U_k$  ограничиться стабилизацией расходов газовой смеси и абсорбента. Если при этом расход газовой смеси изменяется во времени, устанавливают регулятор соотношения расходов газовой смеси абсорбента без коррекции по концентрации.

### **Регулирование процесса изотермической абсорбции**

Некоторые процессы абсорбции протекают с большим выделением тепла, что ухудшает массопередачу. В связи с этим возникает необходимость в отборе части тепла из абсорбера, для чего устанавливают охлаждающие змеевики непосредственно в колонне. Расход хладоносителя подаваемого в змеевик, должен определяться тепловым режимом всего абсорбера. Если змеевики установлены по всей высоте абсорбера, то параметром, характеризующим тепловой режим абсорбера, является температура хладоносителя на выходе из него. Если же змеевики установлены только в нижней части абсорбера, то регулируемой величиной является температура насыщенного абсорбента.

### ***Регулирование перепада давления в колонне***

Некоторые конструкции абсорбционных колонн очень чувствительны к нарушению гидродинамического режима: даже незначительные изменения скорости газа в колонне ведут к неустойчивым режимам ее работы. В этих случаях следует стабилизировать не давление, а перепад давления в колонне изменением расхода обедненной газовой смеси

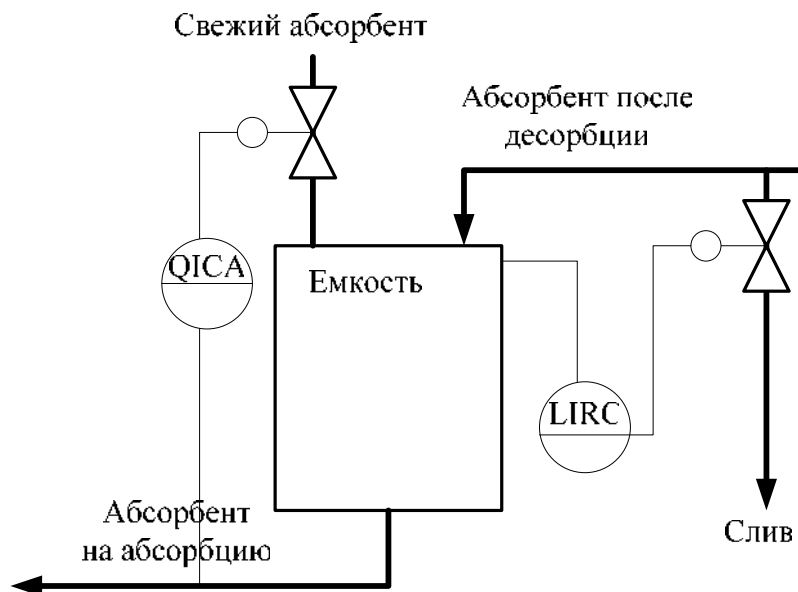
### ***Регулирование процесса при рецикле абсорбента***

В некоторых случаях абсорбент, выходящий из куба колонны, лишь частично отбирается с установки, большая же часть его возвращается в колонну в качестве рецикла. Уровень в колонне при такой технологии регулируют изменением расхода насыщенного абсорбента, выводимого с установки, а концентрацию  $U_k$  – изменением, расхода свежего абсорбента.

### ***Регулирование состава абсорбента, поступающего в абсорбционную колонну***

Абсорбент, возвращаемый с участка десорбции, может содержать некоторое количество компонентов газовой смеси, что значительно ухудшает процесс сорбции (рис. 9.37).

В этом случае необходимо постоянно выводить часть отработанного абсорбента из системы и вводить такое же количество свежего. Это осуществляется в специальной емкости, устанавливаемой между абсорбером и десорбером.



**Рис. 9.37.** Схема регулирования состава абсорбента, поступающего в колонну

При этом состав абсорбента на входе в абсорбер стабилизируют изменением расхода свежего абсорбента. Баланс между расходами свежего отработанного абсорбента, выводимого из системы, поддерживается с помощью регулятора уровня, воздействующего на расход сливаемого абсорбента.

### ***Регулирование по возмущению (использование многоконтурных систем)***

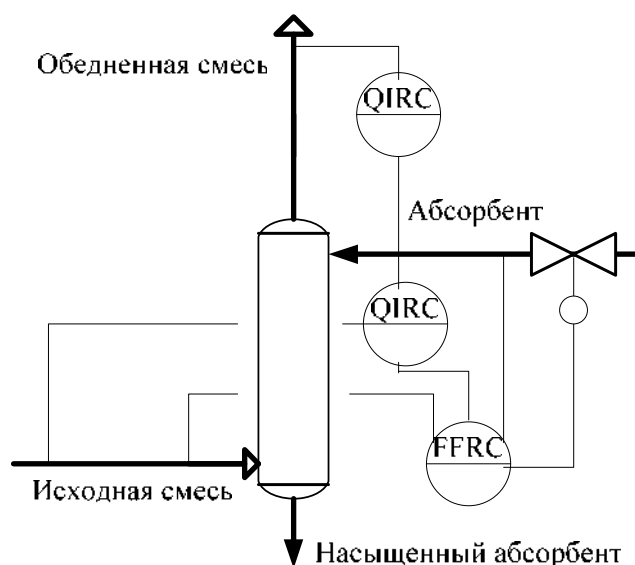
Если в объект поступают возмущения в виде изменения состава и расхода исходной смеси, то расход абсорбента целесообразно изменять в зависимости от этих параметров, то есть использовать регулирование по возмущению. На схеме (рисунок 9.38) показана двухконтурная система, осуществляющая такое регулирование.

Благодаря использованию многоконтурных систем можно значительно улучшить качество регулирования процесса и при наличии других возмущений. В качестве вспомогательных параметров выбирают расход абсорбента – при регулировании концентрации извлекаемого компонента в обедненной смеси; расход хладоносителя – при регулировании температур газовой смеси и абсорбента, выводимых из холодильников; расход насыщенного абсорбента – при регулировании уровня.

### ***Регулирование нескольких последовательно установленных абсорбционных колонн***

Система автоматического регулирования последовательно установленных абсорберов принципиально не отличается от систем регулирования

одного абсорбера. Концентрацию  $U_k$ , регулируют изменением подачи абсорбента, поступающего в первый по ходу абсорбента аппарат.



**Рис. 9. 38.** Контур регулирования по возмущению при переменных расходе и составе исходной смеси

Стабилизируют уровни в каждом абсорбере, температуры газовой смеси и абсорбента на входе в установку и давление в последнем по ходу газа абсорбере. В тех случаях, когда между абсорберами установлены промежуточные холодильники для охлаждения абсорбента, необходимо предусмотреть регулирование температуры абсорбента перед абсорберами изменением расхода хладоносителей.

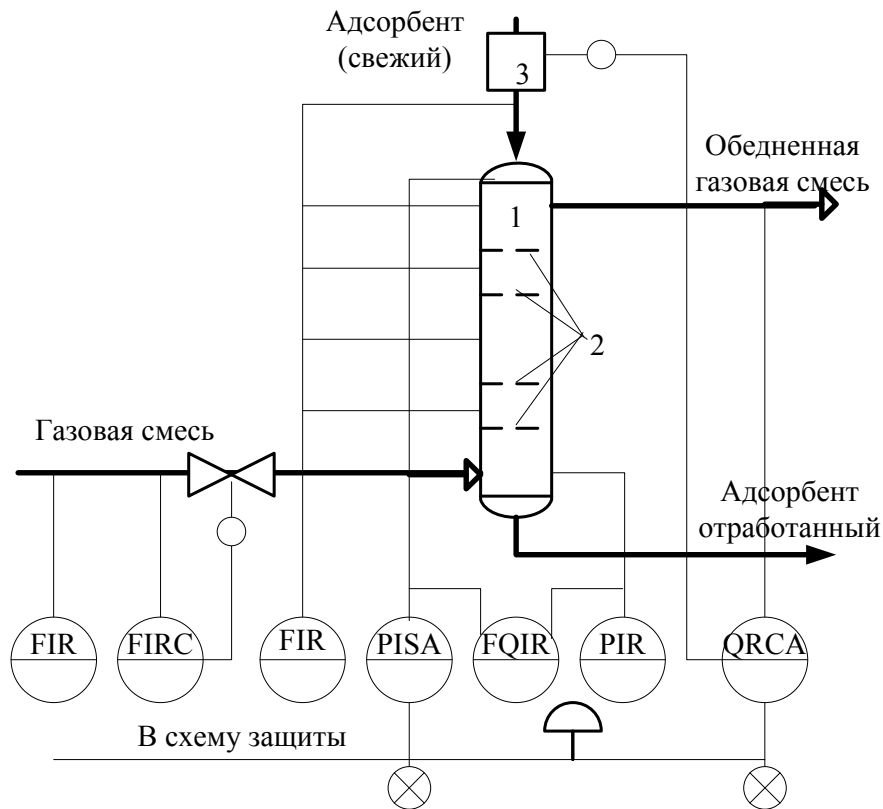
### 9.3.4. Адсорбция

В качестве объекта управления возьмем противоточный непрерывно-действующий аппарат 1 с кипящим (псевдоожиженным) слоем мелкозернистого адсорбента на тарелках 2 (рисунок 9.39).

На верхнюю тарелку такого аппарата подается адсорбент с помощью дозатора 3. Под действием силы тяжести адсорбент проваливается с тарелки на тарелку и выводится из нижней части абсорбера; газ же движется снизу вверх и выводится из верхней части аппарата.

Показатель эффективности, цель управления и закономерности такого процесса адсорбции аналогичны процессу абсорбции, поэтому решения по автоматизации этих процессов одни и те же. Основным контуром регулирования является регулятор концентрации адсорбируемого компонента в

отходящем газе, а регулирующее воздействие осуществляется изменением расхода адсорбента (корректировкой работы дозатора 3).



**Рис. 9.39.** Схема автоматизации процесса адсорбции:  
1 – адсорбционная колонна; 2 – тарелки; 3 – дозатор

Для устранения возмущения по каналу расхода газовой смеси этот расход стабилизируют.

Контролю подлежат расход газовой смеси, конечная концентрация адсорбируемого компонента, температуры газовой смеси и адсорбента, температуры по высоте адсорбера, давления в верхней и нижней частях колонны, перепад давления между ними. Сигнализации подлежат концентрация адсорбируемого компонента в отходящем газе и давление в колонне; при резком возрастании последнего должно сработать устройство защиты.

### ***Регулирование гидравлического сопротивления колонны***

Одним из важных параметров процесса адсорбции в псевдооживленном слое является перепад давлений между верхней и нижней частями колонны. При постоянном расходе газовой смеси этот параметр определяется массой адсорбента на тарелках, поэтому регулирующее воздействие при

стабилизации перепада давления осуществляется корректировкой работы дозирующего устройства. При использовании такой схемы обычно отпадает необходимость в регулировании конечной концентрации адсорбируемого компонента. Можно использовать двухконтурную систему, основным параметром которой будет конечная концентрация, а вспомогательным – перепад давлений.

Перепад давления по всей колонне, в конечном счете, определяется количеством адсорбента, поступающего на верхнюю тарелку, то есть перепадом давления на ней. В связи с этим можно идти по пути постоянной стабилизации этого параметра, так как он значительно менее инерционен, чем перепад по всей колонне.

### ***Регулирование аппаратов с провальными тарелками переменного сечения***

Если конструкция тарелок позволяет изменять их проходное сечение, появляется еще один канал регулирующего воздействия. Обычно поперечное сечение тарелок поддерживают на таком значении, чтобы перепад давления на отдельных тарелках был постоянным.

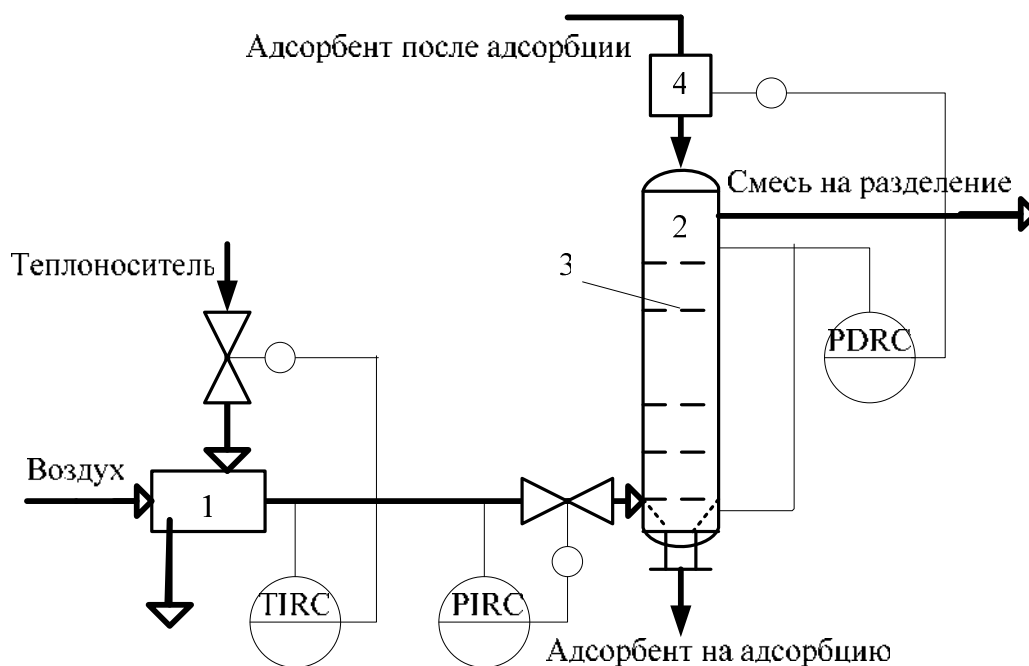
Работа тарелок такой конструкции может быть настроена и на дискретный режим, когда порция адсорбента одновременно подается на верхнюю тарелку и остается там в течение заданного времени; затем проходное сечение тарелки открывается, и адсорбент проваливается на нижележащую тарелку и т. д. Для управления такими тарелками устанавливают программное устройство, которое в соответствии с жесткой временной программой открывает и закрывает проходные сечения тарелок. Это же устройство при сбрасывании адсорбента с верхней тарелки выдает сигнал дозатору на начало загрузки ее свежим адсорбентом. Загрузка продолжается до того момента, когда перепад давления на верхней тарелке становится равным заданному.

### ***Регулирование десорбентов с кипящим слоем***

Выделение из адсорбента поглощенного вещества проводится в псевдооживленном слое противоточных тарельчатых сорбционных аппаратов. Адсорбент после адсорбера (рисунок 9.40) подается на верхнюю тарелку, а в нижнюю часть поступает нагретый воздух после калорифера.

Как и для процесса адсорбции, система регулирования десорбера включает узлы регулирования перепада давления в колонне и расхода воздуха. Кроме того, для лучшего выделения поглощенного вещества стабилизируют температуру воздуха после калорифера изменением расхода теплоносителя.





**Рис. 9.40.** Схема регулирования процесса десорбции в кипящем (псевдоожиженном) слое: 1 – калорифер; 2 – десорбционная колонна; 3 – тарелки; 4 – дозатор

### 9.3.5. Автоматизация абсорбционных и выпарных установок

На примере процесса ректификации была рассмотрена общая методика анализа массообменных установок как объектов автоматизации и последовательность выбора систем регулирования. Другие массообменные процессы, отличаясь кинетикой, конструкцией аппаратов и другими характерными особенностями, имеют много общего с процессом ректификации.

Абсорбционные установки являются промежуточными стадиями в технологическом процессе, поэтому задача оптимального управления ими подчиняется общей задаче управления процессом в целом. Чаще всего – это задача минимизации технологической составляющей себестоимости готового продукта, характеризующей стадию абсорбции. В зависимости от конкретных условий работы абсорбционной установки такая задача сводится либо к максимизации степени абсорбции, либо к минимизации энергозатрат на разделение смеси.

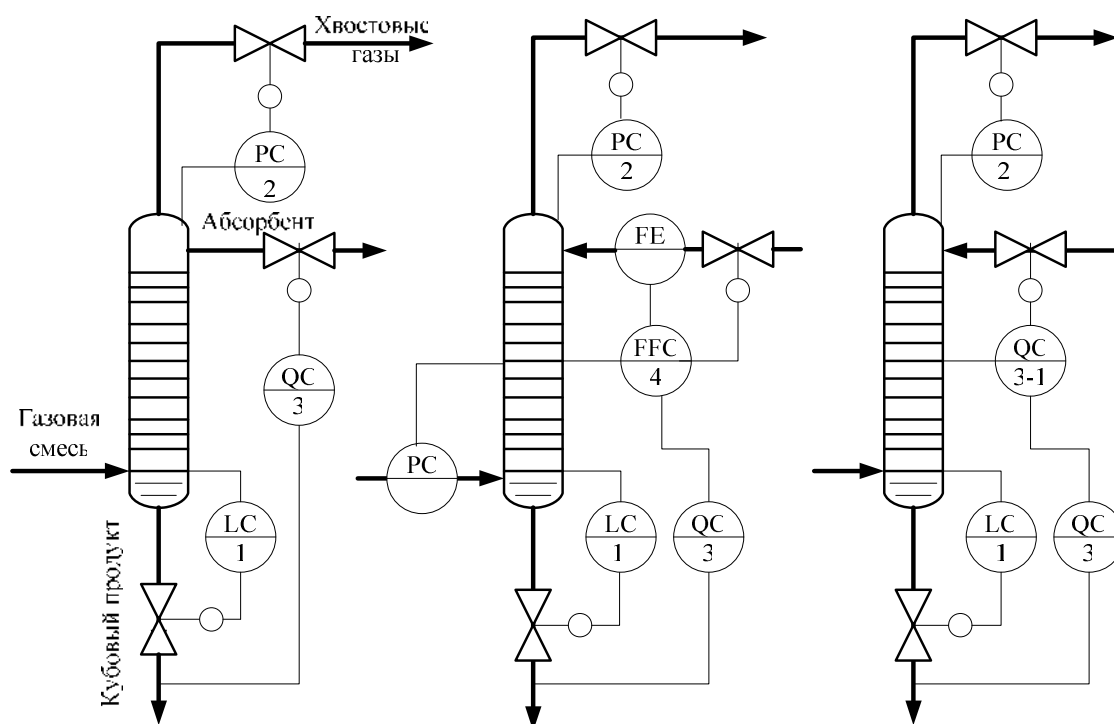
Основные источники возмущений в процессе абсорбции – расход, состав и температура газа, поступающего на абсорбцию, а также в некоторых случаях температура и состав адсорбента. Основными управлениями служат расход адсорбента, подаваемого на орошение колонны, и расход кубового продукта, отводимого из колонны.

Для поддержания материального баланса по газовой и жидкой фазам в колоннах предусматривается стабилизация давления и уровня в кубе.

На рисунке 9.41 показаны примеры систем автоматизации абсорбционной установки. Система автоматизации, построенная на одноконтурных системах регулирования (рисунок 9.41, а), обеспечивает поддержание материального и теплового балансов в установке (регуляторы уровня 1 и давления 2) и стабилизацию состава продукта (регулятор 3).

Введение корректирующего сигнала при возмущениях по расходу питания через регулятор соотношения расходов 4 (рисунок 9.41, б) позволит частично компенсировать эти возмущения и повысить качество регулирования. На рисунке 9.41, в показан пример каскадной системы регулирования, в которой в качестве вспомогательной регулируемой переменной выбран состав на контрольной тарелке.

Процесс выпаривания можно проводить в однокорпусной выпарной установке (простое выпаривание) или в многокорпусной установке (многократное выпаривание). В последнем случае достигается уменьшение энергозатрат в результате использования вторичных паров в качестве греющего пара во втором и последующих корпусах.

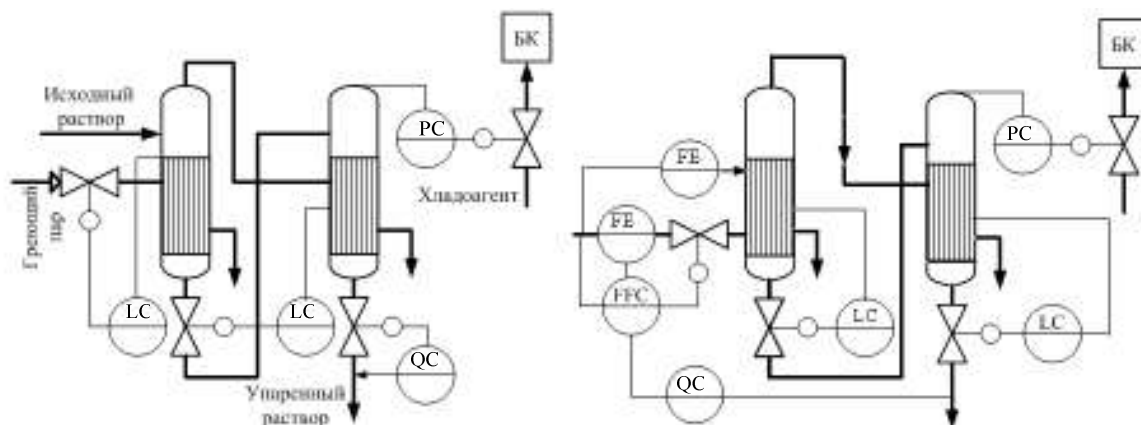


**Рис. 9.41.** Примеры систем автоматизации абсорбционной установки:  
 а – на основе одноконтурных систем регулирования; б – регулирование соотношения расходов абсорбента и газовой смеси с коррекцией по составу кубового продукта;  
 в – каскадная система автоматизации состава кубового продукта;  
 1 – регуляторы уровня; 2 – регуляторы давления; 3 – регуляторы состава

Задача регулирования процесса выпаривания состоит в стабилизации концентрации упаренного раствора на выходе из последнего выпарного аппарата. Основными источниками возмущения служат колебания расхода и концентрации исходного раствора, энтальпия греющего пара и теплопотери в окружающую среду. При этих условиях в качестве основного управляющего воздействия для процесса выпаривания выбирают изменение расхода греющего пара. Для поддержания материального и теплового балансов предусматриваются стабилизация уровня во всех аппаратах изменением расхода раствора на выходе из аппаратов (регулирование «на стоке»), а также стабилизация давления (разрежения) изменением подачи хладагента в конденсатор.

Если исходный раствор поступает на выпаривание из промежуточной емкости, в качестве регулирующего воздействия может быть выбран расход упаренного раствора, который будет устанавливаться в зависимости от выходной концентрации раствора. Регулирование уровня в этом случае должно проводиться изменением подачи раствора в каждый из аппаратов (регулирование «на притоке») или расхода греющего пара.

На рис. 9.42. приведены примеры систем автоматизации двухкорпусной установки построенных на основе одноконтурных (а) и комбинированной (б) систем регулирования.

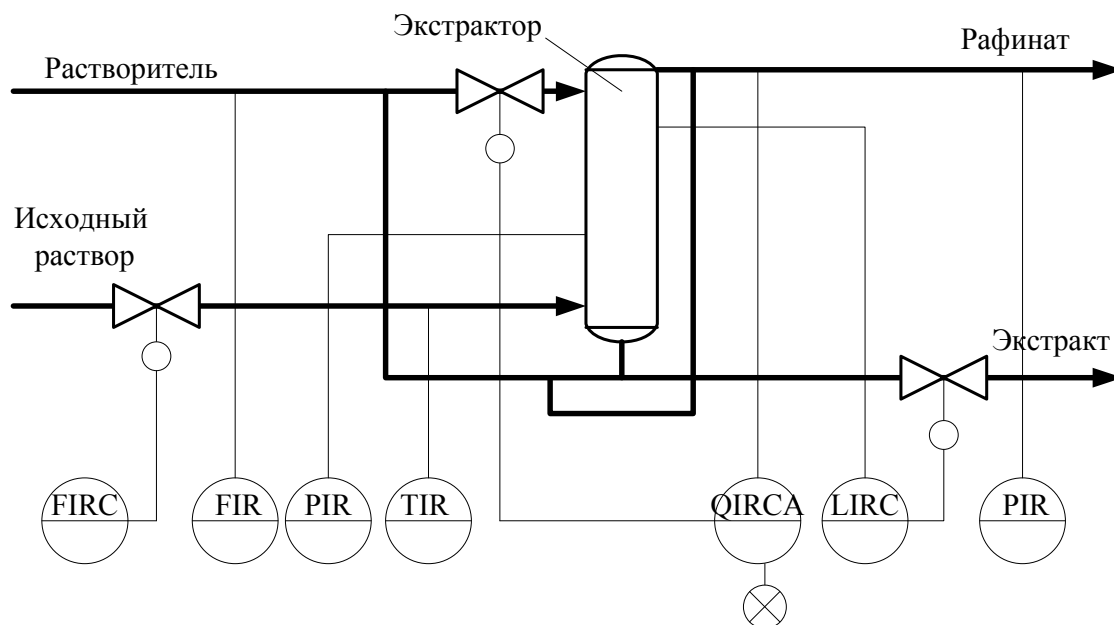


**Рис. 9.42.** Примеры систем автоматизации выпарной установки:

а – на основе одноконтурных систем регулирования; б – регулирование соотношения расходов греющего пара и исходного раствора с коррекцией по концентрации

### 9.3.6. Экстракция

В качестве объекта управления процессом экстракции примем противоточный насадочный экстрактор (рис. 9.43), в нижнюю часть которого подают исходный раствор, а в верхнюю – растворитель.



**Рис. 9.43.** Схема автоматизации процесса экстракции

В связи с тем, что процессы адсорбции и экстракции во многом характеризуются аналогичными зависимостями, большая часть решений, разработанных для абсорбции, применима и для экстракции. Так, показателем эффективности процесса экстракции является концентрация извлекаемого компонента в рафинате, а целью управления – достижение определенного значения этой концентрации.

В объект управления поступают возмущающие воздействия: изменение концентрации извлекаемого компонента в исходном растворе, температур исходного раствора и растворителя, состава растворителя, расхода исходного раствора. Поэтому в качестве главной регулируемой величины принимают концентрацию извлекаемого компонента в рафинате или какой-либо параметр, косвенно характеризующий эту концентрацию (вязкость, плотность, коэффициент рефракции, показатель преломления).

Единственным и очень действенным каналом внесения регулирующих воздействий является регулирование соотношения расходов исходного раствора и растворителя путем изменения расхода растворителя. Расход же исходного раствора следует стабилизировать для ликвидации возмущения по этому каналу.

Для обеспечения материального баланса колонны необходимо поддерживать в ней постоянный уровень рафината посредством перелива и регулировать уровень раздела фаз изменением расхода экстракта.

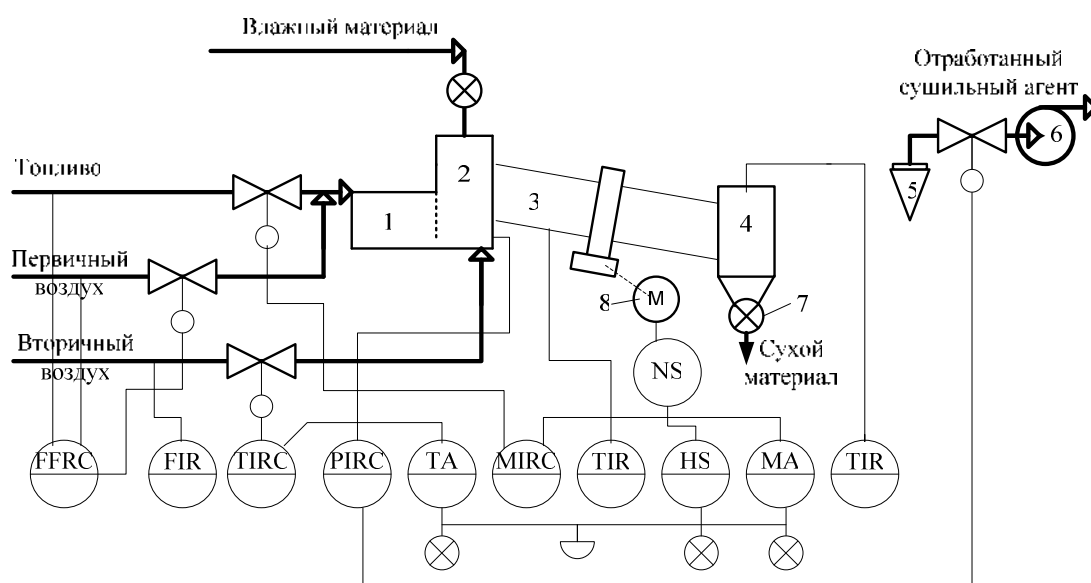
Для управления процессом экстракции следует контролировать расход и температуру исходного раствора и растворителя, рафината и экстракта, концентрацию извлекаемого компонента в рафинате, уровень раз-

дела фаз, давление в колонне. Сигнализации подлежит резкое увеличение извлекаемого компонента в рафинате.

### 9.3.7. Сушка

В качестве объекта управления при автоматизации процесса сушки возьмем барабанную прямоточную сушилку, в которой сушильным агентом служат дымовые газы, получаемые в топке (рис. 9.44). Показателем эффективности процесса является влажность  $w_k$  материала, выходящего из сушилки, а целью управления – поддержание этого параметра на определенном уровне.

Влажность сухого материала определяется, с одной стороны, количеством влаги, поступающей с влажным материалом, а с другой – количеством влаги, удаляемой из него в процессе сушки. Количество влаги, поступающей с влажным материалом, зависит от расхода этого материала и его влажности  $w_n$ .



**Рис. 9.44.** Схема автоматизации процесса сушки:

1 – топка; 2 – смесительная камера; 3 – барабан; 4 – бункер; 5 – циклон;  
6 – вентилятор; 7 – автоматический дозатор; 8 – электродвигатель барабана

Расход материала определяется производительностью сушилки, которая, как правило, должна быть постоянной. Поэтому следует идти по пути стабилизации расхода влажного материала, что обеспечивает заданную производительность и устраняет возмущения по данному каналу. Для этой цели устанавливают автоматические дозаторы.

Влажность  $w_n$  зависит от технологического режима предыдущих процессов. С изменением этого параметра в объект поступают сильные возмущающие воздействия.

Количество влаги  $w$ , которое поглощается сушильным агентом, определяется в основном поверхностью  $G$  контакта сушильного агента и материала, а также средней движущей силой  $\Delta$ .

Поверхность  $G$  зависит от толщины слоя материала и его гранулометрического состава. Толщина слоя определяется наличием материала в барабане. При постоянных значениях расхода материала и скорости вращения барабана (в практике используют асинхронные двигатели с постоянным числом оборотов рабочего вала) будет постоянна. Гранулометрический состав определяется ходом предыдущих технологических процессов, с его изменением в объект вносятся возмущения.

Средняя движущая сила  $\Delta$  определяется движущими силами в начале и в конце процесса сушки. И это зависит от значений влажности материала  $w_n$  и сушильного агента  $\varphi_n$ , которые определяются предшествующими процессами и прежде всего температурой и разрежением в барабане сушилки.

Стабилизировать их сложно, так как по этим каналам будут поступать возмущения.

Разрежение легко стабилизируется изменением расхода сушильного агента, выводимого из сушилки. Температура же определяется всеми начальными параметрами, а также интенсивностью испарения влаги из материала. Стабилизировать ее можно, в частности, изменением расхода или температуры сушильного агента. Необходимо отметить, что диапазон изменения последнего параметра существенно ограничен, что объясняется требованиями техники безопасности и возможностью разложения, высушиваемого материала.

Таким образом, все параметры, влияющие на показатель эффективности, стабилизировать невозможно. В частности, возмущения будут возникать в результате изменения начальной влажности материала  $w_n$  и сушильного агента  $\varphi_n$  и гранулометрического состава материала и т. д.

В барабане может изменяться распределение материала, а также гидродинамические условия его обтекания сушильным агентом. В связи с этим в качестве основного регулируемого параметра целесообразно принять влажность  $w_k$ , (используют влагомеры кондуктометрические, оптические, радиационные, электротермические, комбинированные), а регулирующее воздействие осуществлять изменением расхода сушильного агента. Соответствие между расходами топлива и воздуха обеспечивается регулятором соотношения.

Температура сушильного агента на входе в барабан должна быть стабилизирована путем изменения расхода вторичного воздуха. Необходи-

можно регулировать также, расход влажного материала и разрежение в сушилке изменением расхода отработанного сушильного агента.

При управлении процессом сушки следует контролировать расход топлива, первичного и вторичного воздуха, влажного и сухого материала, температуру сушильного агента на входе в сушилку и на выходе из нее, температуру в сушилке, разрежение в смесительной камере.

При значительном отклонении показателя эффективности от заданного значения, опасном повышении температуры сушильного агента на входе в сушилку и остановке электродвигателя барабана должен быть подан сигнал обслуживающему персоналу. Кроме того, при остановке электродвигателя должна быть прекращена подача материала в сушилку.

### ***Регулирование температуры сушильного агента в сушилке***

При отсутствии надежного прибора для непрерывного измерения влажности материала, а также при больших запаздываниях в сушилке в качестве основного регулируемого параметра следует брать температуру сушильного агента в барабане. Датчик регулятора температуры рекомендуется устанавливать на расстоянии  $1/3$  длины сушилки от места ввода материала.

Более перспективно использование двухконтурных систем регулирования, где в качестве основного регулируемого параметра взята температура сушильного агента на выходе из барабана (или влажность его), а в качестве вспомогательного – температура в середине сушилки. Можно построить двухконтурную систему также следующим образом: основной параметр – температура в середине сушилки, вспомогательный – параметр, характеризующий загрузку барабана (например, расход влажного материала или ток электродвигателя привода барабана).

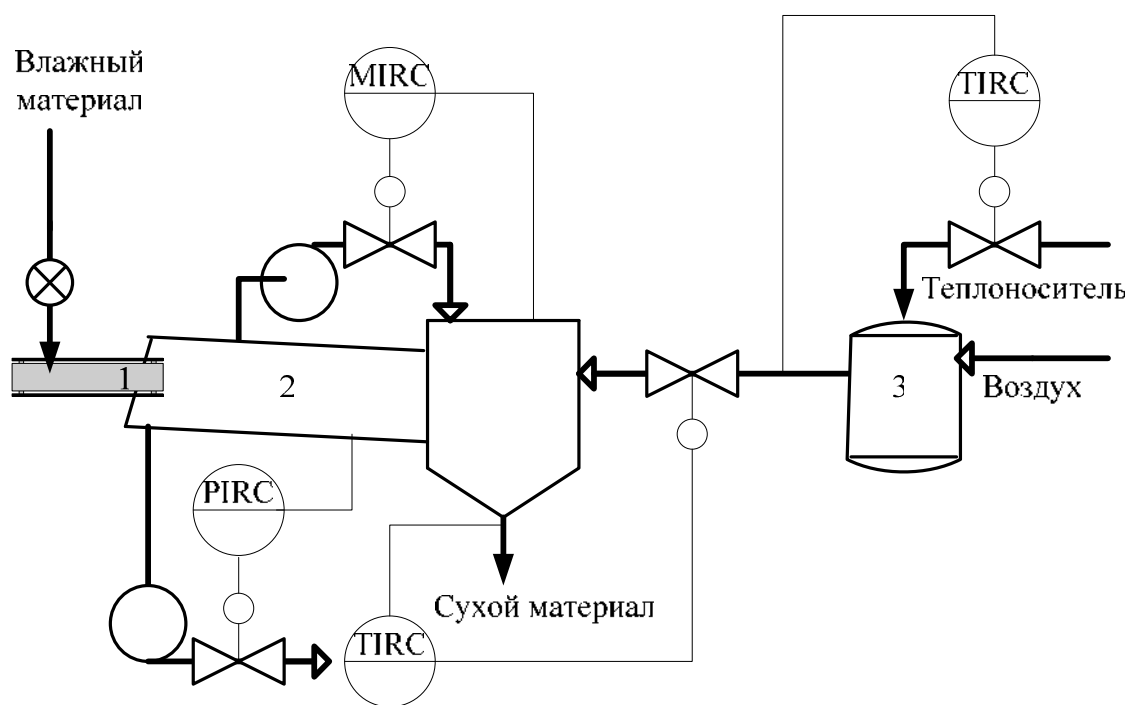
В качестве основной регулируемой величины можно использовать и температуру материала на выходе из сушилки. Однако измерение этого параметра представляет значительные трудности ввиду неравномерности температурного поля в материале, налипания частиц на датчик и т. п.

### ***Регулирование противоточных барабанных сушилок***

В противоточных сушилках (рисунок 9.45) для предотвращения разложения материала под действием высоких температур в качестве основной регулируемой величины нужно использовать температуру материала на выходе из сушилки и вносить регулирующие воздействия изменением расхода сушильного агента.

Температуру воздуха на входе в барабан регулируют изменением расхода теплоносителя, подаваемого в воздухоподогреватель, а влажность – изменением расхода рециркулирующего воздуха. Узлы регулирования

расхода влажного материала и разрежения остаются такими же, как и в прямоточных сушилках.



**Рис. 9.45.** Схема регулирования противоточной барабанной сушилки:  
1 – транспортер влажного материала; 2 – барабан; 3 – воздухонагреватель

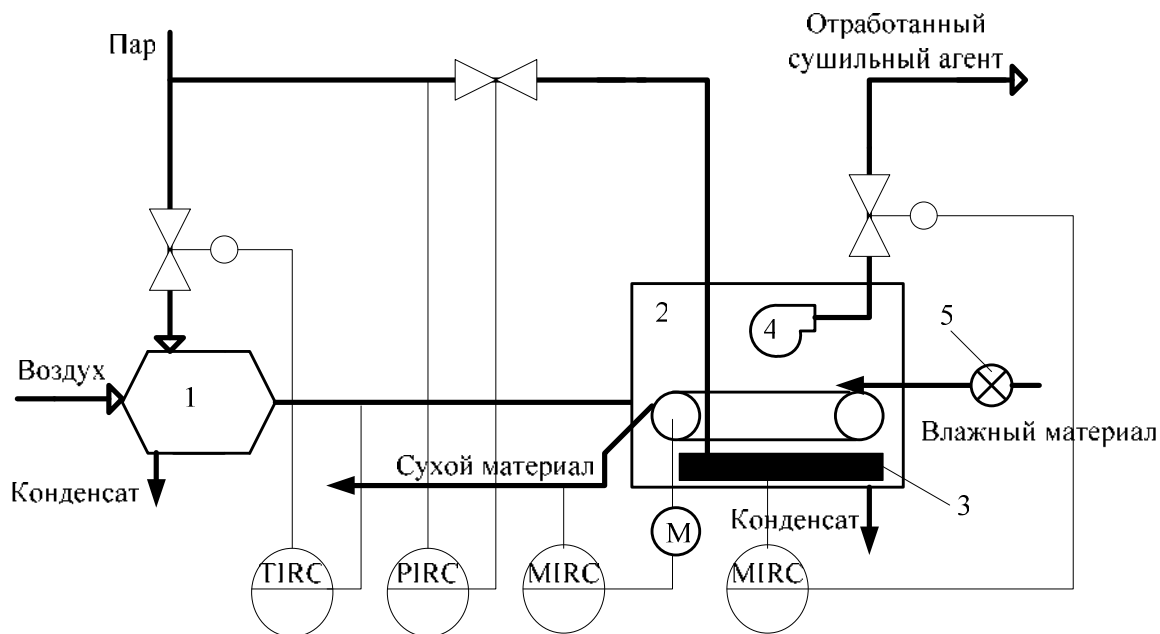
Следует отметить, что изменение расхода сушильного агента в противоточной сушилке может быть осуществлено и в зависимости от влажности  $w_k$ , а также от температуры в барабане.

### ***Регулирование ленточных и конвейерных сушилок***

Стабилизации подлежат влажность сухого материала или конечная температура сушильного агента на входе в сушилку, разрежение в сушилке (рис. 9.46).

Конструкции ленточных и конвейерных сушилок позволяют принимать и особые решения по их автоматизации. При использовании ленточного транспортера (конвейера) появляется возможность регулирования влажности  $w_k$ , изменением скорости транспортера. При наличии дополнительного подогревателя под транспортером расход теплоносителя в подогреватель стабилизируется, а при рецикле части сушильного агента расход его изменяется в зависимости от влажности  $\varphi_n$  (на схеме этот узел не показан).





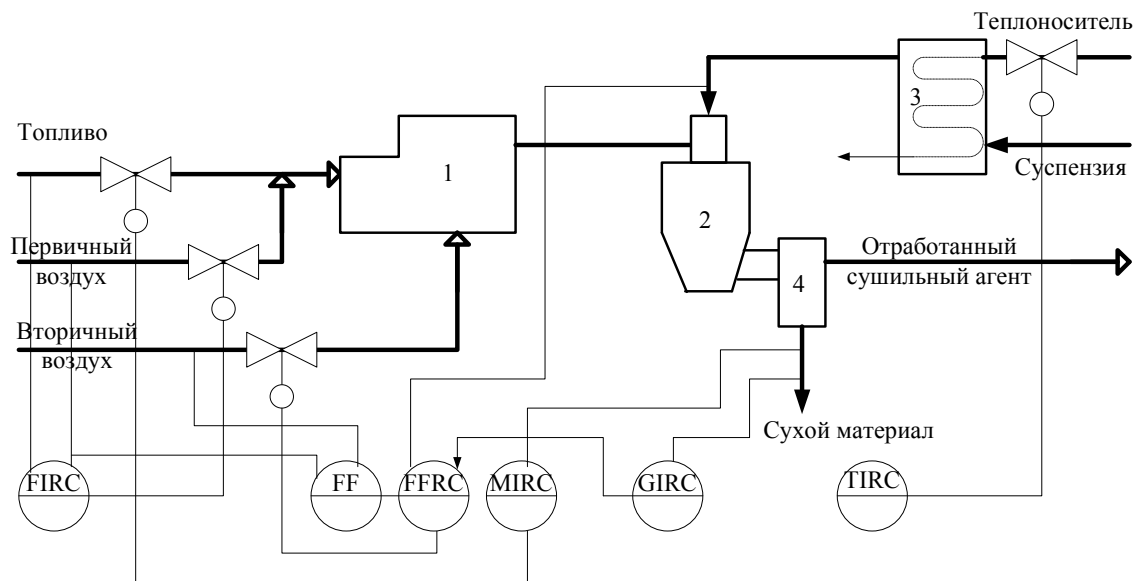
**Рис. 9.46.** Схема автоматизации ленточной (конвейерной) сушилки:  
1 – калори́фер; 2 – сушилка; 3 – дополнительный подогреватель;  
4 – вентилятор; 5 – питатель

### ***Регулирование струйных распылительных сушилок***

В сушилках этого типа (рисунок 9.47) осуществляется сушка суспензии различных неорганических соединений (предварительно нагретых в теплообменнике) за счет распыливания их сушильным агентом. В струйных и других распылительных сушилках, как правило, требуется получить продукт не только заданной влажности, но и постоянного гранулометрического состава.

Дисперсность распыла в струйных сушилках определяется в основном соотношением расходов сушильного агента и суспензии. Поэтому к уже известным решениям по автоматизации добавляется, в частности, узел регулирования размеров частиц изменением соотношения расхода суспензии и суммарного расхода воздуха, поступающего в топку. Если допустима стабилизация подачи суспензии, то в схему дополнительно вводится регулятор суспензии.

В настоящее время при автоматизации струйных сушилок в качестве основной регулируемой величины часто используют не влажность материала  $w_k$ , а температуру или влажность отработанного сушильного агента. Регулирование этих параметров в струйных сушилках можно осуществлять изменением расхода влажного материала, так как продолжительность переходного процесса при изменении расхода распыливаемой суспензии невелика (2-3 мин).



**Рис. 9.47.** Схема автоматизации струйной сушилки:  
1 – топка; 2 – сушилка; 3 – теплообменник суспензии; 4 – сепаратор

### ***Регулирование сушилок кипящего слоя (КС)***

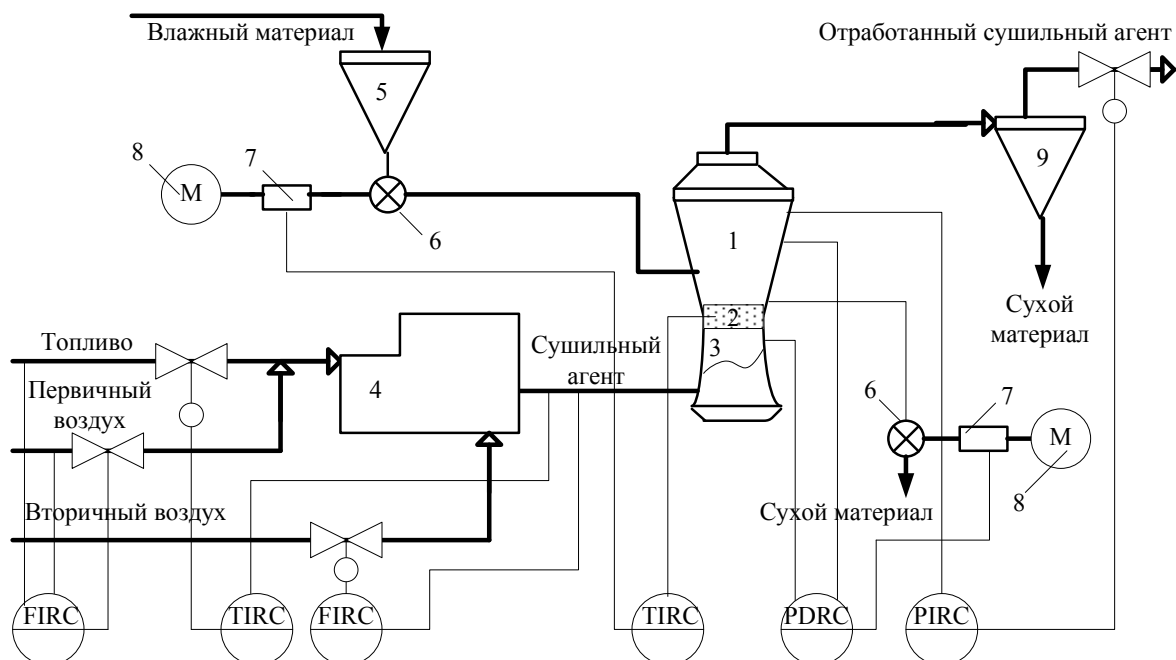
При автоматизации сушки в кипящем (псевдоожигенном) слое основным показателем процесса является температура в слое, и только в случае крупных установок, когда температура по высоте слоя меняется, лучше в качестве такого показателя брать температуру сушильного агента на выходе, которая соответствует средней температуре материала в слое.

Регулирующие воздействия при стабилизации температур могут осуществляться изменением расхода влажного материала или сушильного агента, а также изменением температуры последнего. Более предпочтителен первый вариант (рис. 9.48), так как изменение параметров сушильного агента можно производить только в определенном, довольно узком диапазоне (температуры – ввиду терморазложения материала, расхода – вследствие повышенного уноса частиц с сушильным агентом).

Первый способ предполагает наличие между сушилкой и предыдущим технологическим процессом промежуточного бункера с определенным запасом материала. Для предотвращения сводообразования и зависания материала в бункере предусматривают автоматические устройства, осуществляющие встряхивание через определенные промежутки времени.

Нормальная работа сушилок КС возможна только при определенной высоте псевдоожигенного слоя. С целью поддержания заданного значения этого параметра стабилизируют гидродинамическое сопротивление слоя, то есть перепад давлений до и после решетки, воздействием на вариатор электродвигателя питателя сухого материала.

Можно регулировать перепад давлений и изменением расхода сушильного агента, однако при этом температура в слое будет сильно колебаться.



**Рис. 9.48.** Схема автоматизации в сушилке с кипящим (псевдоожиженным) слоем:  
1 – сушилка; 2 – кипящий слой; 3 – решетка; 4 – топка; 5 – промежуточный бункер;  
6 – питатели; 7 – вариаторы; 8 – электродвигатели; 9 – циклон

Кроме этих регуляторов предусматриваются стандартные узлы регулирования разрежения, начальной температуры сушильного агента, его расхода, соотношения расходов топлива и первичного воздуха.

### ***Регулирование вихревых и аэрофонанных сушилок***

По гидродинамическим и тепловым режимам этот тип сушилок подобен сушилкам КС, поэтому регулирование их аналогично. Основными регуляторами, в частности, являются регулятор температуры фонтанирующего слоя и регулятор перепада давления.

### ***Регулирование сушилок с механическими распылителями***

В таких сушилках суспензия распыливается за счет давления перед механическим распылителем (форсункой), которое и следует стабилизировать. Все остальные узлы регулирования такие же, как и у струйных сушилок.

В отдельных случаях идут по пути корректирования давления суспензии перед форсункой по основному показателю процесса. Такими показателями могут быть влажность высушенного продукта, его гранулометри-

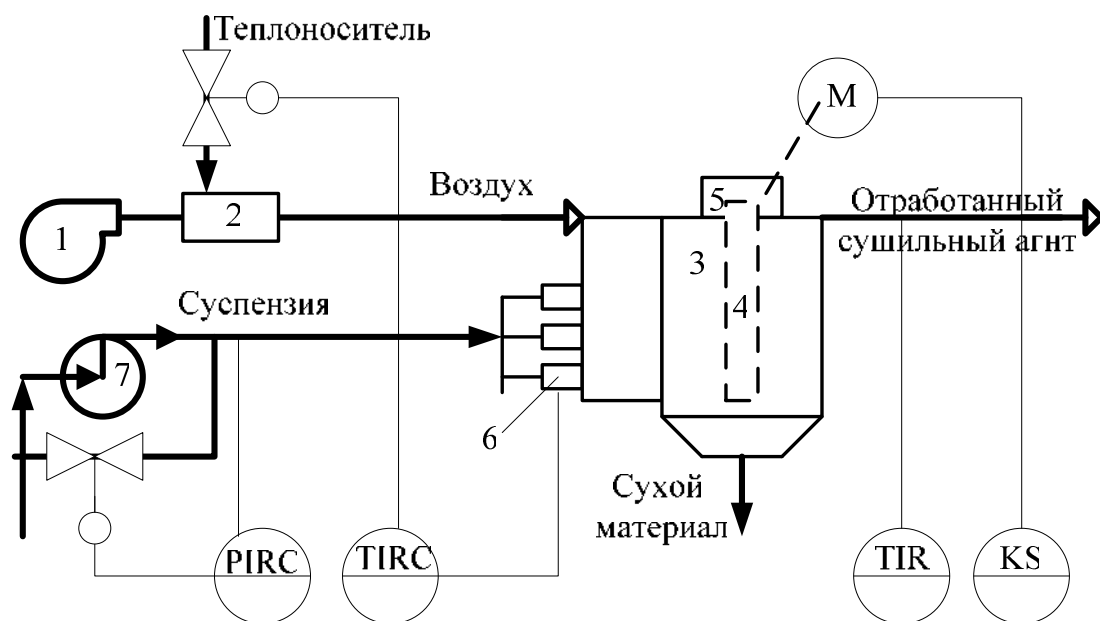
ческий состав, температура отработанного сушильного агента. Выбор основного регулируемого параметра определяется целью управления и свойствами суспензии.

На рис. 9.49 показана одна из таких схем с использованием двухконтурной системы регулирования.

Регулирующее воздействие осуществляется байпасированием части суспензии с выхода насоса суспензии на его вход. В приведенной конструкции сепарация высушенного продукта производится непосредственно в корпусе сушилки мешочными фильтрами. Для регенерации их предусмотрен встряхивающий механизм, который управляется командным устройством по жесткой временной программе.

### ***Регулирование сушилок с дисковыми распылителями***

В дисковых распылительных сушилках диспергирование суспензий производится с помощью вращающихся дисков. Число оборотов дисков существенно влияет на процесс сушки, поэтому данный параметр необходимо стабилизировать. В случае применения асинхронных двигателей эта задача решается выбором двигателя с соответствующим числом оборотов вала; в случае же применения турбопривода – использование центробежного регулятора прямого действия, изменяющего подачу пара к нему.



**Рис. 9.49.** Схема автоматизации распылительной сушилки с механическими распылителями: 1 – вентилятор; 2 – теплообменник; 3 – сушилка; 4 – мешочный фильтр; 5 – встряхивающее устройство; 6 – механические распылители (форсунки); 7 – питательный насос

Главный регулируемый параметр таких сушилок – температура отработанного сушильного агента. Регулирующее воздействие вносится изменением расхода суспензии, так как запаздывания по этому каналу незначительны. Так, влажность высушенного материала и температура отработанного сушильного агента при изменении расхода суспензии изменяются через 30с, а при изменении расхода и начальной температуры сушильного агента – через 130с. Для ликвидации возмущений от изменения начальной температуры и расхода сушильного агента эти параметры стабилизируют. Чувствительный элемент регулятора расхода устанавливают после пылеочистных устройств, так как сушильный агент в сушилках этого типа содержит большое количество твердой фазы.

Во всех схемах управления дисковыми сушилками необходимо контролировать число оборотов диска. Для этого можно применять устройства с постоянным магнитом, установленным на рабочем валу диска. Сигнал от такого устройства может быть использован для регулирования или блокировки (например, для прекращения подачи суспензии при уменьшении числа оборотов ниже предельного).

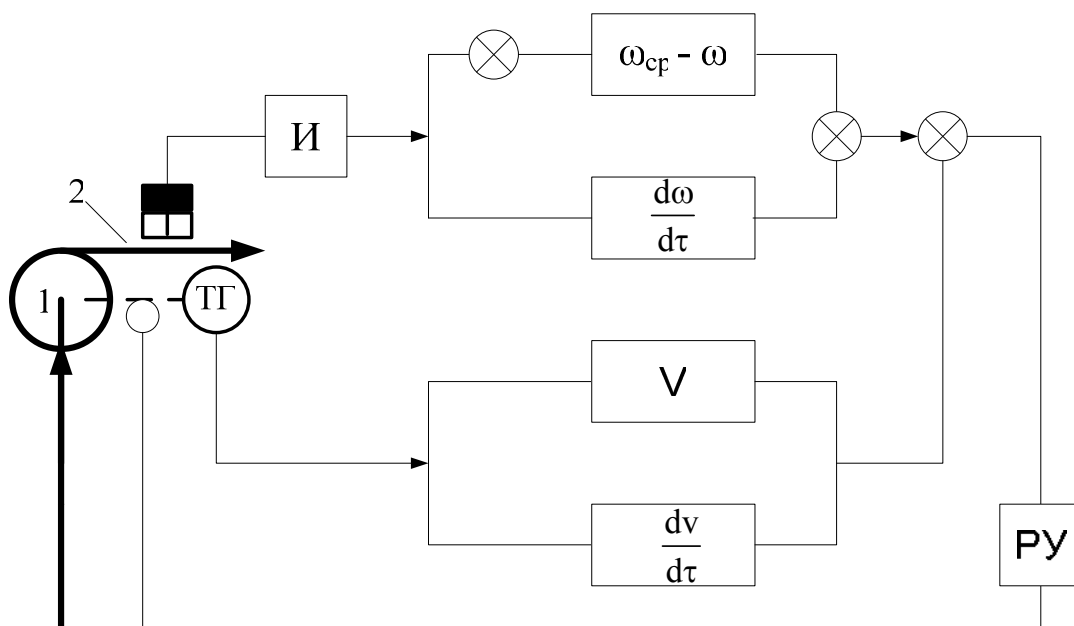
#### ***Регулирование контактных (барабанных и вальцовых) сушилок***

Процесс сушки в аппаратах такого типа обусловлен температурой греющей поверхности, которую и используют в качестве основной регулируемой величины. Если невозможно измерить влажность  $w_k$ , измеряют температуру вращающейся теплопередающей поверхности с помощью специальных контактных устройств.

Регулирующее воздействие в контактных сушилках может вноситься изменением расхода теплоносителя или исходного материала, а также изменением скорости вращения барабана. Более предпочтителен второй способ вследствие больших запаздываний при изменении расхода теплоносителя и ограниченного применения регулируемого привода барабана. Температуру теплоносителя стабилизируют.

Иногда одноконтурное регулирование процесса контактной сушки только по температуре поверхности или по конечной влажности материала недостаточно. Тогда используют связанное регулирование.

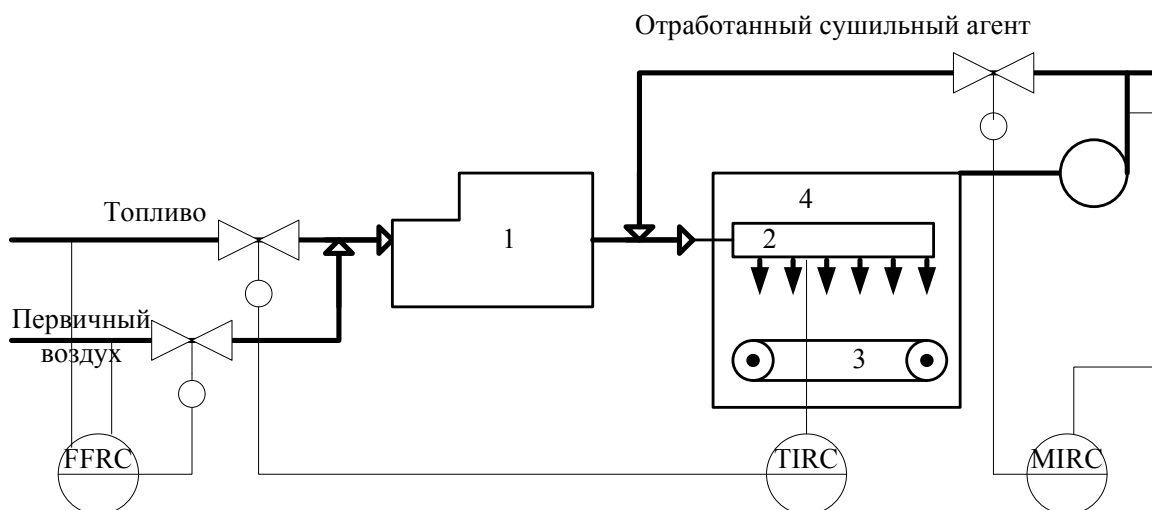
На рис. 9.50 представлена структурная схема многоконтурной системы регулирования вальцовой сушилки, в которой управляющее воздействие – изменение скорости вращения барабана – формируется в зависимости от влажности материала  $w_k$ , скорости вращения барабана  $V$  и их производных по времени.



**Рис. 9.50.** Блок-схема связанной системы регулирования вальцовой сушилки:  
1 – барабан; 2 – лента сухого материала; И – измеритель влажности;  
ТГ – тахогенератор; РУ – регулирующее устройство

### ***Регулирование радиационных (излучательных) сушилок***

При регулировании процесса сушки в радиационных сушилках в качестве основной регулируемой величины используют косвенный показатель: температуру поверхности излучателя или же температуру отработанного сушильного агента. На рис. 9.51 показан один из вариантов регулирования процесса.



**Рис. 9.51.** Схема автоматизации радиационной сушилки:  
1 – топка; 2 – излучатель; 3 – конвейер; 4 – корпус

Кроме регулятора температуры излучателя, в схеме предусмотрены регулятор соотношения расходов топлива – воздух и регулятор влажности отработанного сушильного агента.

Радиационные сушилки работают при высоких температурах, что повышает требования к ним в отношении техники безопасности. Система автоматического управления этими сушилками должна обеспечивать автоматическое зажигание горелочных устройств топки, определенную последовательность пуска и остановки отдельных устройств установки.

### ***Регулирование сушилок при использовании токов высокой частоты***

При сушке токами высокой частоты в качестве регулируемой величины целесообразно брать температуру материала. Термоэлектрический термометр вводится внутрь материала. Для предохранения измерительного прибора от воздействия токов высокой частоты в соединительных проводах термочувствительного элемента устанавливают высокочастотные фильтры. Регулирующее воздействие вносится изменением напряжения на рабочем конденсаторе.

### ***Регулирование сушилок периодического действия***

Окончание процесса сушки можно легко определить по достижению равновесного значения влажности материала, что характеризуется равенством температур материала и сушильного агента. Для измерения этих температур устанавливают два термочувствительных элемента, включают их по дифференциальной схеме, при достижении заданного значения разности между ними осуществляют смену операции сушки на операцию разгрузки с помощью переключающего устройства.

### ***Оптимизация процесса сушки с помощью вычислительной техники***

Оптимизирующие управляющие системы целесообразно применять в сушилках с высокоэффективными способами сушки, например, с сушкой в псевдоожиженном слое. В сушилках с большой инерционностью поиск экстремальных значений затягивается, а качество регулирования не улучшается по сравнению с регулированием по обычным схемам.

В качестве критерия оптимальности сушки выбирают, как правило, количество влаги  $w$ , удаляемой из материала в единицу времени:  $w = F_c(w_n - w_k)$ .

Текущие значения расхода сухого материала  $F_c$  и влажностей  $w_n$  и  $w_k$  подаются на вычислительное устройство, рассчитывающее критерий оптимальности. Выходной сигнал с этого устройства поступает на экстре-

мальный регулятор, который изменяет поочередно расходы сушильного агента и влажного материала, отыскивая оптимальные значения критерия. При работе экстремального регулятора вводится ограничение по минимальной влажности  $w_k$ .

### ***Автоматизация процессов сушки горючих материалов***

Для предупреждения термодеструкции и (или) загорания горючих продуктов обязательно должно быть предусмотрено регулирование температур высушиваемого материала и сушильного агента, а также защита, исключающая возможность повышения этих температур выше допустимых значений путем отключения подачи сушильного агента или включения подачи хладоагента (холодного газа, воды) и т. д.

При сушке в атмосфере инертного газа необходимо предусмотреть контроль содержания кислорода в инертном газе на входе в сушилку и (или) выходе из нее. При концентрации кислорода выше допустимого значения должна быть предусмотрена блокировка по остановке процесса и защита по исключению возможности образования взрывоопасной смеси в сушилке. При сушке под вакуумом перед пуском сушилки, а также при ее остановке предусматривается, как правило, автоматическая продувка рабочего пространства сушилки инертным газом. Если такая операция, невозможна, необходимо исключить источники воспламенения. Сушилки в этом случае оснащают устройствами блокировки, предотвращающими включение их обогрева при отсутствии или снижении вакуума в рабочем пространстве.

В сушилках для горючих веществ предусматривают меры, исключающие возврат взрывоопасной смеси из сушилки в нагревательное устройство (топку, калорифер). При непосредственном контакте высушиваемого продукта и сушильного агента сушилки должны оснащаться аппаратами очистки отработанного сушильного агента от пыли высушиваемого продукта с соответствующими устройствами управления.

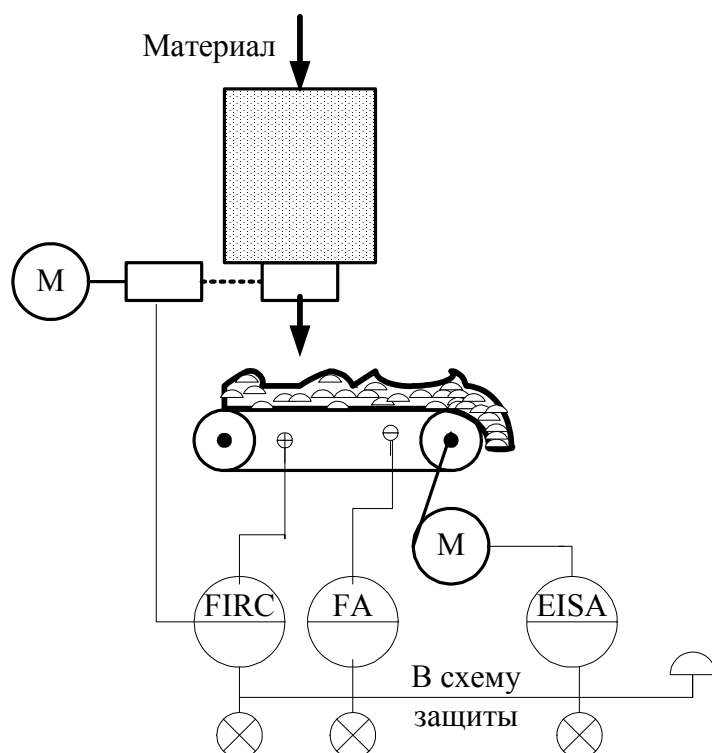
Распылительные сушилки горючих веществ должны оснащаться средствами прекращения подачи высушиваемого материала и сушильного агента при нарушении подачи одного из них.

## **9.4. Управление механическими процессами**

### **9.4.1. Перемещение твердых материалов**

В качестве объекта управления процессом перемещения твердых материалов примем ленточный транспортер, перемещающий сыпучий материал (рисунок 9.52).





**Рис. 9.52 – Схема автоматизации процесса перемещения сыпучих материалов:**

1- бункер; 2- дозатор;  
3 - вариатор; 4 – ленточный транспортер; Б - наличие материала на ленте.

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 плотности, проскальзывание ленты транспортера и т. п.) устранить невозможно, расход материала следует принять в качестве 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, они 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 качестве регулируемой величины в этом случае следует принять число

единиц груза в единицу времени, а регулирующее воздействие осуществлять корректировкой работы погрузочных устройств.

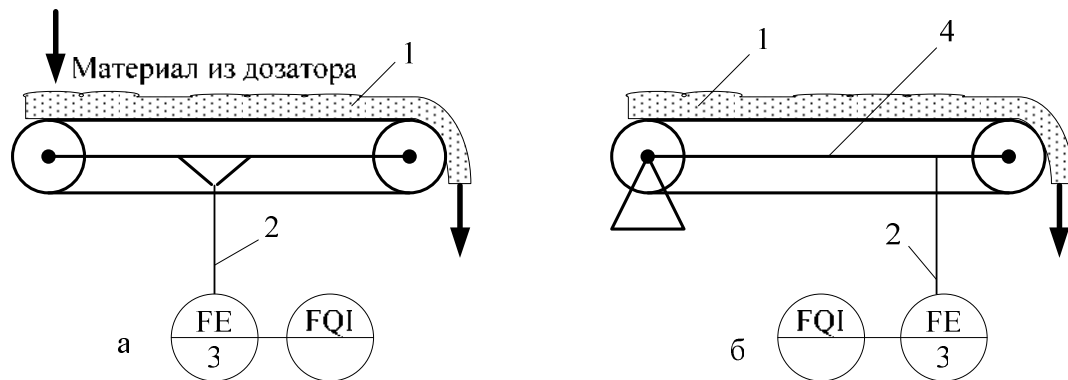
### ***Различные цели управления процессом перемещения***

В зависимости от требований, предъявляемых следующим по ходу перемещаемого материала технологическим процессом, перед транспортным устройством могут ставиться разные задачи.

#### ***1. Стабилизация усредненного во времени расхода.***

Эта задача ставится наиболее часто и решается применением сравнительно простых устройств.

На рис. 9.53 показаны схемы, обеспечивающие измерение среднего расхода за определенный промежуток времени.



**Рис. 9.53.** Схемы весоизмерительных транспортеров: 1 – транспортер; 2 – щуп; 3 – чувствительный элемент; 4 – рама

Принцип действия указанных устройств основан на измерении усилий, возникающих под действием веса материала. Усилия  $F$ , воспринимаемые щупом от транспортера и передаваемые на преобразователь, могут быть рассчитаны по уравнению

$$F = V\rho gt = V\rho gL/v,$$

где  $V$  – объемный расход материала;  $\rho$  – плотность материала;  $g$  – ускорение свободного падения;  $t$  – время усреднения;  $L$  – длина ленты воспринимающей усилие;  $v$  – скорость ленты.

На практике используют несколько вариантов конструкций приборов измерения усредненного за определенный промежуток времени расхода:

- с установкой всей рамы транспортера на чувствительном элементе (рисунок 9.53, а);

- с размещением одного конца рамы на элементе, а другого – на подвижной опоре, которая может перемещаться вдоль рамы и тем самым изменять усилие, поступающее на элемент (рисунок 9.53, б);

### *2. Поддержание заданного мгновенного значения расхода*

Эту задачу решить значительно труднее, во-первых, вследствие флуктуации расхода, вызванных изменением проходного сечения дозатора при прохождении через него материала, и, во-вторых, ввиду сложности измерения мгновенного расхода. Для измерения мгновенного расхода используют сложные устройства, в которые входят элементы вычислительной техники.

### *3. Обеспечение определенного суммарного количества материала за определенный цикл работы*

Такую задачу требуется решать, например, при составлении шихты, упаковке определенных порций материала и т. д. В качестве устройств, применяемых для отвешивания определенной порции материала, используют автоматические весы, обеспечивающие взвешивание материала, загрузку и разгрузку бункера.

### ***Внесение регулирующих воздействий изменением скорости транспортера***

Когда между бункером и транспортером отсутствует дозатор, работа которого определяет поступление материала на ленту, расход материала зависит от скорости ленты. Самым распространенным способом изменения скорости является использование электромагнитных муфт, систем с преобразованием частоты тока и двигателей постоянного тока.

### ***Система автоматического управления транспортерами***

Автоматические устройства управления транспортерами должны обеспечить не только регулирование расхода перемещаемого груза, но и автоматический пуск, остановку, а в отдельных случаях и реверсирование электродвигателей этих транспортеров. Сигналы на осуществление той или иной операции могут поступать от командного прибора или от путевых выключателей и реле скорости. Применяют и комбинированные системы, например, систему управления пульсирующим транспортером. Пульсирующий транспортер должен доставить изделие к аппарату, прекратить работу на некоторый промежуток времени, необходимый для загрузки изделия в аппарат, включиться вновь и работать до того момента, пока следующее изделие не достигнет аппарата.

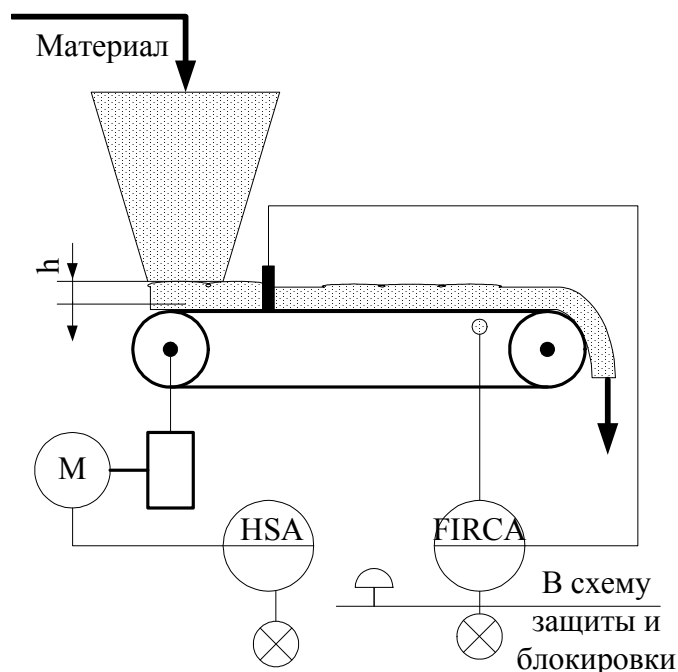
#### **9.4.2. Дозирование твердых материалов**

В качестве объекта управления примем дозатор непрерывного действия с ленточным питателем (рис. 9.54).

Показателем эффективности процесса дозирования является расход дозируемого материала, целью управления – поддержание определенного

значения этого расхода.

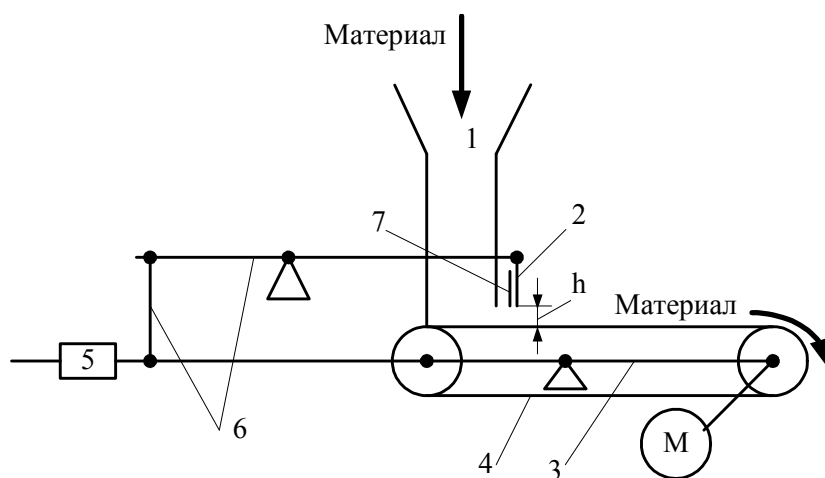
Контролировать следует расход материала, его количество, сигнализировать – значительные отклонения расхода от заданного значения и состояние привода дозатора («Включен», «Выключен»). В случае полного прекращения поступления материала на ленту транспортера устройства защиты должны автоматически прекратить работу дозатора и других механизмов.



**Рис. 9.54.** Схема автоматизации процесса дозирования  
1 – бункер; 2 – заслонка;  
3 – транспортер; 4 – вариатор

### *Регулирование дозатора с ленточным питателем и регулятором прямого действия.*

Схема регулирования представлена на рис. 9.55.



**Рис. 9.55.** Схема прямого регулирования дозатора с ленточным питателем:  
1 – бункер; 2 – заслонка;  
3 – коромысло; 4 – лента; 5 – подвижный груз (задатчик);  
6 – рычаги; 7 – заслонка ручного управления

## 10. Выбор технических средств автоматизации

10.1. При выборе наиболее предпочтительного варианта технических средств измерения учитывают основные требования:

- технологические;
- системные;
- экономические;
- монтажно-эксплуатационные и др.

Технологические требования зависят от характеристики объекта автоматизации и определяются:

- по виду измеряемого параметра (приборы температуры, давления, уровня и т.д.);
- по величине параметра (диапазон шкалы прибора, верхний предел);
- по характеру измеряемой среды (жидкость, газ, твердое вещество, кусковые, сыпучие однородные и компонентные массы);
- по свойству измеряемой среды (нормальная, высоко- и низкотемпературная, вязкая, эмульсия, агрессивная, взрыво- и пожароопасная);
- по характеру окружающей среды: внешние воздействующие факторы (механические, ударно-вибрационные, климатические, биологические, радиационные, электромагнитные и др.);
- по конструкционным характеристикам технологического оборудования, трубопроводов (высота, длина, ширина, глубина, диаметр, толщина стенок, материал, наличие движущихся частей, скорость движения или вращения);
- по месту установки прибора или отборного устройства;
- по размещению объекта (расстояние от мест установки датчиков, преобразователей и исполнительных механизмов до пунктов контроля и управления с учетом прокладки импульсных и командных линий).

Системные требования зависят от:

- серийности выпуска современных отечественных и импортных технических средств;
- степени функционального развития (многофункциональность и модификация, комплектность поставки);
- вида потребляемой энергии (электрические, пневматические, комбинированные);
- надежности (средняя выработка на отказ, ресурс, гарантийный срок);
- унификации входных и выходных сигналов (по току, напряжению);
- электрических параметров (напряжение, частота питающей сети, сопротивление нагрузки, потребляемая мощность);

- взаимозаменяемости составных частей (блочно-модульный принцип построения быстроедействия);
- метрологических характеристик (класс точности, предел допускаемой основной погрешности, номинальная статическая характеристика по ГОСТ Р50431 и др.);
- закона регулирования (для регуляторов и контроллеров – П, ПИ, ПИД и др. законы);
- сертификации и взрывозащиты;
- наличия защиты от программных и аппаратных сбоев;
- габаритных размеров и массы.

Экономические требования определяются стоимостной категорией и оптимальными соотношениями «цена/качество», «цена/параметры», «цена/производительность», затраты на монтаж, сервисное обслуживание и др.

Монтажно-эксплуатационные требования определяют:

- особенности установки на объекте, технологическом трубопроводе, в непосредственной близости от технологического оборудования, на панели;
- габаритные размеры монтажной части (зоны);
- удобство монтажа, эксплуатации и ремонта.

10.2. Выбор средств контроля и сигнализации проводится на основании:

- а) наиболее приемлемого метода измерения параметра;
- б) условий работы (пожаро-, взрывоопасности, агрессивности, запыленности, загазованности, токсичности окружающей среды);
- в) расстояния от мест установки датчиков и вспомогательных устройств до пунктов контроля;
- г) метрологических характеристик, надежности, быстрогодействия в условиях эксплуатации.

10.3. Выбор средств автоматизации технологического процесса осуществляется согласно методике, учитывающей:

- а) для первичных преобразователей (датчиков) – линейность статических характеристик, высокую чувствительность и малую инерционность, малую погрешность измерения, устойчивость к влиянию контролируемой и окружающей среды, расстояние, на которое может быть передан сигнал с датчика, требования огнестойкости и взрывобезопасности;
- б) для преобразователей – вид и величину входного и выходного сигналов, класс точности;

в) для вторичных приборов – функциональные признаки (показание, запись, сигнализация), класс точности, диапазон шкалы, вид диаграммы, необходимость в оснащении специальными устройствами (преобразователь сигналов, усилитель и т.д.), место установки.

При этом необходимо иметь в виду, что обычно, чем выше класс точности приборов, тем более сложной является их конструкция и более высокой стоимость. Поэтому следует выбирать класс точности, который определяется действительными требованиями автоматизируемой установки.

Комплекс технических измерительных средств по своему составу, функциональным и техническим возможностям должен быть достаточным для реализации поставленных задач.

Выбирая технические средства, необходимо ориентироваться на новейшие отечественные и импортные разработки, удовлетворяющие наибольшему количеству вышеперечисленных требований. К таким средствам можно отнести продукцию, изложенную в каталоге «Приборы и средства автоматизации [5].

**В том 1** Каталога включены приборы для измерения, контроля температуры, работа которых основана на различных методах измерения (жидкостные термометры, биметаллические термометры, термопреобразователи сопротивления, термоэлектрические преобразователи, пирометры, цифровые термометры).

Измерение температуры непосредственным сравнением с единицей измерения невозможно, и поэтому устройство приборов для измерения температуры основано на физических свойствах тел, связанных определенной зависимостью с температурой. Наиболее широко используются тепловое расширение тел; давление газов, паров и жидкостей; электрическое сопротивление проводников; термоэлектродвижущая сила; энергия излучения раскаленных тел.

На этих свойствах основан принцип действия следующих приборов:

**Жидкостные стеклянные термометры** относятся к приборам, принцип действия которых основан на тепловом расширении жидкости.

**Биметаллические термометры** имеют чувствительные элементы в виде пружин различной формы, выполненные из двух металлов с разными коэффициентами линейного расширения. Под влиянием температуры изменяется кривизна пружины. Изменение кривизны используется для перемещения измерительного устройства термометра.

**Манометрические термометры** относятся к приборам, принцип действия которых основан на свойстве жидких и газообразных веществ, заключенных в замкнутом объеме, изменять свое давление в зависимости от температуры. Чувствительным элементом в манометрических термо-

метрах служат манометрические пружины. Манометрические термометры разделяются на газовые, жидкостные и парожидкостные. В газовых термометрах замкнутый объем заполняется газом, в жидкостных – жидкостью с температурой кипения выше верхнего предела измерения, в паровых – жидкостью с температурой кипения ниже значения нижнего предела измерения температуры, причем в этом случае жидкостью заполняется, только часть чувствительного элемента – термобаллона. Чувствительным элементом кварцевых термометров является термобаллон, заполняемый жидкостью.

**Термопреобразователи сопротивления** (термометры сопротивления) относятся к приборам, принцип действия которых основан на свойствах металлов и сплавов изменять электрическое сопротивление в зависимости от температуры. Чувствительный элемент термометров сопротивления изготавливается из тонкой проволоки, намотанной на изоляционный материал. Для серийного изготовления термометров сопротивления применяется платиновая и медная проволока.

**Термоэлектрические преобразователи** (термопары) относятся к приборам, принцип действия которых основан на термоэлектрическом эффекте. Если в цепи, состоящей из двух различных проводников, концы которых соединены, нагревать одну из точек соединения, в цепи возникает термоэлектродвижущая сила (термоЭДС).

**Пирометры излучения** относятся к приборам, принцип действия которых основан на зависимости энергии излучения нагретых тел от температуры. К ним относятся оптические и радиационные пирометры. Оптический пирометр измеряет температуру по яркости нагретого тела и основан на принципе фотометра. Радиационный пирометр служит для измерения температуры по тепловому эффекту от излучения нагретого тела.

**Цифровые термометры** представляют собой комплект, состоящий из термопреобразователя и электронного блока.

По выходному сигналу приборы выпускаются с выходным унифицированным токовым сигналом и другими сигналами.

**В том 2** Каталога включены приборы для измерения, контроля и сигнализации давления, перепада давления, работа которых основана на различных методах измерения и принципах действия. По принципу действия приборы разделяются на: пружинные, сильфонные, мембранные, поршневые, колокольные, электрические, ионизационные.

По способу представления информации приборы могут быть показывающие (со стрелочной или цифровой индикацией), самопишущие, с электрическим (в том числе сигнализирующие) и пневматическим выходными сигналами.



Измерительные преобразователи предназначены для получения информационного сигнала о давлении для дальнейшего использования его в системах управления. Информационный унифицированный сигнал может быть электрическим в форме тока, напряжения, частоты, индуктивности, сопротивления, а также пневматическим. Преобразователи могут также иметь отсчетные устройства для представления информации оператору.

Представлены также дифференциальные манометры. Дифференциальные манометры в основном предназначены для измерения расхода жидкостей, газа и пара по перепаду давления в сужающих устройствах. Вместе с тем дифференциальные манометры могут быть использованы также и для измерения статического давления или разрежения в пределах их максимальных перепадов.

**В том 3** Каталога включены приборы для измерения расхода и количества жидкости газа, пара, а также приборы для измерения расхода тепловой энергии и параметров теплоносителя, работа которых основана на различных методах измерения и принципах действия.

Приборы для измерения расхода и количества жидкости, газа и пара по методу измерения разделяются на: ротационные, турбинные, оптические, струйные, по переменному и постоянному перепаду давления, электромагнитные, ультразвуковые, акустические, вихревые, массовые (кориолисовые и др.), разные.

Кроме того в каталог включены приборы для измерения тепловой энергии и параметров теплоносителей (теплосчетчики). Теплосчетчики конструктивно подразделяются на компактные и составные. В компактных теплосчетчиках вычисление тепла реализуется в электронике, вмонтированной в водосчетчик, который комплектуется парой термопреобразователей. В составных теплосчетчиках функции вычисления тепла реализуются в отдельном блоке – тепловычислителе. Они комплектуются преобразователями объема (расхода), температуры и давления теплоносителя.

По методу измерения расхода теплосчетчики сгруппированы по следующим разделам: турбинные, электромагнитные, ультразвуковые, вихревые, смешанные.

В каталоге выделен раздел по приборам для измерения расхода и количества газа и воды для коммунально-жилищного хозяйства (бытовые счетчики газа и водосчетчики).

**В том 4** Каталога включены приборы для измерения и регулирования уровня жидкости и сыпучих материалов.

Приборы контроля уровня, серийно выпускаемые изготовителями, отличаются большим разнообразием, как по методам измерений, так и по конструктивному исполнению. Это объясняется различной спецификой контролируемых сред: степенью их агрессивности, взрывоопасности, элект-

тропроводности, плотности и другими характеристиками, условиями эксплуатации, метрологическими характеристиками и т.д.

Все приборы контроля уровня, включенные в данный каталог, в зависимости от методов измерений разбиты по следующим группам: электромеханические вибрационные, электромеханические поплавковые, гидростатические (буйковые), электрические (емкостные, кондуктометрические, сопротивления), дифманометры-уровнемеры, радиоизотопные, электронные, оптоэлектронные, радиоэлектронные, радарные, ультразвуковые.

Также в каталог включены разделы: сигнализаторы уровня и датчики-реле уровня.

**В том 5** Каталога включены приборы для определения состава и свойств газа, жидкости, твердых и сыпучих веществ, серийно выпускаемые изготовителями, отличаются большим разнообразием, как по методам измерений, так и по конструктивному исполнению. Это объясняется различной спецификой контролируемых сред: степенью их агрессивности, взрывоопасности, электропроводности, плотности и другими характеристиками, условиями эксплуатации, метрологическими характеристиками и т.д. Все приборы для определения состава и свойств газов, жидкостей, твердых и сыпучих веществ, включенные в данный каталог, в зависимости от назначения разбиты по следующим разделам: газоанализаторы; анализаторы жидкостей (рН-метры, кислородомеры, солемеры и др.); анализаторы аэрозолей, твердых и сыпучих веществ; хроматографы; влагомеры; плотномеры газов и жидкостей и др.

В каталоге выделен раздел «Приборы для определения состава и свойств газов, жидкостей; твердых и сыпучих веществ экологического контроля». Данный раздел представлен не полностью, т.к. часть приборов помещены в другие разделы данного каталога. Эти приборы могут применяться как для экологии, так и для других различных отраслей промышленности.

**В том 6** Каталога включены приборы вторичные (мосты, потенциометры, вторичные приборы с входным сигналом переменного напряжения, с входными унифицированными сигналами постоянного тока и напряжения, узкопрофильные приборы и др.) отечественного и зарубежного производства.

Приборы вторичные, серийно выпускаемые изготовителями, отличаются рядом характеристик: по принципу действия, по виду показаний (показывающие или самопишущие), по виду диаграммы (ленточная, дисковая), по габаритным размерам, по конструктивному исполнению (щитовое, настенное или настольное исполнение).

**В том 7** Каталога включены приборы электрические и пневматические, преобразователи электропневматические, пневмоэлектрические и

электроэлектрические, приборы для сложных многоконтурных систем; механизмы исполнительные электрические однооборотные, многооборотные, прямоходные и пневматические.

В каталоге можно выбрать датчики-реле температуры, давления, перепада давления и разрежения, уровня; сигнализаторы давления, перепада давления, уровня. Также можно выбрать устройства для управления вспомогательными механизмами, пускатели, указатели положения, перемещения, сигнализаторы конечных положений, позиционеры, панели управления, оперативные, задающие и вспомогательные устройства.

**В Том 8** Каталога включены программно-логические контроллеры (ПЛК) и программно-технические комплексы (ПТК).

Программно-логические контроллеры (ПЛК), серийно выпускаемые изготовителями, отличаются большим разнообразием модулей: модули дискретных входов/выходов; коммуникационные модули; модули аналоговых входов/выходов; модули терморегуляторов; модули ПИД-регулятора; модули контроля движения и других технических характеристик (быстродействие, количество каналов ввода/вывода, уровня напряжения входа/выхода).

Учитывая специфику устройств, критерии оценки можно разделить на три группы:

- технические характеристики: количество входов/выходов; быстродействие; уровни напряжения входов/выходов; напряжение изоляции;
- эксплуатационные характеристики: диапазон рабочих температур; относительная влажность воздуха;
- потребительские свойства: производительность; надежность; затраты; масса и габариты.

Объем технических данных, представленных в каталоге для каждого типа контроллера, не является исчерпывающим, однако он содержит достаточно данных для выбора ПЛК. Единая форма таблицы технических данных для всех типов контроллеров представляет возможность сравнительного анализа ПЛК различных фирм по основным техническим показателям.

Выбор технических средств автоматизации можно производить в Интернете изготовителей и дистрибьюторов. Список изготовителей и дистрибьюторов приведен в приложении 10. 1.

Описание и принцип действия технических средств можно найти [7].

№ п/п	Наименование завода-изготовителя
1.	«Armstrong International Inc.», США (представительство в Москве и Санкт-Петербурге, фирма «АППЭК» ООО)
2.	«Burkert Easy Fluid Control Systems», Германия (представительство ЗАО «Эф-Си-Эс автоматика»)
3.	«EMERSON PROCESS MANAGEMENT» (Fisher-Rosemount)
4.	«HONEYWELL», США (представительство в России)
5.	«KONICS CO., LTD», Южная Корея. Эксклюзивный представитель в России ОАО «Челябинский завод «Теплоприбор»
6.	«OMRON», Япония, дистрибьютор: ООО НПФ «Ракурс»
7.	«SIEMENS», Германия (представительство в Москве)
8.	«VALCOM», Италия (представительство «Валком», ООО)
9.	«YOKOGAWA», Япония (представительство в России ООО «Йокогава Электрик»)
10.	«АВТОМАТИКА» ОАО
11.	«АГРОСТРОЙ», ЗАО НПФ
12.	«АЛЬБАТРОС» ЗАО
13.	«АПЛИСЕНС», ООО
14.	«АРЗАМАССКИЙ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД» ОАО
15.	«БАСТОР» ЗАО
16.	«ВАРТА» НПК
17.	«ВЗЛЕТ» ЗАО
18.	«ВИКА МЕРА» ЗАО
19.	«ВЛАДИМИРСКИЙ ЗАВОД «ЭТАЛОН» ОАО
20.	«ВИИИТФА»
21.	«ГАЗАППАРАТ» ОАО

22.	«ГИДРОМЕТПРИБОР» Сафоновский завод ФГУП
23.	«ДАНА ТЕРМ», ЗАО НПП
24.	«ДАНФОСС» ЗАО
25.	«ДУНАЕВЕЦКИЙ АРМАТУРНЫЙ ЗАВОД» АО
26.	«ЕНИСЕЙЗОЛОТОАВТОМАТИКА» ООО
27.	«ЗАВОД «ПРОМАВТОМАТИКА» АО ОТ
28.	«ЗАВОД СТАРОРУСПРИБОР» ОАО
29.	«ЗАВОД ЭЛЕКТРОНИКИ и МЕХАНИКИ» ОАО
30.	«ИЗОТОП» ВО ГУП
31.	«ИНТОР» НПП
33.	«КАНЕКС Кроне Инжиниринг» ЗАО
34.	«КАТРАБЕЛ» СП
35.	«КОНСТЭЛ» компания
36.	«КОНТАКТ-1», Приборостроительное предприятие
37.	«КонтрАвт» ООО НПФ
38.	«КРУГ» НПФ
39.	«ЛАЙФ-НОВОСИБИРСК» ЗАО НПО
40.	«ЛП-Вега дистрибьюшн» ООО (дистрибьютор в России и Белоруссии)
41.	«МАНОМЕТР» ЗАО
42.	«МАЯК» ПО
43.	«МЗТА» (Московский завод тепловой автоматики) ОАО
44.	«МИДАУС» ЗАО
45.	«МИКОН», ООО

46.	«МИКРОНИКС» 000 НПФ
47.	«МИКРОЛ», предприятие
48.	«МИР» НПП 000
49.	«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ» ФГУП
50.	«НЕФТЕАВТОМАТИКА» ОАО
51.	«НЕФТЕАВТОМАТИКА» опытный завод
52.	«НЕФТЕАВТОМАТИКА» АО
53.	«НЕФТЕХИМАВТОМАТИКА» ГП НПО
54.	«НЕФТЕХИММАШСИСТЕМЫ» ОАО РНТП
55.	«НПП АВТОМАТИКА» ЗАО
56.	«ОВЕН», компания
57.	«ОРЛЭКС» ЗАО
58.	«ПАСКАЛЬ» 000
59.	«ПЛК Системы» 000
60.	«ПРИБОР» ОАО
61.	«ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ» 000 СКБ
62.	«ПРОМАРМАТУРА» Завод
63.	«ПРОМЫШЛЕННАЯ ГРУППА «МЕТРАН» ЗАО
64.	«ПЬЕЗОЭЛЕКТРИК» ООО
65.	«ПЯТИГОРСКИЙ ЗАВОД «ИМПУЛЬС» ОАО
66.	«САМСОН КОНТРОЛС» ООО
67.	«САРАНСКИЙ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»
68.	«САРАТОВГАЗПРИБОРАВТОМАТИКА» ФИРМА ООО

69.	«СЕНСОР» ЗАО
70.	«СЕНСОРИКА», НПФ
71.	«СИГМА-С», НПП
72.	«СИГМ ПЛЮС» ООО, Москва, (BRONKHORST HIGH-TECH)
73.	«СИГНАЛ» ООО, ЭПО
74.	«СИГНУР» ИПП
75.	«СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ» ООО НПП
76.	«СКБ СПА» ОАО
77.	«СОЮЗЦВЕТМЕТАВТОМАТИКЛ» ОАО
78.	«СТАРТ» ФГУП ПО
79.	«СТЭНЛИ» ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
80.	«ТЕПЛОАВТОМАТ» АО
81.	«ТЕПЛОКОНТРОЛЬ», ГУП
82.	«ТЕПЛОКОНТРОЛЬ» ОАО
83.	«ТЕПЛО ЛЮКС-М» («СПЕЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ») ООО»
84.	«ТЕПЛОПРИБОР» ОАО
85.	«ТЕПЛОПРИБОР», ОАО
86.	«ЗАВОД «ТЕПЛОПРИБОР-КОМПЛЕКТ» ЗАО
87.	«ТЕРМОАВТОМАТИКА» ОКБ ЗАО
88.	«ТехноАс» ООО
89.	«ТИК НПП» ООО
90.	«ТОРЭКС» НПФ ООО
91.	«УЛЬЯНОВСКОЕ КБ «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ» ОАО
92.	«ШИББОЛЕТ» ООО
93.	«ЭЛЕКТРОПРИВОД» ОАО

94.	«ЭЛЕМЕР». НПП
95.	«ЭНЕРГО – СОЮЗ», ООО (ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО В РФ «ТОРГ- ЭНЕРГО» ООО)
96.	«ЭТАЛОН ПРИБОР»
97.	«ЭТАЛОН» НПК
98.	«ЭТАЛОН», Омский опытный завод, ФГУП
99.	«ЮМО» фирма ООО

## 11. Заказная спецификация

Выбранные измерительные средства вносят в заказную спецификацию. Заказная спецификация является как проектным, так и заказным документом. Составляется она на основании функциональной схемы и заполняется по форме ГОСТ 21.110-95 (приложение 11.1).

Спецификация составляется по цехам, отделениям или подразделениям объекта контроля. Средства контроля и сигнализации включаются в спецификацию группами по контролируемым величинам в порядке возрастания номеров позиций.

Наименование средств контроля и сигнализации, а также технические характеристики приводятся в заказной спецификации на основании стандартов, каталогов, номенклатур и других официальных справочных материалов.



Приложение 11.1

Пози- ция	Наименование и характеристика технических средств автоматизации	Тип, марка	Завод- изготовитель	Единица измерения	Количество	Масса единицы	Примеч.

(185)									
(10)	(10)	(10)	(10)	(15)	(10)	(120)			
						(1)			
(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)				
Изм	Кол.уч	Лист	№ док	Подпись	Дата				
						(5)	Стадия	Лист	Листов
(10)		(11)		(12)	(13)		(6)	(7)	(8)
							(15)	(15)	(20)
						(70)			
						(9)			

## Библиографический список

1. Герасимов А.А. Самоучитель Компас – 3D V8. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 544 с.
2. Ключев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х., Ключев А. А. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ. Под редакцией Ключева А. С. 3-е издание, переработанное и дополненное. М., ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ. 2008 г. (можно 1980 и 1990 г.г.)
3. Зингель Т. Г. Системы управления химико-технологическими процессами. Функциональные схемы автоматизации. Уч. пособие. СибГТУ. Красноярск. 2004.
4. Беспалов А. В., Харитонов Н. И. Системы управления химико-технологическими процессами. Учебник. Москва. ИКЦ «АКАДЕМКНИГА». 2007 г. – 690 с.
5. Каталог «Приборы и средства автоматизации». М.: ООО Издательство «НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ», 2004.
6. ГОСТ 21. 404 – 85 «Система проектной документации. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах».
7. Кулаков М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов". М – 2008, 423 с.

## Содержание

<b>Введение</b> .....	3
<b>1. Задание на проектирование</b> .....	5
1.1. Исходные данные.....	5
<b>1.2. Задачи курсового проектирования</b> .....	5
<b>2. Структура курсовой работы</b> .....	5
2.1. Графическая часть проекта.....	5
2.2. Пояснительная записка.....	5
<b>3. Требования к выполнению графической части</b> .....	10
3.1. Функциональная схема автоматизации.....	10
3.1.1. Изображение технологического оборудования.....	12
3.1.2. Изображение комплекса технических средств автоматизации.....	12
3.1.3. Изображение линий связи.....	13
4.8. Библиографический список.....	12
<b>4. Основы проектирования</b> .....	14
4.1. Основы компьютерной графики.....	14
4.2. Система координат.....	15

4.3. Единицы измерения.....	17
4.4. Единая система конструкторской документации.....	17
4.5. Порядок разработки чертежей технологического оборудования и функциональных схем автоматизации.....	23
<b>5. Функциональные схемы автоматизации (ФСА).....</b>	<b>24</b>
5.1. Назначение функциональных схем.....	24
5.2. Общие принципы выполнения схем.....	25
5.3. Изображение технологического оборудования и коммуникаций.....	27
5.3.1. Изображение оборудования.....	27
5.3.2. Изображение коммуникаций.....	28
5.3.3. Условн. обозначения сред, транспортируемых по трубопроводам...	30
<b>5.4. Рекомендуемые толщины линий на функциональной схеме.....</b>	<b>33</b>
<b>6. Изображение приборов и средств автоматизации.....</b>	<b>33</b>
6.1. Общие сведения.....	33
6.2. Условные графические обозначения.....	35
6.3. Правила построения условных обозначений.....	41
6.4. Изображение щитов, пультов, стативов.....	47
<b>6.6. Графическое оформление схем автоматизации.....</b>	<b>51</b>
<b>7. Задачи управления технологическими процессами.....</b>	<b>52</b>
7.1. Возмущения, допускающие стабилизацию.....	53
7.2. Контролируемые возмущения.....	53
7.3. Неконтролируемые возмущения.....	54
7.4. Возможные регулирующие воздействия.....	54
7.5. Выходные переменные.....	54
<b>8. Регулирование основных технологических параметров.....</b>	<b>55</b>
8.1. Регулирование расхода.....	55
8.2. Регулирование устройств для перемещения жидкостей и газов.....	57
8.3. Регулирование уровня.....	61
8.4. Регулирование давления.....	64
8.5. Регулирование температуры.....	65
8.6. Регулирование pH.....	66
8.7. Регулирование параметров состава и качества.....	71
8.8. Регулирование типовых тепловых процессов.....	71
8.8.1. Динамические характеристики парожидкостного теплообменника..	72
8.8.2. Динамические характеристики кожухотрубного парожидкостного теплообменника.....	73
8.8.3. Регулирование массообменных процессов.....	76
8.8.3.1. Управление ректификационной установкой.....	77
<b>9. Управление типовыми химико-технологическими процессами.....</b>	<b>79</b>
9.1 Управление гидромеханическими процессами.....	79
9.1.1 Перемещение жидкостей и газов.....	79

9.1.2. Смешение жидкостей.....	86
9.1.3 Отстаивание жидких систем.....	89
9.1.4 Центрифугирование жидких систем.....	92
9.1.5 Фильтрование жидких систем.....	95
9.1.6. Фильтрование газовых систем.....	105
9.1.7. Мокрая очистка газов.....	97
<b>9.2. Управление тепловыми процессами.....</b>	<b>99</b>
9.2.1. Нагревание жидкостей.....	99
9.2.2. Искусственное охлаждение.....	107
9.2.3. Выпаривание.....	109
9.2.4. Кристаллизация.....	114
<b>9.3. Управление массообменными процессами.....</b>	<b>116</b>
9.3.1. Ректификация.....	116
9.3.2. Примеры систем автоматизации ректификационных установок....	131
9.3.3. Абсорбция.....	136
9.3.4. Адсорбция.....	141
9.3.5. Автоматизация абсорбционных и выпарных установок.....	144
9.3.6. Экстракция.....	146
9.3.7. Сушка.....	148
<b>9.4. Управление механическими процессами.....</b>	<b>149</b>
9.4.1. Перемещение твердых материалов.....	159
9.4.2. Дозирование твердых материалов.....	162
<b>10. Выбор технических средств автоматизации.....</b>	<b>164</b>
<b>Библиографический список.....</b>	<b>177</b>