

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«Санкт-Петербургский государственный
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени С.М. Кирова (СПбГЛТУ)»**



Втюрин В.А., Илющенко В.В.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

(Электронный курс лекций)
для направления 27.03.04 «Управление в технических системах» и
15.03.04. «Автоматизация технологических процессов и производств»
(в лесной, деревообрабатывающей и
целлюлозно-бумажной промышленности)»

Санкт-Петербург

2014

АННОТАЦИЯ

Электронный курс лекций предназначен для подготовки студентов дневной и заочной форм обучения по образовательной программе направления 220400 «Управление в технических системах (в лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности (ЛДЦБП))» на кафедре «Управления, автоматизации и системного анализа» факультета экономики и управления лесотехнического университета.

Лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность (ЛДЦБП) [1] представляют собой следующую совокупность предприятий:

Лесная промышленность – совокупность отраслей промышленности, заготавливающих и обрабатывающих древесину. Заготовка древесины в **странах и районах** с ограниченными запасами **лесов** обычно проводится **предприятиями лесного хозяйства** – **лесхозами, лесничествами** и др. В **странах и районах** с большими запасами лесов естественного происхождения заготовка древесины, включая **сплав**, носит характер **добывающей промышленности** и представляет собой самостоятельную отрасль – **лесозаготовительную промышленность**. В России вопросами лесной промышленности на данный момент занимается Федеральное агентство лесного хозяйства (Рослесхоз). Профильного министерства в России – нет. Основной законодательный акт для лесной отрасли – «Лесной Кодекс». Лесная промышленность занимает менее 5 % в ВВП страны, несмотря на то, что в России сосредоточено 25 % всех мировых запасов леса.

Все **производства** по обработке и переработке **древесины**, вместе взятые, образуют **лесообрабатывающую промышленность**, в составе которой выделяют следующие виды промышленности:

- **деревообрабатывающая промышленность**, объединяющая группы предприятий, производящих механическую и частично химико-механическую обработку и переработку древесины;
- **целлюлозно-бумажное производство** – технологический процесс, направленный на получение **целлюлозы, бумаги, картона** и других сопутствующих продуктов конечного или промежуточного передела;
- **гидролизная промышленность** и **лесохимическая промышленность**, производства, которые образуются на базе химической переработки древесины и некоторых недревесных продуктов леса.

Курс «Проектирование автоматизированных систем» входит в специальный цикл дисциплин подготовки студентов направления 220400. Он включен в учебные планы с целью усвоения студентами основных понятий, структуры, классификации, методологии разработки (проектирования) автоматизированных систем с использованием SCADA, и современных информационных технологий. В нем приводятся рекомендации по разработке архитектуры, структуры и технической документации автоматизированной системы управления, программного, информационного и технического обеспечения, а также по проектированию алгоритмов управления технологическими объектами, как на диспетчерском, так и на полевом уровне автоматизации производства.

Л1. Задачи и содержание курса ПАС. Стадии и этапы создания АС [2]

Основными целями и задачами автоматизации объектов ЛДЦБП промышленности являются:

- увеличение объемов выработки продукции конечному потребителю и повышение технико-экономических показателей за счёт уменьшения простоев основных производственных фондов;
- сокращение потерь производственных материалов за счёт оптимизации режимов при подготовке продукции и ее транспортировании,
- точное выполнение требований технологического регламента, исключение ошибочных действий оперативного производственного персонала при ведении процесса, пуске и останове производства и отдельного технологического оборудования;
- управление, обеспечивающее получение необходимого по количеству и качеству конечного продукта при минимизации используемого сырья, вспомогательных материалов и энергетических затрат;
- улучшение условий труда эксплуатационного персонала за счет централизации рабочих мест, разнообразного и удобного представления оперативной информации, упразднения рутинной работы операторов, использования "безбумажной" технологии управления объектом;
- повышение безопасности технологических процессов за счет высоконадежных средств сигнализации, блокировок и защит с минимальным периодом реагирования;
- повышение экологической безопасности за счет контроля за качеством товарной продукции, выбросами в атмосферу и сточными водами;
- реализация дистанционного контроля и управления всем комплексом сооружений на технологических площадках из центрального диспетчерского пункта, т.е. превращение технологических установок в автоматизированные технологические звенья, работающие в соответствии с заданиями вышестоящего уровня управления.

Автоматизация многих объектов ЛДЦБП промышленности представляет собой АСУ диспетчерского управления с локальными системами контроля и управления. Основными показателями, определяющими экономическую целесообразность затрат на разработку, внедрение и эксплуатацию средств и систем автоматизации являются:

- Годовой экономический эффект.
- Прирост прибыли.
- Срок окупаемости капитальных вложений.

Теоретически любой процесс в промышленности можно вести на неавтоматизированном оборудовании с ручным управлением при непосред-

ственном участии человека, однако, такое управление по сравнению с автоматизированным, кроме значительных затрат "живого" труда и других ресурсов, приводит к снижению производительности оборудования и качества продукции.

Целью автоматизации технологических и производственных процессов является более полное использование потенциальных возможностей, заложенных в технологии и управлении и, прежде всего:

- наиболее полное извлечение продукции из сырья с установленными технико-экономическими показателями;
- улучшение качества продукции;
- транспортирование сырья, деталей продукции без потерь в установленных объемах и строго по установленному графику;
- переработка сырья в соответствии с требованиями нормативных регламентов;
- повышение производительности оборудования; сокращение обслуживающего персонала;
- сокращение потерь всех видов ресурсов.

Задачами проектирования автоматизированных систем являются разработка проектной документации автоматизированной системы управления технологическим и производственным процессами.

Общими требованиями к проекту являются: целевая направленность, четкость построения, логическая последовательность изложения материала, глубина исследования и полнота освещения вопросов, убедительность аргументаций, краткость и точность формулировок, конкретность изложения результатов работы, доказательность выводов и обоснованность рекомендаций, грамотное оформление.

Технология проектирования является центральным звеном проектного производства, в результате функционирования которого на его выходе вырабатывается проектная продукция. Все остальные виды деятельности в проектной организации в той или иной степени могут рассматриваться в качестве обеспечивающих относительно процессов технологии проектирования. Представление о технологии проектирования как об организационно-технической системе позволяет установить структуру её элементов и видов обеспечения.

К основополагающим элементам технологии проектирования следует отнести методы и средства проведения работ. Технологические подходы

к проектному производству в целях обеспечения его эффективности и качества выпускаемой продукции развиваются в рамках методического обеспечения технологии проектирования: Практическим механизмом для реализации методических установок по организации и оптимизации технологических процессов проектирования, эффективному использованию методов и средств проектирования служит система организационно-методической документации (нормативная база) по технологии проектирования в проектных организациях.

Исходные данные для проектирования содержат ряд данных, которые определяют общие требования к проекту автоматизации.

Как правило, эта часть задания состоит из трех разделов:

- описание технологического процесса;
- обоснование разработки;
- описание условий эксплуатации системы автоматизации.

Проект представляет собой техническую документацию, состоящую из текстовых и графических материалов, в которых отражены принципиальные технические решения, затраты и экономическая эффективность автоматизации.

А. Текстовые материалы включают в себя:

общую пояснительную записку, содержащую исходные данные для проектирования, краткую характеристику объекта, для которого проектируется автоматизация, обоснование принятых проектных решений в части автоматического регулирования, управления и сигнализации, обоснование применения несерийной аппаратуры, щитов и пультов и указания соответствия проекта действующим в стране нормам и правилам строительного проектирования, в том числе нормам по взрыво- и пожаробезопасности; заказные спецификации, необходимые для размещения заказов на оборудование, и ведомости на приборы, арматуру, кабельные и другие изделия массового и серийного производства; сводный сметный расчет стоимости приобретения и монтажа технических средств автоматизации; технико-экономическую часть, включающую обоснование основных технико-экономических показателей и расчеты эффективности использованных в проекте новейших достижений науки и техники.

Б. Графические материалы включают в себя:

схемы автоматизации технологических процессов, для которых выполняется проект автоматизации; общие виды и планы расположения щитов и пультов (для новостроек и сложных производств); принципиальные схемы информационной увязки подсистем, структурные схемы комплекса технических средств (для сложных систем); принципиальные электрические схемы, организация связи (в необходимых случаях).

В проектных и консалтинговых организациях проектирование систем автоматизации технологических и производственных процессов выполняется в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД). Согласно ГОСТ 2.103-68 предусматривается пять стадий разработки конструкторской документации на изделия (предмет или набор предметов производства) всех отраслей промышленности:

- техническое задание (ТЗ);
- техническое предложение (ТП);
- эскизный проект (ЭП);
- технический проект;
- рабочая документация.

Техническое задание устанавливает основное назначение, показатели качества разрабатываемого изделия, его технические и тактико-технические характеристики, технико-экономические требования, предъявляемые к нему, необходимые стадии разработки конструкторской документации, ее состав, а также специальные требования к изделию.

Техническое предложение – это совокупность конструкторских документов, которые должны содержать технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации изделия.

Эскизный проект – это совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия.

Технический проект – это совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представления об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации.

Рабочая документация включает в себя:

- пояснительную записку;
- заказные спецификации на приборы и средства автоматизации,
- электроаппаратуру, кабели и провода, трубопроводную арматуру, монтажные материалы, щиты и пульты, нестандартизированное оборудование,
- средства вычислительной техники;
- объектные и локальные сметы;
- структурные схемы контроля и управления комплекса технических средств (КТС);
- схемы автоматизации технологических процессов;
- принципиальные электрические (пневматические, гидравлические) схемы управления, сигнализации, измерения, регулирования и питания;

- общие виды щитов и пультов;
- монтажно-коммутационные схемы щитов и пультов;
- схемы внешних электрических и трубных проводок;
- направление трасс электрических и трубных проводок;
- планы размещения средств автоматизации и вычислительной техники;
- перечень типовых чертежей на установку средств автоматизации;
- общие виды нестандартизированного оборудования.

Рабочие чертежи выполняются в соответствии с ЕСКД, действующими стандартами на условные обозначения, руководящими и нормативными документами по проектированию и монтажу систем автоматики, электрического и противопожарного проектирования.

Все части проектной документации должны быть изложены в строгой логической последовательности и взаимосвязи. Содержание работы иллюстрируется схемами, таблицами, диаграммами, графиками, фотографиями, рисунками и т.д. Пояснительная записка оформляется в соответствии с общими требованиями к текстовым документам по ГОСТ 24.301–80 и ГОСТ 2.105–95. Она должна включать обоснования по принимаемым решениям, краткое описание используемых информационных технологий и расчеты с необходимыми пояснениями.

В записке не должно быть пространных рассуждений и описания вопросов, не связанных с темой проектирования. Записка должна быть краткой и четко отражать сущность рассматриваемых вопросов.

Техническая документация (ТД) выполняется на русском языке. Каждый структурный элемент ТД следует начинать с нового листа. Название структурного элемента в виде заголовка записывают строчными буквами, начиная с первой прописной, симметрично тексту ТД.

Содержание основной части пояснительной записки должно отвечать заданию и ТЗ. Наименования разделов основной части должно отражать выполнение задания.

Основные разделы пояснительной записки (ПЗ).

Раздел описания технологического процесса как объекта автоматизированного управления и разработки архитектуры АС.

В этом разделе описывают общую структуру и особенности технологического процесса, подлежащего автоматизированному централизованному управлению. В нем также необходимо обосновать выбор нормативных документов, определяющих требования к функциональному обеспечению АС.

Раздел разработки перечня контролируемых величин и их сигналов.

В этом разделе необходимо руководствоваться тем, чтобы при минимальном числе измерительных каналов обеспечивалась наибольшая наблюдаемость и управляемость технологического процесса. В ПЗ необходимо определить и описать: принципы организации контроля и управления технологическим процессом; технологическое оборудование, управляемое автоматически, дистанционно или в обоих режимах по заданию оператора; перечень и значения контролируемых и регулируемых параметров; пределы измерения и регулирования технологических параметров; методы контроля, места размещения КИП и А аппаратуры на технологическом оборудовании, на щитах и пультах управления. Контролю должны подлежать, прежде всего, те параметры, наблюдение которых облегчает пуск, наладку и эксплуатацию (управление) технологического процесса, и в случае необходимости противоаварийную защиту. Раздел должен быть завершен разработкой функциональной схемой автоматизации.

Раздел выбора компонентов АС.

В этом разделе необходимо обосновать выбор измерительного, исполнительного и контроллерного оборудования, обосновать выбор СУБД и SCADA систем. Должны быть приняты во внимание такие факторы как взрыво- и пожароопасность объекта, повышенное давление, температура. При выборе измерительных приборов следует обосновать погрешность каналов измерений (не только датчиков).

Раздел разработки схем АС.

В этом разделе необходимо описать структурные схемы АС, функциональную схему автоматизации, принципиальную электрическую схему, схему сигнализации, схему размещения, схему монтажных соединений в шкафу управления, схему внешней разводки.

Раздел выбора алгоритмов управления.

В этом разделе необходимо описать алгоритм работы АС в целом и (или) отдельных его технологических узлов в словесной форме с использованием конструкции «Если..., то..., иначе...» и (или) в виде формализованной логики в графическом виде. Примерами такого описания являются блок схемы управления пуском (остановом) технологического оборудования, схема сбора данных, структурная схема контурного (многоконтурного) регулирования параметрами технологического оборудования. Алгоритмы автоматического регулирования обычно выбираются либо в классе

релейных, автоматных алгоритмов, либо в классе ПИД (АПИД) регуляторов.

Раздел разработки программного обеспечения АС.

В этом разделе разрабатывается программа для ПЛК обычно на одном из языков программирования МЭК 61131.

Раздел разработки информационного обеспечения.

В этом разделе должна быть разработана и описана система кодирования, идентификации сигналов и команд АС, схема информационных потоков АС, инфологическая модель базы данных.

Контрольные вопросы

1. Что является целями и задачами объектов автоматизации ЛДЦБП?
2. Какие показатели определяют экономическую целесообразность затрат на разработку, внедрение и эксплуатацию автоматизации?
3. Что является целью автоматизации технологических и производственных процессов?
4. Что является задачами проектирования автоматизированных систем?
5. Какие требования предъявляются к проекту?
6. Из каких частей состоит задание на проектирование?
7. Что должен включать текстовый материал?
8. Что должен включать графический материал?
9. Сколько стадий включает конструкторская документация?
10. Какие разделы включает пояснительная записка?

Л2. Описание функциональной схемы технологического процесса

При проектировании автоматизации исходной документацией являются документы технологического процесса. Различают документацию проектного, перспективного и директивного технологического процесса. Они определены в Единой системе технологической документации следующим образом:

- Перспективный технологический процесс – это технологический процесс, соответствующий современным достижениям науки и техники, методы и средства осуществления, которого полностью или частично предстоит освоить на предприятии.
- Комплект директивной технологической документации – это совокупность комплектов документов на отдельные технологические процессы, необходимые и достаточные для проведения предварительных укрупненных инженерно-технических, организационно-экономических задач, при

принятии решения по постановке новых изделий на производство применительно к условиям конкретного предприятия.

– Комплект проектной технологической документации предназначен для применения в проектировании или реконструкции предприятия. Как правило, при проведении проектных работ по автоматизации на действующих предприятиях используется комплект проектной технологической документации.

В системах ЛДЦБП существуют как основные, так и вспомогательные объекты автоматизации. К основным объектам относятся обрабатывающее оборудование, транспортеры и другие перемещающие средства.

К вспомогательным объектам автоматизации относятся системы водо-, тепло-, масло-, энерго-, воздухоснабжения. Все эти объекты в той или иной мере автоматизированы. Однако автоматизированные системы многих из них требуют современного реинжиниринга с использованием новых информационных технологий. Вопросы автоматизации перечисленных объектов рассматриваются во многих интернет-источниках и могут быть сгруппированы по следующим, наиболее часто встречающимся объектам:

- автоматизация обрабатывающего оборудования;
- автоматизация компрессорных станций, перекачивающих станций и насосных агрегатов;
- телемеханизация и диспетчеризация трубопроводов;
- автоматизация газотурбинных агрегатов;
- автоматизация систем газоснабжения, газораспределительных станций и пунктов, их телемеханизация и диспетчеризация;
- автоматическая защита трубопроводов от коррозии и станции катодной защиты;
- автоматизация систем тепло-, водоснабжения и котельных.

В ПЗ разделе "Краткое описание технологического процесса" приводятся краткие сведения о технологическом процессе (объекте автоматизации) или ссылки на документы, содержащие эти данные, кратко описывается технологический процесс и аппараты, которые участвуют в его выполнении, сведения об условиях эксплуатации объекта автоматизации, характеристики внешней среды, в которой функционирует объект автоматизации

Пример описания технологического процесса.

Технологический процесс производства ДСтП включает следующие основные операции: подготовка древесного сырья; подача в производство и разделка древесного сырья; измельчение древесины в щепу и сортирование щепы; изготовление древесных частиц; сушка древесных частиц; сортирование древесных частиц и измельчение крупной фракции; транспортирование и хранение смолы и химикатов; приготовление связующего;

смешивание древесных частиц со связующим; формирование стружечного ковра и разделение его на пакеты; подпрессовка стружечного пакета; прессование древесностружечных плит; охлаждение, выдержка и обрезка ДСтП; шлифование и сортирование; укладка и хранение плит. Каждая из перечисленных операций выполняется в определенной технологической последовательности и сопровождается образованием отходов и получением полуфабрикатов.

Ниже приведены два примера (рис. 2.1, 22) к описанию технологического процесса. Рис. 2.1 с готовым березовым шпоном, рис. 2 с получением шпона.

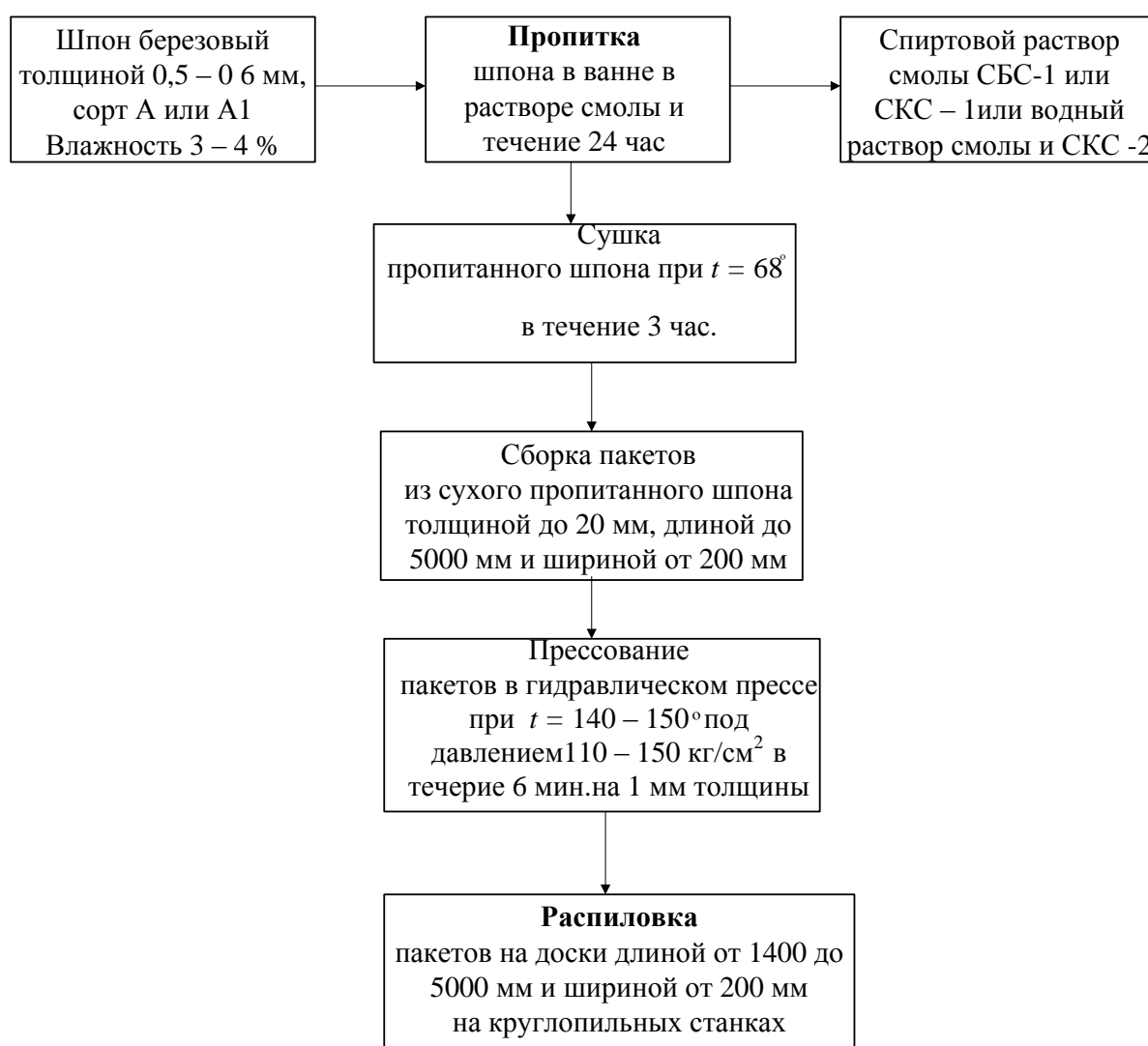


Рис. 2.1. Технологический процесс производства древесностружечных плит с готовым шпоном



Рис. 2.2. Технологический процесс производства древесностружечных плит с производством шпона

Таблицей задают перечень индексированных входных, режимных и выходных параметров (Т1, Т2, Р1, Р2 и т.д.), намеченного для автоматизации технологического объекта, указываются их номинальные значения.

После выбора регулируемых и регулирующих параметров выбирают параметры, подлежащие измерению (параметры, входящие в уравнение материального или энергетического баланса), регистрации (параметры, необходимые для расчета технико-экономических показателей работы цеха, подстройки регуляторов и т.п.), сигнализации и так далее.

Для выбранных параметров определяют требуемую точность измерения и регулирования, указывают диапазон их возможного изменения. Результаты заносят в таблицу (табл. 1).

Таблица 1

Заказная спецификация приборов и средств автоматизации

№ п/п	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол-во
1	2	3	4
1а	Термопреобразователь сопротивления, погружаемый, НСХ 50М, класс допуска В, монтажная длина 250 мм. ПГ «Метран», г. Челябинск.	ТСМ-0193-250	1
1б	Измерительный прибор аналоговый, показывающий, предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm 0,5$ %. Выходной сигнал 4...20 мА. Первый канал: шкала $-50...50$ °С, НСХ 50М. ПГ «Метран» г. Челябинск.	А100-Н-221	1
2а	Преобразователь термоэлектрический, НСХ К(ХА), длина монтажной части 160 мм, класс допуска 2, количество чувствительных элементов 1. ПГ «Метран» г. Челябинск.	ТХА Мет-ран-201-01-160-2-1	1
2б	Измерительный прибор аналоговый, показывающий, регистрирующий, предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm 0,5$ %. Выходной сигнал 4...20 мА. Первый канал: шкала 0...400 °С, НСХ К (ХА). ПГ «Метран» г. Челябинск.	А100-Н-111	1
3а, 10а	Преобразователь избыточного давления, 0...630 кПа, аналоговый, предел допускаемой основной приведенной погрешности $\square 0,5$ %, выходной сигнал 4...20 мА. ПГ «Метран» г. Челябинск.	Метран-43-Ех-ДИ-3141-01-0,5 %- 630 кПа-4...20 мА	2

Контрольные вопросы

1. Что включает описание федеральной системы технологического процесса?
2. Какие объекты существуют в системе ЛДЦБП?
3. Приведите пример описания технологического процесса.

Л3. Архитектура автоматизированных систем (АС)

Единый центр оперативного управления, оснащенный автоматизированной системой диспетчерского управления (SCADA-системой), должен осуществлять решение таких задач, как

- оперативный мониторинг производственного и технологического процессов, осуществляемый в реальном масштабе времени;
- получение и обработка технологических, производственной информации и указаний (заданий) от верхнего (стратегического) звена управления предприятием;
- оперативное корректирующее управление материальными и энергетическими потоками в соответствии с изменениями производственной ситуации и указаниями вышестоящего уровня управления;
- оперативное корректирующее управление запасами и производственными ресурсами;
- мониторинг и управление качеством производства;
- контроль и, при необходимости, корректирующее воздействие по управлению отдельными, наиболее важными технологическими установками (рабочими центрами);
- прогностический анализ возникновения сбоев, отказов и аварийных ситуаций и формирование демпфирующих корректирующих управлений;
- автоматизированное накопление и хранение производственного опыта в информационном хранилище и т.п. Решение этих задач должно поддерживаться продуманной на стадии проектирования архитектурой интегрированной информационной системой.

Архитектура информационной системы (в том числе и автоматизированной, далее АС) характеризует ее общую логическую организацию, программно-аппаратное обеспечение, описывает методы кодирования и определяет интерфейс пользователя с системой.

Стандарт ISO 15704 определяет архитектуру отдельной информационной системы как "описание (модель) основного взаиморасположения и взаимосвязей частей системы (будь то физический или концептуальный объект/ сущность)".

Стандарт выделяет следующий тип архитектуры информационной системы, ответственной за интеграцию предприятия.

Архитектура системы (тип 1), должна быть ответственна за конструирование некоторой системы, в частности, компьютерной системы контроля и управления, как части интегрированной системы предприятия в целом. При разработке архитектуры АС следует выделять точки зрения (взгляд) заказчика (совокупность архитектурных представлений) на проект и взгляд исполнителя. Центральной частью таких представлений у исполнителя является разработка пользовательского интерфейса.

При разработке архитектуры пользовательского интерфейса проекта АС следует описать ее IT-профиль (ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 10000-3-99 «Информационная технология. Основы и таксономия международных стандартизованных профилей. Часть 3: Принципы и таксономия профилей среды открытых систем (эталонная модель среды открытых систем OSE/RM)»). **Профиль** это набор стандартов, ориентированных на выполнение конкретной задачи (АС). Основными целями применения профилей являются снижение трудоемкости проектов АС; повышение качества компонентов АС; обеспечение расширяемости АС по набору прикладных функций и масштабируемости; обеспечение возможности функциональной интеграции задач, которые раньше решались отдельно; обеспечение переносимости прикладного программного обеспечения. Выбор стандартов и документов для формирования профилей АС зависит от того, какие из этих целей определены приоритетными. На стадиях жизненного цикла АС выбираются и затем применяются следующие основные функциональные профили:

- профиль прикладного программного обеспечения;
- профиль среды АС;
- профиль защиты информации в АС;
- профиль инструментальных средств, встроенных в АС.

Основными целями применения профилей при создании и применении АС являются:

- снижение трудоемкости, длительности, стоимости и улучшение других технико-экономических показателей проектов АС;
- повышение качества разрабатываемых или применяемых покупных компонентов и АС в целом при их разработке, приобретении, развитии и модернизации;
- обеспечение расширяемости АС по набору прикладных функций и масштабируемости в зависимости от размерности решаемых задач;
- обеспечение возможности функциональной интеграции в АС задач, ранее решавшихся отдельно;
- обеспечение переносимости прикладного программного обеспечения между разными аппаратно-программными платформами.

Функциональные профили АС должны включать в себя гармонизированные базовые стандарты. При использовании функциональных профилей АС следует иметь в виду также согласование (гармонизацию) этих профилей между собой. Необходимость такого согласования возникает, в частности, при использовании стандартизованных API-интерфейсов, в том числе интерфейсов приложений со средой их функционирования, интерфейсов приложений со средствами защиты информации.

Нормативные документы, регламентирующие жизненный цикл АС и ее профилей, либо задаются директивно заказчиком, либо выбираются разработчиком в зависимости от характеристик проекта. Эти нормативные документы, адаптированные и конкретизированные с учетом характеристик проекта и условий разработки, составляют профиль жизненного цикла проектируемой АС. В этом профиле должен быть учтен набор этапов, частных работ и операций, связанных с разработкой и применением профилей АС, специфицирующих ее проектные решения. При этом надо иметь в виду итерационный характер формирования и ведения профилей конкретной АС в течение ее жизненного цикла, связанный, как с итерациями самих процессов проектирования, так и с сопровождением системы в процессе эксплуатации.

Концептуальная модель архитектуры *OSE/RM* предусматривает разбиение ПО АС на приложения (прикладные программные комплексы), реализующие заданные функции АС, и среду взаимодействия, обеспечивающую подготовку и выполнение приложений. Между ними определяются стандартизованные интерфейсы прикладного программирования (API) (рис.3).

Кроме того, определяются стандартизованные интерфейсы взаимодействия данной АС с внешней для нее средой – другими информационными системами и сетью Интернет и/или корпоративными сетями, другими ИС и Internet и/или корпоративными сетями.

Наиболее актуальными прикладными программными системами АС

являются открытые распределенные АС с архитектурой клиент-сервер. Именно такими являются практически все современные SCADA системы, использующие стандарты OPC. Стандарты OPC – это стандарты подключаемости компонентов АС. Они разработаны с целью сокращения затрат на создание и сопровождение приложений промышленной автоматизации. Их применение при проектировании архитектуры АС решает вопросы обмена данными с устройствами разных производителей или по разным протоколам обмена данными.

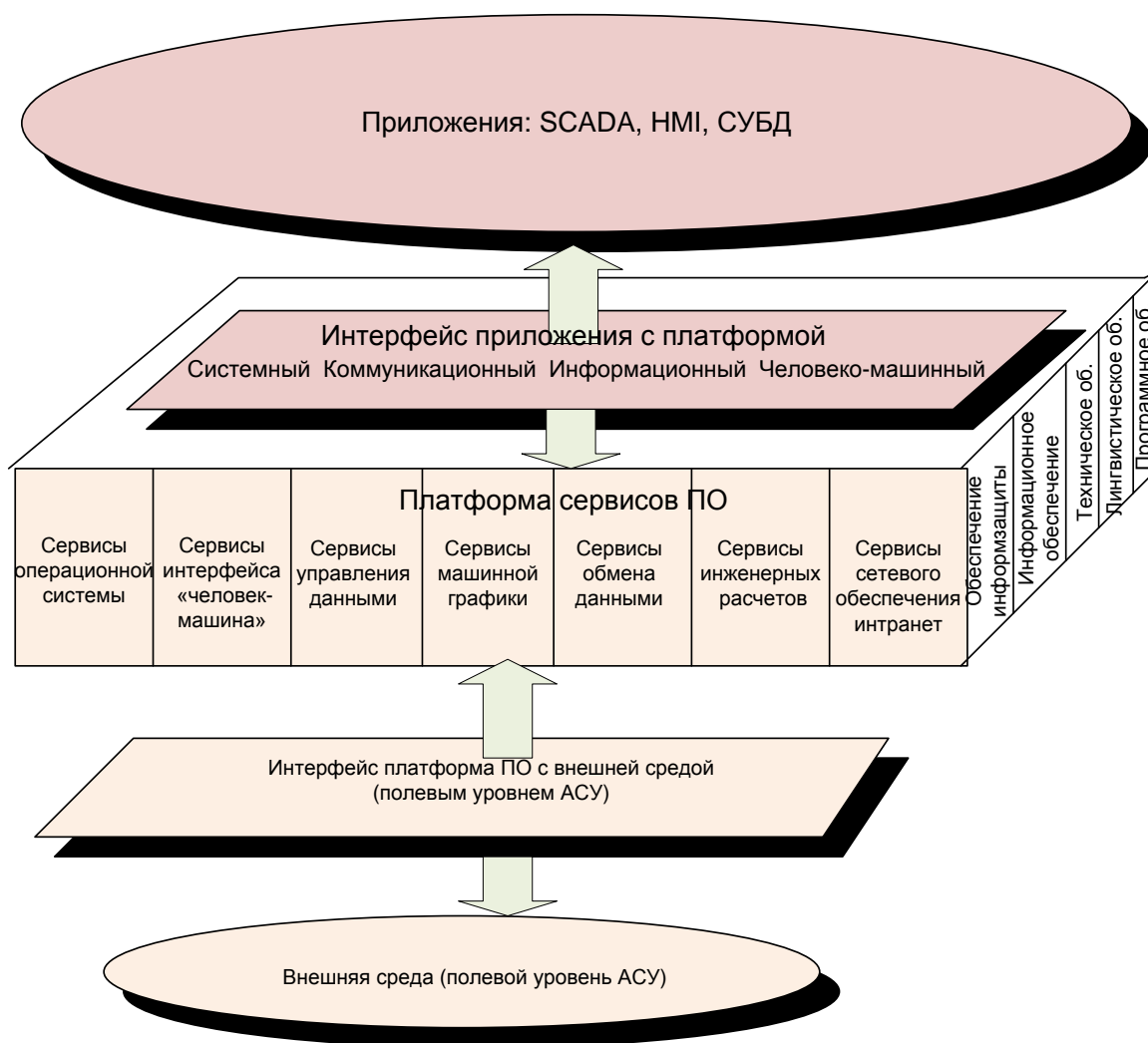


Рис. 3. Концептуальная OSE/RM модель ПО АС

Контрольные вопросы

1. Какие задачи должен решать центр оперативного управления?
2. Какие профили выбирают на стадиях жизненного цикла АС?

3. Что такое профиль? Основные цели применения профилей?
4. Для чего разрабатываются стандарты *ОПС*?

4. Техническое задание на проектирование АС

Техническое задание формируется по результатам проведённого предпроектного исследования и разработки концептуальных решений АС. Разработка ТЗ ведётся в соответствии со стандартами:

ГОСТ 34.601-90. *Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания;*

ГОСТ 34.602-89. *Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.*

Техническое задание на автоматизированную систему с учётом требований *ГОСТ 34.602-89* содержит следующие разделы:

- общие сведения;
- назначение и цели создания (развития) системы;
- характеристика объектов автоматизации;
- требования к системе;
- состав и содержание работ по созданию системы;
- порядок контроля и приемки системы;
- требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу АС в действие;
- требования к документированию;
- источники разработки;
- приложения.

В зависимости от вида, назначения, специфических особенностей объекта автоматизации и условий функционирования системы допускается оформлять разделы ТЗ в виде приложений, вводить дополнительные, исключать или объединять подразделы ТЗ.

ТЗ должно соответствовать современному уровню развития науки и техники, максимально точно отражать цели, замысел и требования к создаваемой системе и при этом не ограничивать разработчика в поиске и реализации наиболее эффективных технических, технико-экономических и других решений. В соответствии с *ГОСТ 34.601-90*, после согласования с Заказчиком, выполняется разработка, оформление, согласование и утверждение Технического задания на АС (при необходимости – на части АС). Данный стандарт также определяет состав участников проектирования и реализации проектных решений, которые участвуют в составлении и (или) согласовании ТЗ. В самом общем случае к ним относятся:

- организация-заказчик (пользователь), для которой создаётся АС и которая обеспечивает финансирование, приёмку работ и эксплуатацию как по всей АС, так и по отдельным её компонентам;
- организация-разработчик (генпроектировщик), осуществляющая работы по созданию АС, представляя Заказчику совокупность научно-технических услуг на разных стадиях и этапах создания, а также разрабатывая и поставляя различные программные и технические средства АС. Данная (головная) организация может пользоваться услугами других организаций, работающих у неё на субподряде;
- организация-поставщик, изготавливающая и (или) поставляющая программные и технические средства по заказу Разработчика или Заказчика;
- организации, выполняющие строительные, электротехнические, санитарно-технические, монтажные, наладочные и другие подготовительные работы, связанные с созданием АС.

ГОСТ 34.602-89 устанавливает порядок разработки, согласования и утверждения ТЗ на создание (развитие или модернизацию) автоматизированных систем различного назначения, а также состав и содержание указанного документа независимо от того, будет ли она работать самостоятельно или в составе другой системы. В зависимости от условий создания системы возможны различные совмещения функций заказчика, разработчика, поставщика и других организаций, участвующих в работах по созданию АСУ.

ТЗ на АС разрабатываются на основании исходных данных. Это означает, что Заказчик должен предоставить исполнителю документацию на оборудование технологического процесса, существующие на предприятии АСУ.

Л5. 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, которой 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, к качеству регулирования и надежности.

Контрольные вопросы

1. Что изображается на ФСА?
2. Какие задачи необходимо решать при разработке ФСА?
3. Назовите общие принципы выполнения ФСА?

5.2. Общие принципы выполнения схем

Современное состояние лесопромышленных предприятий характеризуется большим разнообразием используемых в них технологических процессов. Практически не ограничены условия их функционирования и требования по управлению и автоматизации. Однако, базирясь на опыте проектирования систем управления и автоматизации [1, 2], можно сформули-

ровать 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 устройств 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, настройки.

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.

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 двумя 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 ³ , биметаллический	10	**

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.

Пример выполнения технологического оборудования показан на рис 5.2.

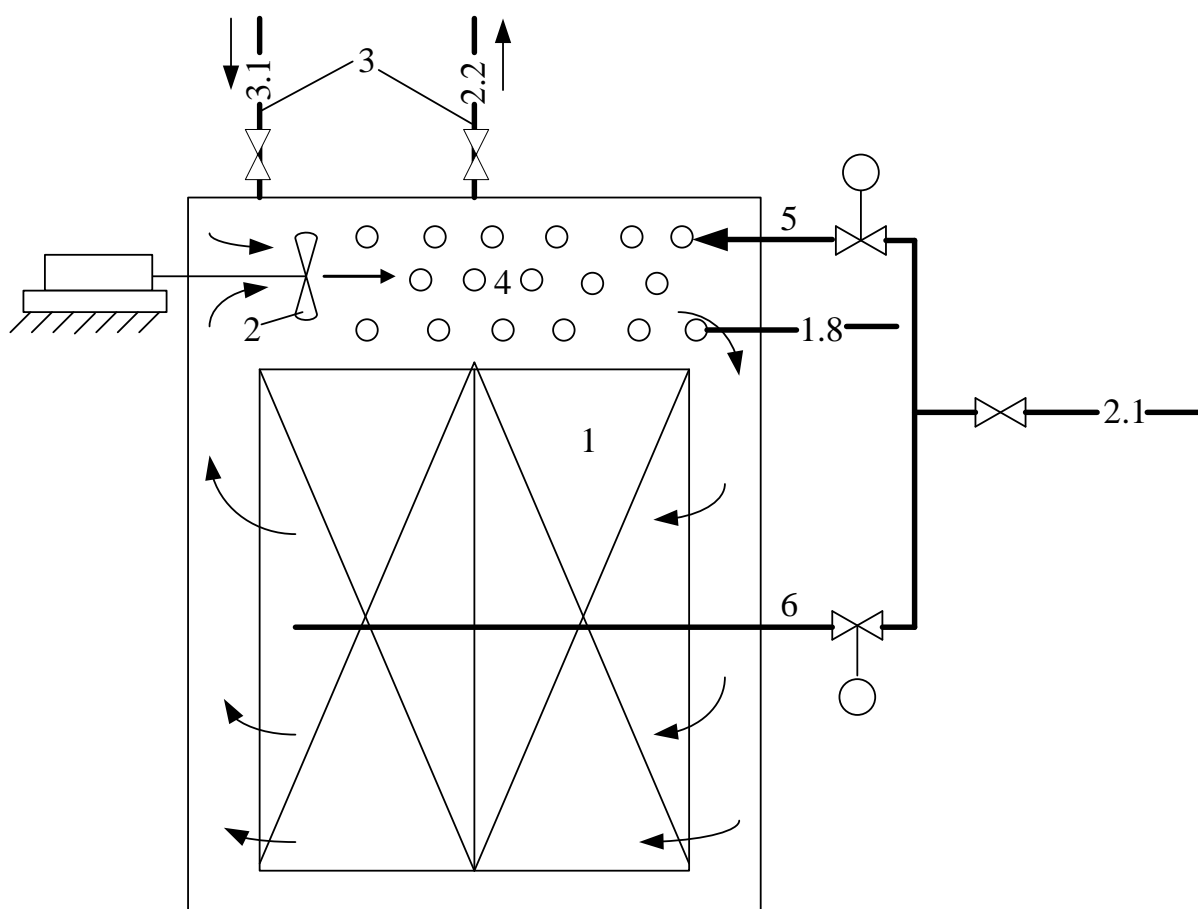


Рис. 5.2. Схема воздушно-паровой сушильной камеры периодического действия:
 1 – штабель, 2 – вентилятор, 3 – приточно-вытяжные каналы,
 4 – калориферы, 5 – пар в калориферы, 6 – пропарочная линия

5.3.2. Изображение коммуникаций

На технологических коммуникациях показывают ту регулируемую 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.

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.).

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

- **трубопроводы** (водопроводы, 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 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 (рис. 5.1).

Наименование	Условное обозначение	Наименование	Условное обозначение
Соединение трубопроводов		Пересечение трубопроводов	
Подвод жидкости под давлением		Слив жидкости	
Подвод газа, пара, воздуха под давлением		Выпуск газа, пара, воздуха под давлением	

Рис.5.1. Условные обозначения соединений и пересечений трубопроводов, подвода и выпуска технологических сред

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.

ния, которые выполняют цифровым шифром, он ставится в разрывах линий трубопроводов (причем цифры, всегда перпендикулярны линии трубопровода).

Для более расширенных условных обозначений сред, транспортируемых по трубопроводам, используют ГОСТ 14202-69 приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Цифровые обозначения	Наименование транспортируемой среды	Цифровые обозначения	Наименование транспортируемой среды
1	2	3	4
	Вода:		Негорючие газы:
1.1	питьевая	5.1	азот и газы, его содержащие
1.2	техническая		резерв
1.3	горячая (водоснабжение)	5.2	хлор и газы, его содержащие
1.4	горячая(отопление)	5.3	углекислый газ и газы, его содержащие
1.5	питательная		инертные газы
1.6	резерв	5.4	сернистый газ и газы, его содержащие
1.7	резерв		резерв
1.8	конденсат	5.5	резерв
1.9	прочие виды	5.6	прочие виды
1.0	отработанная, сточная		отработанные
	Пар:	5.7	Кислоты:
2.1	низкого давления (до 0.2 МПа)	5.8	серная
2.2	насыщенный	5.9	соляная
2.3	перегретый	5.0	азотная
2.4	отопление	6.1	резерв
2.5	влажный (соковый)	6.2	неорганические кислоты и их растворы
2.6	отборный	6.3	органические кислоты и их растворы
2.7	резерв	6.4	
2.8	вакуумный	6.5	
2.9	прочие виды		
2,0	отработанный	6.6	
	Воздух:		растворы
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		
4.1	Горючие газы: светильный	7.1	Щелочи: 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 щелочной реакции
4.0	отработанные	7.0	отработанные щелочи и щелочные стоки (pH>8,5)
8.1	Горючие жидкости: жидкостные категории А ($t_{в.п.} < 28^{\circ}\text{C}$)	9.1	Негорючие жидкости: жидкие пищевкусовые продукты
8.2	жидкости категории Б ($28^{\circ}\text{C} < t_{в.п.} < 120^{\circ}\text{C}$)	9.2	водные растворы (нейтральные)
8.3	жидкости категории В ($t_{в.п.} > 120^{\circ}\text{C}$)	9.3	прочие растворы (нейтральные)
8.4	смазочные материалы	9.4	водные суспензии
8.5	прочие органические горючие жидкости	9.5	прочие суспензии
8.6	взрывоопасные жидкости	9.6	эмульсии
8.7	резерв	9.7	резерв
8.8	резерв	9.8	резерв
8.9	прочие горючие жидкости	9.9	прочие негорючие жидкости
8.0	горючие стоки	9.0	негорючие стоки (нейтральные)
		0.1	Прочие вещества: порошкообразные материалы
		0.2	сыпучие материалы зернистые
		0.3	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

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

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.

5.5. Изображение приборов и средств автоматизации

5.5.1. 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 первичного 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.

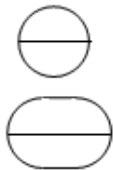






5.5.2. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Графические обозначения

Графические обозначения приборов, средств автоматизации и линий связи должны соответствовать приведенным в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Наименование	Обозначение
1. Прибор, устанавливаемый вне щита (по месту):	
а) основное обозначение	
б) допускаемое обозначение	

<p>2. Прибор, устанавливаемый на щите, пульте:</p> <p>а) основное обозначение</p> <p>б) допускаемое обозначение</p>	
<p>3. Исполнительный механизм. Общее обозначение</p>	
<p>4. Исполнительный механизм, который при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала :</p> <p>а) открывает регулируемый орган</p> <p>б) закрывает регулируемый орган</p> <p>в) оставляет регулируемый орган в неизменном положении</p>	
<p>5. Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом</p>	
<p>6. Линии связи. Общее обозначение</p>	
<p>7. Пересечение линий связи без соединения друг с другом</p>	
<p>8. Пересечение линий связи с соединением между собой</p>	

Отборное устройство для всех постоянно подключенных приборов изображают сплошной тонкой линией, соединяющей технологический трубопровод или аппарат с прибором (рис. 5.2). При необходимости указания конкретного места расположения отборного устройства (внутри контура технологического аппарата) его обозначают кружком диаметром 2 мм (рис. 5.2).

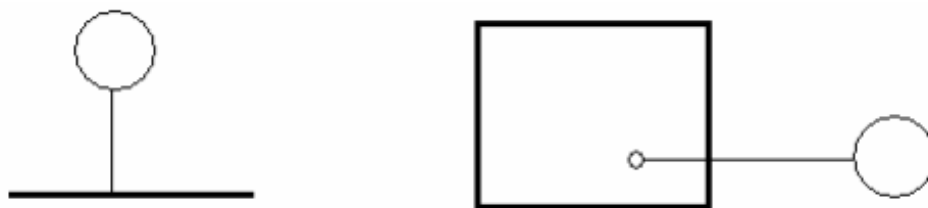


Рис. 5.2. Отображение отборного устройства

Буквенные обозначения

Основные буквенные обозначения измеряемых величин и функциональных признаков приборов должны соответствовать приведенным в табл. 5.5.

Обозначение	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, переменная программа	—	—	—	—
<i>L</i>	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. 5.6 и 5.7.

Таблица 5.6

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, сужающие устройства расходомеров и т.п.
Дистанционная передача	<i>T</i>	Приборы бесшкальные с дистанционной передачей сигнала: манометры, дифманометры, манометрические

		термометры
Станция управления	<i>K</i>	Приборы, имеющие переключатель для выбора вида управления и устройство для дистанционного управления
Преобразование, вычислительные функции	<i>Y</i>	Для построения обозначений преобразователей сигналов и вычислительных устройств

Таблица 5.7

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

Наименование	Обозначение
Род энергии сигнала: электрический	<i>E</i>
пневматический	<i>P</i>
гидравлический	<i>G</i>
2. Виды форм сигнала: аналоговый	<i>A</i>
дискретный	<i>D</i>
1. Операции, выполняемые вычислительным устройством: Суммирование	Σ
умножение сигнала на постоянный коэффициент <i>k</i>	<i>K</i>
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	$\sqrt[n]{}$
логарифмирование	lg
дифференцирование	dx/dt
интегрирование	\int
изменение знака сигнала	$x(-1)$
ограничение верхнего значения сигнала	max
ограничение нижнего значения сигнала	min
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. 5.8. приведено соответствие параметров технологических дисциплин и систем автоматизации.

Таблица 5.8

**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°	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	ρ	D
10	Качество выхода продукта	χ	Q^{χ}
11	Белизна	$B\%$	Q^b
12	Перепад давления	ΔP	PD
13	Содержание лигнина в целлюлозе	$K_{л}\%$	$Q^{K_{л}}$
14	Температура теплоносителя	t°	T
15	Расход теплоносителя	G	F
16	Концентрация дрожжей	$C/г/л$	$Q^{C/г/л}$
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. 5.9.

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.

Размеры условных графических изображений

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

5.5.3. 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. 5.3.

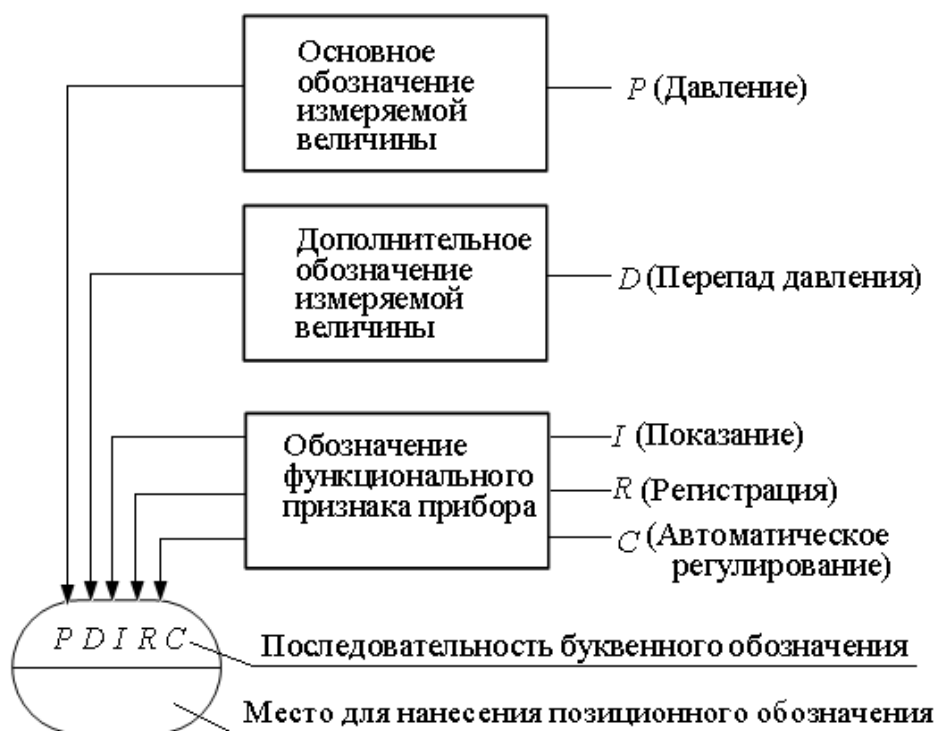














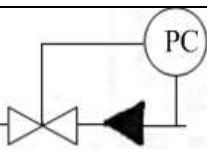






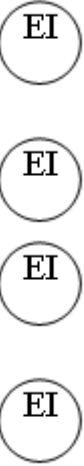
Рис. 5.3. Принцип построения условного обозначения прибора

N п/ п	Обозначение	Наименование
1		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		Прибор для измерения температуры показывающий, установленный по месту. Например: термометр ртутный, термометр манометрический и т.п.
3		Прибор для измерения температуры показывающий установленный на щите. Например: милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т.п.
4		Прибор для измерения температуры бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: термометр манометрический (или любой другой датчик температуры) бесшкальный с пневмоили электропередачей
5		Прибор для измерения температуры однотоочный, регистрирующий, установленный на щите. Например: самопишущий милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т.п.
6		Прибор для измерения температуры с автоматическим обегаяющим устройством, регистрирующий, установленный на щите. Например: многоточечный самопишущий потенциометр, мост автоматический и т.п.
7		Прибор для измерения температуры регистрирующий регулирующий, установленный на щите. Например: любой самопишущий регулятор температур (термометр манометрический, милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т. п.)
8		Регулятор температуры бесшкальный, установленный по месту. Например: дилатометрический регулятор температуры
9		Комплект для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, снабженный станцией управления, установленный на щите. Например: вторичный прибор и регулирующий блок системы «Старт»
10		Прибор для измерения температуры бесшкальный с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле температурное
11		Байпасная панель дистанционного управления, установленная на щите

12		Переключатель электрических цепей измерения (управления), переключатель для газовых (воздушных) линий, установленный на щите
13		Прибор для измерения давления (разрежения) показывающий, установленный по месту. Например: любой показывающий манометр, дифманометр, тягомер, напорометр, вакуумметр и т.п.
14		Прибор для измерения перепада давления показывающий, установленный по месту. Например: дифманометр показывающий
15		Прибор для измерения давления (разрежения) бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: манометр (дифманометр) бесшкальный с пневмо- или электропередачей
16		Прибор для измерения давления (разрежения) регистрирующий, установленный на щите. Например: самопишущий манометр или любой вторичный прибор для регистрации давления
17		Прибор для измерения давления с контактным устройством, установленный по месту. Например, реле давления
18		Прибор для измерения давления (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	FI	Прибор для измерения расхода показывающий, установленный по месту. Например: дифманометр (ротаметр), показывающий
24	FQI	Прибор для измерения расхода интегрирующий, установленный по месту. Например: любой бесшкальный счетчик-расходомер с интегратором
25	FI FQI	Прибор для измерения расхода показывающий, интегрирующий, установленный по месту Например: показывающий дифманометр с интегратором
26	FQIS	Прибор для измерения расхода интегрирующий, с устройством для выдачи сигнала после прохождения заданного количества вещества, установленный по месту. Например: счетчик-дозатор
27	LE	Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения уровня, установленный по месту. Например: датчик электрического или емкостного уровнемера
28	LI	Прибор для измерения уровня показывающий, установленный по месту. Например: манометр (дифманометр), используемый для измерения уровня
29	LSA ^H	Прибор для измерения уровня с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле уровня, используемое для блокировки
30	LT	Прибор для измерения уровня бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: уровнемер бесшкальный с пневмо- или электропередачей
31	LCS ^H	Прибор для измерения уровня бесшкальный, регулирующий, с контактным устройством, установленный по месту. Например: электрический регулятор-сигнализатор уровня. Буква H 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		Прибор для измерения любой электрической величины показывающий, установленный по месту. Например: Напряжение * Сила тока * Мощность *

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	 QE pH	Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения качества продукта, установленный по месту. Например: датчик рН-метра
39	 QI O ₂	Прибор для измерения качества продукта показывающий, установленный по месту. Например: газоанализатор, показывающий для контроля содержания кислорода в дымовых газах
40	 QRC H ₂ SO ₄	Прибор для измерения качества продукта регистрирующий, регулирующий, установленный на щите. Например: вторичный самопишущий прибор регулятора концентрации серной кислоты в растворе
41	 RIA 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	 SR	Прибор для измерения скорости вращения, привода регистрирующий. установленный на щите. Например: вторичный прибор тахогенератора
43	 SR $U = f(F, P)$	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	 VI	Прибор для измерения вязкости раствора показывающий, установленный по месту. Например: вискозиметр показывающий
45	 WIA	Прибор для измерения массы продукта показывающий, с контактным устройством, установленный по месту. Например: устройство электронно-тензометрическое, сигнализирующее
46	 BS	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	 E/E	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	 P/E	Преобразователь сигнала, установленный по месту. Входной сигнал пневматический, выходной – электрический
49	 K	Вычислительное устройство, выполняющее функцию умножения. Например: множитель на постоянный коэффициент K
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.

5.5.4 Изображение щитов, пультов, статов

Щиты, статовы и пульты управления на функциональных схемах изображают условно в виде прямоугольников произвольных размеров достаточных для нанесения графических условных обозначений установ-

ливаемых 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. 5.4).

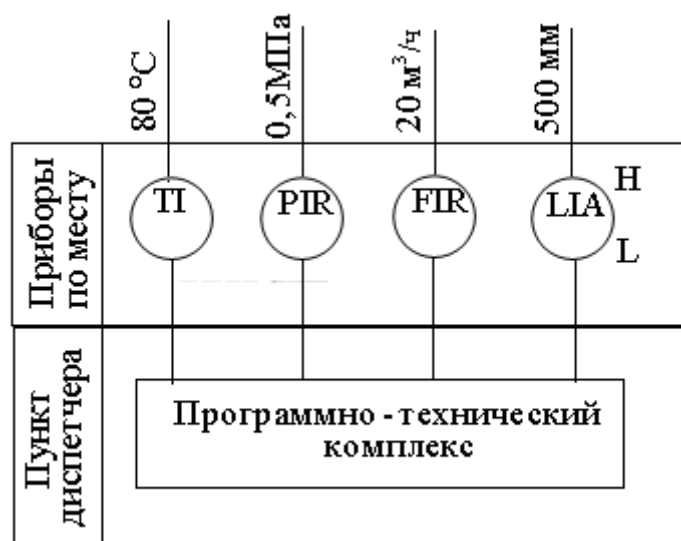


Рис. 5.4. Пример комплектного изображения устройства ПТК

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. 5.5). 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.

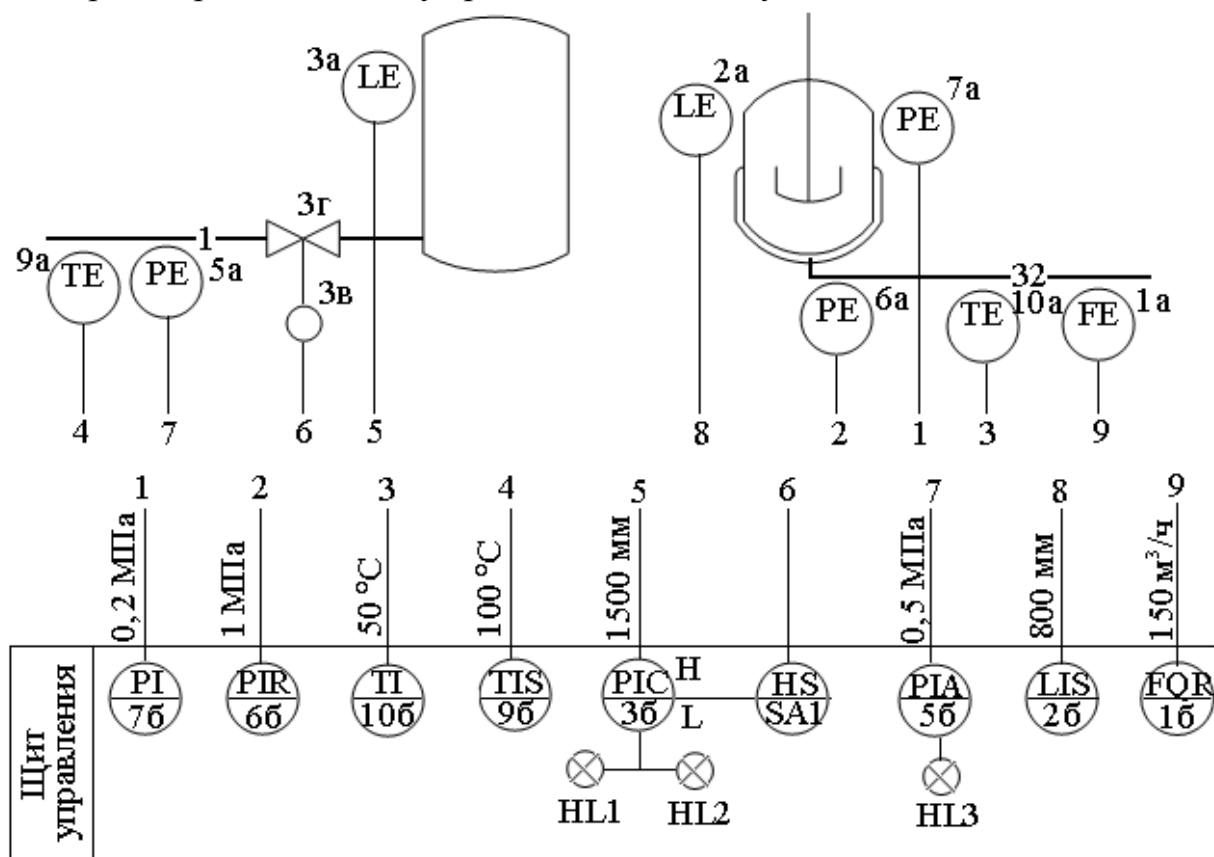





Рис. 5.5. Пример выполнения схемы автоматизации с разрывами линий связи и позиционными обозначениями

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. 5.9).

Таблица 5.9





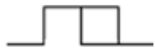


Виды и направление передачи сигнала

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. 5. 10.

Таблица 5.10

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. 5.6).

Последовательность прохождения сигнала следующая: датчик давления 1–1 вырабатывает сигнал, по импульсной линии 1 преобразователю поз. 1–2 (прибор по месту на рис. 5.5. – I уровень контроля); далее на нормирующий преобразователь поз. 1–3 и регулятор 1–4 (II уровень управления). От преобразователя 1–3 сигнал поступает на щиты (III 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.

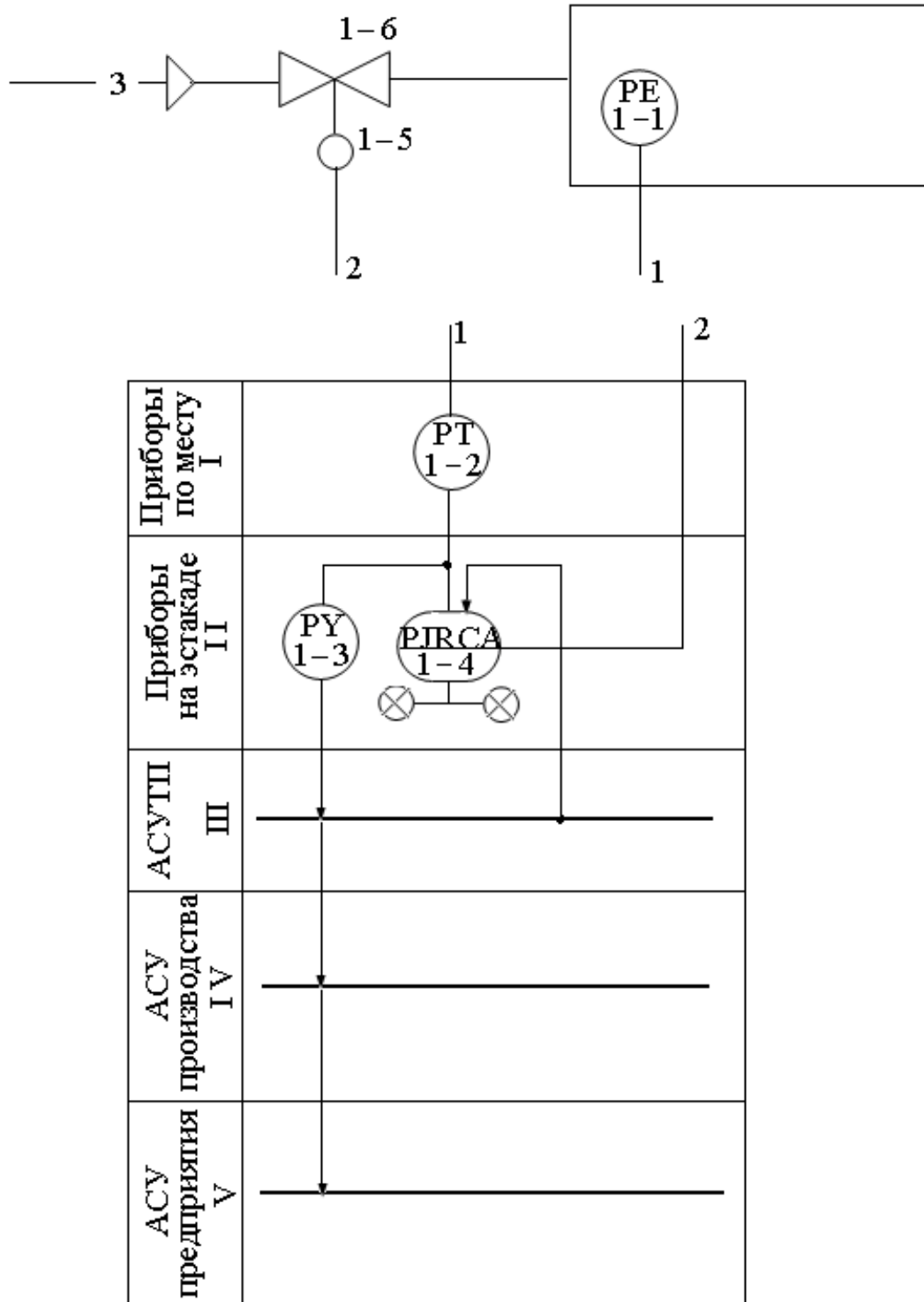


Рис. 5.6. Фрагмент ФСА
(контур управления давлением с цифровыми позиционными обозначениями)

5.6. 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.

Контрольные вопросы

1. Какими принципами следует руководствоваться при разработке ФСА?
2. Как изображают технологическое оборудование на ФСА?
3. Как изображают технологические коммуникации на ФСА?
4. Как изображают среды транспортируемые по трубопроводам?
5. Рекомендуемые толщины линий на ФСА.
6. Назовите основные устройства, которые изображаются на ФСА?

7. Как изображаются приборы и средства автоматизации на ФСА?
8. Назовите основные буквенные обозначения измеряемых величин и функциональных признаков приборов.
9. Назовите методы построения условных обозначений по стандарту.
10. Как изображаются щиты пульты, стивы на ФСА?
11. Как изображаются линии связи и виды электрических сигналов на линиях связи?

6. Задачи управления технологическими процессами [4,6]

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.

6.1. 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.

6.2. Контролируемые возмущения

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

6.3. 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, обяза-

тельного применения замкнутых по основному показателю процесса систем автоматизации.

6.4. Возможные регулирующие воздействия

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

6.5. 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.

7. Регулирование основных технологических параметров [4,6]

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.).

7.1. 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. 7.1).

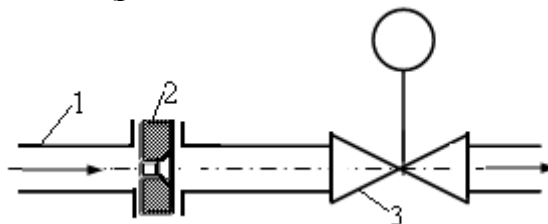


Рис. 7.1. Фрагмент системы регулирования расхода:
1 – участок трубопровода, 2 – диафрагма, 3 – регулирующий орган

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 коэффициента 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:

- дросселирования 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).

7.2. 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. 7.2). 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 при-

водит к изменению суммарного сопротивления гидравлической линии и, следовательно, расхода жидкости.

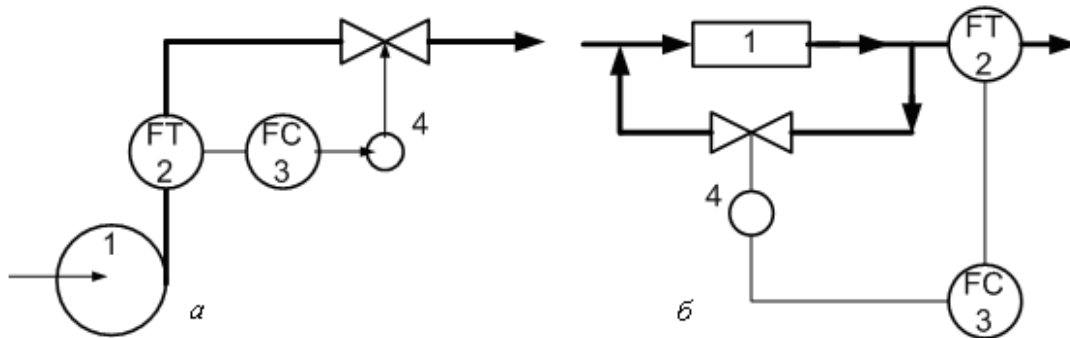


Рис. 7.2. Схема регулирования расхода, создаваемого
 а – центробежным насосом, б – поршневым насосом
 1 – насос; 2 – датчик расхода; 3 – регулятор

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. 7.2,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. 7.3).

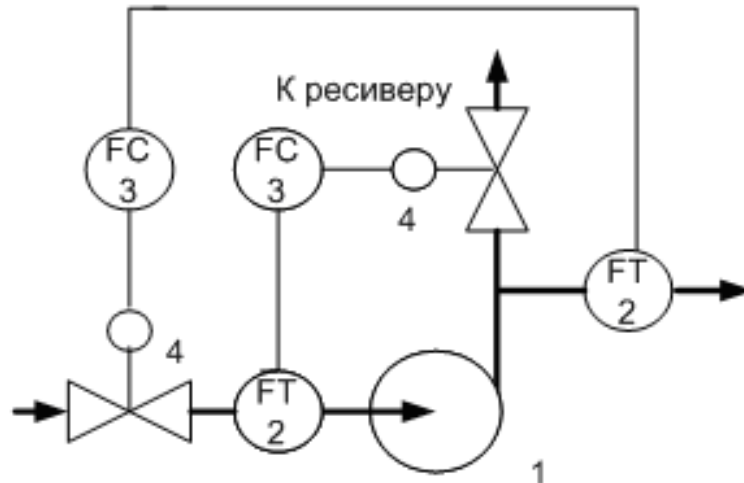


Рис. 7.3. Схема регулирования производительности центробежного компрессора с противопомпажной защитой: 1 – компрессор; 2 – датчик расхода; 3 – регуляторы; 4 – регулирующие клапаны

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. 7.4). 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

$$F_2 = nF_1. \quad (7.1)$$

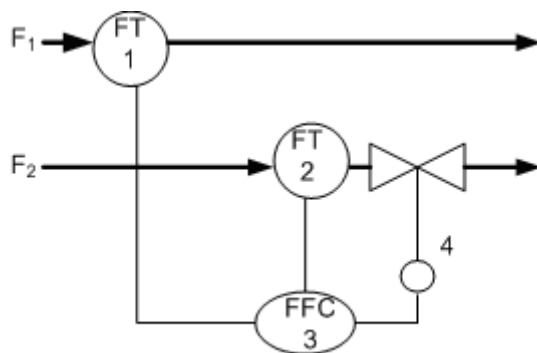


Рис. 7.4. Схема регулирования соотношения расходов при произвольной нагрузке:
1, 2 – датчики расхода; 3 – регулятор расходов; 4 – регулирующий клапан

Второй вариант (рис. 7.5). 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 .

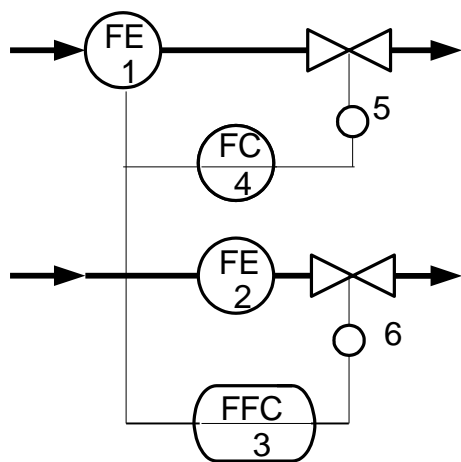


Рис. 7.5. Схема регулирования соотношения расходов при заданной нагрузке:
1, 2 – датчики расхода; 3 – регулятор соотношения расходов; 4 – регулятор расхода; 5, 6 – регулирующие клапаны

Третий вариант (рис. 7.6). 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.

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

$$n_{\text{н}} \leq n \leq n_{\text{в}},$$

где $n_{\text{н}}$, $n_{\text{в}}$ – нижнее и верхнее соотношения расходов веществ соответственно.

Если выходной сигнал внешнего регулятора (регулятора уровня) выходит за пределы $[u_{\text{н}}, u_{\text{в}}]$, то задание внутреннему регулятору (в данном случае регулятору соотношения расходов двух веществ) не меняется, а остается на предельно допустимом значении n (а именно или $n_{\text{н}}$ или $n_{\text{в}}$).

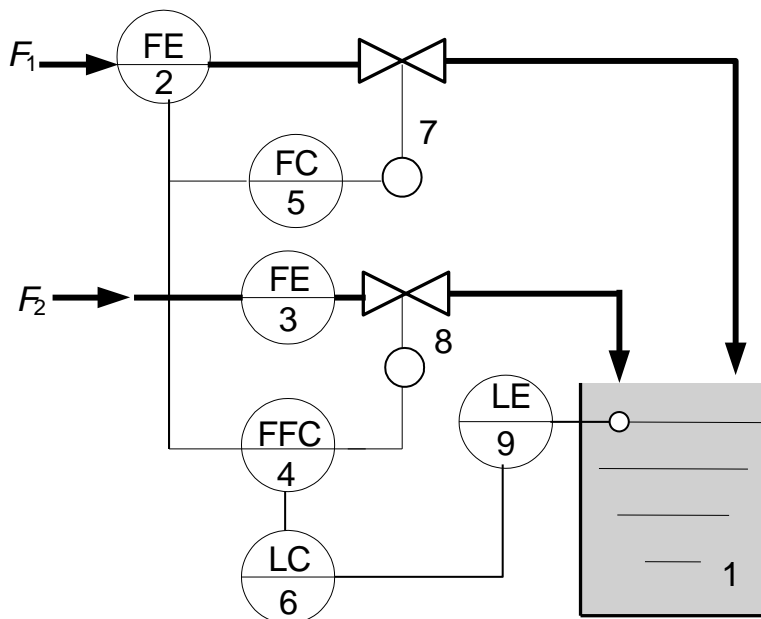


Рис.7.6. Схема регулирования соотношения расходов с коррекцией по третьему параметру (уровню) при заданной нагрузке:

1 – реактор-смеситель;
2, 3 – датчики расхода; 4 – регулятор соотношения расходов; 5 – регулятор расхода; 6 – регулятор уровня; 7, 8 – регулируемые 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 является 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.

7.3. 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:

$$F_{\text{вх}} = F_{\text{вых}}; \quad dL/d\tau = 0. \quad (7.2)$$

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

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

Первый вариант (рис. 7.7,а) – регулирование «на притоке», изменяя расход жидкости на входе в аппарат.

Второй вариант (рис. 7.7,б) – регулирование «на стоке», изменяя расход жидкости на выходе из аппарата.

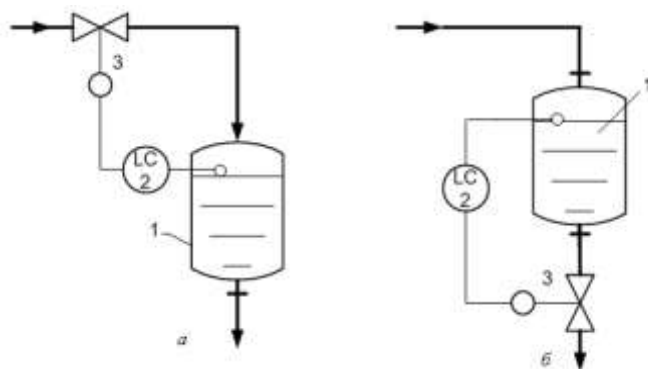


Рис. 7.7. Схема непрерывного регулирования уровня: а – «на притоке»; б – на «стоке»: 1 – аппарат; 2 – регулятор уровня; 3 – регулирующий клапан

Третий вариант (рис. 7.8) – регулирование соотношения расходов жидкости на входе в аппарат и выходе из него с коррекцией по третьему технологическому параметру – уровню (каскадная система регулирования).

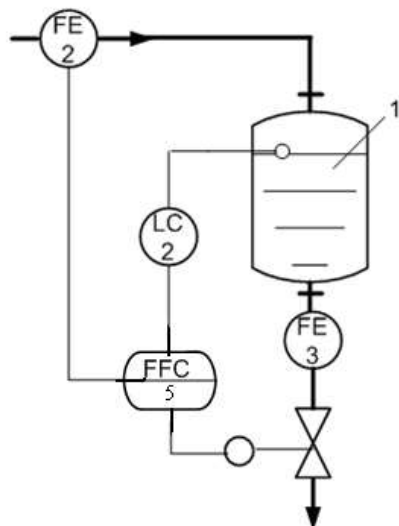


Рис. 7.8. Схема непрерывного регулирования уровня каскадной САР: 1 – аппарат; 2, 3 – датчики расхода; 4 – регулятор уровня (ведущий); 5 – регулятор соотношения двух расходов (ведомый); 6 – регулирующий клапан

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. 7.9).

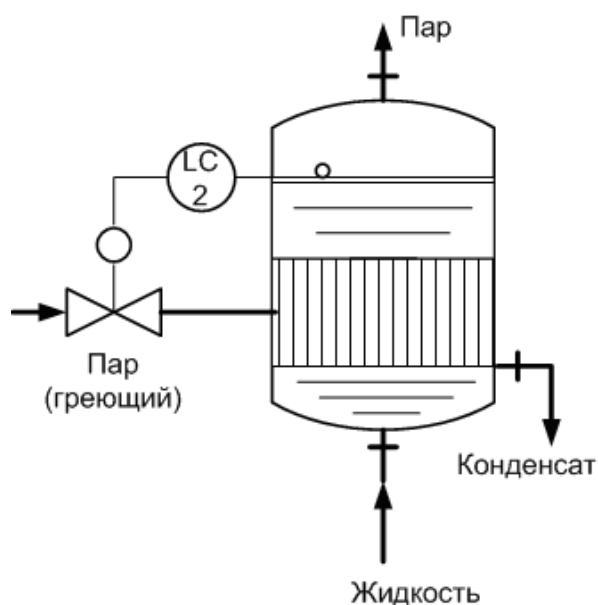


Рис. 7.9. Схема непрерывного регулирования в испарителе:

- 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

$$A \frac{dL}{dt} = F_{\text{вх}} - F_{\text{вых}}, \quad (7.3)$$

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_H , L_B – нижнее и верхнее значения уровня жидкости в аппарате соответственно.

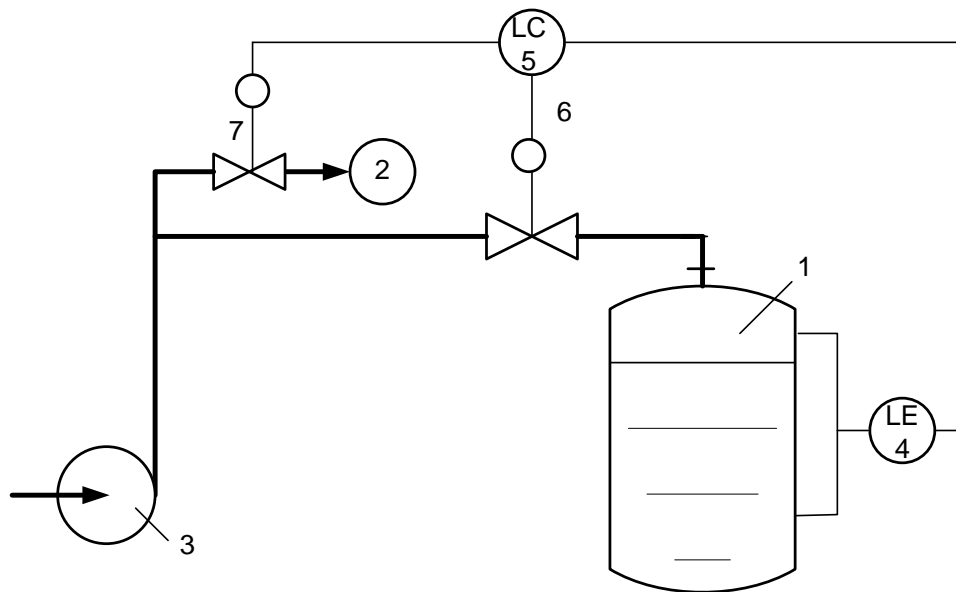


Рис. 7.10. Схема позиционного регулирования уровня:

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. 7.10. Если уровень достигает своего предельного значения L_B (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 определяется уровнем конденсата. Для регулирования уровня в таких объектах без статической погрешности применяют ПИ-регуляторы.

7.4. 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:

$$V \frac{dp}{d\tau} = f[F_{\text{вх}} - F_{\text{вых}}], \quad (7.4)$$

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 (7.3).

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. 7.11) 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.

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

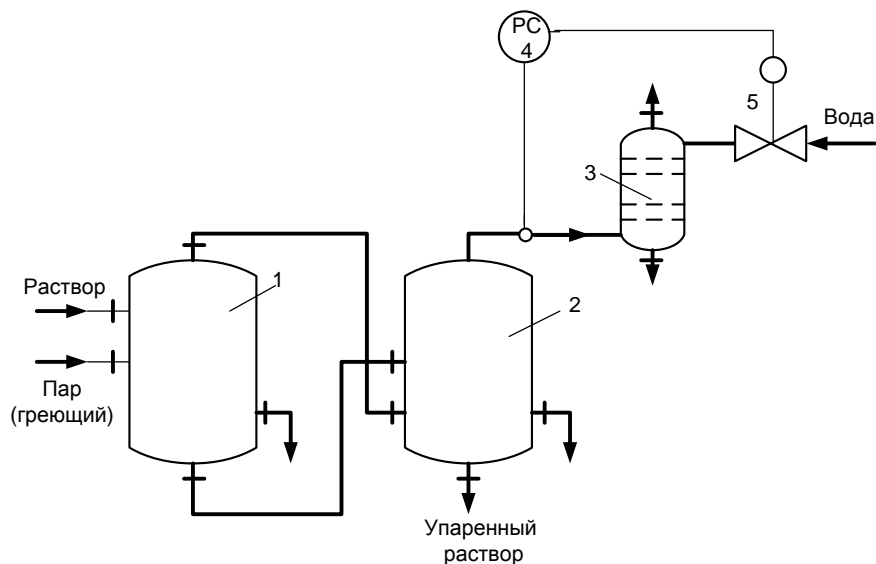


Рис. 7.11. Регулирование вакуума в выпарной установке: 1, 2 – выпарные аппараты; 3 – тарельчатый конденсатор; 4 – регулятор вакуума; 5 – регулирующий клапан

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. 7.12).

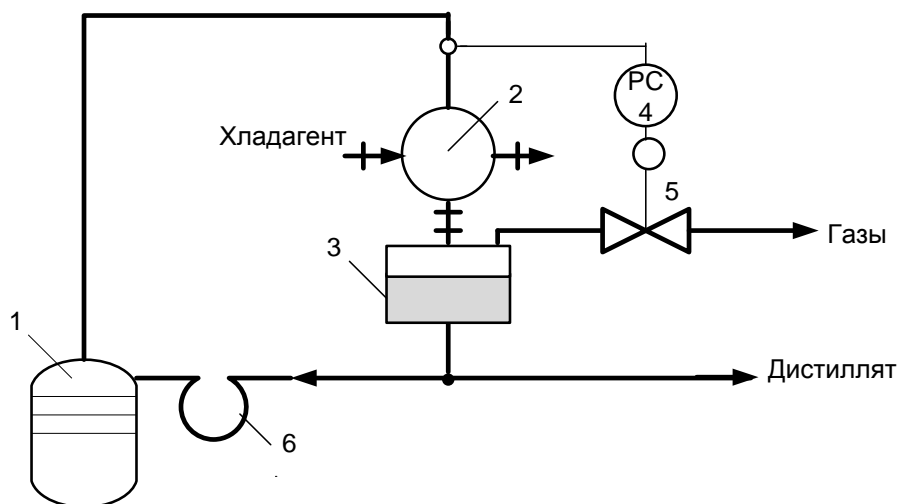


Рис. 7.12. Регулирование давления в ректификационной колонне при наличии неконденсирующихся примесей: 1 – колонна; 2 – дефлегматор; 3 – сборник флегмы; 4 – регулятор давления; 5 – регулирующий клапан; 6 – гидрозатвор

Из сравнения уравнений следует, что способы регулирования давления аналогичны способам регулирования уровня.

7.5. 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

$$\frac{mc}{\alpha A} \frac{dE}{dt} + E = Kt, \quad (7.5)$$

где m – масса рабочего спая термопары; c – удельная теплоемкость спая; α – 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 (7.5) 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.

7.6. Регулирование рН

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

$$pH_n \leq pH \leq pH_v,$$

где pH_n и pH_v – нижний и верхний пределы регулирования рН соответственно.

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

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

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

К одному из основных факторов, затрудняющих точное регулирование рН в процессе нейтрализации, относят наличие нелинейной зависимости величины рН 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 рН, но и при регулировании всех объектов с нелинейной статической характеристикой.

Типичная кривая титрования (рис. 7.13) показывает, сколь трудной является задача поддержания заданного значения рН.

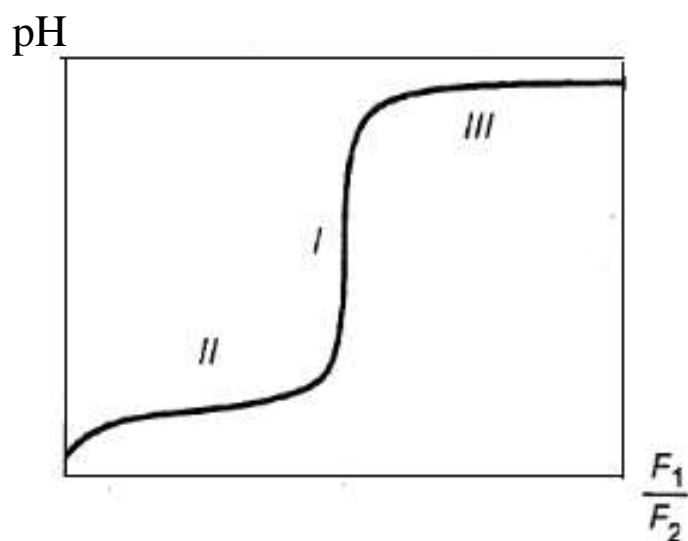


Рис. 7.13. Пример кривой титрования

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 рН 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 рН, поскольку проявляются инерционность других элементов системы регулирования (измерительных и исполнительных устройств, регулятора) и запаздывание в импульсных линиях.

Необходимо также учитывать, что системы регулирования величины рН 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 рН возникают проблемы?

Одним из основных источников трудностей является то, что шкала рН 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 рН, является то, что измерительные электроды рН-метров могут реагировать на изменения величины рН даже на 0,001, что делает возможным отслеживание таких маленьких изменений концентрации ионов водорода, как $5 \cdot 10^{-10}$ моль/л при величине рН 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 рН_{зд} 7, когда величина рН входящего потока изменяется между 0 и 7. Более того, неопределенность в ходе штока регулирующего клапана преобразуется напрямую в ошибку регулирования рН, так что гистерезис всего лишь в 0,00005 % может вызвать отклонение величины рН на 1 при рН_{зд} 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 ϵ_{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. 5.14): большую часть реагента подают в первый реактор (форнейтрализатор), где, в основном, и происходит реакция нейтрали-

зации («грубая»). Во второй реактор подают оставшуюся (малую) часть реагента, необходимую для окончательного завершения реакции нейтрализации («точной»), т. е. до достижения pH^0 (точки нейтрализации на кривой титрования). Такое распределение потока реагента по реакторам связано с особенностями кривой титрования (см. рис. 7.14), которые были обсуждены выше.

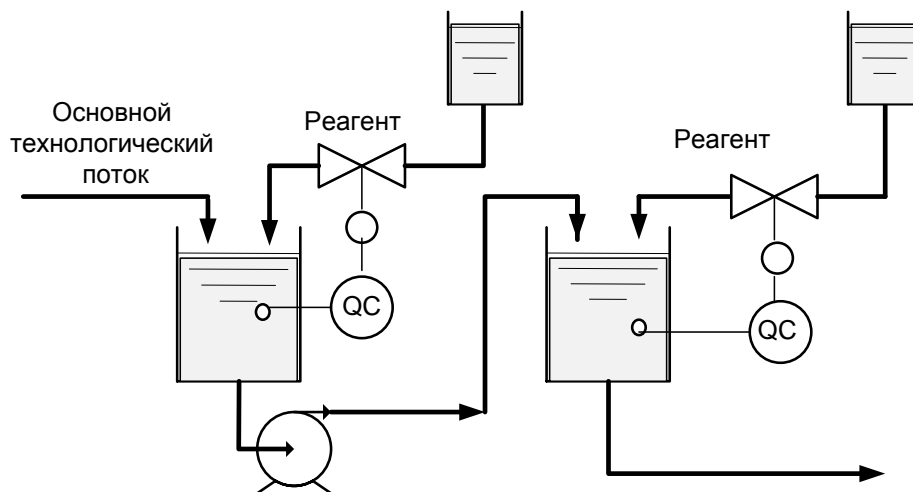


Рис. 7.14. Схема регулирования pH с использованием двух реакторов

3. Регулирование pH с использованием двух регулирующих клапанов разного размера (рис. 7.15) позволяет «компенсировать» нелинейность статической характеристики объекта в большом диапазоне изменения расхода реагента F_1 .

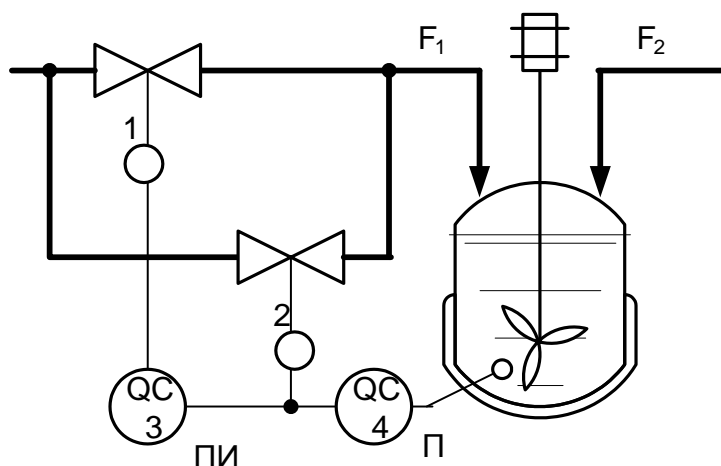


Рис. 7.15. Схема регулирования pH с двумя регулируемыми клапанами

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 нейтрализации в две или более стадий. При изменении величины pH раствора, подаваемого на нейтрализацию, в обе стороны от точки нейтрализации pH^0 , применяется вторая система регулирования (точно такая же, как и на рис.7.15), управляющая подачей другого реагента в тот же самый реактор.

7.7. 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 кос-

венному показателю с дальнейшим уточнением алгоритма его расчета по данным прямых анализов, получаемых анализаторами состава газа и жидкости.

8.1. 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 жидкости). 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.

8.1.1. 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. 8.1, а). Жидкость нагревается насыщенным водяным паром (расход $F_{\text{п}}$, 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 · К).

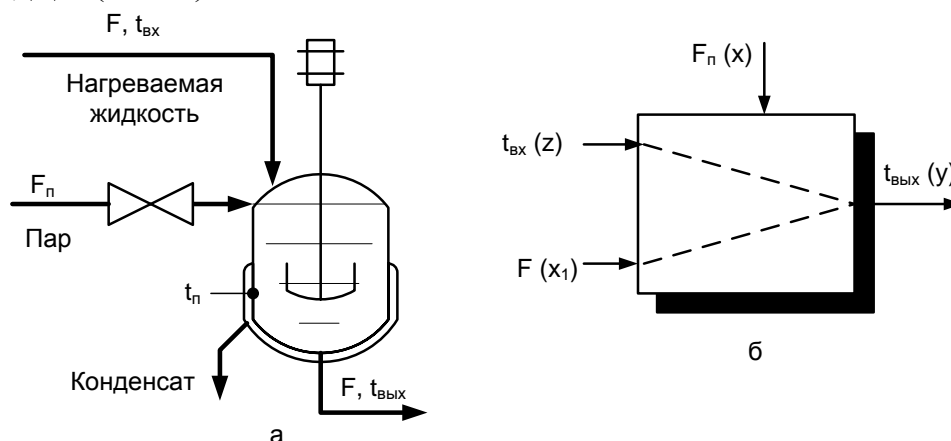


Рис. 8.1. Схема парожидкостного теплообменника (а) и его структурная схема

Входные величины: изменение расхода пара $F_{\text{п}}$, 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 $t_{\text{с}}$ одинакова во всех точках, а их термическое сопротивление пренебрежимо мало;
- коэффициент теплоотдачи α [Вт/(м² · К)] между жидкостью и поверхностью металлических стенок, а также удельные теплоемкости жидкости $c_{\text{ж}}$ и материала стенок $c_{\text{с}}$ 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:

$$F_{\Pi} r_{\Pi} d\tau = m_c c_c dt_c + \alpha A (t_c - t_{\text{ВЫХ}}) d\tau, \quad (8.1)$$

где r_{Π} – удельная теплота конденсации пара (теплота фазового перехода), Дж/кг; m_c – масса теплопередающих стенок, кг; A – площадь поверхности теплообмена, м^2 .

Приведем итоговое уравнение динамики теплообменника без вывода, полученное [6].

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

где

$$T_2^2 = \frac{m_c c_c m_{\text{ж}}}{\alpha A F^0}; \quad T_1 = \frac{m_c c_c}{\alpha A} + \frac{m_c c_c}{F^0 c_{\text{ж}}} + \frac{m_{\text{ж}}}{F^0};$$

$$T_3 = \frac{m_c c_c}{\alpha A}; \quad k = \frac{t_{\text{ВЫХ}}^0 - t_{\text{ВХ}}^0}{t_{\text{ВЫХ}}^0}.$$

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 (6.7) 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 .

8.1.2. 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. 8.2), рассматривая теплообменник как объект с распределенными параметрами, при этом принимая следующие допущения: пар – насыщенный, а конденсат из теплообменника отводится при температуре конденсации.

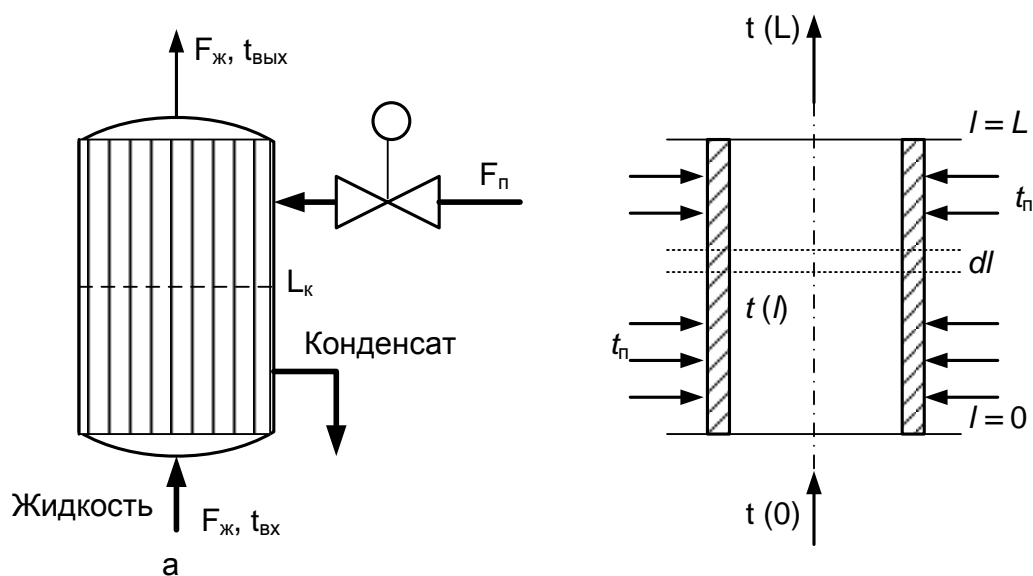


Рис. 8.2. Схемы кожухотрубного парожидкостного теплообменника (а) и теплообмена в его трубе (б)

Нагревание жидкости в кожухотрубном парожидкостном теплообменнике идет от $t_{\text{вх}}$ до $t_{\text{вых}}$ (рис. 8.2, 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. 8.3,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.

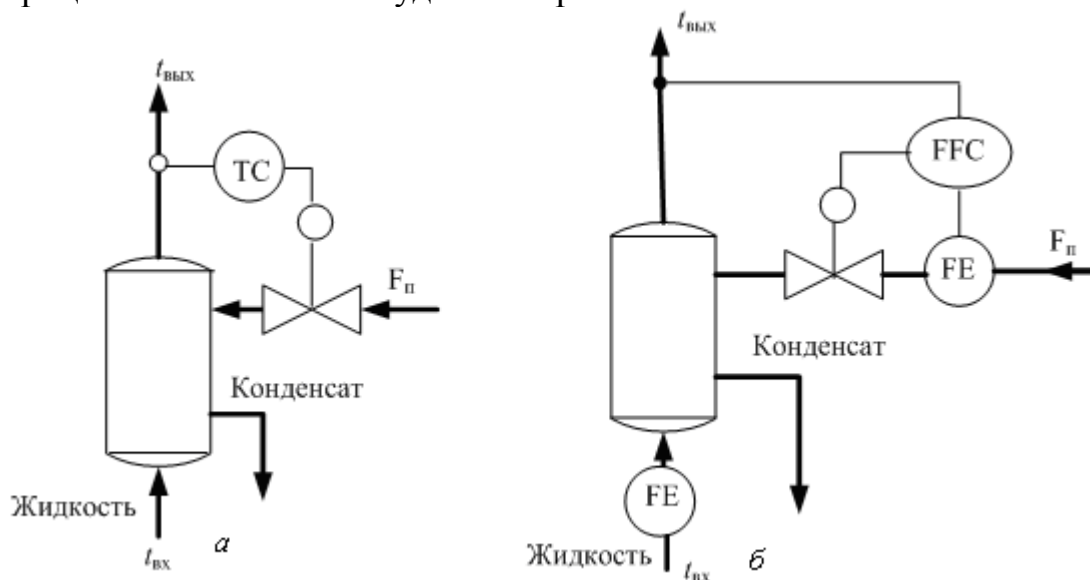


Рис. 8.3. САР температуры жидкости: а – в одноконтурной замкнутой системе в кожухотрубном парожидкостном теплообменнике;
б – каскадная система в кожухотрубном парожидкостном теплообменнике (с регулятором соотношения расходов во внутреннем контуре)

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. 8.3,б).

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 $t_{вых}$ (рис. 8.4,а). Температура (или давление) в межтрубном пространстве теплообменника – промежуточная координата, значительно быстрее реагирующая на указанные возмущающие воздействия, чем температура жидкости на выходе теплообменника $t_{вых}$.

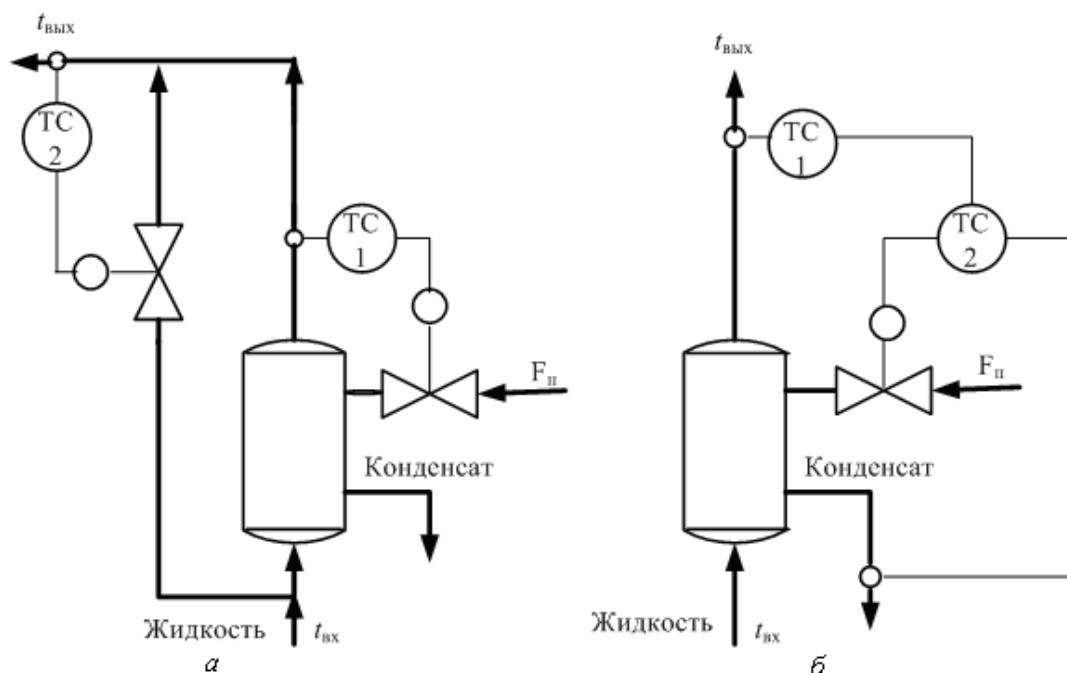


Рис. 8.4. САР температуры жидкости: а – каскадная САР в кожухотрубном парожидкостном теплообменнике (с регулятором температуры конденсата во внутреннем контуре): 1 – регулятор температуры жидкости на выходе из теплообменника; 2 – регулятор температуры конденсата в кожухе б – регулирование жидкости в схеме кожухотрубного парожидкостного теплообменника с байпасированием холодного потока: 1 – регулятор температуры жидкости на выходе из теплообменника; 2 – регулятор температуры жидкости после смешения

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. 8.4). 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.

8.2. 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.

8.2.1. 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. 8.5), предназначенной для разделения бинарной смеси, содержащей легколетучий компонент ω_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.

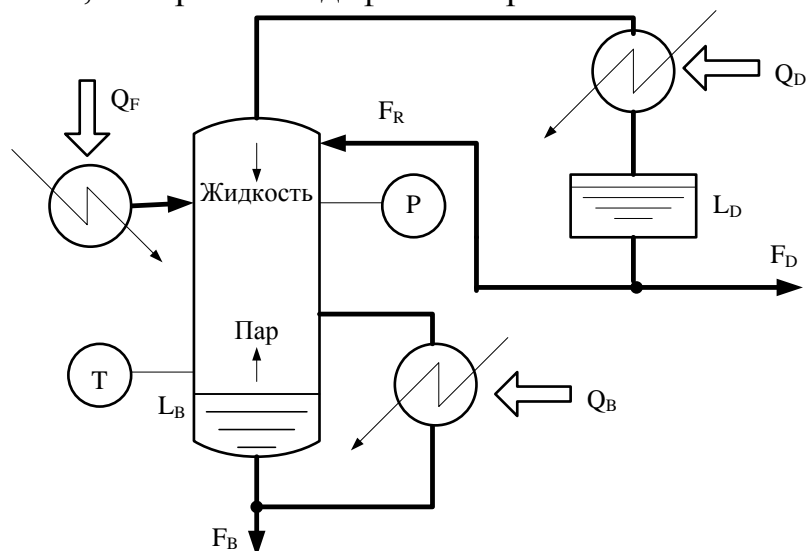


Рис. 8.5. Входные и выходные параметры ректификационной колонны

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.

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.б.: изменением разности температур в теплообменнике или изменением поверхности теплообмена. В данном случае регулировать тепловой баланс колонны можно, изменяя поверхность теплообмена в дефлегматоре.

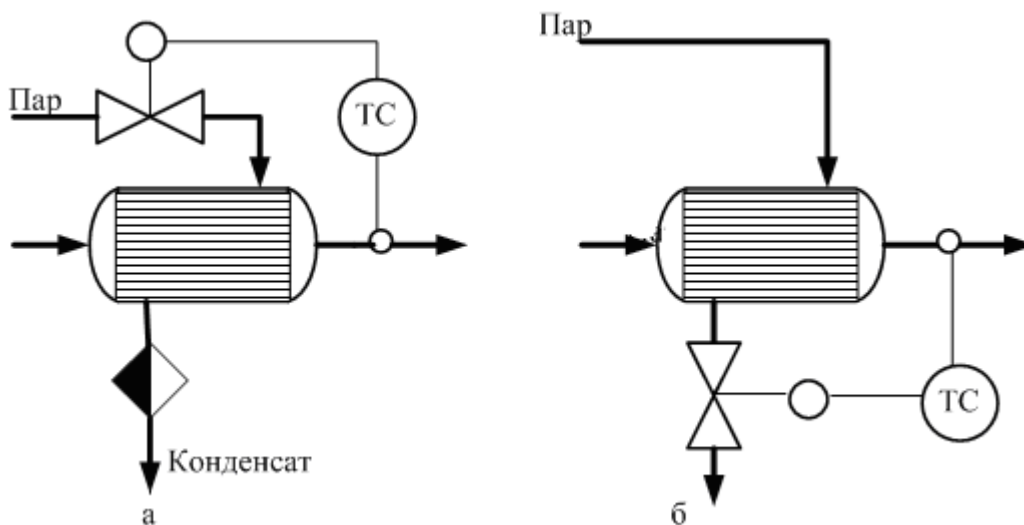


Рис. 8.6. Схемы регулирования теплового баланса ректификационной установки:
 а – изменение разности температур путем изменения давления пара в паровом пространстве теплообменника; б – изменение поверхности теплопередачи за счет изменения уровня конденсата в теплообменнике

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.

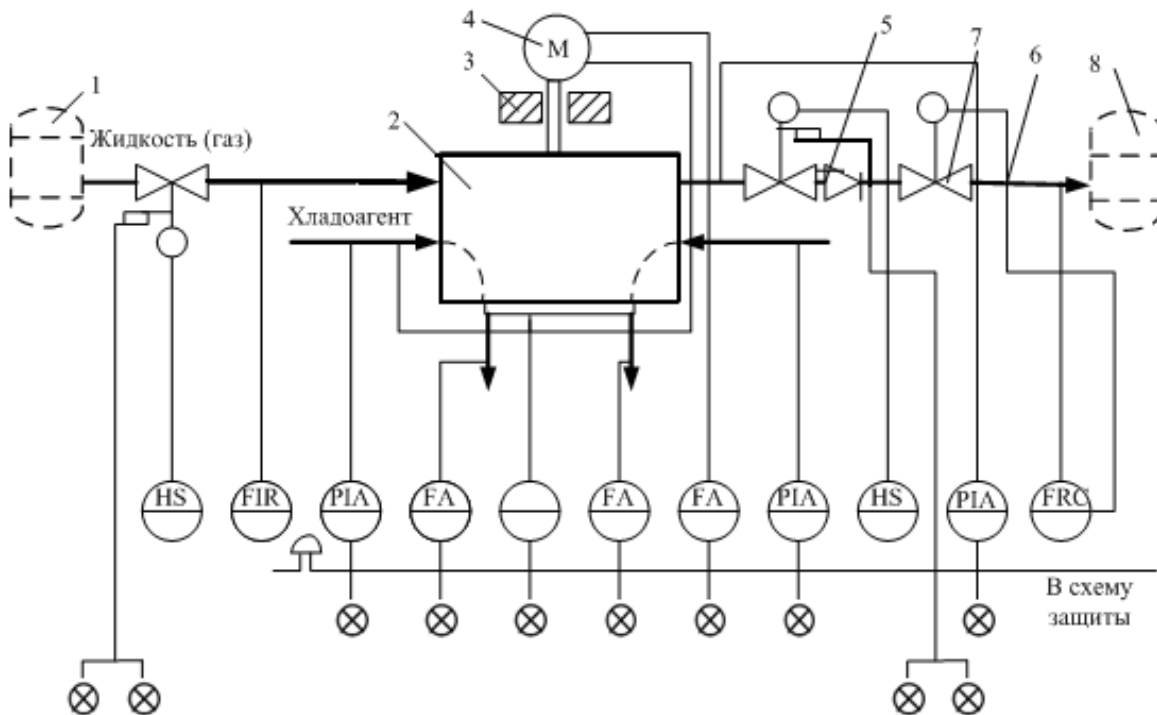


Рис. 9.1. Схема автоматизации процесса перемещения потока:

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 регулируемой 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).

9.1.2. 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).

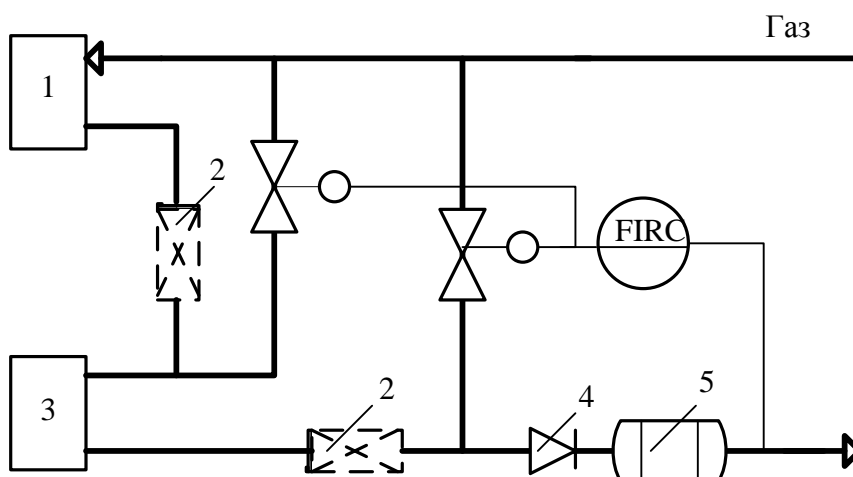


Рис. 9.2. Схема регулирования работы двухступенчатого поршневого компрессора переводом его на холостой ход: 1 – первая ступень компрессора; 2 – холодильник; 3 – вторая ступень компрессора; 4 – обратный клапан; 5 – ресивер

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.

9.1.3. 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.

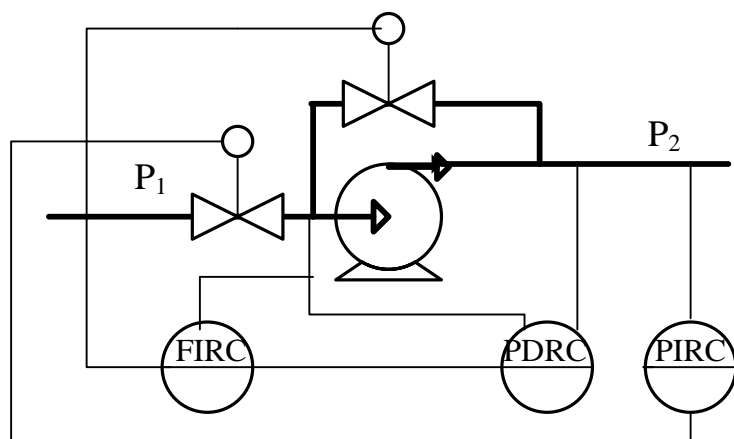


Рис. 9.3. Схема регулирования центробежного компрессора путем перепуска газа по байпасной линии

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 атмо-

сферу. 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.

Регулирование работы дозирующих насосов

Дозировочные 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.

9.1.4. Смешение жидкостей

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

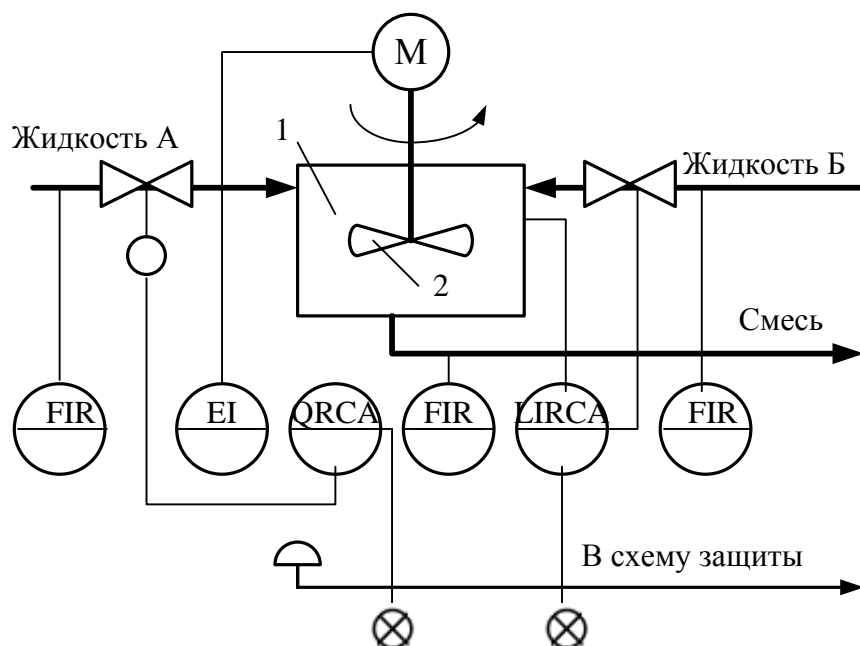


Рис. 9.4. Схема автоматизации процесса смешения жидкостей:
1 – емкость; 2 – механическая мешалка

В качестве показателя эффективности процесса перемешивания прием концентрацию искомого компонента в смеси ($Q_{см}$), а целью управления будет получение смеси с определенной концентрацией этого оппонента.

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 смесителе и количество энергии, потребляемой приводом мешалки. При значительном отклонении концентрации $Q_{см}$ и уровня в смесителе от заданных значений должен быть подан сигнал. При достижении критического значения уровня подача жидкости должна быть прекращена.

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.

Регулирование с помощью регулятора соотношения

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

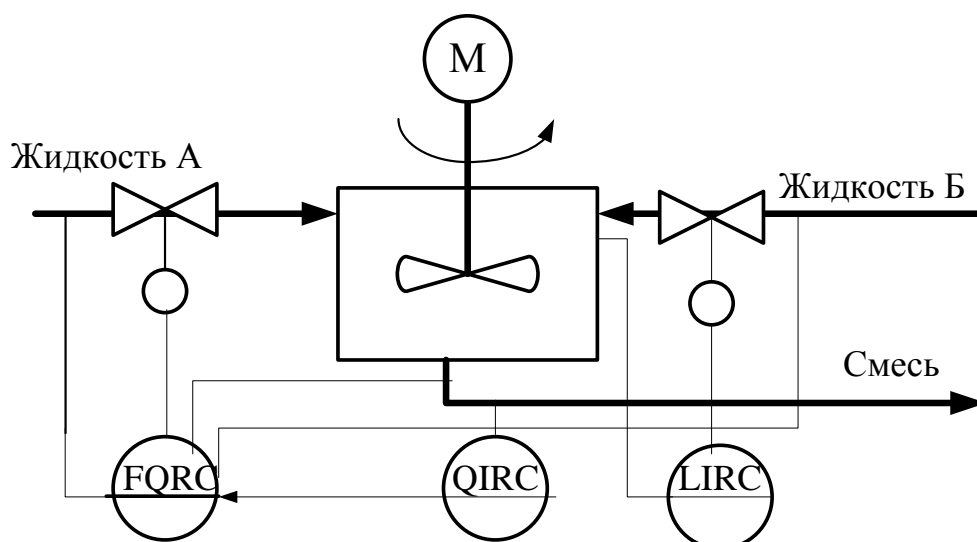


Рис. 9.5. Схема регулирования процесса смешения при значительных изменениях расхода одной из жидкостей (в данном случае – Б)

При изменении расхода жидкости Б система регулирования соотношения расходов меняет расход жидкости А, при этом концентрация, $Q_{см}$ не успеет измениться.

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

При постоянных концентрациях компонента в жидкостях А и Б возможно регулирование соотношения расходов без автоматической коррекции величины соотношения.

Регулирование барботажных смесителей

Перемешивание жидкости в барботажных смесителях осуществляется с помощью сжатого воздуха. Для нормальной работы таких смесителей необходимо дополнительно к рассмотренным выше регуляторам установить регулятор давления воздуха, подаваемого в барботер. При постоянном 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.

9.1.5 Отстаивание жидких систем

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

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 заданном (минимально возможном для данных производственных условий) значении.

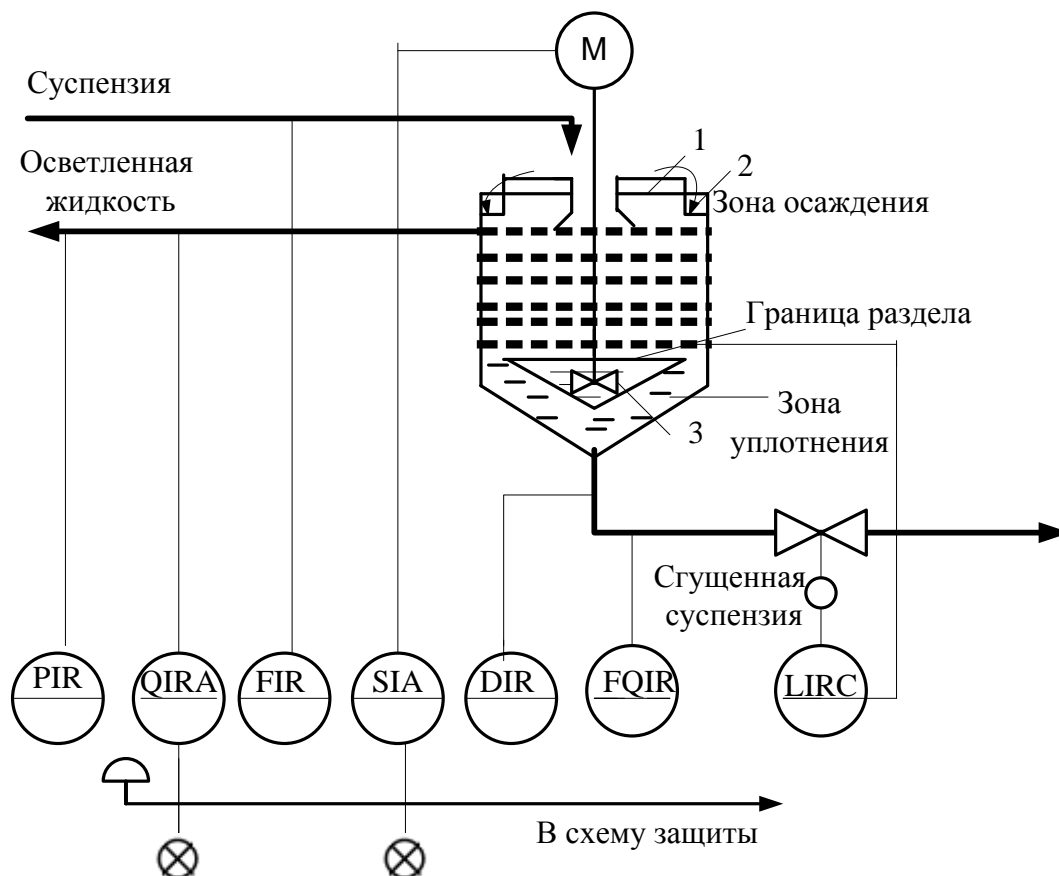


Рис. 9.6. Схема автоматизации процесса отстаивания:
1 – отстойник; 2 – переливное устройство; 3 – мешалка

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 составля-

ющей 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 осесть 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 заданную 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).

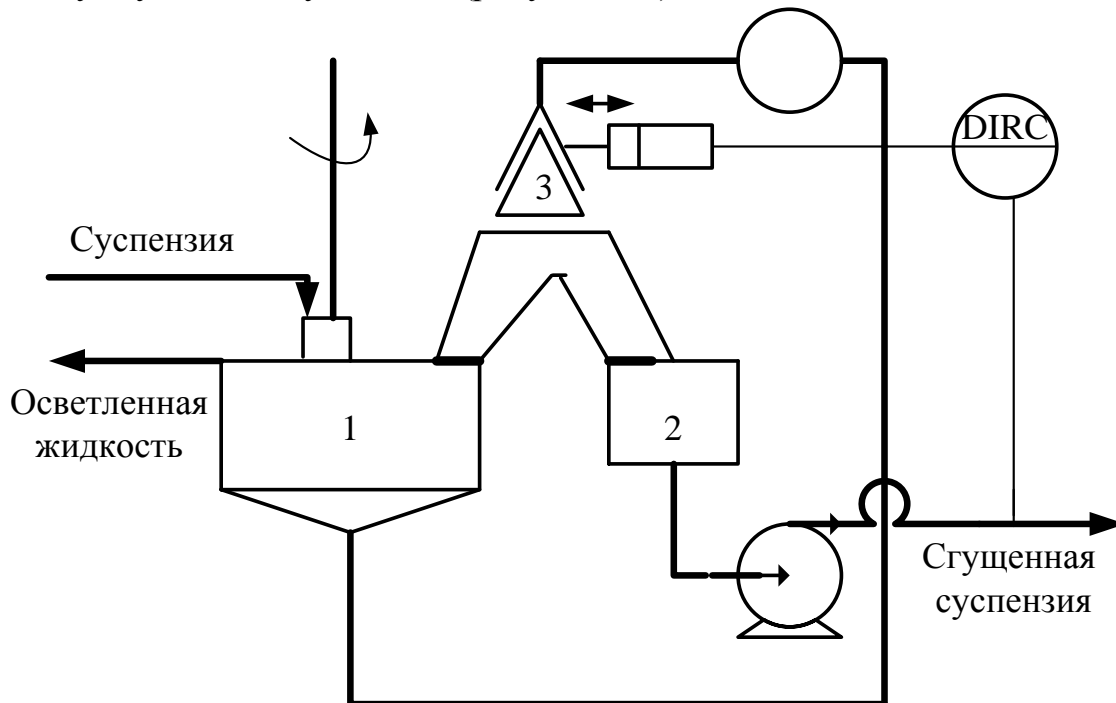


Рис. 9.7. Схема регулирования плотности сгущенной суспензии с рециркуляцией: 1 – отстойник; 2 – промежуточная емкость; 3 – регулятор перераспределения расходов

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.

9.1.6 Центрифугирование жидких систем

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

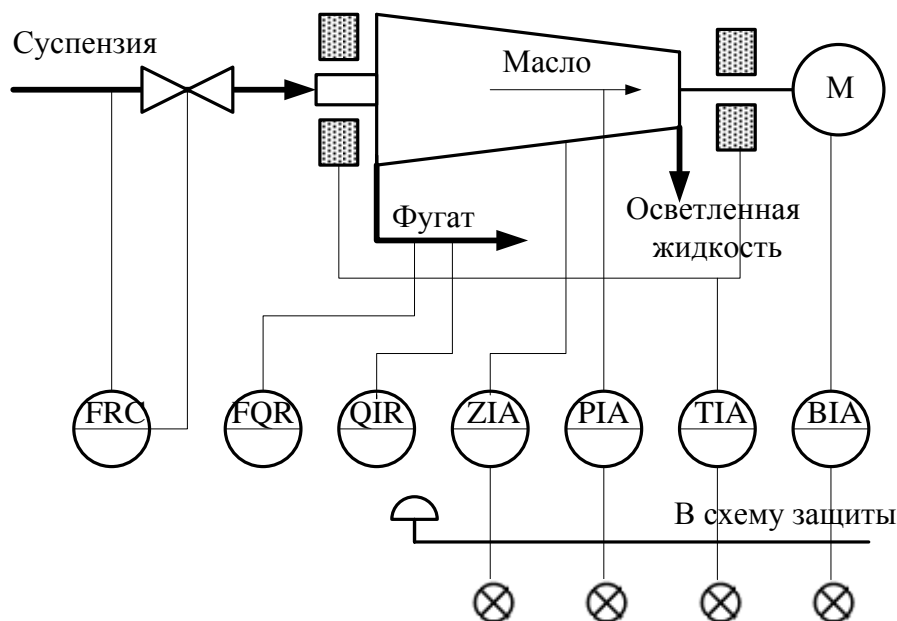


Рис. 9.8. Схема автоматизации процесса центрифугирования жидких систем:
 В – момент на валу электродвигателя; Z – уровень вибрации

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. 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 ко-

нечного 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. Контролируются 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 изменения 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.

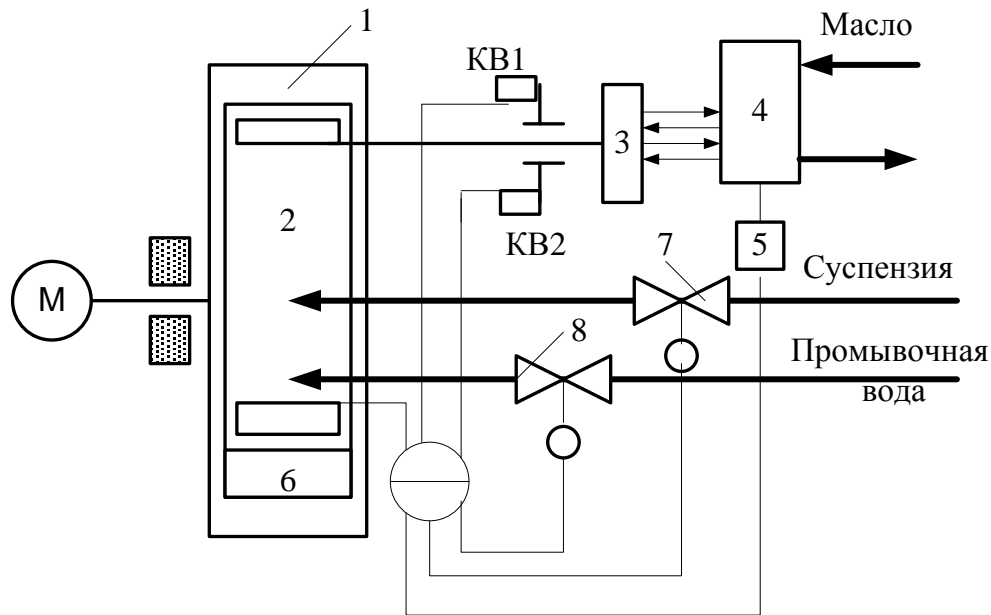


Рис. 9.9. Система управления периодической центрифугой: 1 – барабан; 2 – нож; 3 – гидравлический исполнительный механизм; 4 – маслораспределитель; 5 – переключающее устройство; 6 – датчик загрузки; 7, 8 – запорные клапаны

На него поступают сигналы от датчика загрузки 6 барабана 1 центрифуги и конечных выключателей положений ножа 2, служащего для резания 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 выгрузить твердый продукт из барабана 1. Движение ножа продолжается до крайнего положения, что обеспечивается конечным выключателем KB1. По его команде происходит обратное движение ножа до срабатывания второго конечного выключателя – KB2; 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.

9.1.7 Фильтрация жидких систем

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

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.

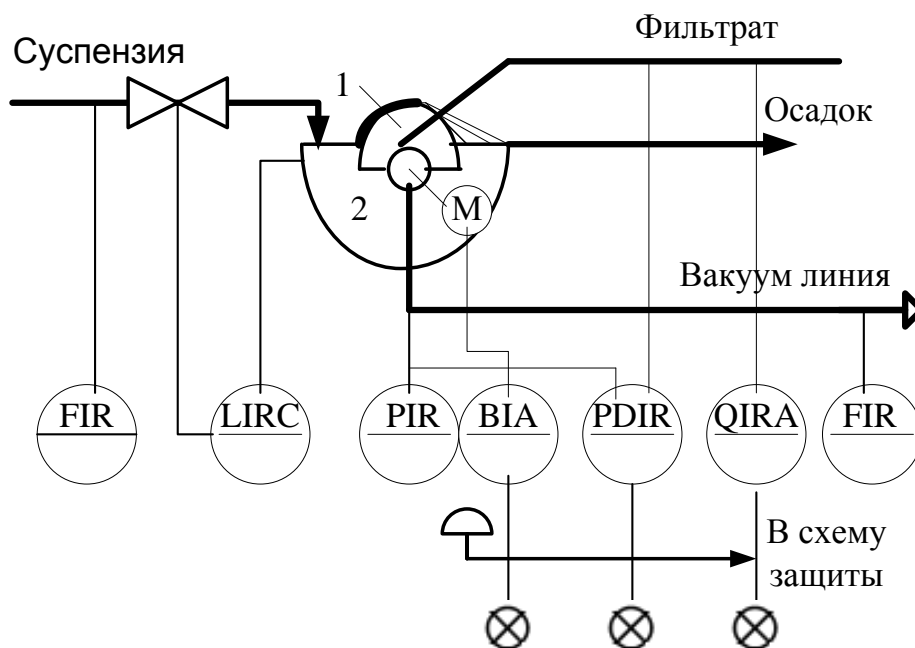


Рис. 9.10. Схема автоматизации процесса фильтрации жидких систем:
1 – барабан (диск); 2 – ванна

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.

9.1.8. Фильтрация газовых систем

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

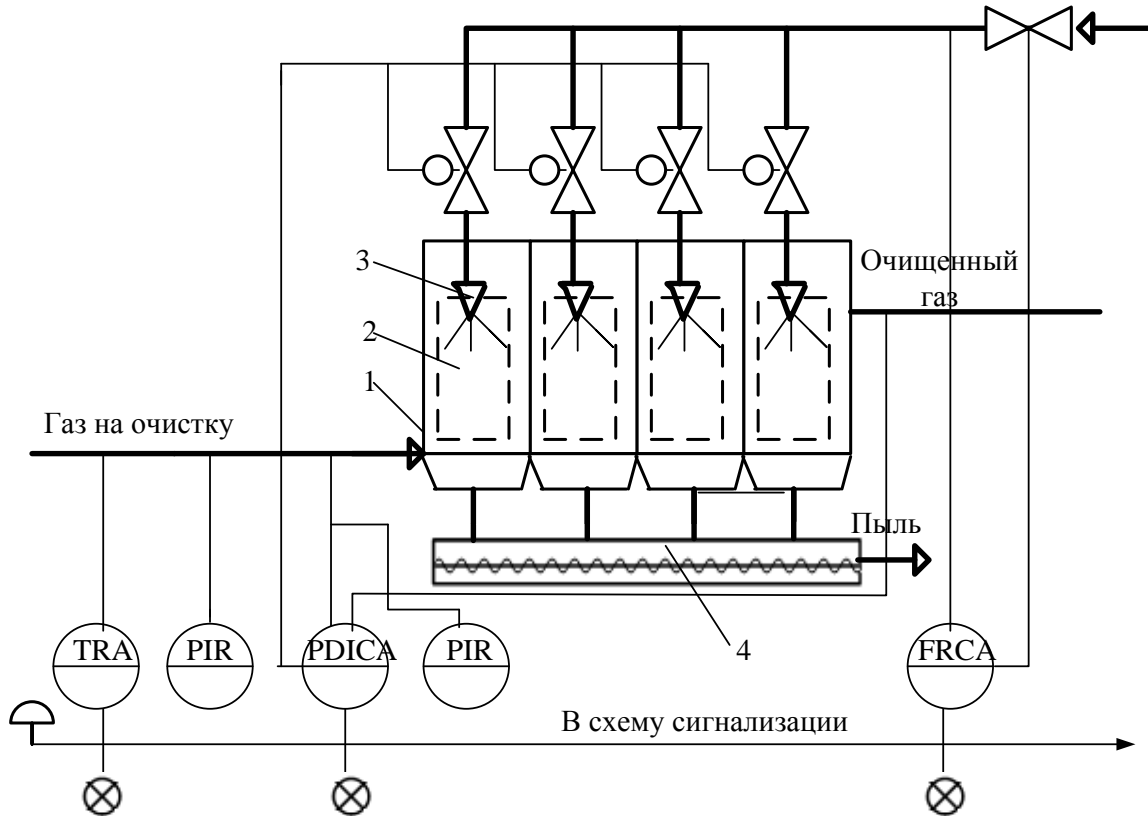


Рис. 9.11. Схема автоматизации процесса фильтрации газовых систем: 1 – корпус фильтра; 2 – рукава; 3 – сопла импульсной продувки; 4 – шнек

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 ΔP в камерах загрязненного и очищенного газа, который наиболее полно отражает ход процесса. Регу-

лизовать перепад давления ΔP 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 ΔP 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.

9.1.9. 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).

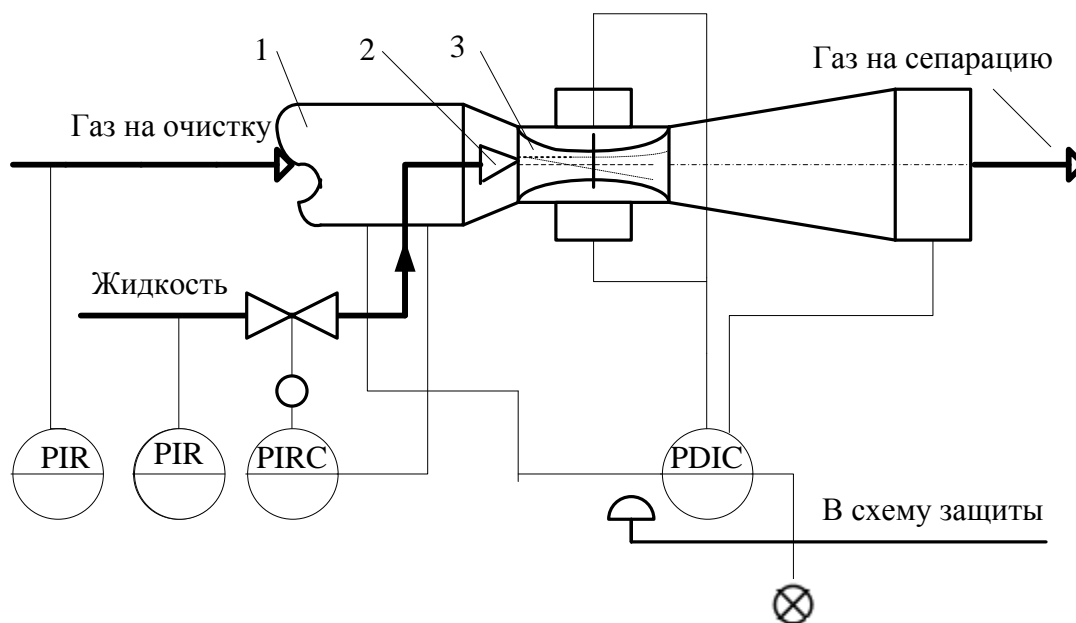


Рис. 9.12. Схема автоматизации мокрой очистки газов:
1 – корпус трубы Вентури; 2 – форсунки; 3 – регулируемая горловина

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. Мокрые пылеочистители склонны к забиванию, поэтому о достижении предельного значения перепада давления следует, кроме того, сигнализировать. При критическом значении перепада ΔP 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.

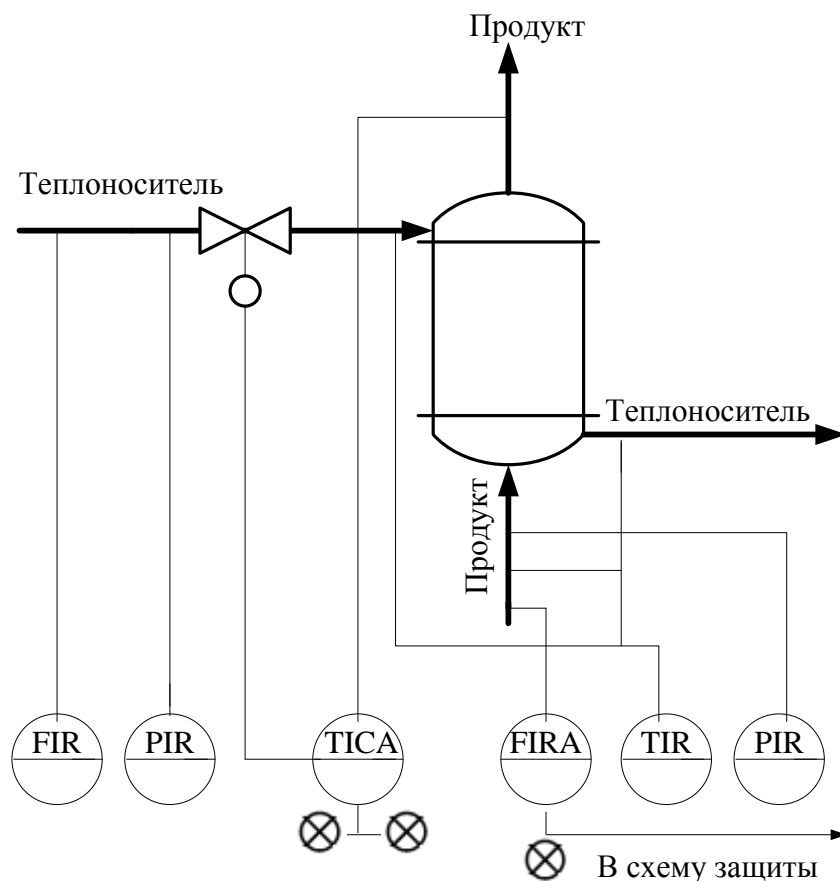


Рис. 9.13. Схема автоматизации процесса нагрева

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 нагрева, 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 нагрева невозможно. К неликвидируемым возмущениям относятся также изменения температуры окружающей среды и свойств теплопередающей стенки вследствие отложения солей и коррозии.

Анализ объекта управления показал, что большую часть возмущающих воздействий невозможно устранить. В связи с этим следует в качестве

регулируемой величины брать температуру, а регулирующее воздействие осуществлять путем изменения расхода.

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 нагревания 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-связанное 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 про-

странстве является гораздо менее инерционным параметром, чем конечная температура продукта.

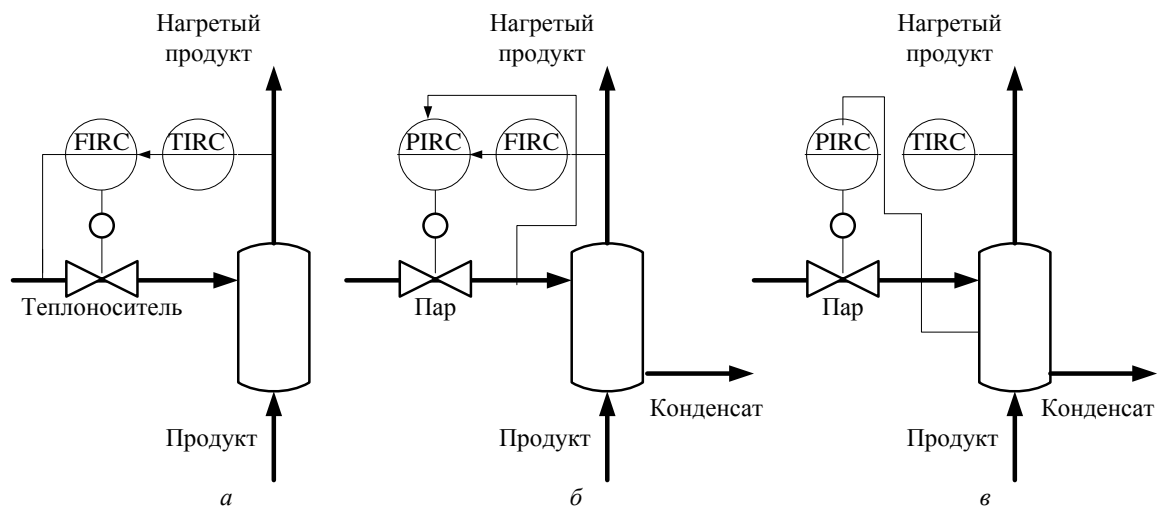


Рис. 9. 14. Двухконтурные системы регулирования процесса нагревания с использованием в качестве вспомогательной регулируемой величины расхода теплоносителя (а), давления пара (б) и давления в межтрубном пространстве

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 9.15б). Аналогичный эффект достигается при установке трехходового смесительного клапана (рисунок 9.15в).

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

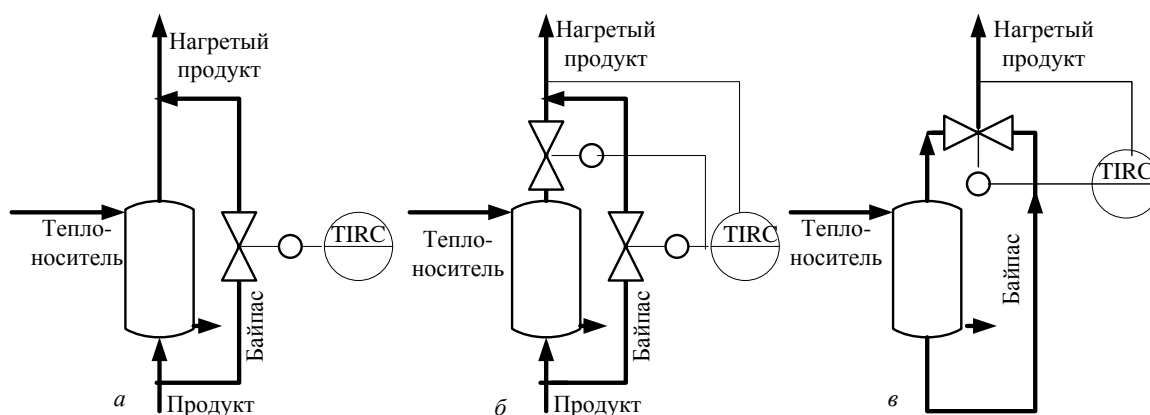


Рис. 9.15. Схема регулирования температуры изменением расхода продукта в байпасном трубопроводе: а – с помощью одного клапана; б – с помощью двух клапанов; в – с помощью трехходового клапана

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.

Регулирование изменением расхода продукта

Если для качественного управления процессом теплообмена допустимо изменение или стабилизация расхода продукта, то, в зависимо-

сти от возможных возмущающих воздействий, может быть принят один из вариантов схем регулирования, показанных на рисунке 9.16.

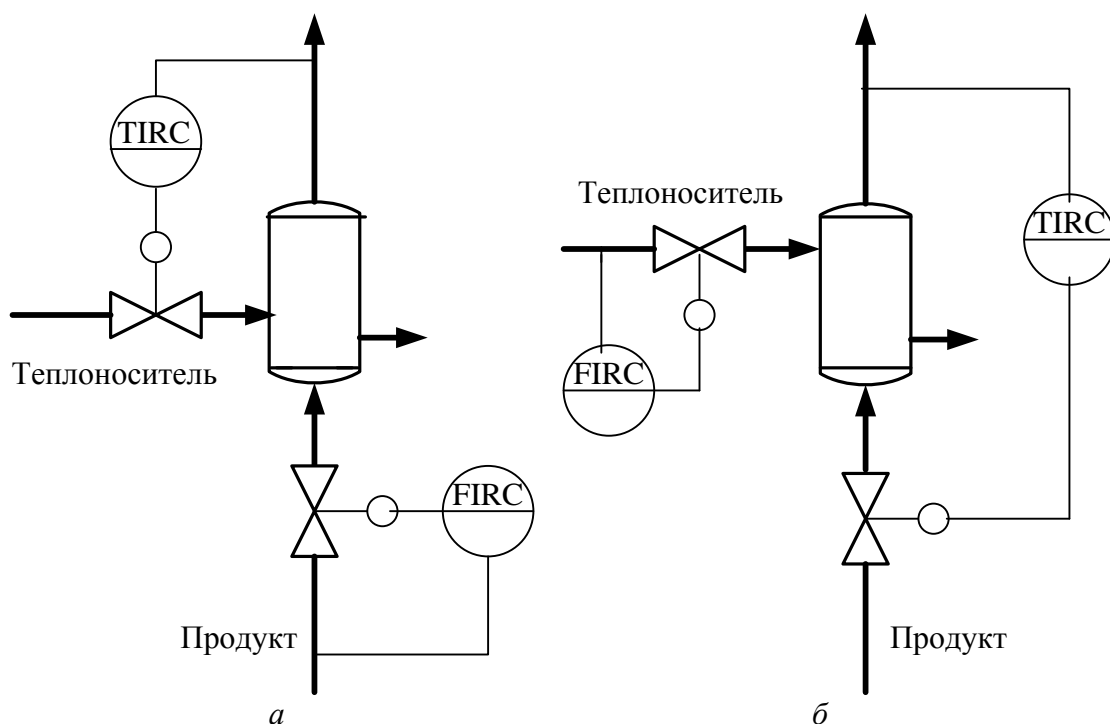


Рис. 9.16. Схема регулирования процесса нагрева: а – со стабилизацией расхода продукта; б – с изменением расхода продукта в зависимости от конечной температуры

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.

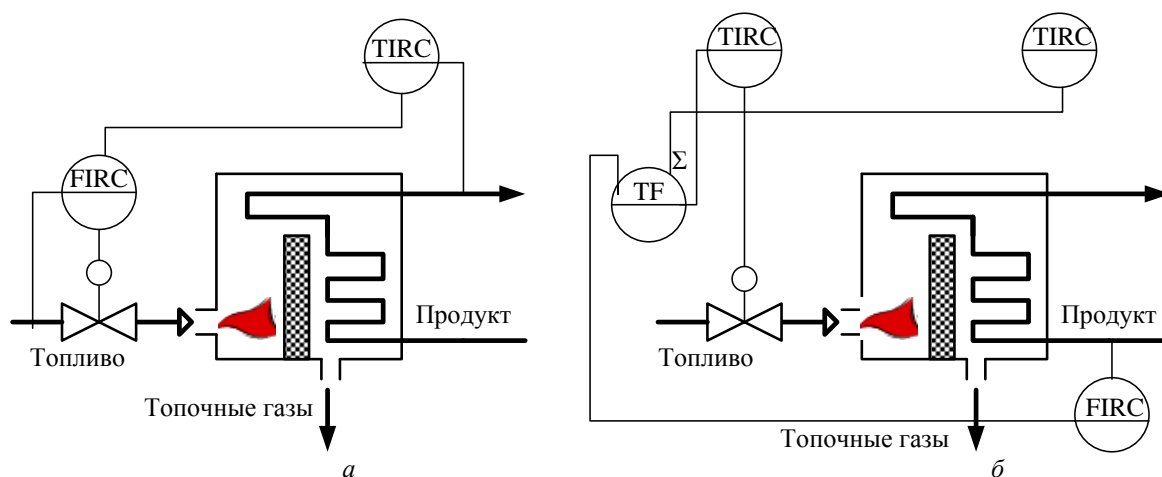


Рис. 9.17. Схемы связанного регулирования процесса в трубчатой печи

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 нагревания 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 простран-

ство; 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.

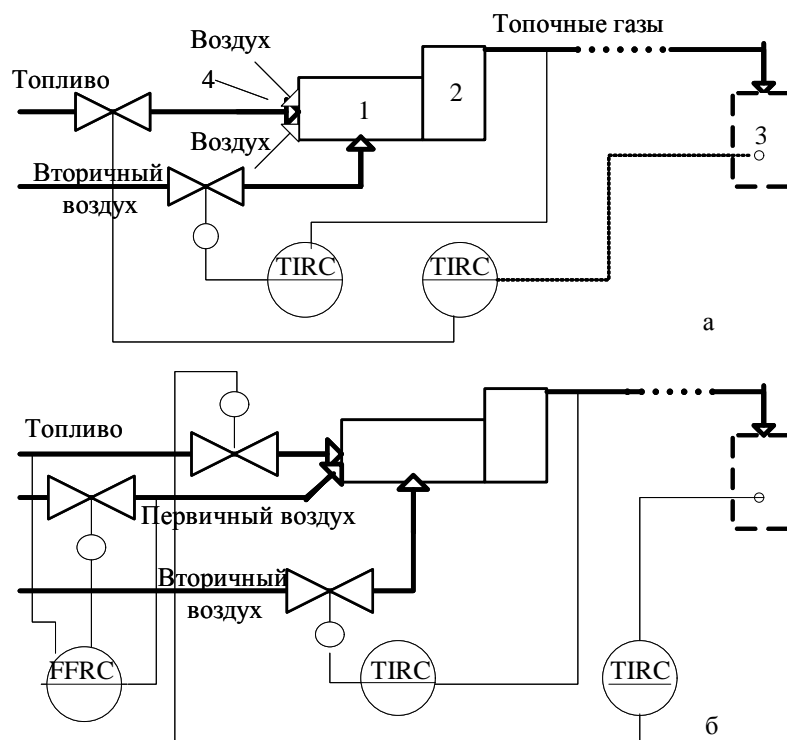


Рис. 9.18. Схемы регулирования топок:

- 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 инструкций. Наиболее простой является топка с инжекционными горелками (рис. 9.18,а).

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,б).

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).

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.

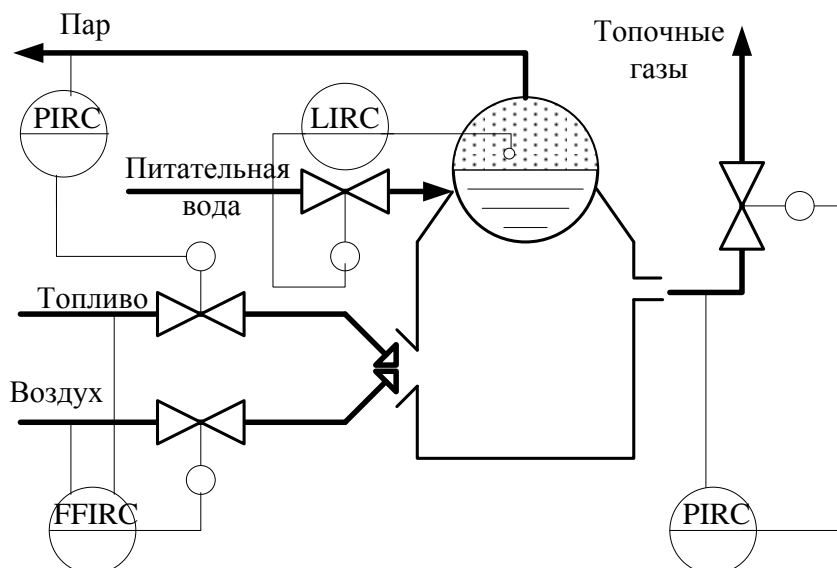


Рис. 9.19. Схема регулирования работы

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 носит к тем теплообменникам, 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).

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.

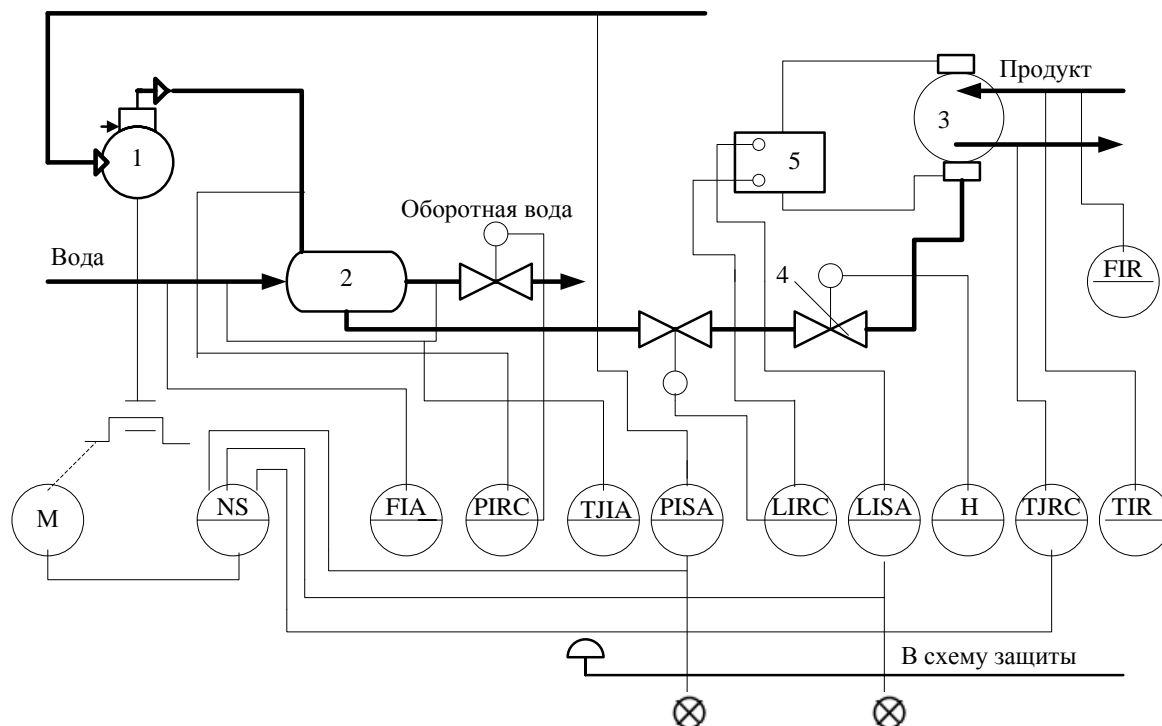


Рис. 9.20. Схема автоматизации процесса искусственного охлаждения:

- 1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – испаритель;
- 4 – дросселирующий элемент; 5 – выносная камера

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 хо-

лодопроизводительность 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 обусловливается 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.

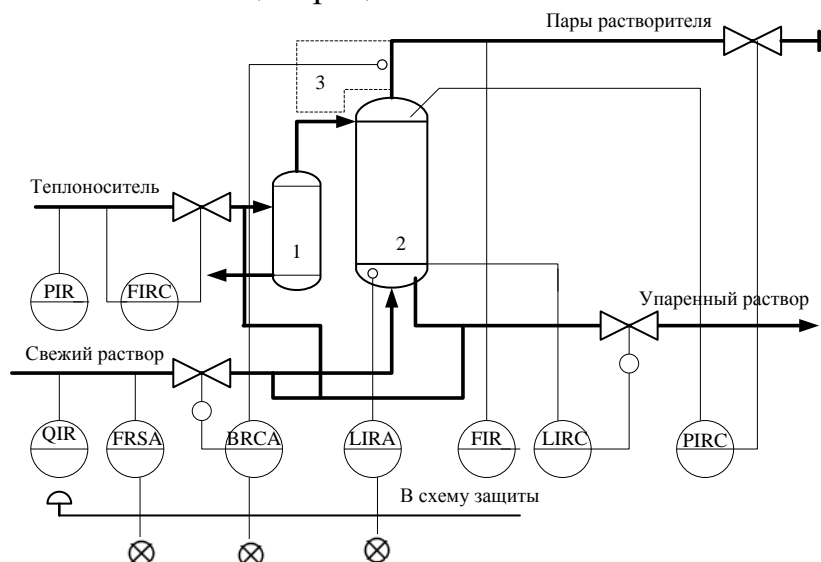


Рис. 9.21. Схема автоматизации процесса выпаривания: 1 – кипятильник; 2 – выпарной аппарат; 3 – устройство для измерения температурной депрессии

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.

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 регулируемой величины брать концентрацию, а регулирующее воздействие вносить изменением расхода свежего раствора. Можно в качестве стабилизирующего 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, подсосываемого вакуум-насосом из атмосферы.

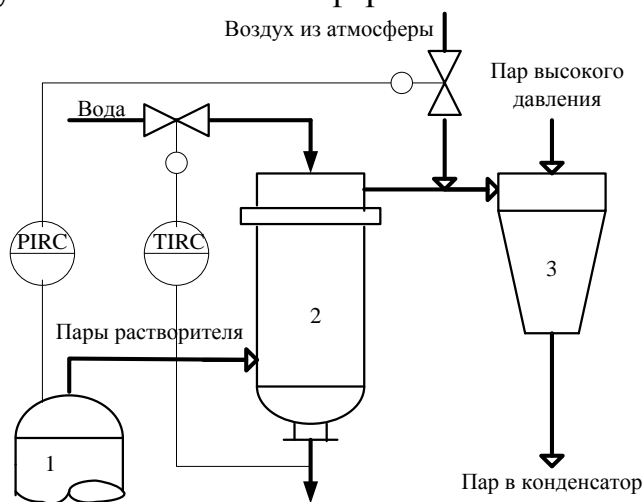


Рис. 9.22. Схема регулирования системы создания вакуума:
1 – выпарной аппарат; 2 – барометрический конденсатор; 3 – вакуум-насос

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. 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 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 регуляторам 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).

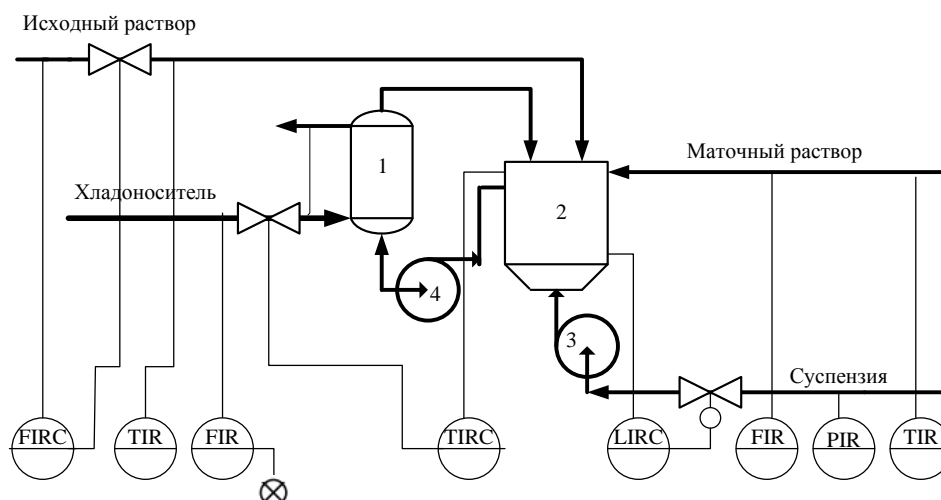


Рис. 9.23. Схема автоматизации процесса кристаллизации: 1 – холодильник; 2 – кристаллизатор; 3 – насос для суспензии; 4 – циркуляционный насос

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 насыщения 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. Концен-

трация 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.

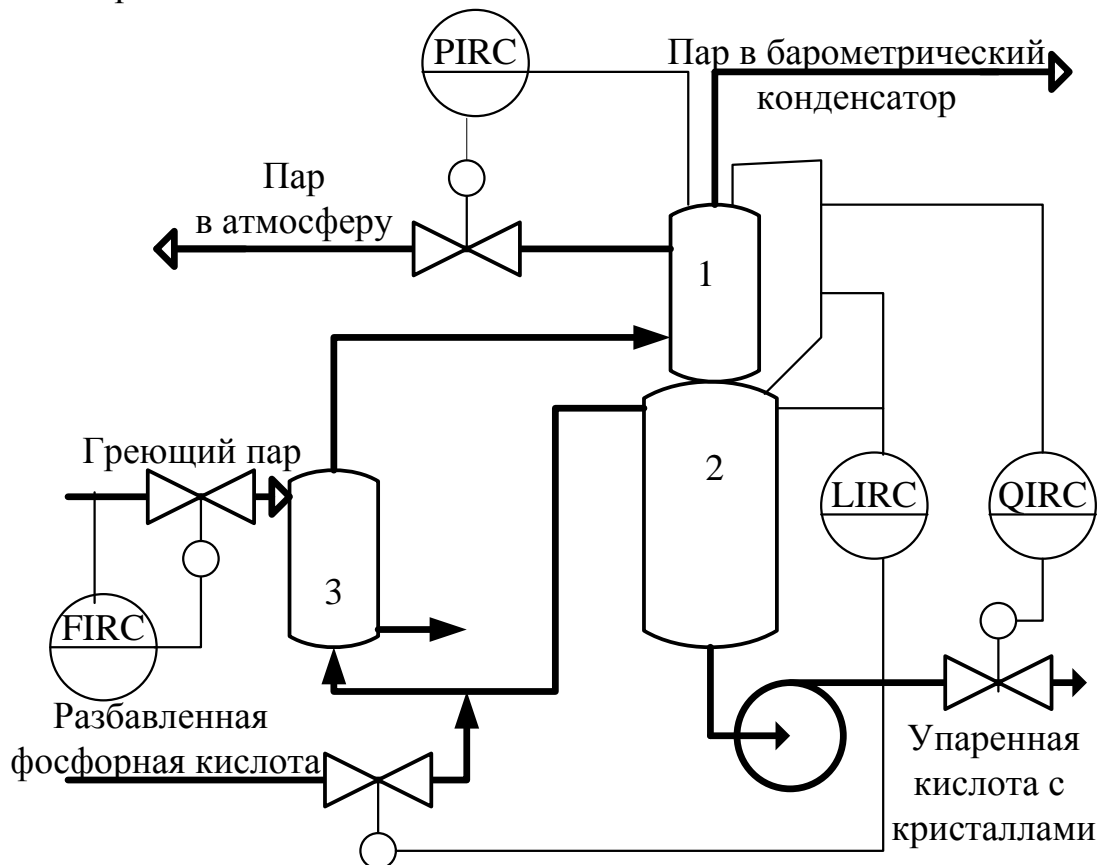


Рис. 9.24. Схема регулирования одноступенчатого кристаллизатора выпарного типа:
1 – верхняя камера; нижняя камера;

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.

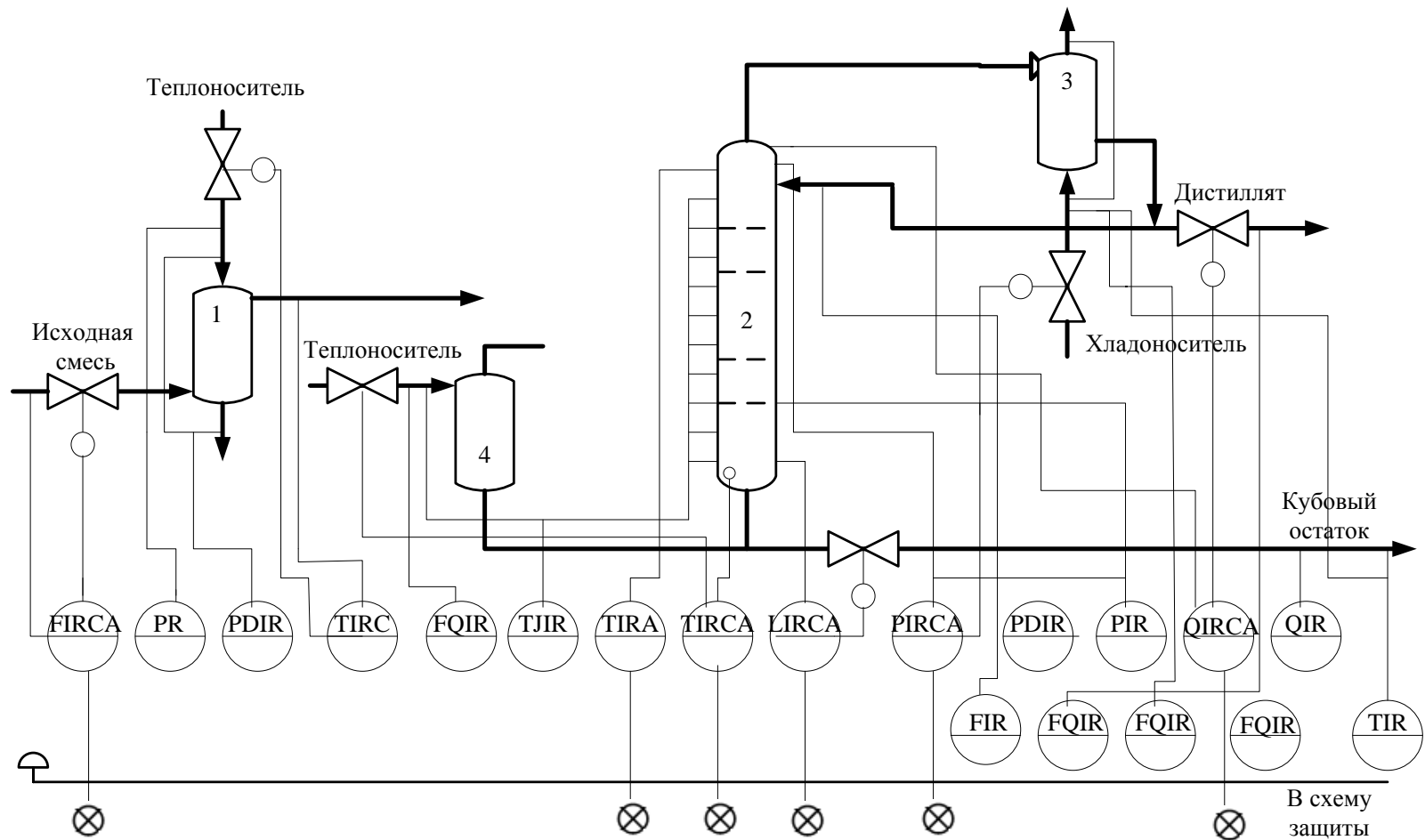


Рис. 9.25. Схема автоматизации процесса ректификации: 1 – теплообменник исходной смеси; 2 – ректификационная колонна; 3 – дефлегматор; 4 – кипятильник

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.

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 колон-

ны 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 теплоноси-

теля, 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 значительного 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.

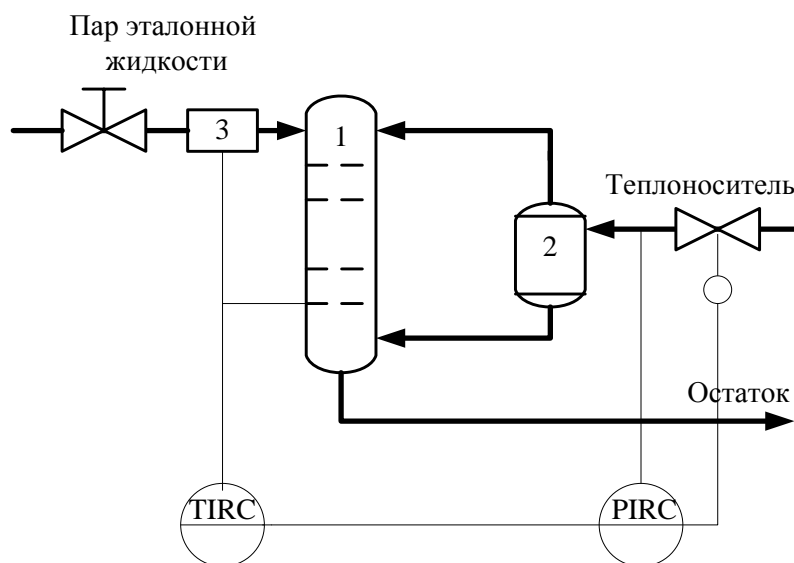


Рис. 9.26. Схема регулирования состава целевого продукта по разности температур кубового остатка и эталонной жидкости:

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).

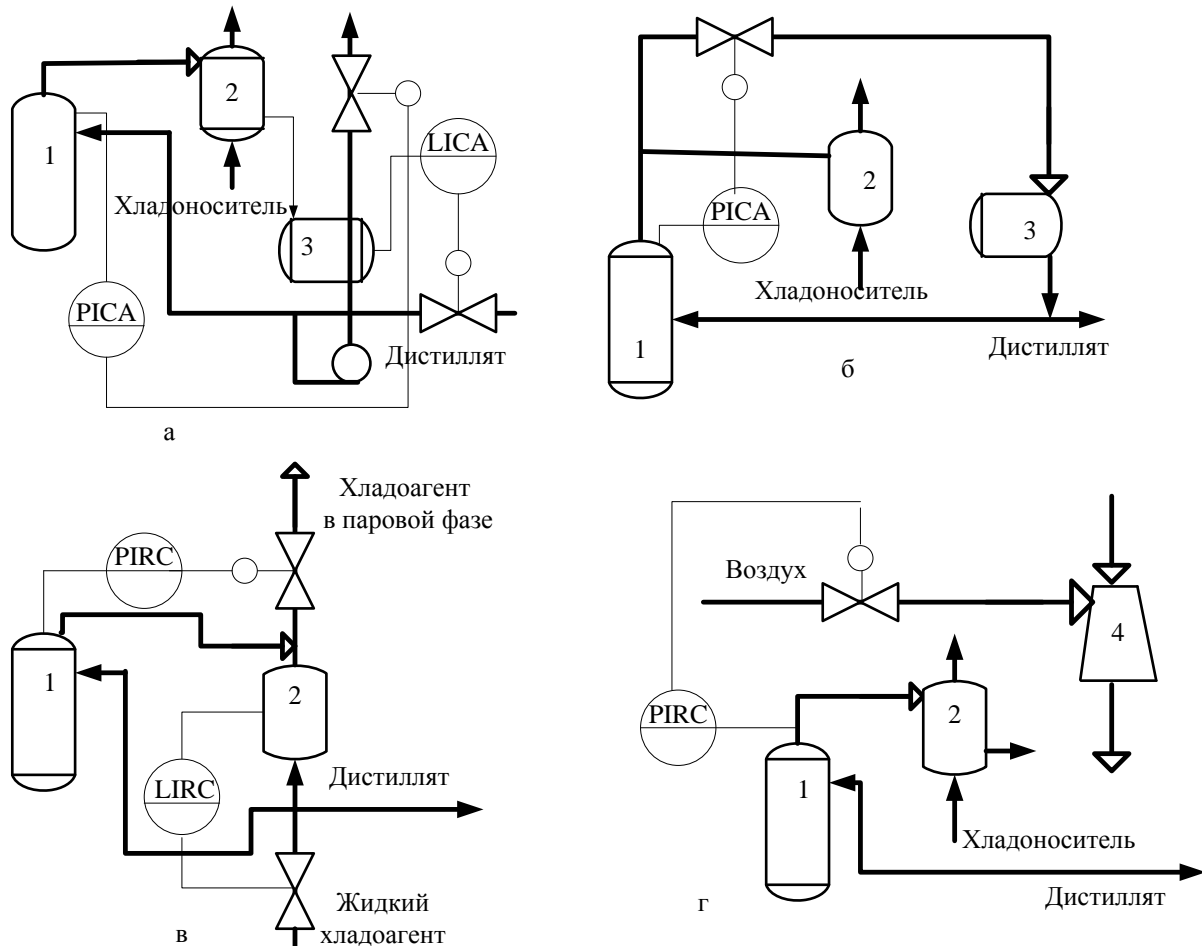


Рис. 9.27. Схемы регулирования в верхней части колонны: 1 – колонна; 2 – дефлегматор; 3 – емкость; 4 – эжектор (струйный насос для отсасывания жидкости)

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 9.27а). 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.

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 минимуму, 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 из-

менению давления и температуры кипения хладагента и, следовательно, интенсивности испарения. Расход жидкого хладагента может измеряться, или по уровню в дефлегматоре (рисунки 9.27,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 (рисунок 9.27,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 сравнительно 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).

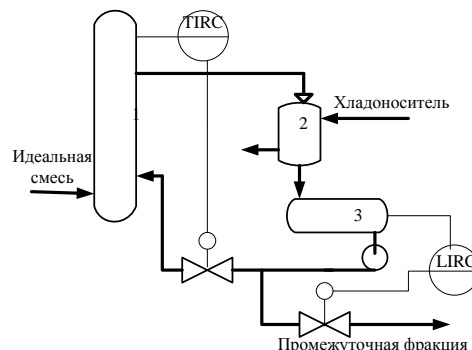


Рис. 9.28. Схема регулирования процесса ректификации при отборе промежуточной фракции: 1 – колонна; 2 – дефлегматор; 3 – емкость

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). 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 систему (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).

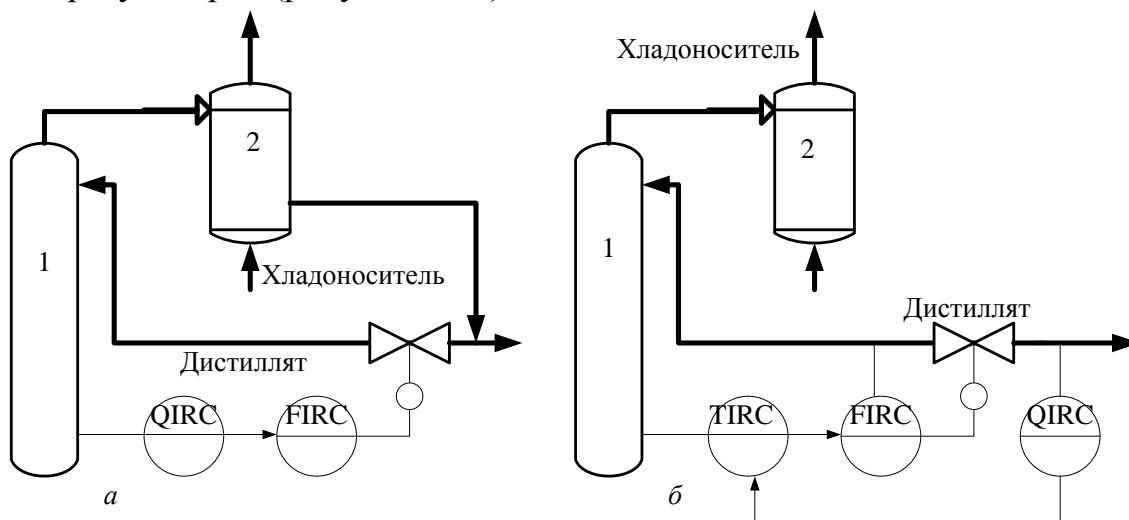


Рис. 9.29. Схема двухконтурной (а) и трехконтурной (б) систем регулирования состава дистиллята: 1 – колонна; 2 – дефлегматор

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.

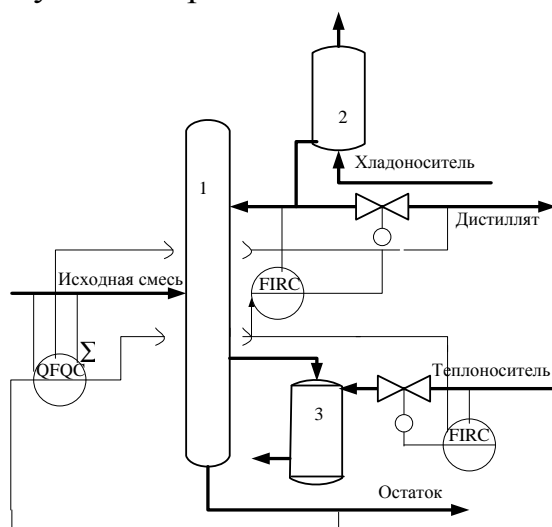


Рис. 9.30. Схема регулирования соотношения расходов с коррекцией по составу

целевых продуктов: 1 – колонна; 2 дефлегматор; 3 – кипятильник

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.

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).

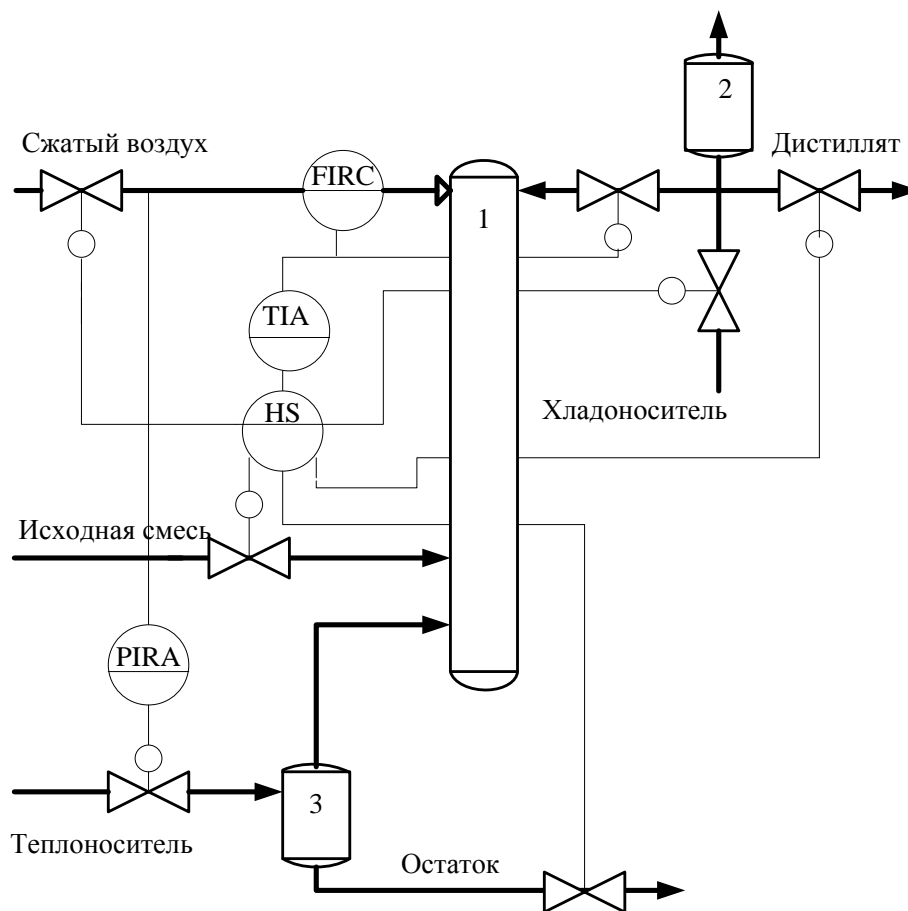


Рис. 9.31. Регулирование колонны периодического действия:

1 – колонна; 2 – дефлегматор; 3 – кипятильник

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 значений.

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.

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.

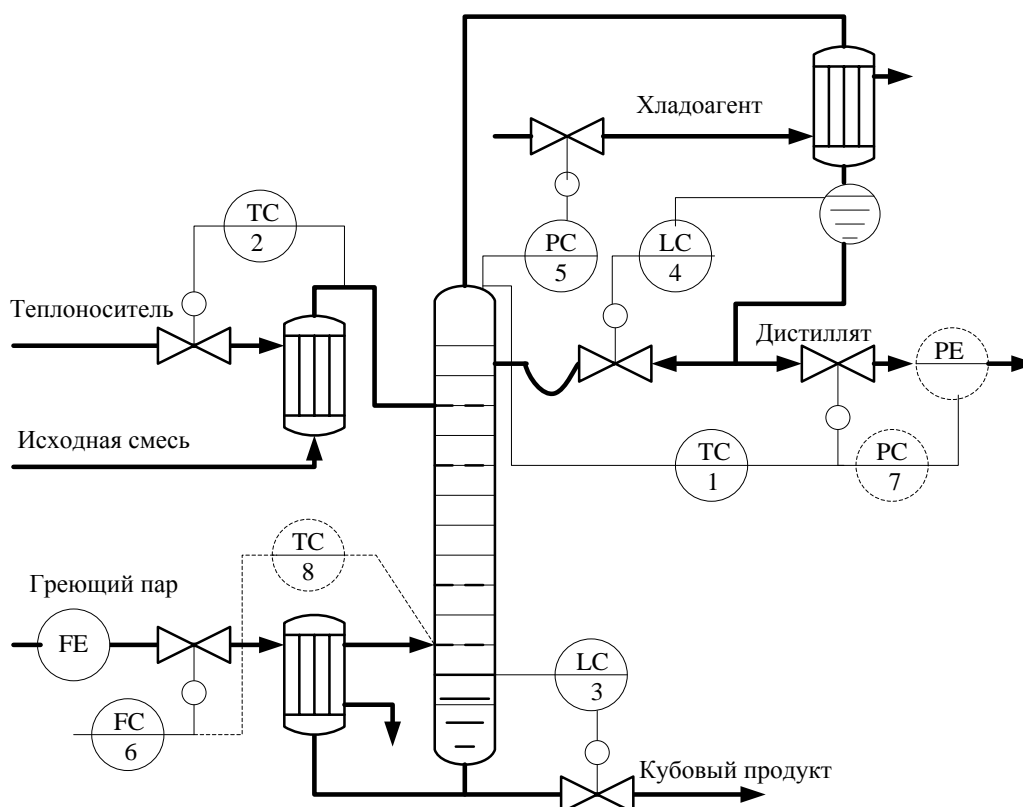


Рис. 9.32. Система автоматизации ректификационной установки, построенная на одноконтурных САР отдельных технологических параметров:

- 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

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.

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 регулируемой 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.

Например, при разности температур кипения чистых продуктов 20 °С (например, $t_k = 100$ °С; $t_d = 80$ °С) и допустимых колебаниях состава продукта ± 1 % соответствующие колебания температуры составят $\pm 0,2$ °С. В то же время для потенциометра составят $\pm 0,2$ °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.

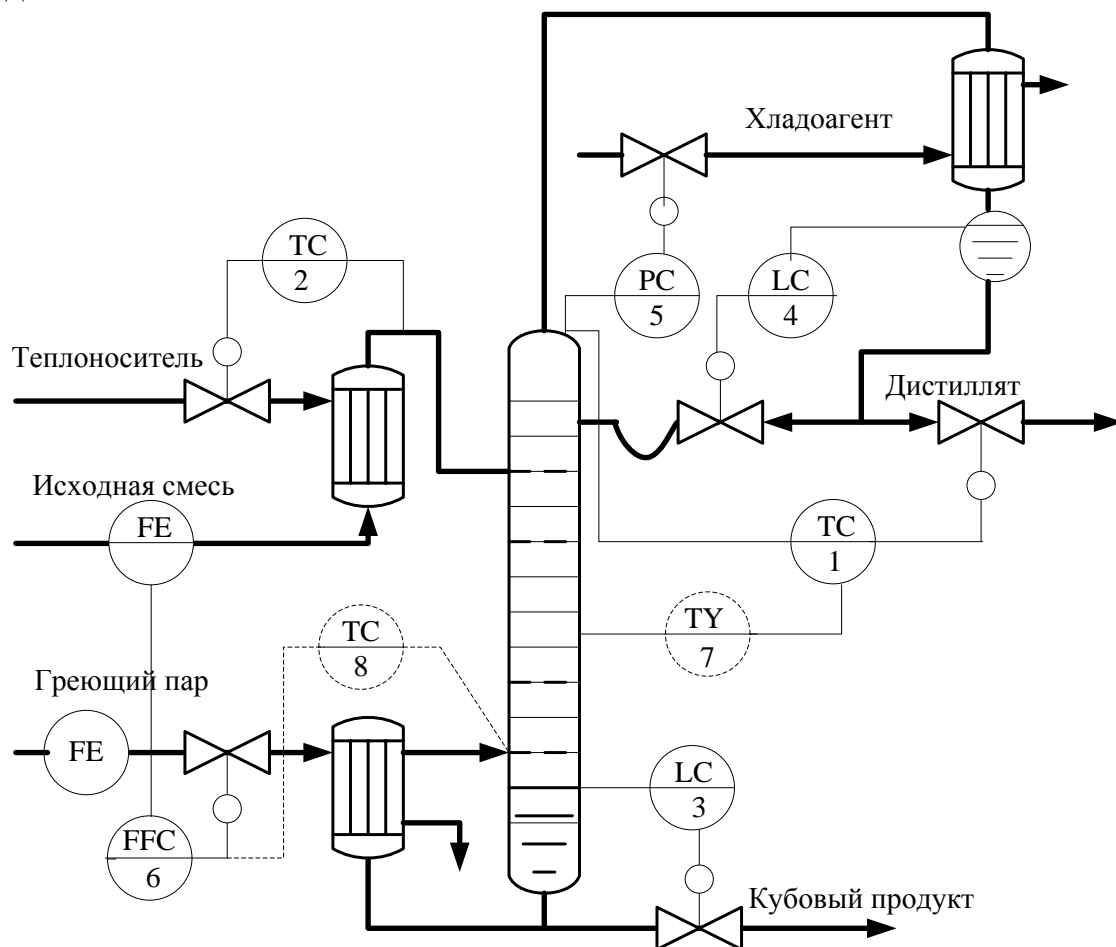


Рис. 9.33. Система автоматизации ректификационной установки со статической компенсацией возмущений по расходу питания и с каскадной САР температуры верха колонны: 1 – регулятор температуры верха колонны; 2 – регулятор температуры питания; 3, 4 – регуляторы уровня; 5 – регулятор давления; 6 – регулятор соотношения; 7 – дифференциатор

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.

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.

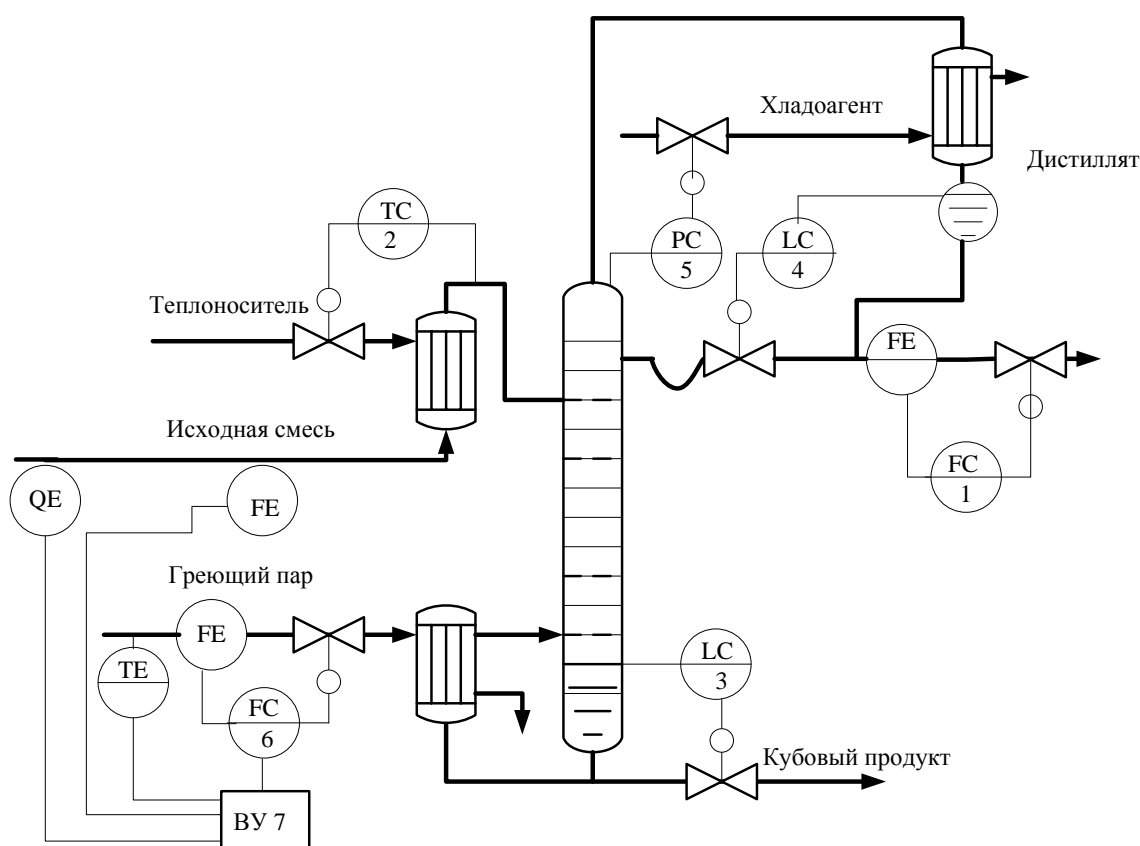


Рис. 9.34. Система автоматизации ректификационной установки с компенсацией возмущений по расходу и составу питания и температуре греющего пара: 1 и 6 – регуляторы расхода; 2 – регулятор температуры; 3 и 4 – регуляторы уровня; 5 – регулятор давления; 7 – вычислительное устройство

Эта САР должна обеспечить приближенную инвариантность системы по отношению к контролируемым возмущениям. Однако наличие неконтролируемых возмущений (например, переохлаждение флегмы) приве-

дет 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.

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).

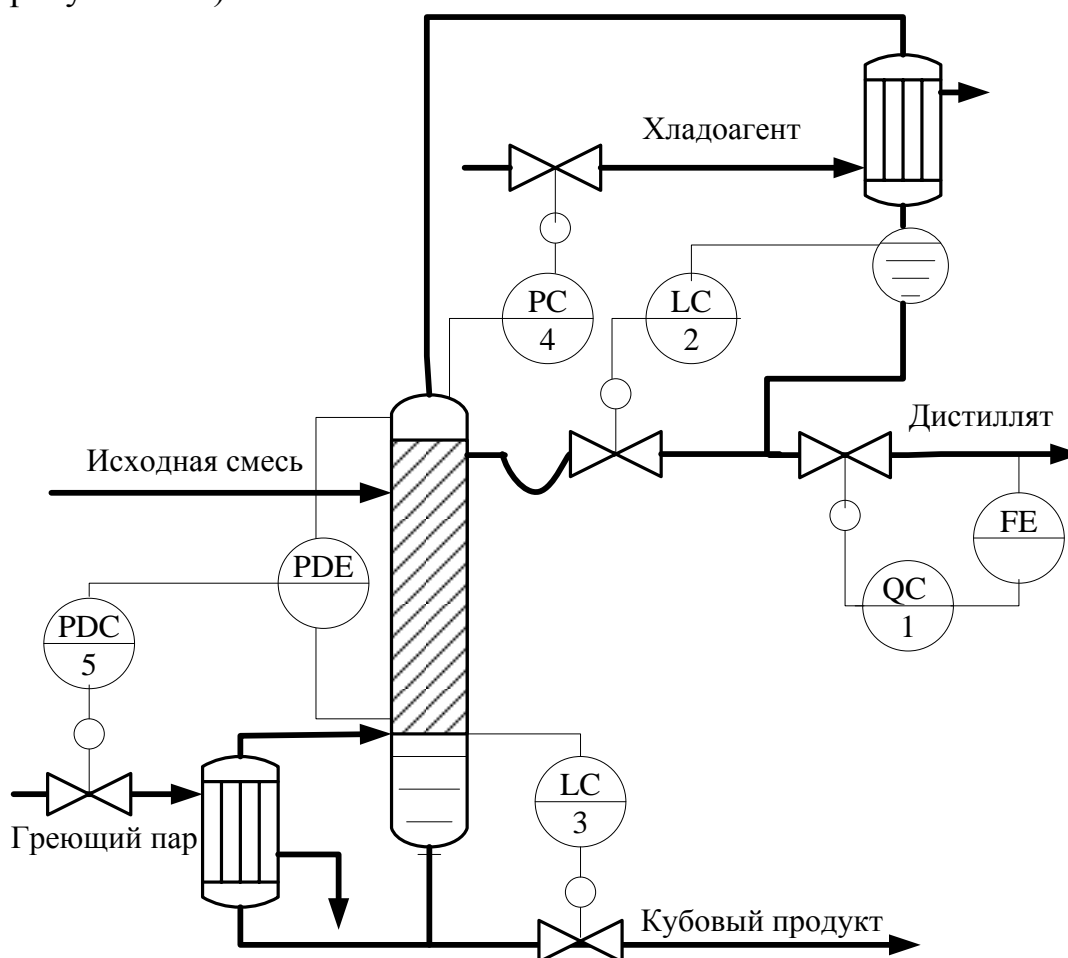


Рис. 9.35. Система автоматизации насадочной ректификационной колонны:
 1 – регулятор состава; 2 и 3 – регуляторы уровня; 4 – регулятор давления;
 5 – регулятор перепада давления

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.

Количество компонента, поступающего в колонну, однозначно определяется расходом газовой смеси F_c и начальной концентрацией в ней извлекаемого компонента Y_n .

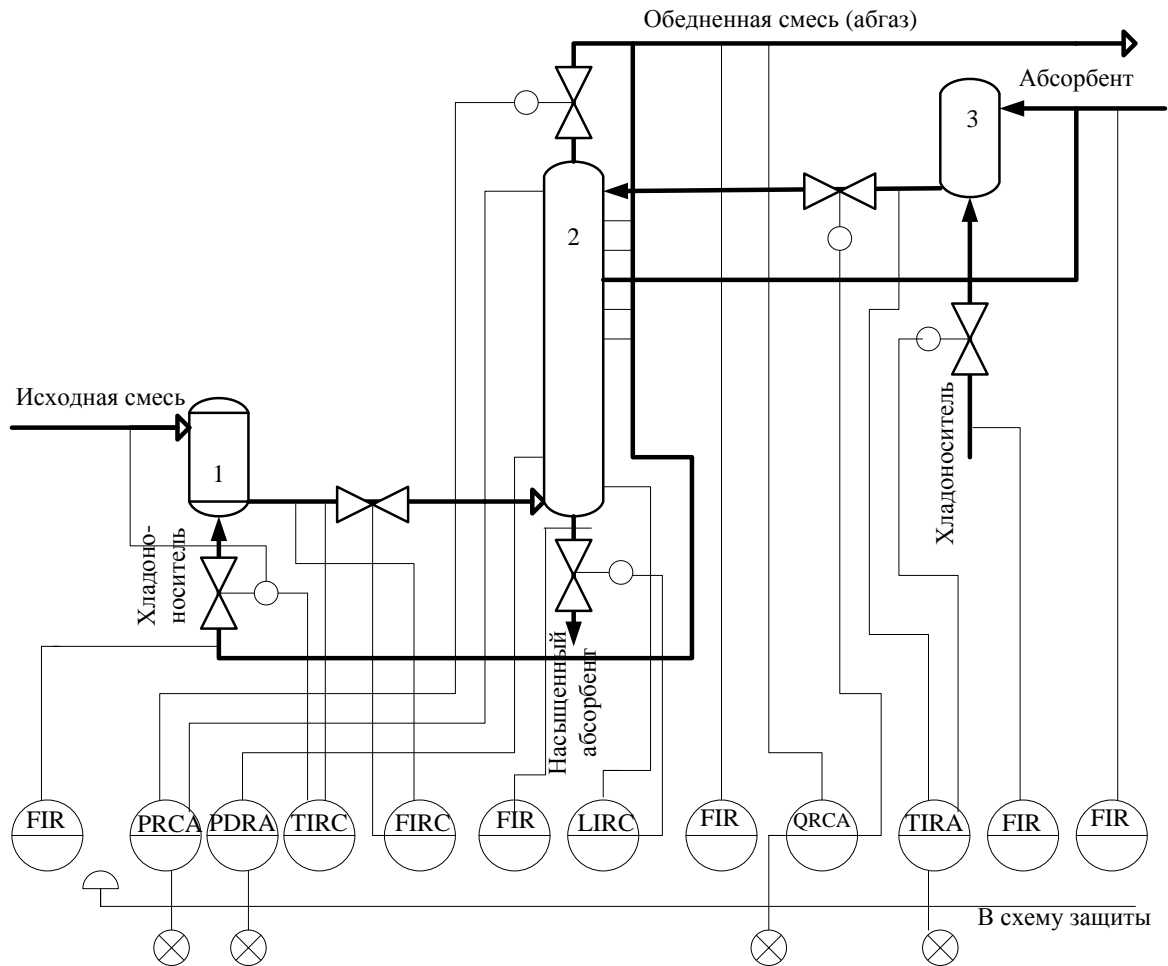


Рис. 9.36. Схема автоматизации процесса абсорбции:
1 и 3 – холодильники; 2 – абсорбционная колонна

Таким образом, концентрация $Y_{и}$ зависит от расхода газовой смеси концентраций $X_{н}$ и $Y_{н}$, 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 изменен 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 U_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 U_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 V_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).

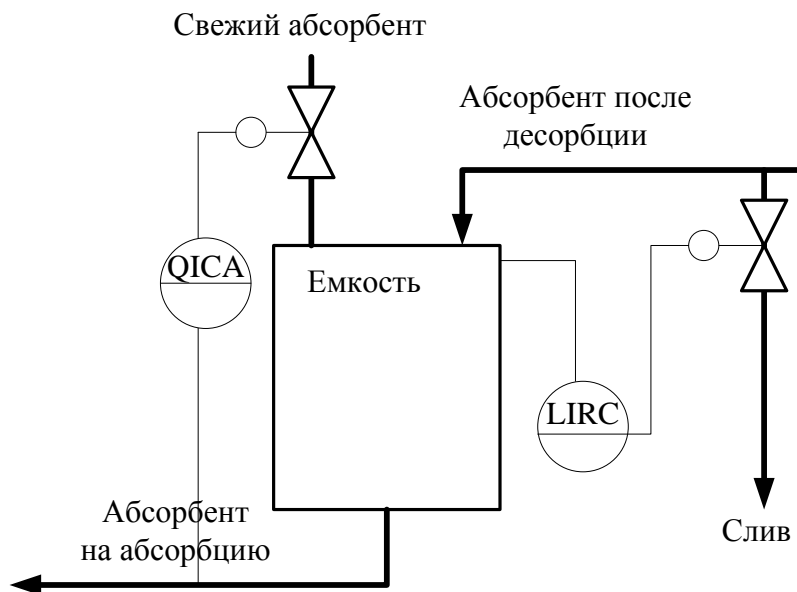


Рис. 9.37. Схема регулирования состава абсорбента, поступающего в колонну

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.

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.

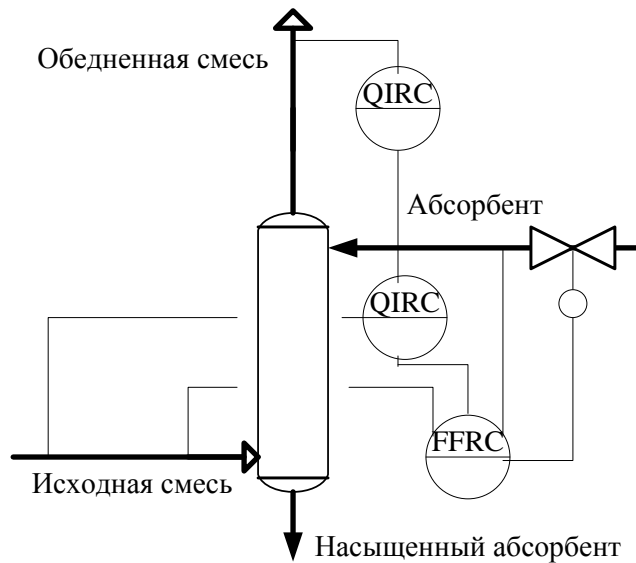


Рис. 9. 38. Контур регулирования по возмущению при переменных расходе и составе исходной смеси

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. 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).

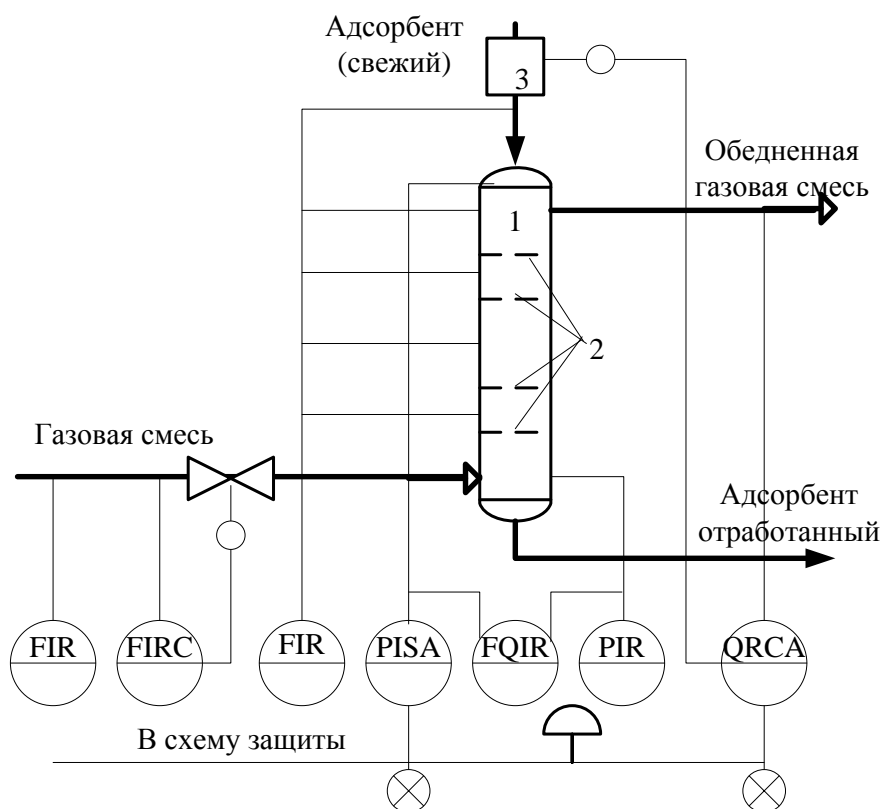


Рис. 9.39. Схема автоматизации процесса адсорбции: 1 – адсорбционная колонна; 2 – тарелки; 3 – дозатор

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). 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 десорберов с кипящим слоем

Выделение из адсорбента поглощенного вещества проводится в псевдооживленном слое противоточных тарельчатых сорбционных аппара-

тов. Адсорбент после адсорбера (рисунок 9.40) подается на верхнюю тарелку, а в нижнюю часть поступает нагретый воздух после калорифера.

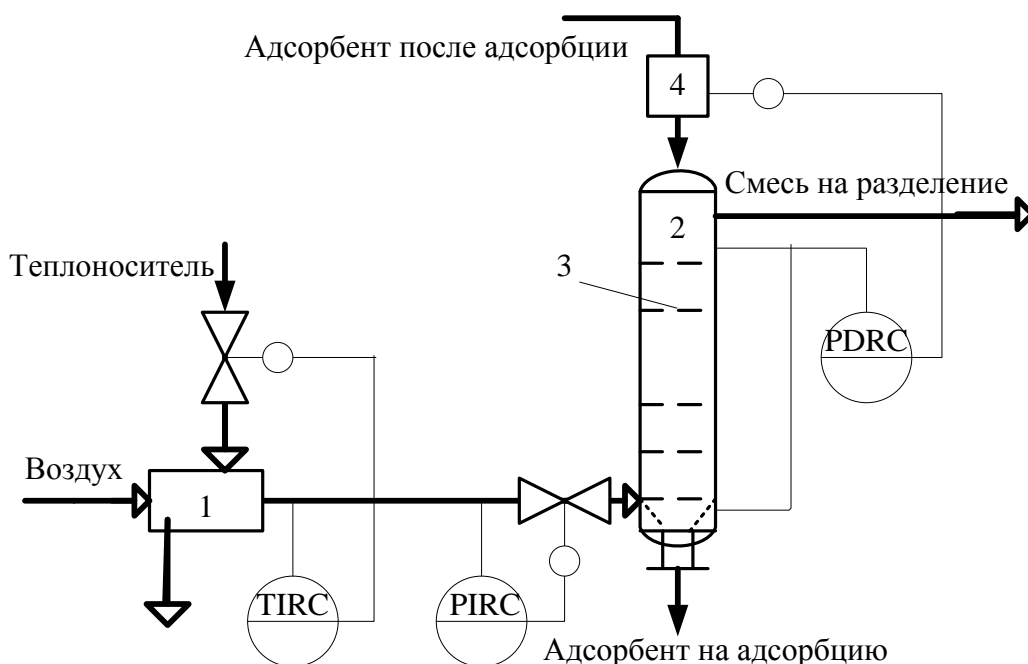


Рис. 9.40. Схема регулирования процесса десорбции в кипящем (псевдооживленном) слое: 1 – калорифер; 2 – десорбционная колонна; 3 – тарелки; 4 – дозатор

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.

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 сво-

дится 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 абсорбента. Основными управлениями служат расход абсорбента, 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 9.41а), 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 9.41б) позволит частично компенсировать эти возмущения и повысить качество регулирования. На рисунке 9.41в 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.

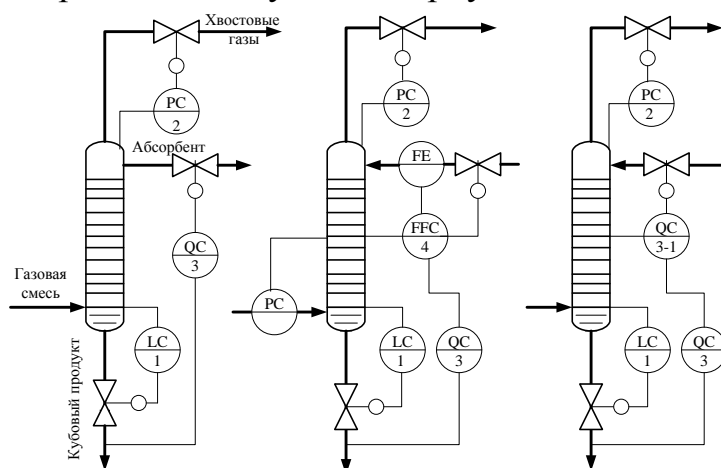


Рис. 9.41. Примеры систем автоматизации абсорбционной установки:
 а – на основе одноконтурных систем регулирования; б – регулирование соотношения расходов абсорбента и газовой смеси с коррекцией по составу кубового продукта;
 в – каскадная система автоматизации состава кубового продукта;
 1 – регуляторы 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 «настоке»), 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.

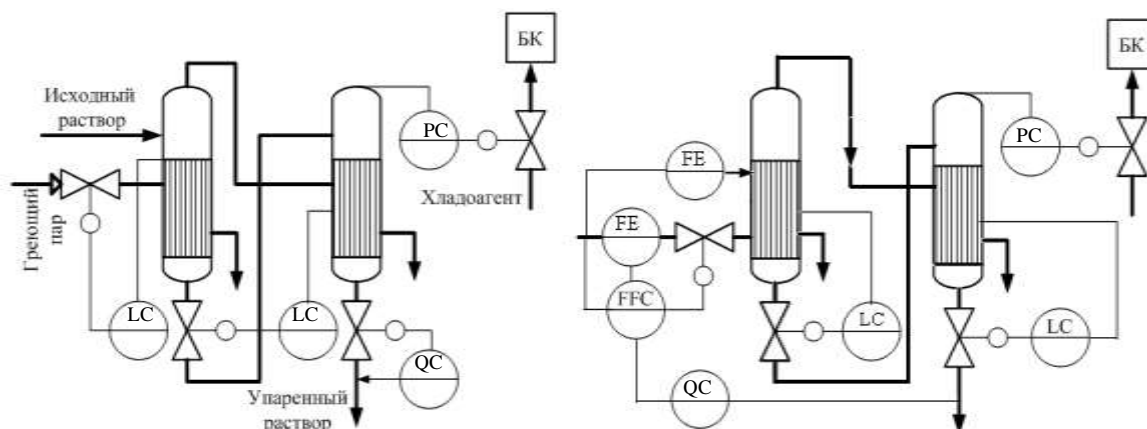


Рис. 9.42. Примеры систем автоматизации выпарной установки:

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.

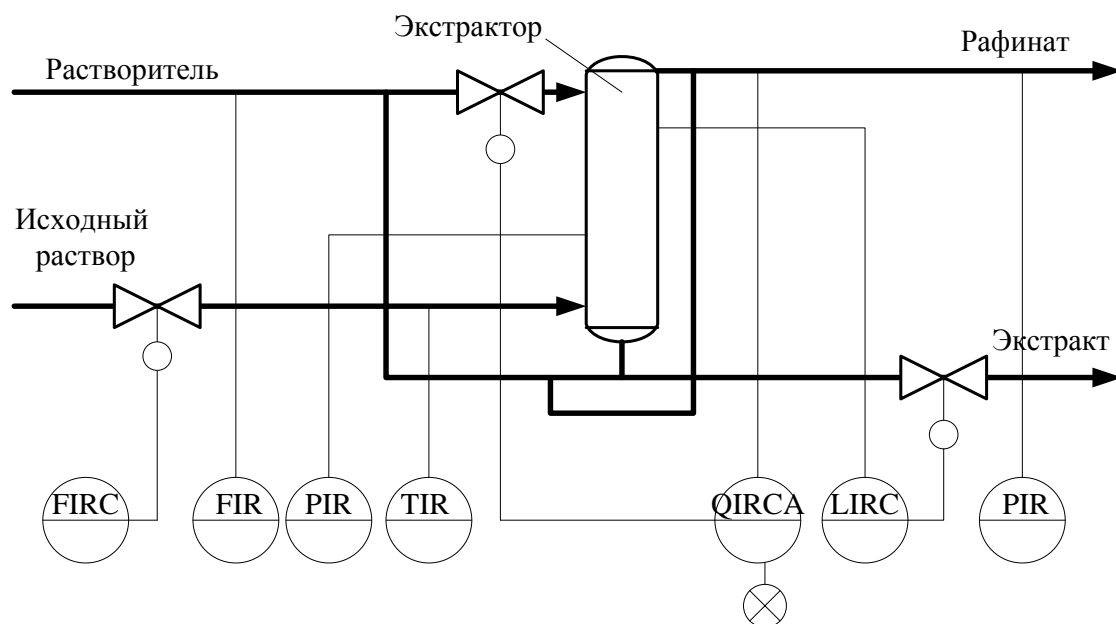


Рис. 9.43. Схема автоматизации процесса экстракции

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 экс-

тракта, концентрацию извлекаемого компонента в рафинате, уровень раздела 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_H .

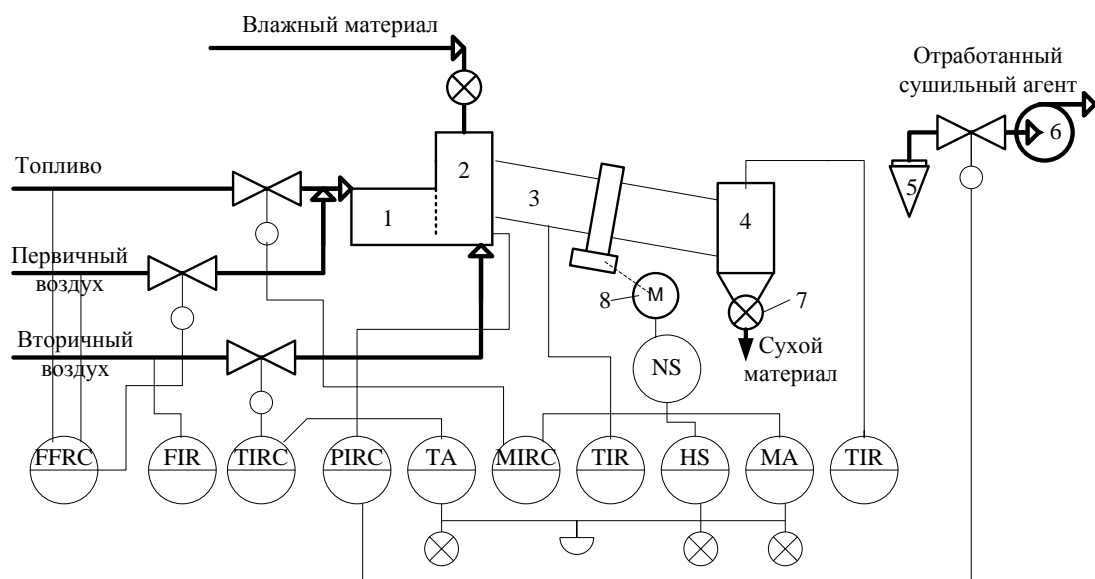


Рис. 9.44. Схема автоматизации процесса сушки:

- 1 – топка; 2 – смесительная камера; 3 – барабан; 4 – бункер; 5 – циклон;
6 – вентилятор; 7 – автоматический дозатор; 7 – 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 Δ .

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 Δ определяется движущими силами в начале и в конце процесса сушки. И это зависит от значений влажности материала w_n и сушильного агента φ_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 φ_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. Необходимо

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.

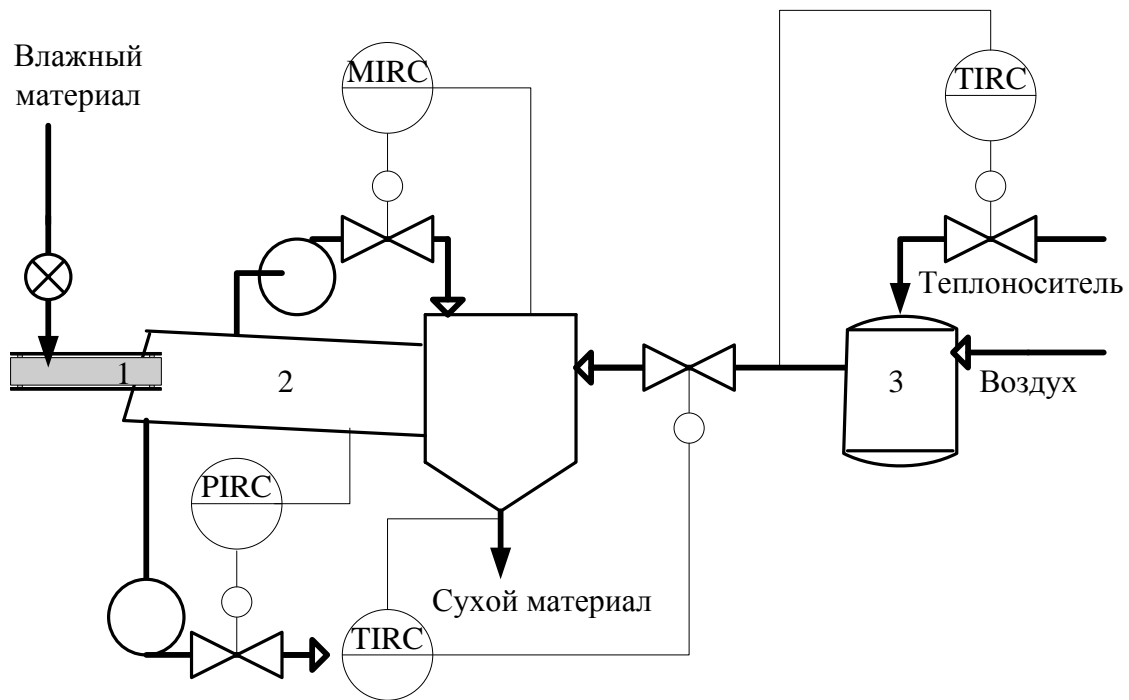


Рис. 9.45. Схема регулирования противоточной барабанной сушилки:
1 – транспортер влажного материала; 2 – барабан; 3 – воздухоподогреватель

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.

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).

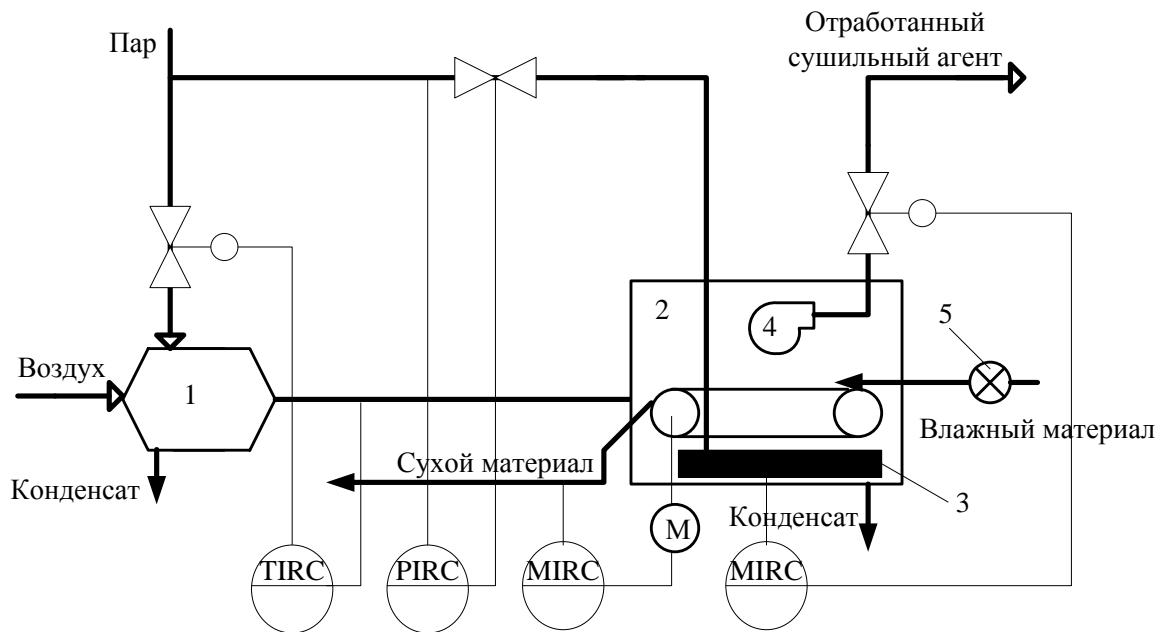


Рис. 9.46. Схема автоматизации ленточной (конвейерной) сушилки:
 1 – калорифер; 2 – сушилка; 3 – дополнительный подогреватель;
 4 – вентилятор; 5 – питатель

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 φ_n (на схеме этот узел не показан).

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.

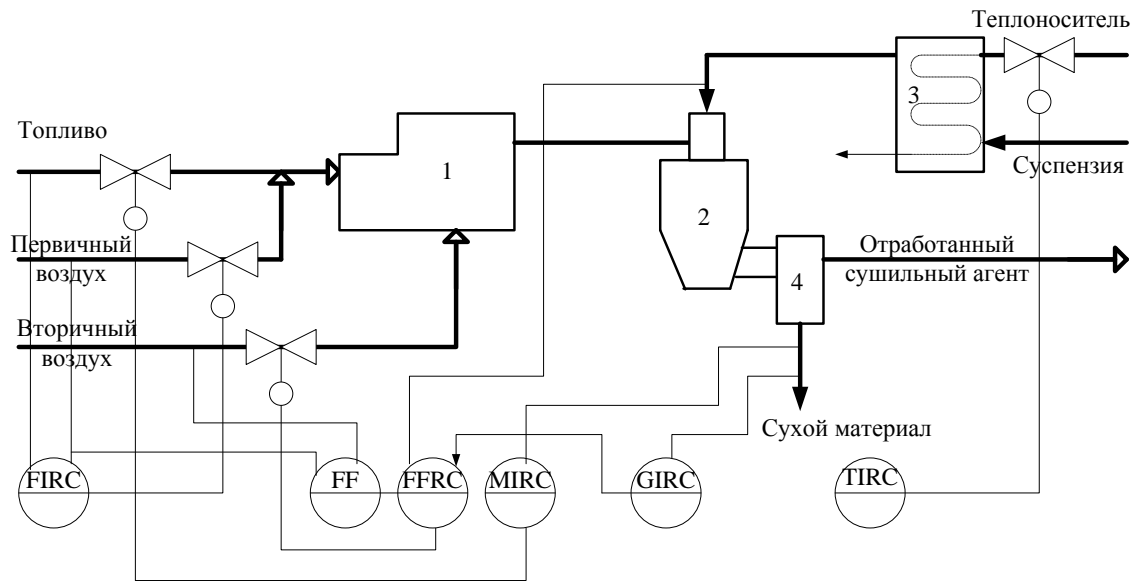


Рис. 9.47. Схема автоматизации струйной сушилки:
1 – топка; 2 – сушилка; 3 – теплообменник суспензии; 4 – сепаратор

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).

Регулирование сушилок кипящего слоя (КС)

При автоматизации сушки в кипящем (псевдооживленном) 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).

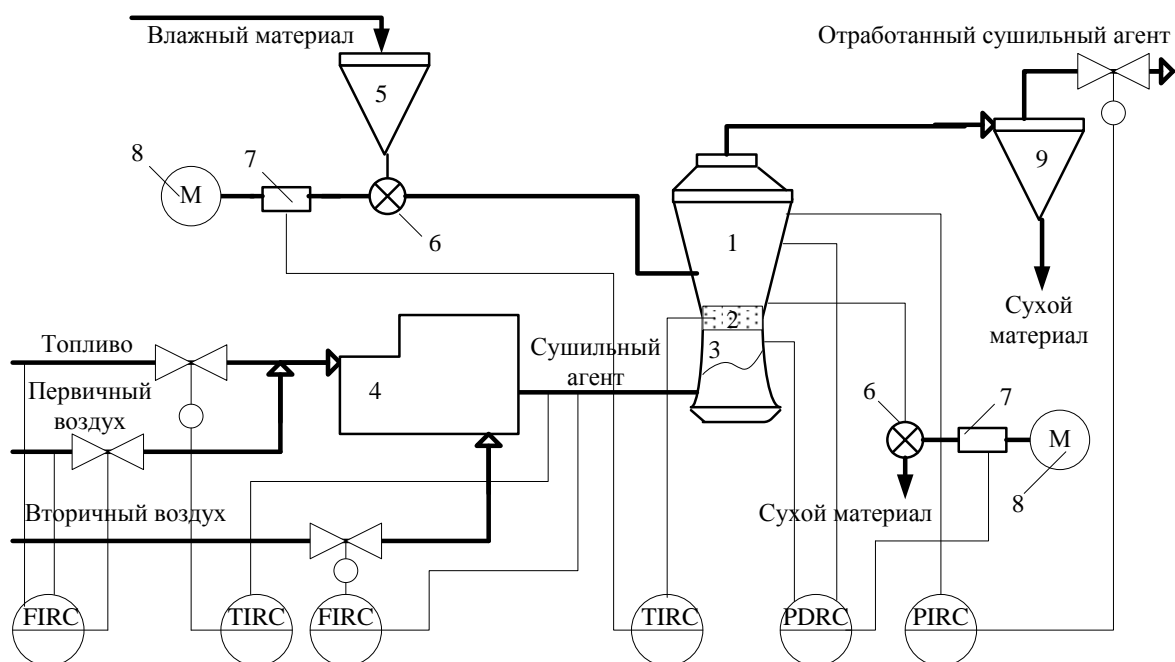


Рис. 9.48. Схема автоматизации в сушилке с кипящим (псевдоожиженным) слоем: 1 – сушилка; 2 – кипящий слой; 3 – решетка; 4 – топка; 5 – промежуточный бункер; 6 – питатели; 7 – вариаторы; 8 – электродвигатели; 9 – циклон

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 псевдоожиженного 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.

Кроме этих регуляторов предусматриваются стандартные узлы регулирования разрежения, начальной температуры сушильного агента, его расхода, соотношения расходов топлива и первичного воздуха.

Регулирование вихревых и аэрофонтовых 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 гранулометрический 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.

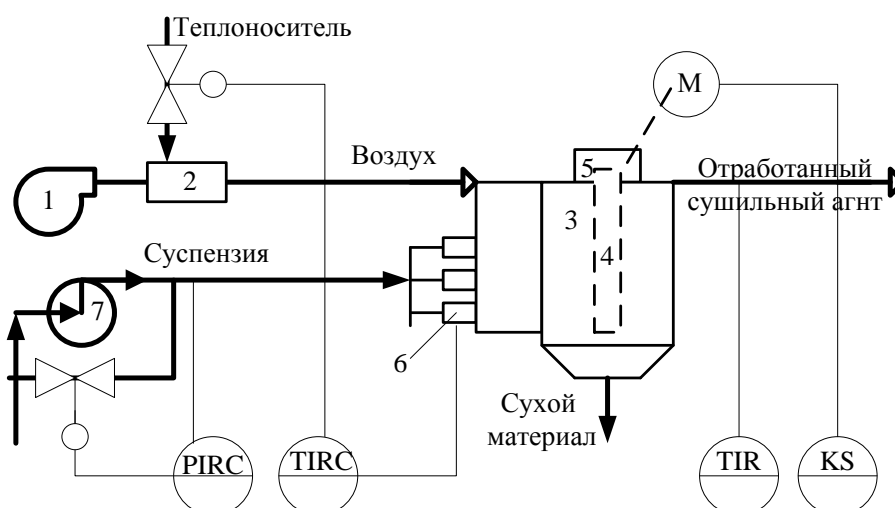


Рис. 9.49. Схема автоматизации распылительной сушилки с механическими распылителями: 1 – вентилятор; 2 – теплообменник; 3 – сушилка; 4 – мешочный фильтр; 5 – встряхивающее устройство; 6 – механические распылители (форсунки); 7 – питательный насос

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.

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 сушки, 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.

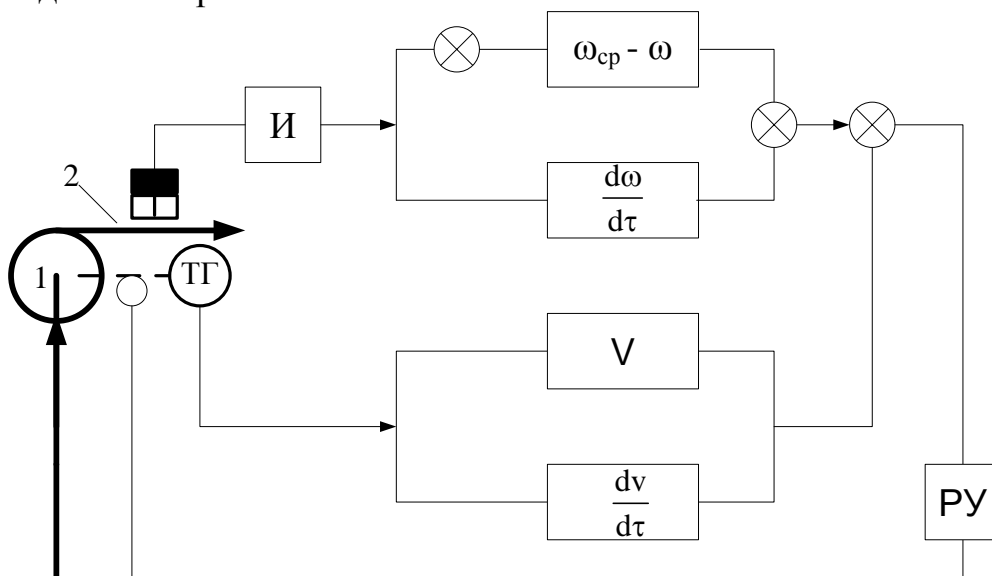


Рис. 9.50. Блок-схема связанной системы регулирования вальцовой сушки:
1 – барабан; 2 – лента сухого материала; И – измеритель влажности;
ТГ – тахогенератор; РУ – регулирующее устройство

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.

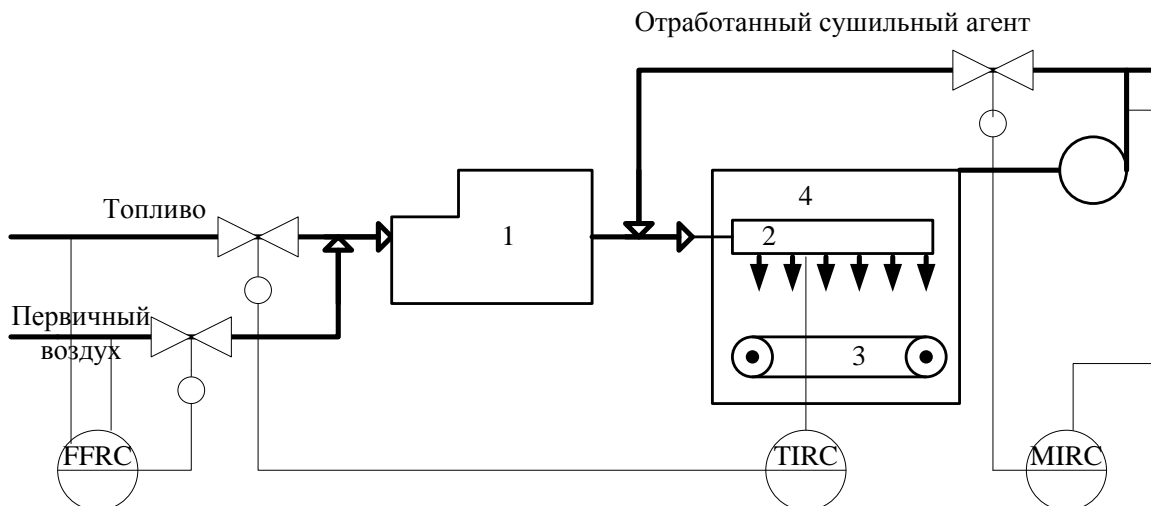


Рис. 9.51. Схема автоматизации радиационной сушилки:
1 – топка; 2 – излучатель; 3 – конвейер; 4 – корпус

Кроме регулятора температуры излучателя, в схеме предусмотрены регулятор соотношения расходов топливо – 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 псевдооживленном 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 экстремальный 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. Сушиллки 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).

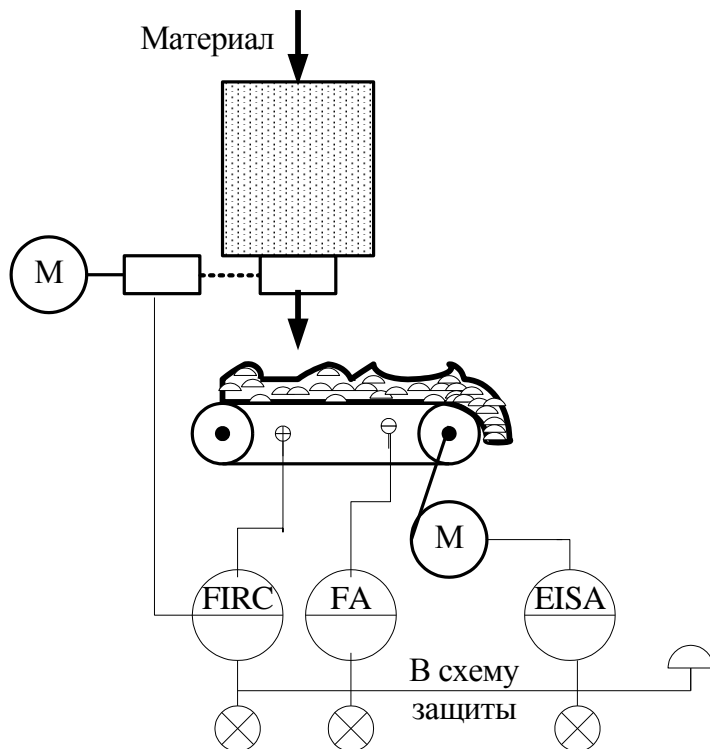


Рис. 9.52 – Схема автоматизации процесса перемещения сыпучих материалов:

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.

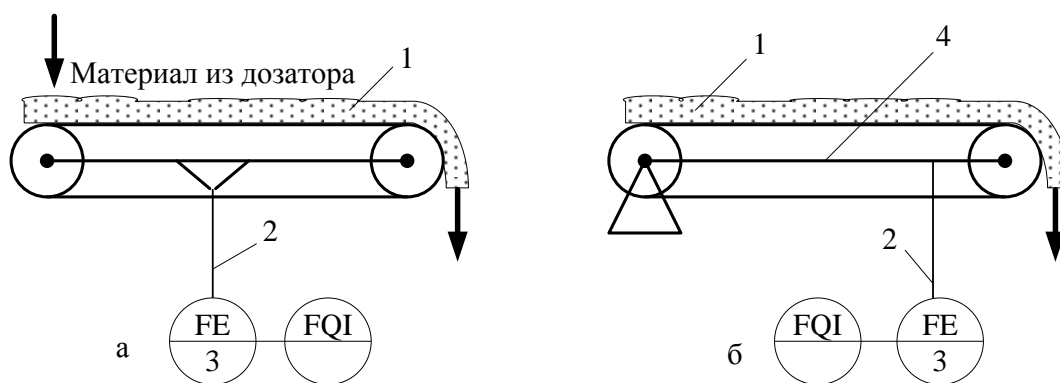


Рис. 9.53. Схемы весоизмерительных транспортеров: 1 – транспортер; 2 – щуп; 3 – чувствительный элемент; 4 – рама

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; ρ – 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 отweighивания 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).

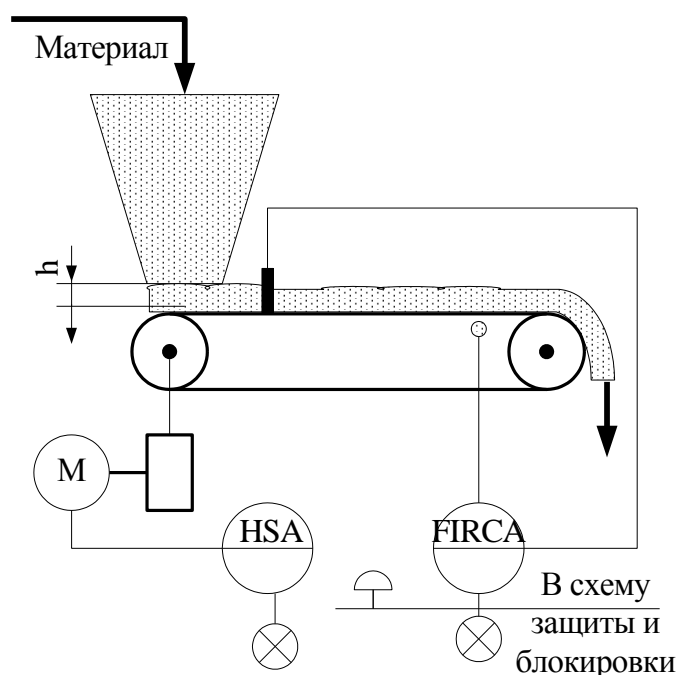


Рис. 9.54. Схема автоматизации процесса дозирования
1 – бункер; 2 – заслонка;
3 – транспортер; 4 – вариатор

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.

Регулирование дозатора с ленточным питателем и регулятором прямого действия.

Схема регулирования представлена на рис. 9.55.

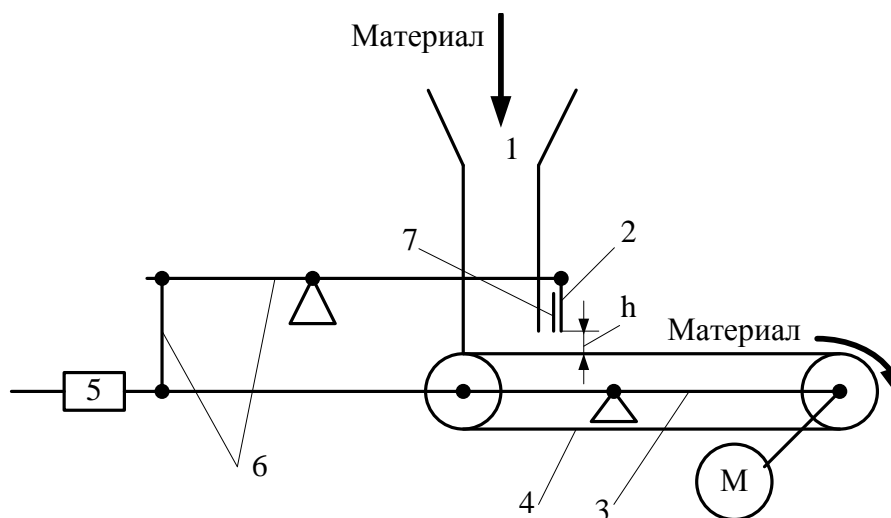


Рис. 9.55. Схема прямого регулирования дозатора с ленточным питателем:
1 – бункер; 2 – заслонка; 3 – коромысло; 4 – лента; 5 – подвижный груз (здатчик);
6 – рычаги; 7 – заслонка ручного управления

Л.10. Принципиальные электрические схемы

Принципиальные электрические схемы (ПЭС) определяют полный документированный состав приборов, аппаратов и устройств, а также связей между ними, которые обеспечивают решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. Они служат для изучения принципа действия системы и необходимы как при выполнении наладочных работ, так и в эксплуатации. Кроме того, на основании принципиальных схем разрабатываются другие документы проекта: монтажные схемы щитов и пультов, схемы внешних соединений и т. п.

На принципиальных электрических схемах все аппараты (реле, пускатели, переключатели) изображают в отключенном состоянии. При необходимости изображения какого-нибудь аппарата во включенном состоянии это оговаривается на поле чертежа.

Электрические схемы выполняют в соответствии со стандартами ГОСТ 2.701-84 и ГОСТ 2.702-85 на отдельные установки и участки автоматизированной системы (например, схема управления насоса, схемы регулирования температуры объекта и др.). В эти схемы включают: элементы схемы, устройства и взаимосвязи между ними.

Элемент схемы – составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части (реле, трансформатор, резистор, диод и т. д.).

Устройство – совокупность элементов, выполняющая определенную функцию и представляющая собой единую конструкцию (блок, прибор, плата и т. д.).

Линия взаимосвязи – отрезок линии, указывающий на наличие связи между элементами и устройствами.

Условные графические обозначения элементов электрических схем регламентируются рядом стандартов и обычно совпадают с условными обозначениями, принятыми в мировой практике. Однако иногда, особенно в электросхемах на импортное оборудование, встречаются графические изображения, отличные от российских стандартов. Устройства (за исключением исполнительных механизмов) показывают упрощенно в виде прямоугольников. При этом в кружках, располагаемых по контуру прямоугольника, показывают обозначения входных и выходных линий связи и питания. Допускается не приводить на принципиальных схемах обозначения выводов электроаппаратов, если они приведены в технической документации на щиты пульты. Буквенно-цифровые обозначения элементов и устройств на электрических схемах регламентированы ГОСТ 2.710-81.

Все технические средства, отображенные на принципиальной схеме, должны быть однозначно определены и записаны в перечень элементов и устройств по форме в соответствии с ГОСТ 2.702-75.

Перечень может быть выполнен либо на поле чертеже, либо отдельным документом. Часто элементы записывают группами, соответственно местам их установки.

Чтение схемы обычно начинают с основной надписи, располагаемой в нижнем правом углу листа. Здесь указывается наименование объекта, название изделия, дата выпуска чертежа и др. Затем необходимо ознакомиться с таблицей перечня элементов, отраженных на схеме, с различными пояснениями и примечаниями. Все это позволяет установить вид и тип данной схемы, ее построение и связь с другими документами.

В принципиальных электрических схемах элементы могут изображаться двумя способами: совмещенным и разнесенным.

При совмещенном способе составные части элементов или устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу.

При разнесенном способе составные части элементов и устройств или отдельные элементы устройств изображают на схеме в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены наиболее наглядно.

При совмещенном способе все части каждого прибора, технические средства автоматизации и электрического аппарата располагают в непосредственной близости и заключают в прямоугольный, квадратный или круглый контур, выполненный сплошной тонкой линией.

Разнесенный способ изображения является преимущественным при выполнении схем автоматизации, т.к. при этом способе отчетливо видны все электрические цепи, что облегчает чтение схем. В этом случае составные части приборов, аппаратов, технические средства автоматизации располагают в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи были изображены наиболее наглядно. Принадлежность изображаемых контактов, обмоток и других частей к одному и тому же аппарату устанавливается по позиционным обозначениям, проставленным вблизи изображений всех частей одного и того же аппарата.

Для облегчения чтения принципиальных электрических схем используются следующие приемы:

- а) нумеруются все возможные цепи;
- б) под обозначением реле помещается табличка с указанием мест расположения контактов;
- в) вблизи позиционных обозначений у изображения контакта указывается номер цепи, в которую включена соответствующая обмотка.

На схеме (рис.10.1), выполненной разнесенным способом, приведены три таблички, которые размещены под обозначением реле КК1, КК2, КМ.

В табличках под КК1 и КК2 нет столбцов Г (главные) и З (замыкающие), т.к. ни главных, ни замыкающих контактов тепловые реле не имеют, а в столбцах Р (размыкающие) указано 6 и 7, т.к. контакты КК1 и КК2 введены в цепь 6 и 7 соответственно. В табличке под обмоткой КМ в столбце Г имеются цифры 2, 3 и 4. Это говорит о том, что магнитный пускатель своими главными контактами разрывает силовые цепи 2, 3 и 4. В столбце З два адреса: 8 и 9, в столбце Р – адрес 10 и одна свободная клетка. Это означает, что пускатель имеет два замыкающих и два размыкающих контакта, причем один размыкающий контакт свободен.

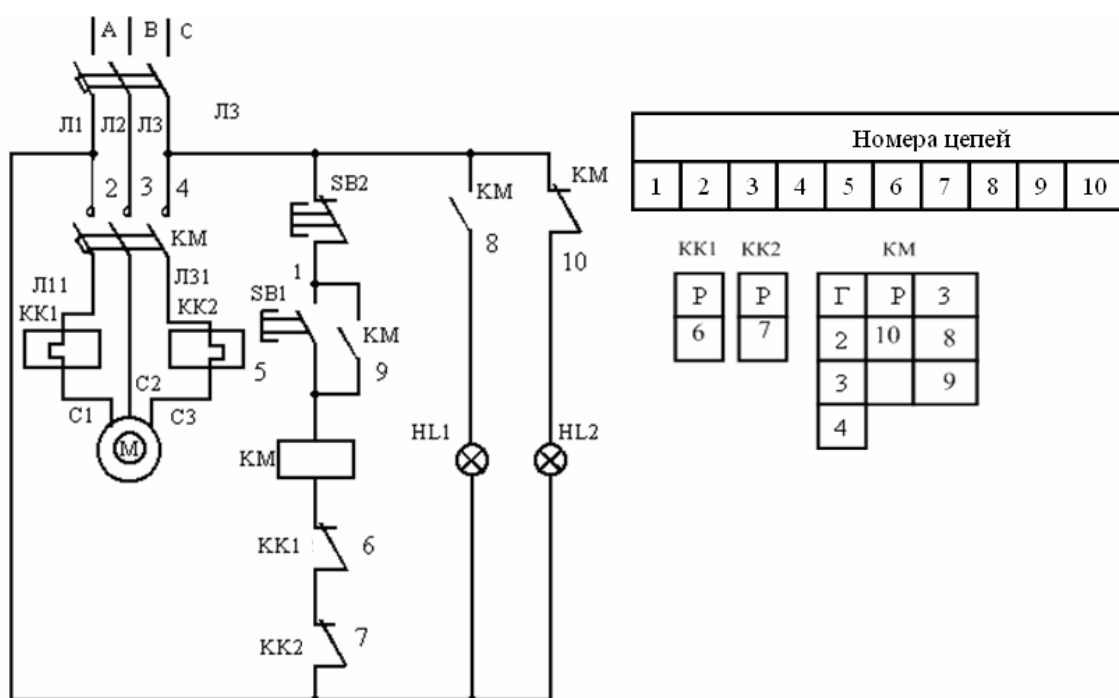


Рис. 10.1. Принципиальная схема, выполненная разнесенным способом

Схемы релейной автоматики рекомендуется выполнять строчным способом: условные графические обозначения устройств и их составных частей, входящих в одну цепь, изображают последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи – рядом, в виде параллельных горизонтальных или вертикальных строк. Строки нумеруют арабскими цифрами (рис. 10.2).

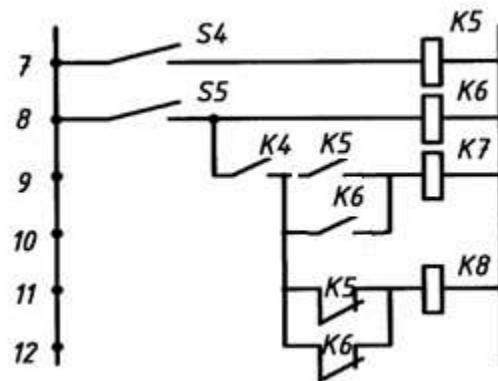


Рис.10.2. Схема релейной автоматики

Иногда на ПЭС показывают такие устройства, как приборы, регуляторы и т.п., имеющие собственные принципиальные схемы. В этом случае на ПЭС эти устройства изображаются упрощенно, т.е. показываются только входные и выходные цепи и цепи подачи питающего напряжения.

В ПЭС условные графические обозначения составных частей электрических аппаратов, приборов и ТСА, входящих в одну цепь, изображают последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи – либо одну под другой (при этом образуются параллельные строки), либо вертикально одну за другой.

Линии связи между аппаратами показывают полностью, но в некоторых случаях они могут быть оборваны; обрывы линий в этом случае заканчиваются стрелками.

Автоматизация большинства объектов неразрывно связана с управлением технологическими механизмами с электроприводами. Такими механизмами являются насосы, вентиляторы, задвижки, клапаны и т.п., а в качестве электроприводов используются в основном реверсивные и нереверсивные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

Схемы управления таких устройств обычно строятся на базе релейно-контактных элементов.

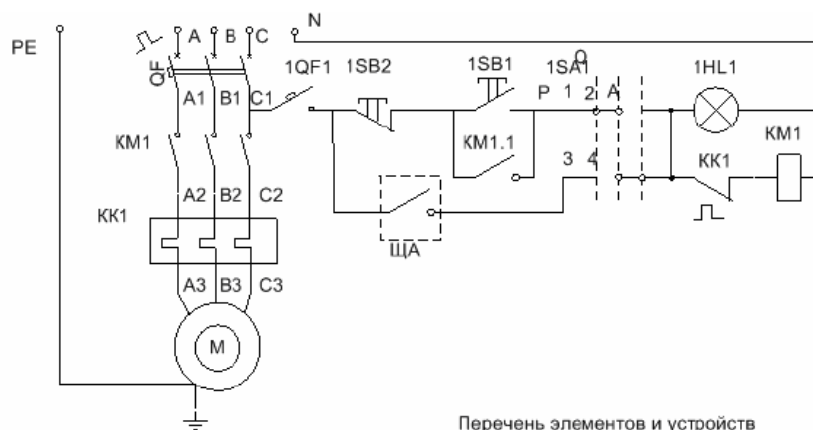
Как правило, схема управления технологическим оборудованием (электроприводом исполнительного устройства) предусматривает местное, дистанционное и автоматическое управление.

Местное управление осуществляется оператором с помощью органов управления, например, кнопочных постов, расположенных в непосредственной близости от механизма. Дистанционное управление осуществляется со щитов и пультов объекта автоматизации. При этом технологиче-

ские механизмы находятся вне поля зрения оператора, и их положение контролируется по сигналам “Включено” – “Отключено”, “Закрыто”– “Открыто”. Автоматическое управление обеспечивается с помощью регуляторов, а также различных программных устройств, предусматривающих автоматическое управление электроприводом с соблюдением заданных функциональных зависимостей (одновременности или определенной последовательности включения).

Вид управления (ручной или дистанционный) электроприводом выбирается с помощью переключателя цепей управления (переключателя вида управления).

Для получения начальных навыков по проектированию принципиальных схем выберем типовую принципиальную схему (рис. 10.3) управления электродвигателем насоса и перечень элементов к ней.



Перечень элементов и устройств

Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечание
На механизме			
М	Двигатель асинхронный 3ф., тип MDXMA90, 1,5кВт.1410 мин ⁻¹ , 380В, 3,5А	1	
На щите местного управления (ЩМУ)			
QF	Выключатель автоматический ТемDin 3С, I=10А; U=380В	1	
KM1	Контактор типа 11МС6.10 I=6А, U=220В, 13 амдоп контакт	1	
KK1	Реле тепловое, тип 11RF9.5, I=3-5А	1	
1QF1	Выключатель автоматический, тип ТемDin 1С, I=1А; U=220В	1	
1SB1	Кнопка управления, тип 8LM2ТВ104.1 размерный контакт, толкатель красного цвета	1	На двери ЩМУ 1
1SB2	Кнопка управления, тип 8LM2ТВ102.1.1 зам контур, толкатель черного цвета	1	На двери ЩМУ 1
1SA1	Переключатель 3-поз, стабильный, тип 8LM2ТS1 30		На двери ЩМУ 1
1HL1	Арматура светосигнальная зеленая, тип 8LP2ТIЛ223.1 с лампой накапливания 220В переменного тока	1	На двери ЩМУ 1

Рис. 10.3. Пример принципиальной электрической схемы

Все элементы рассматриваемой схемы имеют одно- или двухбуквенные коды.

Например, двигатель М, контактор КМ1, переключатель 1SA1, сигнальная лампочка 1HL1 и т. д.

Соединительные провода обозначены арабскими цифрами, при этом номера проводов, имеющие общую точку, одинаковы. Так, кнопка 1SB1 соединена с 1SB2 и замыкающим дополнительным контактом КМ 1.1 контактора КМ1 проводами, обозначенными числом 102. При этом собственные маркировки аппаратов не обозначены, что необходимо в последующем учесть при составлении монтажных схем.

Анализируя выбранную схему управления двигателем насоса, можно сделать заключение, что катушка магнитного пускателя КМ1 будет замыкать рабочие контакты, а, следовательно, и подавать напряжение на двигатель М при нажатии кнопок 1SB2. Причем это можно осуществить только в ручном режиме, когда переключатель 1SA1 находится в положении Р. При этом контактор КМ1 через свой собственный контакт КМ 1.1 блокируется.

Выключается двигатель М в этом режиме при нажатии на кнопку 1SB1.

В положении А переключателя 1SA1 (автоматизированный режим управления) электрический двигатель насоса будет включаться автоматически с помощью контакта ЩА, который управляется контроллером и показан в другом месте принципиальной схемы. На это указывает пунктирная линия вокруг контактов и ссылка на определенный номер листа принципиальной схемы (ЩА).

При перегрузке двигателя вентилятора срабатывает тепловое реле КК1, размыкающий контакт которого прекращает подачу напряжения на катушку контактора КМ1.

Связь принципиальной схемы с перечнем элементов осуществляется через позиционные обозначения. При этом в таблице «Перечень элементов и устройств» в графе «Наименование», кроме названия типа и марки, приводятся основные технические характеристики элемента или устройства.

Например, для двигателя М указывается номинальные мощность, частота вращения, напряжение и ток. В отдельных случаях допускается все сведения об элементах помещать около условных графических обозначений (например, параметры реле, резисторов).

кнопки SB4.

10.1. Принципиальные электрические схемы автоматического регулирования

Конкретное решение той или иной задачи автоматического регулирования находит отражение в его схемах. В принципиальных электрических схемах автоматического регулирования с помощью условных графических обозначений изображаются все элементы систем автоматизации, осуществляющих автоматическое регулирование одного или нескольких взаимосвязанных технологических параметров: датчиков, преобразователей, модулей, обеспечивающих функции логических операций, переключателей видов управления (автоматического, отключенного, ручного) и т. п.

Датчики в схемах изображаются либо с помощью обозначений, принятых по ГОСТ 21.404–85, либо с помощью прямоугольников произвольных размеров, внутри которых могут быть изображены резисторы, катушки индуктивности и другие элементы, имитирующие принцип действия датчика.

Сложные комбинированные приборы и регулирующие устройства (контроллеры), как правило, изображают только в виде прямоугольников с пронумерованными в соответствии с заводской маркировкой внешними контактами (зажимами). Внутри прямоугольников принципиальные электрические схемы этих средств автоматизации ввиду их сложности не показывают. Для пояснения общего принципа действия иногда внутри прямоугольников изображают упрощенные принципиальные схемы отдельных блоков. В остальных случаях в прямоугольниках показывают только колодки зажимов, штепсельные разъемы и обозначают тип средства автоматизации.

Электрические схемы исполнительных механизмов изображают как в развернутом, так и в упрощенном виде, а кинематические – только в упрощенном.

Электрические схемы автоматического регулирования технологических процессов строят на базе стандартных регулирующих устройств.

Ниже приведены и рассмотрены примеры схем автоматического регулирования с применением наиболее распространенных приборов и устройств.

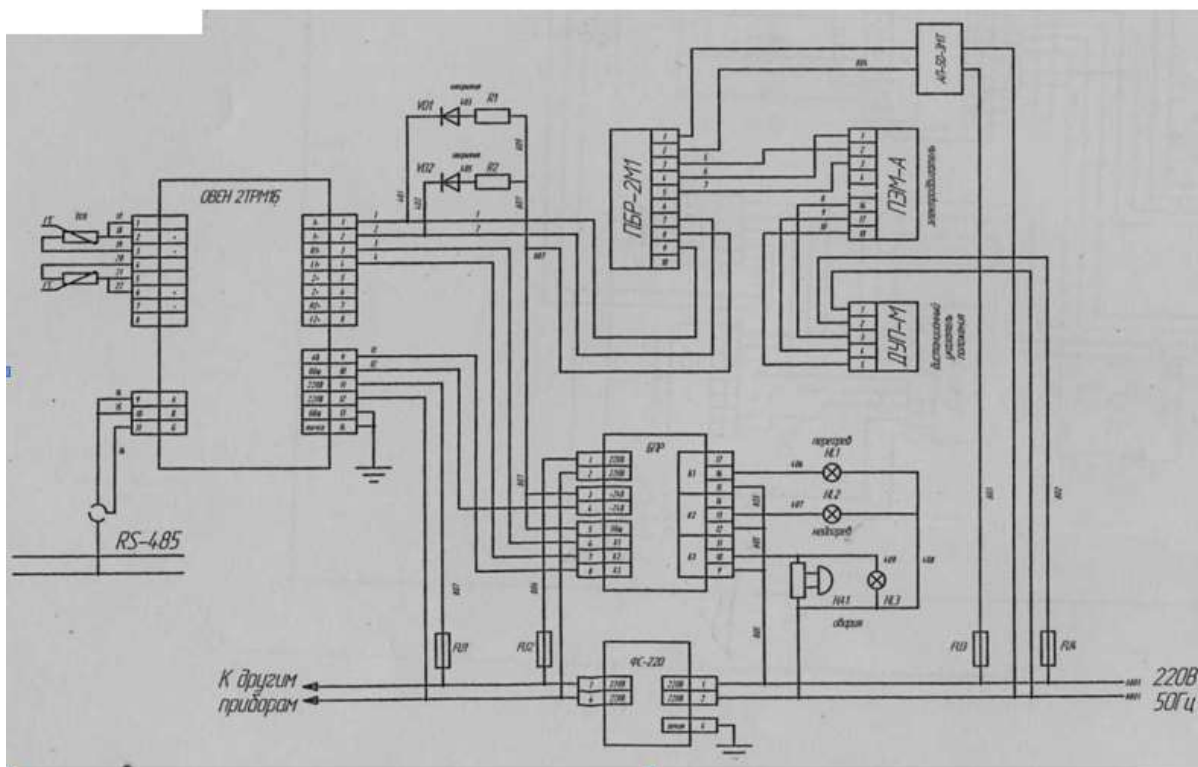


Рис. 10.4. Принципиальная схема автоматического регулирования

10.2. Электрические схемы питания

Система электропитания, как правило, состоит из питающей и распределительной сетей. Питающая сеть связывает источники питания автоматизируемого объекта со щитами и сборками питания системы автоматизации. Распределительная сеть связывает щиты и сборки питания системы автоматизации с отдельными ее электроприемниками.

Распределительные сети, как правило, радиальные, т. е. каждый электроприемник присоединяется к соответствующему щиту или сборке отдельной радиальной линией.

Принципиальные электрические схемы питания для питающей и распределительной сетей выполняются отдельно, но если схема распределительной сети состоит из небольшого числа групп питания, то она может быть совмещена на одном чертеже со схемой питающей сети.

Аппаратура управления питающей и распределительной сетей должна обеспечивать включение и отключение электроприемников и участков сетей в нормальном режиме работы, а также надежное отсоединение всей

вышеуказанной системы для ревизий и ремонтных работ, защиты от всех видов коротких замыканий и перегрузки.

Схема питающей сети выполняется, как правило, в однолинейном изображении. На ней указаны аппараты управления и защиты, устанавливаемые как со стороны источников питания, так и со стороны щитов системы автоматизации и электрические связи между ними. Аппараты управления и защиты на схеме питающей сети имеют буквенно-цифровое обозначение.

Схема распределительной сети выполняется в многолинейном изображении отдельно для каждого щита управления. На ней показываются аппараты управления (рубильники, выключатели, переключатели), аппараты защиты (автоматы, предохранители), преобразователи (выпрямители, трансформаторы, стабилизаторы и т. п.), лампы освещения, штепсельные розетки и линии электрической связи между аппаратами. У изображения аппаратов указывают их буквенно-цифровое обозначение. У трансформаторов также указывают высшее и низшее напряжения, а у выпрямителей и стабилизаторов – род тока, высшее и низшее напряжения.

В нижней части схемы распределительной сети обычно помещают таблицу, в которой перечисляют все электроприемники, питающиеся с данного щита, с указанием их позиций по заказным спецификациям, потребляемой мощности, напряжению и месту установки. Все цепи на схеме маркируются.

На рис. 10.5 приведен пример совмещенной схемы питающей и распределительной сетей.

Питающая сеть выполнена в однолинейном изображении. Она магистральная, двухпроводная, что следует из условного обозначения числа проводов на линиях, обозначающих сборки и линии связи (число проводов помечено двумя штрихами). Вводный выключатель щита КИПиА имеет обозначение SA1, номинальное напряжение 220В.

Предохранитель FU1 имеет номинальный ток 10А (числитель), показатель плавкой вставки 4А указан в знаменателе.

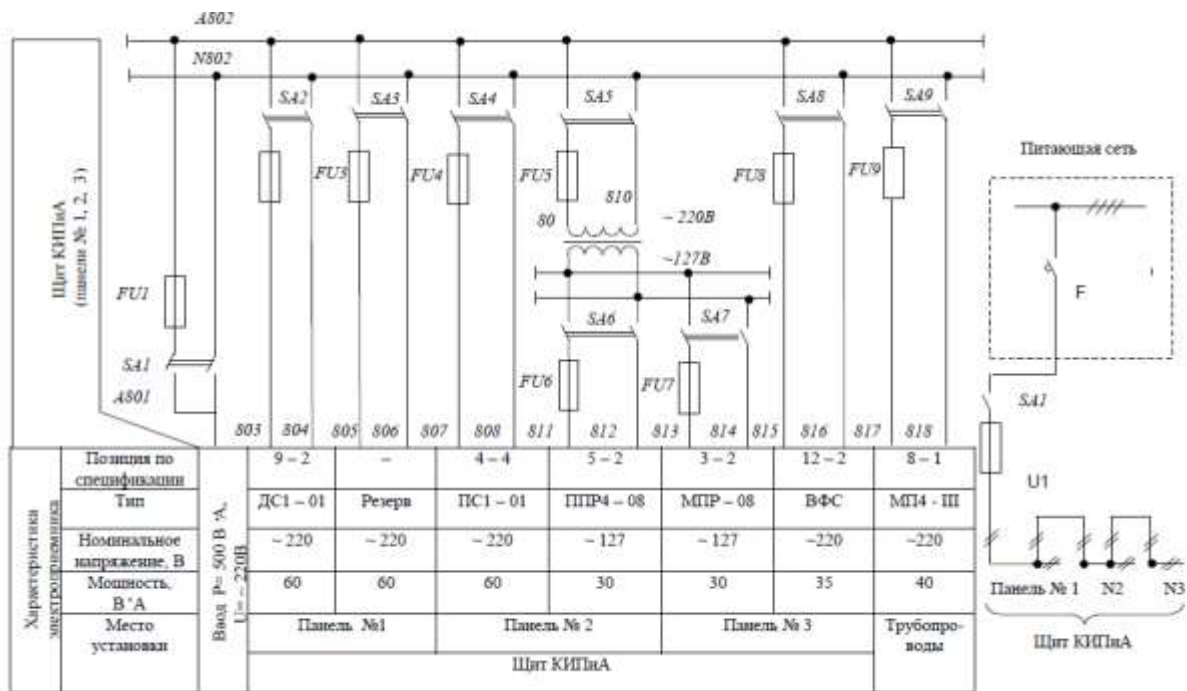


Рис. 10.5. Пример совмещенной схемы питающей и распределительной сетей

Приложение 10. 4

Позиция	Наименование и характеристика технических средств автоматизации	Тип, марка	Завод-изготовитель	Единица измерения	Количество	Масса единицы	Примеч.

Библиографический список

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki/%>.
2. Громаков Е.И. Проектирование автоматизированных систем. Томск 2009. – 136 с.
3. Клюев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х., Клюев А. А. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ. Под редакцией Клюева А. С. 3-е издание, переработанное и дополненное. М., ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ. 2008 г. (можно 1980 и 1990 г.г.)
4. Зингель Т. Г. Системы управления химико-технологическими процессами. Функциональные схемы автоматизации. Уч. пособие. СибГТУ. Красноярск. 2004.
5. Втюрин В.А., Илющенко В.В. Системы управления химикотехнологическими процессами. Методические указания к выполнению выпускной работы. СПб. 2010 г. – 179 с.
6. Беспалов А. В., Харитонов Н. И. Системы управления химико-технологическими процессами. Учебник. Москва. ИКЦ «АКАДЕМКНИГА». 2007 г. – 690 с.
7. Каталог «Приборы и средства автоматизации». М.: ООО Издательство «НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ», 2004.
8. ГОСТ 21. 404 – 85 «Система проектной документации. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах».
9. 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

Лекция 1. Задачи и содержание курса ПАС. Стадии и этапы создания АС..4	
Лекция 2. Описание функциональной схемы технологического процесса.10	
Лекция 3. Архитектура АС	15
Лекция 4. Техническое задание на проектирование АС	19
Лекция 5. Функциональные схемы автоматизации.....	20
5.1. Назначение функциональных схем.....	20
5.2. Общие принципы выполнения схем.....	21
5.3. Изображение технологического оборудования и коммуникаций.....	24
5.3.1. Изображение оборудования.....	24
5.3.2. Изображение коммуникаций.....	26
5.3.3. Условные обозначения сред, транспортируемых по трубопроводам.....	28

5.4. Рекомендуемые толщины линий на функциональной схеме.....	31
5.5. Изображение приборов и средств автоматизации.....	31
5.5.1. Общие сведения.....	31
5.5.2. Условные обозначения.....	34
5.5.3. Правила построения условных обозначений.....	42
5.5.4. Изображение щитов, пультов, стативов.....	50
5.6. Графическое оформление схем автоматизации.....	56
6. Задачи управления технологическими процессами.....	57
6.1. Возмущения, допускающие стабилизацию.....	58
6.2. Контролируемые возмущения.....	58
6.3. Неконтролируемые возмущения.....	58
6.4. Возможные регулирующие воздействия.....	59
6.5. Выходные переменные.....	59
7. Регулирование основных технологических параметров.....	60
7.1. Регулирование расхода.....	60
7.2. Регулирование устройств для перемещения жидкостей и газов.....	62
7.3. Регулирование уровня.....	67
7.4. Регулирование давления.....	69
7.5. Регулирование температуры.....	71
7.6. Регулирование pH.....	73
7.7. Регулирование параметров состава и качества.....	77
8.1. Регулирование типовых тепловых процессов.....	78
8.1.1. Динамические характеристики парожидкостного теплообменника.....	79
8.1.2. Динамические характеристики кожухотрубного парожидкостного теплообменника.....	80
8.2. Регулирование массообменных процессов.....	84
8.2.1. Управление ректификационной установкой.....	84
9. Управление типовыми химико-технологическими процессами.....	87
9.1. Управление гидромеханическими процессами.....	87
9.1.1. Перемещение жидкостей и газов.....	87
9.1.2. Специальные методы регулирования поршневых компрессоров.....	92
9.1.3. Специальные методы регулирования центробежных компрессоров.....	94
9.1.4. Смешение жидкостей.....	95
9.1.5. Отстаивание жидких систем.....	98
9.1.6. Центрифугирование жидких систем.....	102
9.1.7. Фильтрация жидких систем.....	106
9.1.8. Фильтрация газовых систем.....	108
9.1.9. Мокрая очистка газов.....	109
9.2. Управление тепловыми процессами.....	110
9.2.1. Нагревание жидкостей.....	110
9.2.2. Искусственное охлаждение.....	119

9.2.3 Выпаривание.....	123
9.2.4 Кристаллизация.....	127
9.3 Управление массообменными процессами.....	130
9.3.1 Ректификация.....	130
9.3.2. Примеры систем автоматизации ректификационных установок....	146
9.3.3. Абсорбция.....	150
9.3.4 Адсорбция.....	156
9.3.5 Автоматизация абсорбционных и выпарных установок.....	159
9.3.6. ..Экстракция.....	161
9.3.7 Сушка.....	163
9.4 Управление механическими процессами.....	175
9.4.1 Перемещение твердых материалов.....	175
9.4.2 Дозирование твердых материалов.....	178
10. Принципиальные электрические схемы.....	179
10.1. Принципиальные электрические схемы автоматического регулирования.....	185
10.2. Электрические схемы питания.....	187