

Трушников М.А., Савчиц А.В., Силаев А.А.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

Волжский

2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Трушников М.А., Савчиц А.В., Силаев А.А.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

Электронное учебное пособие



Волжский

2020

УДК 658.52(07)

ББК 32.965я73

Т 804

Рецензенты

к.т.н., доцент кафедры «Энергетика» филиала МЭИ в г. Волжский

Болдырев И.А.;

к.т.н., заведующий кафедрой «Автоматизация производственных

процессов» ВолгГТУ

Макаров А.М.

Издается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Трушников, М.А.

Автоматизация технологических процессов и производств
[Электронный ресурс] : учеб.пособие / М.А.Трушников, А.В Савчиц, А.А.
Силаев ; Министерство науки и высшего образования Российской
Федерации, ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Электрон. текстовые
дан. (1 файл: 3,67 МБ). – Волжский, 2020. – Режим доступа:
<http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9948-3805-1

Изложены общие сведения о системах автоматизации технологических
процессов и производств.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлениям 15.03.04
«Автоматизация технологических процессов и производств», 15.04.04
«Автоматизация технологических процессов и производств», для всех форм
обучения.

Ил. 47, библиограф.: 10 назв.

ISBN 978-5-9948-3805-1

© Волгоградский государственный
технический университет, 2020

© Волжский политехнический
институт, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 СТРУКТУРА СОВРЕМЕННОЙ АСУТП	5
2 УРОВНИ И ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ.....	7
2.1 Назначение, цели и функции АСУТП	15
2.2 Информационные функции АСУТП:.....	17
2.3 Состав АСУТП.....	18
2.4 Режимы работы АСУТП	21
3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SCADA–СИСТЕМ ПРИ СОЗДАНИИ АСУТП.....	22
4 СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ.....	24
4.1 Понятие сложной системы – система, элемент системы, связь в системе.....	24
4.2 Классификация систем управления	31
5 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ	32
5.1 Комбинированные САР.....	35
5.2 Каскадные САР	36
6 ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ..	40
6.1 Емкость объектов.....	40
6.2 Самовыравнивание объектов.....	42
6.3 Запаздывание объектов	44
7 ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ	45
7.1 Возмущения, допускающие стабилизацию	46
7.2 Контролируемые возмущения	47
7.3 Неконтролируемые возмущения	47
7.4 Возможные регулирующие воздействия	48
7.5 Выходные переменные.....	48
8 РЕГУЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ	49
8.1 Регулирование расхода.....	49
8.2 Регулирование устройств для перемещения жидкостей и газов.....	53
8.3 Регулирование соотношения расходов двух веществ	55
8.4 О выборе регуляторов расхода	57
8.5 Регулирование уровня	58
8.6 О выборе регуляторов уровня	60
8.7 Регулирование давления	60
8.8 Регулирование температуры.....	62
8.9 Регулирование pH	63
8.10 Регулирование параметров состава и качества.....	70
9 РЕГУЛИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ	70
10 РЕГУЛИРОВАНИЕ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ	74
10.1 Управление ректификационной установкой.....	75
11 УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ	78
11. 1 Перемещение жидкостей и газов.....	78
11. 2 Специальные методы регулирования поршневых компрессоров.....	81
11. 3 Специальные методы регулирования центробежных компрессоров	84
11. 4 Смешение жидкостей	85
11. 5 Отстаивание жидких систем	87
11. 6 Регулирование плотности сгущенной суспензии	90
11. 7 Центрифугирование жидких систем.....	91
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	94

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Автоматизация технологических процессов и производств» изучается в 7-м семестре и является одной из основных при подготовке инженеров-бакалавров по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- основные способы сбора и анализа исходных информационных данных для выбора и проектирования средств и систем автоматизации и контроля;
- методы моделирования технологических процессов с использованием современных средств автоматизированного проектирования;
- основные схемы автоматизации типовых технологических объектов;
- методику проектирования, этапы разработки и внедрения АСУ ТП.

Уметь:

- собирать и анализировать исходные информационные данные для средств и систем автоматизации, контроля с использованием современных информационных технологий;
- разрабатывать модели объектов управления в алгоритмическом и программном обеспечении средств и систем автоматизации и управления процессами;
- проводить анализ технологического процесса как объекта управления;
- рассчитывать одноконтурные и многоконтурные системы автоматического регулирования применительно к конкретному технологическому объекту.

1 СТРУКТУРА СОВРЕМЕННОЙ АСУТП

Характерной особенностью развития современной электронной промышленности является бурный рост, сопровождающийся столь же бурным снижением стоимости средств автоматизации, вычислительной техники, коммуникаций, устройств высокоточных измерений параметров.

Цифровые технологии быстро вытесняют аналоговые, преобладавшие в системах управления в недалеком прошлом. Это связано с тем, что возможности цифровых средств измерения и управления на порядок выше, чем у аналоговых. К числу их достоинств относятся:

- 1) более точное представление измеряемых величин;
- 2) большая помехозащищенность;
- 3) возможности построения вычислительных сетей;
- 4) большая гибкость и эффективность в управлении процессом и т.д.

Все эти возможности связаны с конкретными выгодами для пользователей:

- 1) ускорение работы операторов системы управления;
- 2) экономия финансовых ресурсов;
- 3) повышение качества и корректности решений, принимаемых операторами;
- 4) уменьшение потерь продукции и др.

Любую автоматическую систему управления технологическим процессом (АСУ ТП) можно в конечном итоге разделить на 3 основных уровня иерархии:

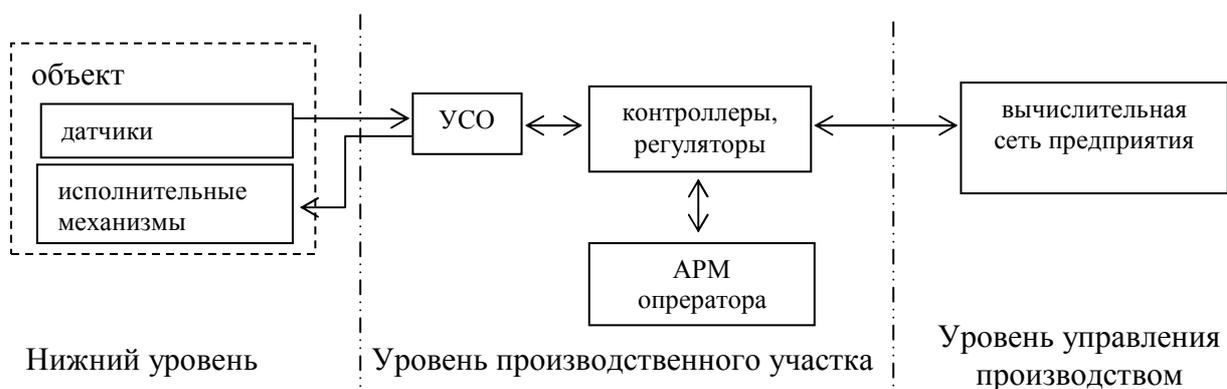


Рисунок 1

Самым нижним уровнем является уровень датчиков и исполнительных механизмов, которые устанавливаются непосредственно на технологических объектах. Их деятельность заключается в получении параметров процесса, преобразовании их в соответствующий вид для дальнейшей передачи на более высокую ступень (функции датчиков), а также в приеме управляющих сигналов и в выполнении соответствующих действий (функции исполнительных механизмов).

Средний уровень – уровень производственного участка. Его функции:

- сбор информации, поступающей с нижнего уровня, ее обработка и хранение;
- выработка управляющих сигналов на основе анализа информации;
- передача информации о производственном участке на более высокий уровень.

Верхний уровень в системе автоматизации занимает т.н. уровень управления. На этом уровне осуществляется контроль за производством продукции. Этот процесс включает в себя сбор поступающих с производственных участков данных, их накопление, обработку и выдачу руководящих директив нижним ступеням. Атрибутом этого уровня является центр управления производством, который может состоять из трех взаимопроникающих частей:

- 1) операторской части,
- 2) системы подготовки отчетов,
- 3) системы анализа тенденций.

Операторская часть отвечает за связь между оператором и процессом на уровне управления. Она выдает информацию о процессе и позволяет в случае необходимости вмешательство в ход автоматического управления. Обеспечивает диалог между системой и операторами.

Система подготовки отчетов выводит на экраны, принтеры, в архивы и т.д. информацию о технологических параметрах с указанием точного

времени измерения, выдает данные о материальном и энергетическом балансе и др.

Система анализа тенденций дает оператору возможность наблюдать за технологическим параметрами и делать соответствующие выводы.

На верхнем уровне АСУ ТП размещены мощные компьютеры, выполняющие функции серверов баз данных и рабочих станций и обеспечивающие анализ и хранение всей поступившей информации за любой заданный интервал времени, а также визуализацию информации и взаимодействие с оператором. Основой программного обеспечения верхнего уровня являются пакеты SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – системы управления и доступа к данным).

2 УРОВНИ И ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

В условиях жесткой конкуренции, динамичного рынка даже самые консервативные или небогатые предприятия не могут позволить себе отказаться от столь мощного средства эволюции, как автоматизация. Выгода от использования современных информационных компьютерных технологий в промышленности очевидна. Эпоха агитации за автоматизацию давно прошла. И теперь решается вопрос: "Как?".

Традиционно выделяют два уровня (рисунок 2) автоматизации промышленных предприятий: АСУП (системы автоматизации производством – управленческой и финансово-хозяйственной деятельности) и АСУТП (системы автоматизации технологических процессов). Несколько обособленной, но обязательной областью автоматизации выступают САПР (системы автоматизированного проектирования), выполняя задачу сервисного обслуживания и облегчения создания двух указанных уровней. Все они развивались хотя и параллельно, но обособленно и независимо друг от друга. Они проектировались и создавались, исходя из требований разных

подразделений, автономно обслуживая разные службы единого предприятия. Изначально они не были подчинены единым целям и задачам, оставались слабо связанными физически и информационно, а чаще не связанными вовсе.



Рисунок 2 – Уровни АСУ предприятия

АСУП были изначально ориентированы на поддержку бизнес-процессов и не могли оперативно реагировать на реальные внутризаводские проблемы производства. Системы автоматизированного управления и планирования производством развивались из бухгалтерских систем, они хорошо выполняют учетную роль, регистрируя издержки, но не показывают пути совершенствования процесса производства.

Развитие АСУ ТП шло от создания простейших блоков управления отдельными агрегатами, и хотя сфера их применения расширялась, она никогда не выходила за рамки собственно производственного процесса.

Каждая из этих систем традиционно строилась по своим внутренним законам. Поэтому они практически не могли общаться между собой. Каждая

из систем часто реализовывалась на основе различных аппаратных, программных и информационных стандартов.

Только в АСУТП насчитывается несколько десятков наиболее часто используемых стандартов на техническое, программное обеспечение и промышленные сети. Кроме того, не все решения полностью открыты, т.е. допускающие использование в рамках одной системы разнотипного оборудования, выпущенного в разное время разными производителями (как отечественными, так и зарубежными). Поэтому потребитель часто попадает в долгосрочную зависимость от одного изготовителя и не имеет возможности самостоятельно развивать и модернизировать созданную на его предприятии АСУТП. Аналогичная ситуация создается и при внедрении систем других уровней.

Создававшиеся без комплексного плана, как правило, под требования различных подразделений, участков и процессов, не связанные между собой системы автоматизации очень напоминали лоскутное одеяло. Но всё же думается, что этап лоскутной автоматизации – это объективная и необходимая ступень развития. Это лишь означает, что к комплексной автоматизации по-настоящему не были готовы ни разработчики, ни поставщики, ни потребители.

Положительными итогами прошедшего этапа стали накопленный опыт, осознание серьезности задач автоматизации, необходимости их коррекции и дальнейшего развития самого процесса автоматизации на новом качественном уровне. Важно теперь не задержаться на этом этапе, вовремя перейти к следующему, тем более что сейчас для такого перехода появляются все возможности – идет интенсивное сближение стандартов и технологий сопряжения (интерфейсов) различных аппаратных и программных средств автоматизации, используемых как в рамках одного уровня автоматизации, так и при связи одного уровня с другими.

Благодаря этому на классический вопрос «с чего начинать автоматизацию?» отныне можно отвечать однозначно: с разработки комплексного плана развития информационных технологий предприятия, и этот план должен являться частью стратегии развития бизнеса в целом с учетом рыночных реалий и перспектив.

С точки зрения ориентированного на производство предприятия, выгодность или убыточность бизнеса определяется величиной добавочной стоимости, вносимой в продукт при его производстве. Данные, хранящиеся во внутрицеховых системах, по своей природе уже содержат все закономерности и взаимосвязи, которые можно использовать для оптимизации процесса повышения добавочной стоимости. Доступ к этим данным жизненно необходим всем структурам предприятия, ответственным за эффективное преобразование этой добавочной стоимости в прибыль.

Дальновидные руководители всегда осознавали, что информации, существующей на уровне АСУП, явно недостаточно для принятия оптимальных управленческих решений. Серьезный анализ работы предприятия вырождается, когда в него не включен учет данных об основных технологических процессах, нет информации по надежности, качеству, реальной себестоимости производства единицы продукции. Слой технологических параметров должен обязательно учитываться при выработке управляющих решений, иначе управленцы по-прежнему будут опираться лишь на собственную интуицию и индивидуальный опыт. Этого мало в условиях глобализации рынка и растущего уровня конкуренции. Сегодня нужно уметь очень оперативно просчитывать цену и последствия принимаемых решений.

Таким образом, должно создаваться единое информационное пространство предприятия. Создание в рамках предприятия единого хранилища сведений о продукции, процессах и прочих производственных данных снижает степень дублирования информации и обеспечивает

стандартизацию всей деятельности предприятия. Вследствие чего снижается уровень издержек производства, повышается качество продукции и, как правило, ускоряется оборот капитала. Кроме того, достигнутая стандартизация обеспечивает возможность оперативного внедрения на предприятии всех современных технологических достижений.

Интеграция будет приобретать все большее значение как одно из средств объединения управляющих приложений с цеховыми системами. Она предоставляет верхнему звену управления предприятием возможности по обработке данных в таких задачах, как моделирование и проигрывание производственных процессов, а также выступая в роли средства планирования, контроля и оптимизации внутрицеховых операций.

Объединение офисных функций с внутрицеховыми операциями далеко не тривиальная задача, учитывая разнородность используемых систем на нижнем уровне. Офисные функции более ориентированы на обработку документов и исполняются с такими временными интервалами, как часы, дни, недели и даже месяцы, в то время как технологическое управление производством характеризуется большим числом параметров, получаемых от уникальных процессов, оборудования и систем, время реакции которых порой измеряется миллисекундами. Различие в типах данных и скорости их передачи у различных систем предприятия требует постоянного накопления, обработки и анализа этой информации. Приводит к необходимости создания между офисными приложениями и системами управления технологическими процессами промежуточных накопителей и преобразователей информации. Причем с ростом уровня интеллекта устройств цеховой автоматики степень сложности задач интеграции будет только возрастать.

С другой стороны, на тех предприятиях, где системы автоматизации изначально создавались с учетом особенностей технологии процессов и представляли собой продуманный подход к выбору решений, базовая информационная инфраструктура для интеграции уже создана. И хотя эта

база пока не оптимальна и не достаточно полна, для реализации открытого и упрощенного доступа к технологической информации она уже пригодна. В нее входят такие компоненты, как имеющиеся на предприятии сети Ethernet, технологии открытого доступа к информации, стандартные промышленные шины на уровне цеховой автоматике. Это те необходимые стартовые условия, с которых можно начинать горизонтальную и вертикальную интеграцию предприятия.

С технической точки зрения, горизонтальная интеграция предполагает объединение между собой всех автономных систем автоматизации технологических и производственных процессов, а также административных отделений цехового уровня в единую информационную сеть. Что обеспечивает необходимый обмен данными в реальном масштабе времени между всеми подразделениями основного и вспомогательного производства. С производственной точки зрения, это означает учет каждого шага производственного процесса от прибытия сырья до отправки готовой продукции.

Предположим, что непрерывные и дискретные процессы завода охвачены отдельными сетями передачи информации, которые управляются не связанными друг с другом контроллерами. В этой широко распространенной ситуации различные подразделения страдают от последующей несогласованности действий. Горизонтальная интеграция позволяет устранять подобные изолированные действия путем объединения всего производственного цикла в единую согласованно действующую систему. Все устройства автоматике имеют между собой информационную связь и могут регулироваться и настраиваться без особых усилий. Однако это совсем не означает, что в каждый момент времени вся производственная система функционирует с максимальной эффективностью. Это задача вертикальной интеграции.

Вертикальная интеграция базируется на организации потоков информации от нижнего уровня (датчиков и контроллеров технологического оборудования) во внутренние и внешние компьютерные сети предприятия и через них в административные системы управления. Данная задача решается путем объединения промышленных и административных сетей. Основная цель вертикальной интеграции – устранение препятствий на пути информационных потоков между уровнями АСУП и АСУТП с целью оперативного обмена данными.

Преимущества горизонтальной и вертикальной интеграции очевидны:

- *Повышение производительности.* Благодаря объединению производственного оборудования и возможности получать любую интересующую информацию в любой момент времени, специалисты гораздо быстрее могут устранять узкие места, препятствующие эффективному производству. Во-вторых, появляется возможность производить больший объем готовой продукции, т. к. все оборудование работает более эффективно.
- *Снижение себестоимости.* За счет постоянного контроля ключевых технологических и производственных параметров, определяющих себестоимость продукции, могут быть обнаружены и устранены источники непроизводственных потерь энергетических и трудовых ресурсов, простои оборудования, перерасход сырья, завышение нормативов трудозатрат и т. п.
- *Повышение качества продукции.* Обеспечение текущего контроля качества на всем цикле производства продукции позволит избежать таких ситуаций, когда брак выявляется только на завершающей стадии производства или еще хуже на складе готовой продукции. И чем раньше лица,

принимающие решения, будут знать о нарушении качественных показателей, тем меньше будут возможные издержки от потери качества. Кроме того, наличие такого оперативного контроля позволяет в течение длительного времени поддерживать стабильно заданное качество, т.е. обеспечивать регулируемый выпуск однородной продукции.

- *Оперативный переход на новый вид продукции.* В ряде случаев важно в соответствии с текущей конъюнктурой рынка обеспечить оперативный переход от одного вида продукции к другому. Ключевым моментом здесь становится время перенастройки оборудования на другие технологические циклы и режимы. Здесь поможет электронный доступ к базам данных, где хранятся технологические карты и рецепты для каждого вида выпускаемой продукции, а также алгоритмы их адаптации на конкретный тип имеющегося технологического оборудования.

- *Предупреждение аварийных ситуаций.* Эту задачу можно решить с помощью создания средств диагностики и мониторинга основного технологического оборудования как наиболее подверженного аварийным ситуациям и горизонтальной интеграции этих средств в единую информационную систему предприятия. Экономический эффект от прогнозирования и предупреждения или даже снижения последствий серьезных поломок оборудования и аварий невозможно оценить в деньгах. К сожалению, прямые убытки можно подсчитать только после того, как эта авария произойдет. Важная составляющая эффекта, достигаемого внедрением диагностических систем, это экономия средств на ремонт и эксплуатацию технологического парка за счет

перехода от системы планово-предупредительного ремонта оборудования к обслуживанию по его фактическому состоянию.

2.1 Назначение, цели и функции АСУТП

Назначение современных АСУТП можно определить, как целенаправленное ведение технологического процесса и обеспечение смежных и вышестоящих систем управления необходимой информацией.

Во многих ситуациях назначением АСУТП является достижение реализуемости и устойчивости технологического процесса при высоких интенсивных и экономичных режимах использования оборудования.

Создание и функционирование каждой АСУТП должно быть направлено на получение определенных технико-экономических результатов (снижение себестоимости продукции, уменьшение потерь, повышение производительности труда, качества продуктов, улучшение условий труда персонала и т.д.)

Поэтому после определения назначения АСУТП необходимо четко конкретизировать цели функционирования системы.

Примерами таких целей для промышленных технологических объектов могут служить:

1. Обеспечение безопасности функционирования ТОО;
2. Стабилизация параметров входных потоков;
3. Получение заданных параметров входных потоков;
4. Оптимизация режима работы оборудования;
5. Согласование режимов работы оборудования.

Степень достижения поставленных целей характеризуют понятием критерия управления.

Критерий управления это показатель, характеризующий качество ведения технологического процесса. Критерий управления в строгой математической форме конкретизирует цель создания данной системы.

Например, технологический критерий минимум потерь меди с отвальными шлаками при функционировании АСУТП процесса электроплавки, отражательной плавки. Одним из общих критериев управления является критерий определяющий наибольший экономический эффект при функционировании АСУТП, который определяется разностью стоимостей получаемой готовой продукции и сырья, энергии, рабочей силы и т. д.

Оптимальным будет такое управление процессом, которое позволит добиться максимального значения этой разности. Как правило, общий критерий экономической эффективности управления технологическим процессом часто не применим из-за сложности определения необходимых количественных зависимостей в конкретных условиях (например, в отдельном технологическом процессе электроплавке или дуговой плавке, где конечный продукт (штейн) не является товарным и не имеет конкретной цены).

В таких случаях формируют частные критерии, например:

- 1) максимальная производительность агрегата;
- 2) минимальная себестоимость продукции при заданных количественных и качественных характеристиках продукции;
- 3) минимальный расход некоторых компонентов, например дорогостоящих катализаторов, фотореагентов.

Таким образом, в АСУТП технологическим объектом управления (ТОУ) необходимо в нужном темпе выполнять множество взаимосвязанных различных действий, т.е. собирать и анализировать информацию о состоянии процесса, регистрировать значения одних переменных и стабилизировать другие, принимать и реализовывать соответствующие решения по

управлению объектом и т.д. Именно эта «деятельность» АСУТП была ранее названа функционированием АСУТП, т.е. выполнением системой установленных функций.

Дадим определение и краткое разъяснение этого понятия: «Функция АСУТП – это совокупность действий системы, направленных на достижение частной цели управления».

Различают информационные и управляющие функции АСУТП. К информационным функциям относят такие функции АСУТП, результатом выполнения которых является представление оператору системы (или какому либо внешнему получателю) информации о ходе управляемого процесса.

2.2 Информационные функции АСУТП:

1. Функция контроля за основными параметрами процесса;
2. Изменение или регистрация по выводу оператора интересующих его параметров процесса;
3. Информирование оператора (по его запросу) о производственной ситуации на том или ином участке объекта управления в данный момент;
4. Вычисление по вызову оператора некоторых комплексных показателей, неподдающихся непосредственному измерению и характеризующими качество продукции или что-то другое.

Управляющие функции АСУТП:

Это действия по выработке и реализации управляющих воздействий на объекте управления.

К основным управляющим функциям АСУТП относятся:

1. Стабилизация переменных технологического процесса (например, температура в пламени печи нужно стабилизировать в заданном режиме 1200°C).

2. Программное изменение режима процесса по заранее заданным законам (например, изменение температуры по длине печи при прохождении заготовки в индукционной печи).

3. Распределение материальных потоков и нагрузок между технологическими агрегатами (например, распределение шихты флюсующих материалов при параллельной работе нескольких печей).

2.3 Состав АСУТП

Состав и строение любой АСУТП выбираются так, чтобы система соответствовала общим техническим требованиям, ГОСТАМ и требованиям, содержащимся в техническом проекте на создание АСУТП.

В состав любой АСУТП входят следующие крупные основные части системы:

1. Оперативный персонал,
2. Информационное обеспечение,
3. Организационное обеспечение,
4. Программное обеспечение,
5. Техническое обеспечение.

Упрощенная схема взаимодействия этих основных частей показана на рисунке (рисунок 3).

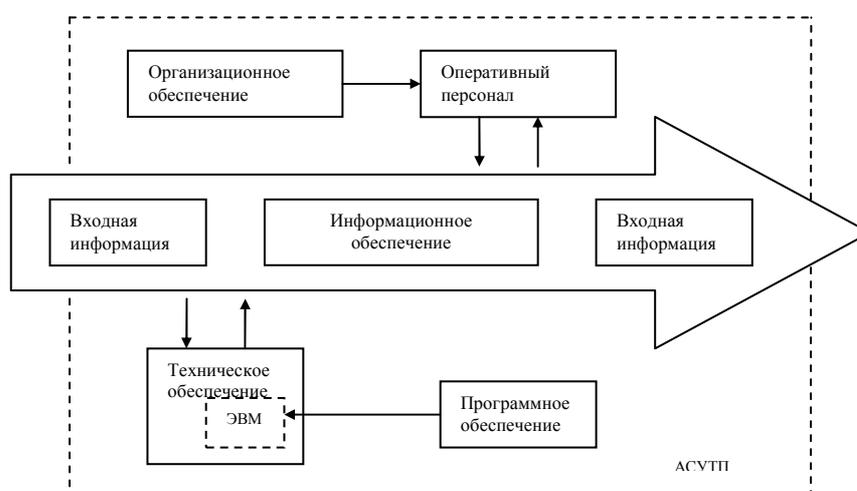


Рисунок 3 – Схема взаимодействия частей АСУТП

Рассмотрим подробнее эту схему:

Прежде всего, напомним себе, что процесс функционирования АСУТП по существу является процессом целенаправленного преобразования входной информации в выходную.

Так вот в АСУТП это преобразование выполняется совместно оперативным персоналом и техническим обеспечением (КТС).

Именно эти две составляющие АСУТП собирают информацию от объекта и других внешних источников, обрабатывают, анализируют, а затем принимают решение по управлению и реализуют это управление.

А чтобы люди, т.е. оперативный персонал, и комплекс технических средств функционировали правильно (т.е. в соответствии с принятым критерием), их необходимо обеспечить соответствующими правилами инструкциями.

Для оперативного персонала эту задачу обеспечивает документы организационного обеспечения, а для КТС – программное обеспечение.

Совокупность соглашений, т.е. множество принятых форм и массивов данных документов, перечней, кодов и правил их расшифровки образуют еще один основной компонент АСУТП – это информационное обеспечение.

Оперативный персонал – состоит из технологов-операторов (диспетчеров), осуществляющих контроль и управление объектом и эксплуатационного персонала обеспечивающих эксплуатацию всей техники.

Состав оперативного персонала АСУТП и установленные взаимоотношения между его работниками определяют организационную структуру системы.

Организационное обеспечение АСУТП представляет собой совокупность документов, устанавливающих порядок и правила функционирования оперативного персонала данной системы

(технологические инструкции, регламенты, инструкция по эксплуатации системы и т. д.).

Техническое обеспечение включает комплекс технических средств, который должен быть достаточным для выполнения всех функций АСУТП.

В состав технического обеспечения входят средства получения (датчики), преобразования (преобразователи), передачи отображения информации (УСО, дисплей), управляющие, вычислительные и исполнительные устройства.

Математическое обеспечение – это совокупность математических методов, моделей и алгоритмов, используемых при разработке и функционировании системы. (Рассказать о математических моделях, методах, адаптации, об оптимальности, критерии управления и т.д., алгоритмах управления, сглаживания, фильтрации и т.д.)

Программное и информационное обеспечения входят в состав каждой АСУТП, имеющей ЭВМ.

Если математическое обеспечение фиксирует идейные аспекты организации управления, то программное и информационное обеспечение представляет собой конкретную реализацию комплекса машинных алгоритмов функционирования системы.

Программное обеспечение охватывает круг решений, связанных с разработкой и эксплуатационной программ ЭВМ, а информационное обеспечение определяет способы и конкретные формы информационного отображения состояния объекта управления как в виде данных в ЭВМ, так и в виде документов, графиков, сигналов для их представления специалистам, участвующим в управлении процессом.

2.4 Режимы работы АСУТП

В зависимости от степени участия человека в выполнении функции АСУТП различают два режима работы: автоматизированный и автоматический.

Автоматизированный режим. В этом режиме оперативный технологический персонал принимает активное участие в управлении. Возможны следующие варианты реализации этого режима.

При *ручном управлении* технологический персонал по информации, получаемой по различным каналам о состоянии технологического объекта, принимает решения об изменении технологического режима и воздействует на процесс дистанционно из операторской с помощью ручных задатчиков или органов управления или же непосредственно, закрывая или открывая запорную арматуру.

В *режиме "советчика"* ЭВМ рекомендует технологическому персоналу через монитор оптимальные значения наиболее важных режимных параметров, обеспечивающих достижение цели управления. Технологический персонал на основании своего опыта и знаний анализирует полученные рекомендации, а также информацию о процессе и принимает решение о целесообразности изменения режима. В случае принятия "совета" он вмешивается в работу технологического объекта, либо изменяя задание регулятору, либо непосредственно – как при ручном управлении. Недостатком этого режима является то, что оператору зачастую трудно проверить правильность выработанной ЭВМ рекомендации.

При *диалоговом режиме* технологический персонал имеет возможность получать по запросу через монитор дополнительную информацию о настоящем, прошлом и будущем процесса (например, о наличии сырья, о прогнозируемых показателях качества) и лишь после этого принимать решение о целесообразности изменения технологического режима.

Автоматический режим. Этот режим работы АСУТП предусматривает выработку и реализацию управляющих воздействий без участия человека. Реализуются следующие варианты данного режима:

- *супервизорное управление*, когда ЭВМ автоматически изменяет уставки и(или) коэффициенты настройки локальных регуляторов. При этом на программном уровне решаются вопросы защиты технологического объекта от опасных и неприемлемых изменений технологических параметров, в случае отказа ЭВМ управление процессом осуществляется посредством регуляторов;
- *непосредственное цифровое управление*, при котором ЭВМ реализует результаты расчетов по поиску оптимальных режимов путем воздействия на весь технологический объект. Естественно, требования к надежности управляющей подсистемы в этом режиме резко возрастают. Она должна учитывать все возможные варианты работы технологического объекта и не допустить выход его в неустойчивую зону, в которой возможны аварийные ситуации.

Из всех перечисленных режимов наиболее распространен режим "советчика"; при его реализации уменьшается возможность неправильных решений, основанных на неполной информации или принятых в непредвиденных алгоритмами обстоятельствах.

3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SCADA–СИСТЕМ ПРИ СОЗДАНИИ АСУТП

Диспетчерское управление и сбор данных (SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition) является основным и в настоящее время остается наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами (процессами) в жизненно важных и критических с точки зрения безопасности и надежности областях. Именно на принципах диспетчерского управления строятся крупные

автоматизированные системы в промышленности и энергетике, на транспорте, в космической и военной областях, в различных государственных структурах.

SCADA – процесс сбора информации реального времени с удаленных точек (объектов) для обработки, анализа и возможного управления удаленными объектами. Требование обработки реального времени обусловлено необходимостью доставки (выдачи) всех необходимых событий (сообщений) и данных на центральный интерфейс оператора (диспетчера). В то же время понятие «реального времени» отличается для различных SCADA систем.

Все современные SCADA системы включают три основных структурных компонента (рисунок 4).

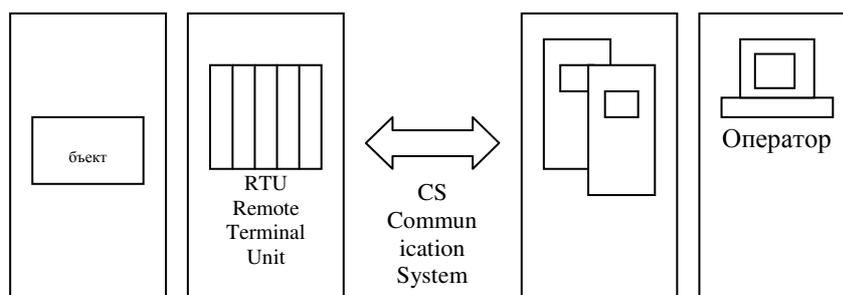


Рисунок 4 – Основные структурные компоненты SCADA системы

Remote Terminal Unit (RTU) – удаленный терминал, осуществляющий обработку задачи (управление) в режиме реального времени. Спектр его воплощений широк – от примитивных датчиков, осуществляющих съем информации с объекта, до специализированных многопроцессорных отказоустойчивых многопроцессорных отказоустойчивых вычислительных комплексов, осуществляющих обработку информации и управления в режиме жесткого реального времени.

Master Terminal Unit (MTU), Master Station (MS) – диспетчерский пункт управления (главный терминал); осуществляет обработку данных и управление высокого уровня, как правило, в режиме мягкого (квази-)

реального времени; одна из основных функций – обеспечение интерфейса между человеком-оператором и системой (HML, MMI).

Communication System (CS) – коммуникационная система (каналы связи), необходима для передачи данных с удаленных точек (объектов, терминалов) на центральный интерфейс оператора-диспетчера и передачи сигналов управления на RTU (или удаленный объект в зависимости от конкретного исполнения системы).

Хорошо известными в мире являются следующие SCADA системы: In Touch, Fix, Lookout, Genesis 32, Win CC и другие.

4 СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

4.1 Понятие сложной системы – система, элемент системы, связь в системе

Типичными примерами сложных систем могут служить крупные производительные и энергетические комплексы с автоматизированным управлением, некоторые экономические системы, вычислительные комплексы, предназначенные для обработки информации и планирования, и т. д.

Отличительными чертами сложных систем являются:

- 1) наличие большого числа элементов;
- 2) сложный характер связей между отдельными элементами;
- 3) сложность функций, выполняемых системой;
- 4) наличие управления, как правило, сложно организованного;
- 5) необходимость учета взаимодействия с окружающей средой и взаимодействия случайных факторов.

Любую реальную систему можно рассматривать как систему, состоящую из большого числа элементов, что все они между собой и с

внешней средой связаны различным образом, подвержены влиянию случайных воздействий и т.д., но не менее очевидно, что во многих случаях эти факторы (или некоторые из них) не учитываются (что иногда происходит из-за ограниченности возможностей проектировщика).

Из всего многообразия проблем теории сложных систем рассмотрим лишь две – именно те, которые возникают в каждом процессе принятия решений:

1) математическое описание изучаемой системы, т.е. ее математическое моделирование;

2) наилучшее, в некотором, заранее определенном смысле, управление системой.

Все процессы, осуществляемые на производстве, могут быть представлены в виде управляемых кибернетических систем. Кибернетика изучает различные по своей природе объекты с одной определенной стороны – с точки зрения установления общих закономерностей управления.

Характерные черты кибернетического метода исследования:

1. Широкое применение аналогий между разными объектами.

2. Широкое применение математического моделирования, устанавливающего общие качественные и количественные закономерности процессов, происходящих в различных объектах.

Исследуя общие закономерности управления в живых организмах и в объектах, созданных человеком, кибернетика выработала ряд общих понятий, среди которых можно выделить в первую очередь понятие системы. Каждая система состоит из ряда составляющих частей, называемых подсистемами. Например, организм человека состоит из подсистем: кровообращения, нервной системы и т.д. Предприятие состоит из различных цехов, служб, а каждый цех, в свою очередь, состоит из производственных участков.

Система – это греческое «целое», составленное из частей.

Система является единым целым, относительно изолированным от окружающей среды. Так, например, совокупность элементов, образующих машину, существует в известной мере самостоятельно. В этом случае можно говорить об этой системе как независимой от других систем.

В то же время любая система оказывает влияние на нее и, в свою очередь, подвергается воздействию со стороны системы. Та часть системы, которая воспринимает воздействие окружающей среды, называется входом, а часть, которой данная система воздействует на другие системы, выходом.

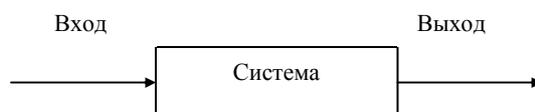


Рисунок 5 – Схема взаимосвязи входа и выхода системы

В одной системе может быть один или несколько входов и выходов. Например, регулятор Уатта паровой машины имеет один вход и один выход. На входе происходит изменение давления в котле, на выходе – открывание и закрывание клапана. Важнейшим элементом любой системы является процесс, преобразующий вход в выход. Например, сталеплавильный процесс преобразует чугун и железный лом в стальные слитки, а процесс прокатного производства – стальные слитки в готовый прокат.

Способность преобразовывать данный вход в данный выход называют свойством процесса. В качестве примера рассмотрим связи между процессом, входом и выходом в прокатном цехе, представленном на рисунке 6.



Рисунок 6

Производственный процесс может быть разделен на несколько стадий. Каждая из этих стадий процесса образует подсистему со своими входами и выходами. В свою очередь, подсистемы могут быть разобраны на более мелкие подсистемы, которые технологически связаны с подсистемой верхнего уровня.

Простейшим является последовательная связь подсистем (рисунок 7).

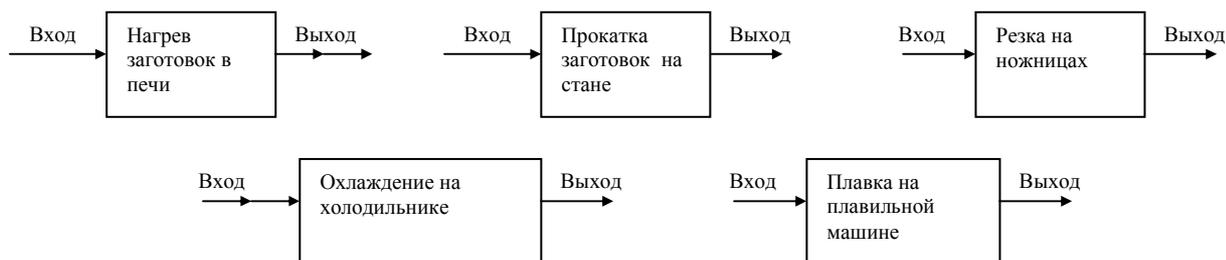


Рисунок 7 – Пример схемы последовательной связи подсистем в сортопрокатном цехе

При другой форме выходы нескольких подсистем соединяются с выходами одной системы. Примером такой формы является связь между операциями нагрева слитков в нагревательных колодцах и процессом прокатки слитков на обжимном стане (рисунок 8).

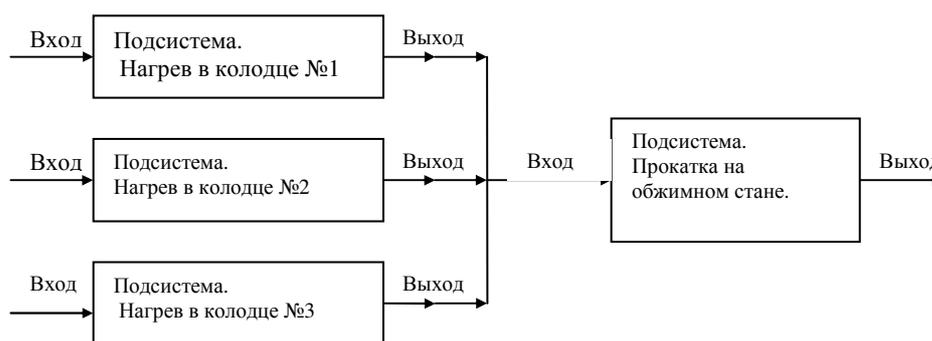


Рисунок 8 – Схема связи выхода нескольких подсистем с выходом одной подсистемы в обжимном цехе

Система может быть во многих различных состояниях. Так, машина является системой, а движение ее механизмов для осуществления различных операций определяет состояние этой системы.

Одни состояния системы сменяются другими. Так, например, если производить нагрев слитков, то будет происходить последовательная смена их температурных состояний.

Для каждой системы существуют определенные границы возможных изменений ее состояний. При переходе за эти границы данная система превращается в другую систему. В пределах же этих границ система не преобразуется в другую, а лишь меняя свое состояние.

Например, нормальная жизнедеятельность организма человека возможна лишь в определенных температурных пределах. Металл сохраняет твердость до известной температуры, выше которой он переходит в жидкое состояние.

Изменения в состоянии системы вызывается множеством причин, которые имеют тенденцию выводить систему из трех границ, в пределах которых она может существовать.

Например, во время интенсивной деятельности человека в его организме накапливаются вредные вещества – углекислый газ, кислота, а также повышается температура тела.

Второй пример: во время работы машины ее детали постепенно изнашиваются, что приводит к снижению точности ее работы, к повышению вибрации и т. д.

Система может сохраниться лишь в том случае, когда она оказывается способной ликвидировать последствия разрушительных воздействий внешней среды. Процесс управления предназначен для создания именно этих реакций.

Всякая система состоит из управляющего и управляемого (исполнительного) органов.

Например, у человека управляющими органами управления является головной мозг и центральная нервная система, а управляемыми, исполнительными органами – мышцы рук, ног, головы, туловища, при помощи которых осуществляются различные движения.

Второй пример: в машинах управляющими органами являются различные устройства, осуществляющие заданные перемещения рабочих органов.

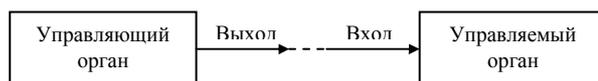


Рисунок 9 – Схема связи управляющего и управляемого органов

Рассмотрим схему связи управляющего и управляемого органов.

Как видно, выходы управляющего органа соединены с входом управляемого органа.

Основной задачей управляющего органа является создание приспособительных реакций по отношению к внешним раздражительным или так называемым возмущающим воздействиям.

Чтобы справиться с этой задачей, управляющий орган должен получить сведения (или информацию) о тех условиях, в которых находится система, также об изменениях, протекающих в самой системе.

Например: человек, управляющий машиной, получает информацию о фактических параметрах процесса (температуре, давлении, скорости и т.д.), следя за показаниями приборов.

Второй пример: автоматические регуляторы получают информацию обо всех изменениях в исполнительных различных органах машины.

Передача информации осуществляется посредством какого-либо материального носителя. Например, разговаривая по телефону, человек получает информацию по средствам звуковых волн. Передача же информации от органов слуха человека до мозга осуществляется с помощью

нервных клеток. Любая искусственная система предназначена для удовлетворения определенных потребителей.

Например, медеплавильных цех предназначен для удовлетворения потребности электролизного цеха в анодной меди, а электролизный цех – для удовлетворения потребности прокатных цехов в слитках чистой меди.

Во всех случаях потребности потребителей удовлетворяется выходами соответствующих систем. Так, потребность металлургического предприятия в руде удовлетворяется выходами различных горнорудных предприятий. Потребители данной системы предъявляют к ее выходу определенные требования в виде показателей эффективности. Так, например, производственный процесс, выполняемый в цехах металлургического завода, оценивается четырьмя показателями:

1. Производительностью процесса.
2. Длительностью цикла осуществления заданного объема работ.
3. Количеством материальных, трудовых, энергетических и денежных ресурсов, расходуемых на единицу работы.
4. Количеством результатов работы, в единицу времени.

В зависимости от требований, предъявляемых к выходу данной системы соответствующими потребителями ее продукции, один из показателей выбирается в качестве главного или критерия эффективности. Его величина должна быть max или min.

Например, критерием эффективности медеплавильного цеха является себестоимость 1 т. черновой меди, зависящая от удельного расхода материалов, трудовых, энергетических и денежных ресурсов.

Совокупность критерия и показателей эффективности представляют собой модель выхода. В результате возмущающих воздействий фактически выход данной системы может отклоняться от модели выхода. Возникает в связи с этим необходимость в своевременном выявлении и ликвидации

нежелательных отклонений. Эту функцию управляющий орган выполняет, используя процесс обратной связи.

Схема процесса управления при помощи обратной связи осуществляемая плавильщиком показана на рисунке 10.



Рисунок 10

Сложная производственная система на примере медного завода представлена на рисунке 11.

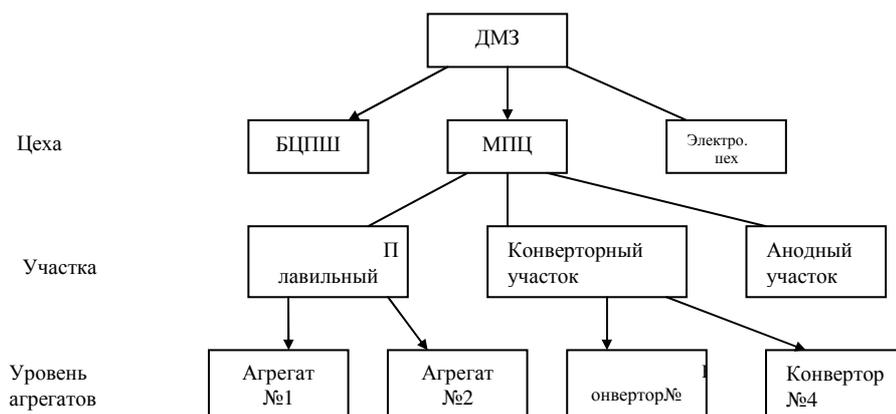


Рисунок 11 – Структура металлургического завода

4.2 Классификация систем управления

В основу классификации систем управления заложены различные принципы, к которым в основном относятся:

1. По методу управления.
2. По характеру использования информации.
3. По результатам работы в установившемся состоянии.
4. По числу управляемых величин.

5. По характеру воздействия во времени.

6. По виду математического описания.

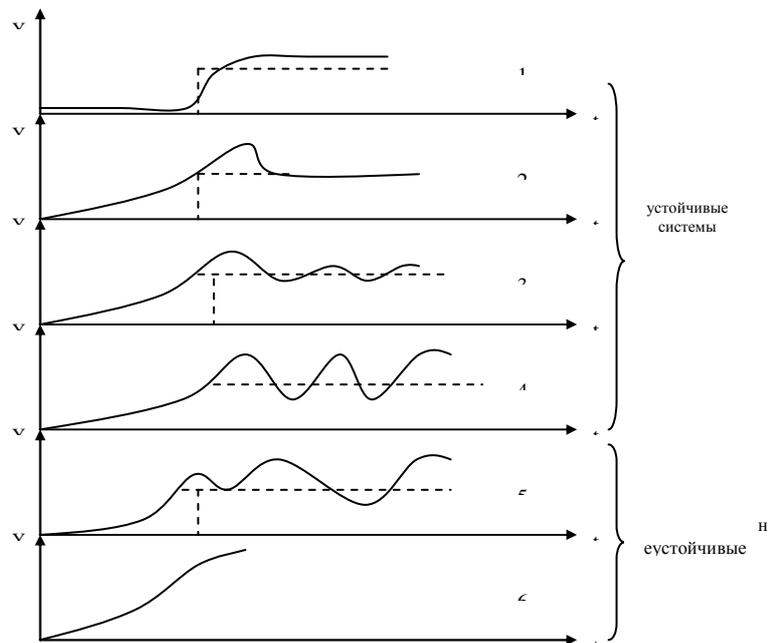


Рисунок 12 – Переходные процессы в системе

5 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Система управления технологическим объектом – это совокупность оперативного технологического персонала и комплекса технических средств автоматизации управления, связанных общей задачей управления.

Оперативный технический персонал (начальник установки, оператор, аппаратчик) с помощью комплекса автоматических устройств, в том числе и средств вычислительной техники, получает информацию о состоянии технологического объекта (входных и выходных параметрах, режимных параметрах, различного рода возмущениях) и воздействует на них таким образом, чтобы достигалась цель нормального течения технологического процесса (ТП).

Рассмотрим подробнее основные функции, выполняемые контроллером и компьютером, как наиболее важных составных частей автоматизированной системы управления ТП.

1. *Измерительные приборы (цифровые, стрелочные, круговые и т.п.)* являются главными при анализе состояния технологического объекта и представляются в графическом виде на экране монитора, подключаемого к ЭВМ. Они обеспечивают быстрые и точные измерения технологических параметров: температуры, давления, расхода, уровня. Все данные могут быть представлены в виде динамических графиков или гистограмм и сохранены на компьютере как архив, который служит документом, позволяющим в дальнейшем восстановить ход событий.

2. *Устройства сигнализации (аудио-, видео-)* предназначены для автоматического оповещения персонала об отклонении параметров за допустимые пределы путем подачи световых или звуковых сигналов. Для световой(видео-) сигнализации используют либо изменение цветовой гаммы на экране монитора, либо электрические лампы, подключенные к дискретным выходам контроллера. Для звуковой – либо аудиооповещение через акустические динамики, подключенные к компьютеру, либо звонки, сирены или гудки. Как правило, звуковой сигнал служит лишь для оповещения оператора о факте появления события, а световой точно указывает на его место и характер. Различают следующие виды сигнализации: предупредительную, аварийную и сигнализацию положения. Предупредительная сигнализация предназначена для оповещения персонала об отклонениях параметров за пределы, определяемые нормальным технологическим режимом; аварийная предназначена для оповещения персонала о недопустимых значениях параметров или об аварийном отключении одного из аппаратов технологической схемы; сигнализация положения объекта управления предназначена для оповещения персонала о состоянии механизмов и машин (включены или выключены) в данный

момент времени. Устройства сигнализации существенно упрощают работу оператора: ему не надо постоянно следить за ходом процесса, он может сосредоточить внимание на более серьезных задачах.

3. *Устройства регулирования (программные либо аппаратные)* предназначены для поддержания текущего значения параметра равным заданному. Текущие значения регуляторы получают от устройств контроля, а заданное – от оперативного технологического персонала с помощью задатчиков или других автоматических устройств. В зависимости от того, как формируется заданное значение, различают следующие типы регуляторов: *стабилизирующие* (заданное значение постоянно во времени); *программные* (заданное значение изменяется во времени по заранее заданной зависимости); *следающие* (заданное значение соответствует текущему значению какого-либо другого параметра, т.е. произвольно изменяется во времени); *экстремальные* (заданное значение соответствует экстремальному значению параметра для данных производственных условий). Регуляторы поддерживают параметры на значениях, соответствующих нормальному технологическому режиму. Оператор корректирует их работу путем изменения задания или коэффициентов настройки только в случае невыполнения цели функционирования технологического объекта, возникновения критических ситуаций или перехода на другой вид продукции (т.е. изменения технологического режима).

4. *Устройства защиты (программные либо аппаратные)* предназначены для предотвращения аварий, пожаров, взрывов, выхода из строя оборудования. При срабатывании аварийной сигнализации они воздействуют на процесс (открывая и закрывая технологические магистрали, включая и отключая электродвигатели механизмов и машин) таким образом, чтобы ликвидировать критическое состояние объекта управления с наименьшими потерями.

5. *Устройства программно-логического управления.* Операции пуска, останова, перевода установки периодического действия с одной рабочей операции на другую в современных установках возлагаются на программно-логическое управление, которое по заранее заданной временной схеме включает и выключает различные механизмы, машины и аппараты. Сигналом к включению такого устройства может служить наступление того или иного события в технологическом объекте: окончание какой-либо рабочей операции, выход параметра за допустимый диапазон и т.д.

5.1 Комбинированные САР

Комбинированные системы регулирования применяют при автоматизации объектов, подверженных действию существенных контролируемых возмущений.

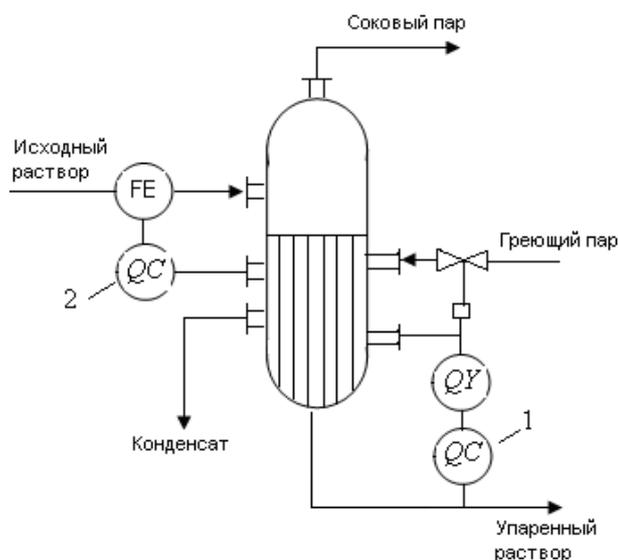


Рисунок 13 – Пример комбинированной системы регулирования концентрации упаренного раствора: 1 – регулятор состава; 2 – динамический компенсатор

На рисунке 13 приведен фрагмент функциональной схемы автоматизации выпарной установки, в которой одним из наиболее сильных возмущений является расход питания. Основная задача регулирования – стабилизация концентрата упаренного раствора за счет изменения расхода греющего пара – выполняется регулятором 1. Кроме сигнала регулятора, на

клапан, регулирующий подачу пара, через динамический компенсатор 2 поступает корректирующий импульс по расходу питания.

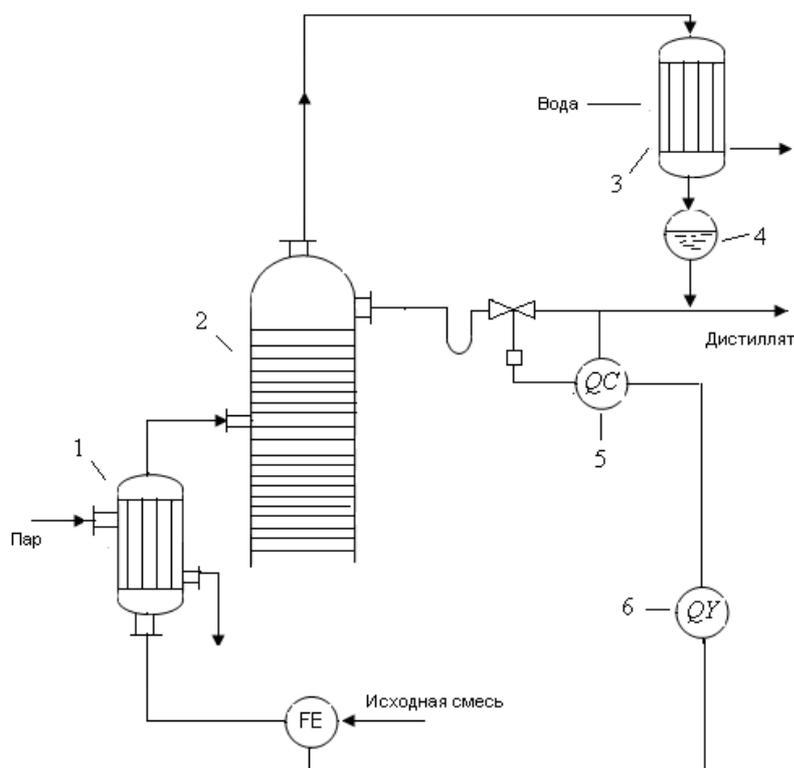


Рисунок 14 – Пример комбинированной системы регулирования состава дистиллята: 1 – подогреватель исходной смеси; 2 – ректификационная колонна; 3 – дефлегматор; 4 – флегмовая ёмкость; 5 – регулятор состава; 6 – динамический компенсатор

На рисунке 14 приведен пример комбинированной САР состава дистиллята в ректификационной колонне. Стабилизация состава дистиллята обеспечивается регулятором 5 путём изменения подачи флегмы на орошение колонны. Для повышения качества регулирования в системе предусмотрена автоматическая коррекция задания регулятору 5 в зависимости от одного из основных возмущений в процессе расхода разделяемой смеси.

5.2 Каскадные САР

Каскадные системы применяют для автоматизации объектов, обладающих большой инерционностью по каналу регулирования, если можно выбрать менее инерционную по отношению к наиболее опасным

возмущениям промежуточную координату и использовать для нее то же регулирующее воздействие, что и для основного выхода объекта.

В этом случае в систему регулирования (рисунок 15) включают два регулятора – основной (внешний) регулятор, служащий для стабилизации основного выхода объекта y , и вспомогательный (внутренний) регулятор, предназначенный для регулирования вспомогательной координаты y_1 . заданием для вспомогательного регулятора служит выходной сигнал основного регулятора.

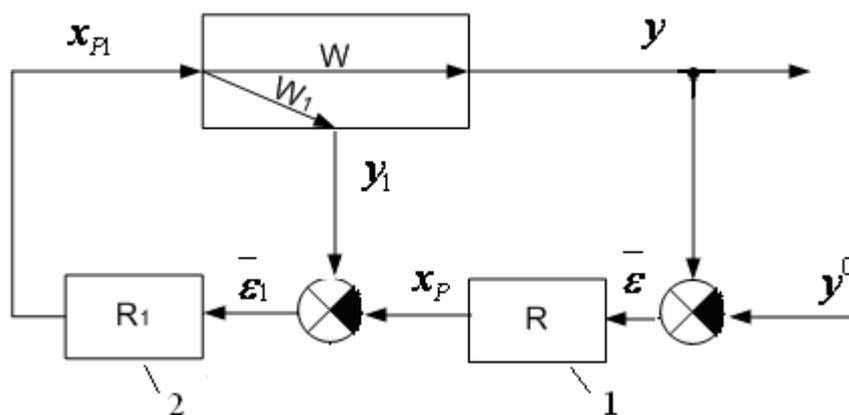


Рисунок 15 – Структурная схема каскадной САР

Выбор законов регулирования определяется назначением регуляторов: для поддержания основной выходной координаты на заданном значении без статической ошибки закон регулирования основного регулятора должен включать интегральную составляющую;

от вспомогательного регулятора требуется, прежде всего, быстроедействие, поэтому он может иметь любой закон регулирования (в частности пропорциональный как наиболее простой и достаточно быстроедействующий).

Сравнение одноконтурных и каскадных САР показывает, что вследствие более высокого быстроедействия внутреннего контура и каскадной АСР повышается качество переходного процесса, особенно при компенсации возмущений, поступающих по каналу регулирования (при этом

инерционность эквивалентного объекта благодаря внутреннему контуру снижается по сравнению с инерционностью основного канала регулирования).

Если по условию ведения процесса на вспомогательную переменную накладывается ограничение (например, температура не должна превышать предельно допустимого значения или соотношение расходов должно лежать в определенных пределах), то на выходной сигнал основного регулятора, который является заданием для вспомогательного регулятора, также накладывается ограничение. Для этого между регуляторами устанавливается устройство с характеристиками усилительного звена с насыщением.

Примеры каскадных САР технологических объектов. На рисунке 15 приведен пример каскадной системы стабилизации температуры жидкости на выходе из теплообменника, в которой вспомогательным контуром является АСР расхода греющего пара.

При возмущении по давлению пара регулятор 1 изменяет степень открытия регулирующего клапана таким образом, чтобы поддержать заданный расход.

При нарушении теплового баланса в аппарате (вызванном, например, изменением входной температуры или расхода жидкости, энтальпии пара, потерь тепла в окружающую среду), приводящем к отклонению выходной температуры от заданного значения, регулятор температуры 2 корректирует задание регулятору расхода 1.

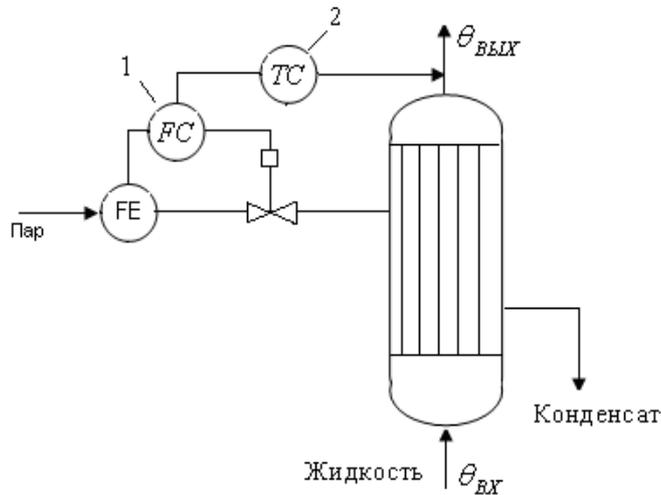


Рисунок 16 – Каскадная система регулирования температуры (2) с коррекцией задания регулятору расхода пара (1)

В химико-технологических процессах часто основная и вспомогательная координаты имеют одинаковую физическую природу и характеризуют значения одного и того же технологического параметра в разных точках системы (рис. 17).

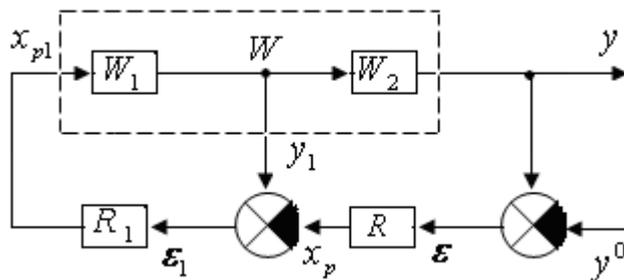


Рисунок 17 – Структурная схема каскадной АСР с измерением вспомогательной координаты в промежуточной точке

На рисунке 18 показаны фрагмент технологической схемы, включающий подогреватель реакционной смеси и реактор, и система стабилизации температуры в реакторе. Регулирующее воздействие – расход пара – подается на вход теплообменника. Канал регулирования, включающий два аппарата и трубопроводы, является сложной динамической системой с большой инерционностью. На объект действует ряд возмущений, поступающих в разные точки системы, – давление и энтальпия пара, температура и расход реакционной смеси, потери тепла в реакторе и т.п. Для

повышения быстродействия системы регулирования применяют каскадную АСР, в которой основной регулируемой переменной является температура в реакторе, а в качестве вспомогательной выбрана температура смеси между теплообменником и реактором.

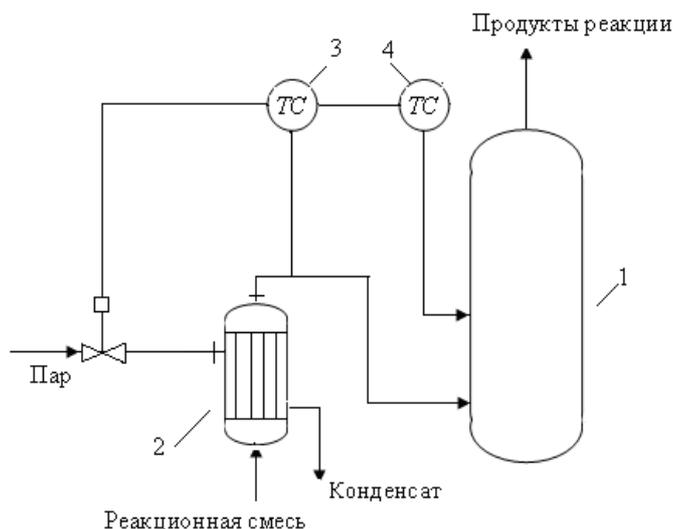


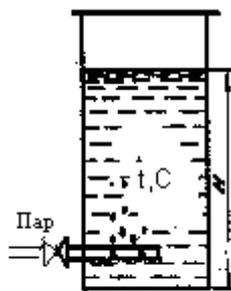
Рисунок 18 – Каскадная система регулирования температуры (4) в реакторе (1) с коррекцией задания регулятору температуры (3) на выходе теплообменника (2)

6 ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

6.1 Емкость объектов

Под емкостью объекта понимают способность его накапливать (аккумулировать) вещество или энергию. По числу емкостей объекты разделяются на одноемкостные и многоемкостные.

Одноемкостные объекты характеризуются отсутствием сопротивления передачи энергии или вещества; они способны накапливать один вид энергии или вещества. Физическая модель одноемкостного объекта (бака для нагрева воды) представлена на рисунке.

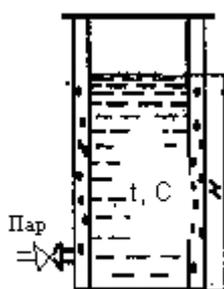


а)

Рисунок 19 – Одноемкостный объект

Здесь регулируемым параметром является температура воды t °С, значение которой при неизменном количестве воды в баке (уровень H постоянный) зависит от количества тепла, передаваемого от греющего пара воде. Емкость данного объекта определяется количеством тепла, аккумулированного водой при заданной температуре ее, причем сопротивление передаче тепла от пара к воде отсутствует.

Многоемкостные объекты характеризуются наличием нескольких емкостей, в которых происходит накопление энергии или вещества, и сопротивлением, препятствующим переходу энергии или вещества из одной емкости в другую. На рисунке приведена физическая модель двухъемкостного объекта – бака для нагрева воды.



б)

Рисунок 20 – Двухъемкостный объект

В данном случае вода нагревается греющим паром, подаваемым в паровую рубашку бака. Здесь одна емкость определяется количеством тепла,

заклученного в паровом пространстве и стенках паровой рубашки, при допущении, что температура стенки паровой рубашки равна температуре пара, а вторая емкость – количеством тепла, аккумулированного водой в баке.

Число емкостей определяет порядок дифференциального уравнения объекта; одноемкостные объекты описываются дифференциальным уравнением первого порядка, двухъемкостные – дифференциальным уравнением второго порядка и т.д.

6.2 Самовыравнивание объектов

Способность объекта после возникающего в нем возмущения постоянной величины переходить *самостоятельно, без регулятора*, в новое установившееся равновесное состояние называется самовыравниванием.

Самовыравнивание можно проследить на следующих примерах. На рисунке 21 представлен бак 1 с жидкостью, в котором количество жидкости Q_1 , подаваемой в него насосом 2 постоянной производительности, равно оттоку жидкости из бака Q_2 . Уровень жидкости H_1 в баке при этом сохраняется постоянным.

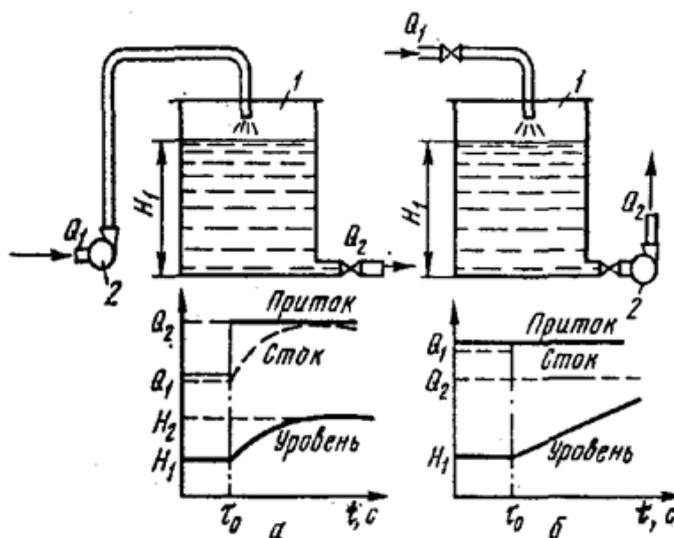


Рисунок 21 – Самовыравнивание объектов

Если увеличить производительность насоса, то в бак будет поступать больше жидкости и уровень начнет повышаться. Это вызовет увеличение гидростатического напора, а, следовательно, и оттока жидкости из бака. Уровень будет повышаться до тех пор, пока отток не сравняется с притоком. Таким образом, новое установившееся состояние будет соответствовать новому значению уровня жидкости в баке H_2 . Такой объект обладает свойством самовыравнивания.

На рисунке 21 Б показан бак 1 с жидкостью, установившееся состояние в котором характеризуется тем, что количество поступающей жидкости Q_1 равно количеству жидкости Q_2 , откачиваемой насосом 2. Уровень жидкости H_1 в баке при этом сохраняется постоянным. Если уменьшить производительность насоса, оставив приток жидкости прежним, уровень жидкости в баке начнет возрастать с постоянной скоростью и не примет какого-либо установившегося значения. В таком объекте отсутствует свойство самовыравнивания.

Количественно самовыравнивание объекта определяется коэффициентом самовыравнивания r , равным отношению изменения входной величины к изменению выходной величины объекта: $r=m/j$,

где $m=Dx_{вх}/x_{вх0}$, $j=Dy/y_0$ – относительные значения входной и выходной величин.

В зависимости от коэффициента самовыравнивания объекты разделяют на устойчивые, нейтральные, неустойчивые.

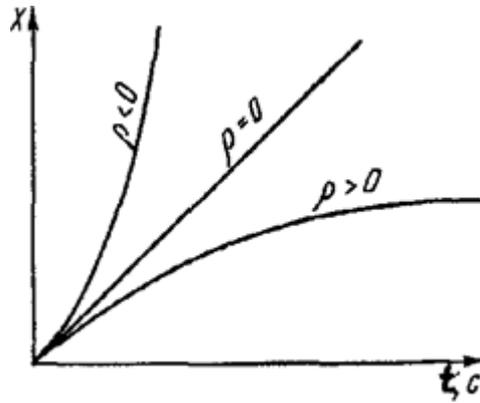


Рисунок 22 – Показатели самовыравнивания

Устойчивыми (статическими) называются объекты, обладающие свойством самовыравнивания, для них $r > 0$.

Нейтральные (астатические) объекты – объекты, у которых отсутствует самовыравнивание, т.е. $r = 0$.

Неустойчивыми называют объекты, у которых коэффициент самовыравнивания $r < 0$, т. е. они не обладают свойством самовыравнивания.

Наличие самовыравнивания в объекте способствует более быстрой стабилизации регулируемого параметра и, следовательно, улучшает условия работы регулятора. Применяемые в технологических процессах установки и аппараты в большинстве своем являются статическими объектами.

6.3 Запаздывание объектов

Запаздывание – это задержка во времени изменения выходной величины объекта при изменении входной величины. Различают транспортное и емкостное запаздывание.

Транспортное запаздывание t_r обуславливается наличием расстояния между регулирующим органом и объектом, а также между объектом и чувствительным элементом первичного преобразователя.

Емкостное запаздывание t_e – это время, необходимое для передачи энергии или вещества в самом объекте. Этот вид запаздывания определяется конструкцией и работой объекта.

Сумма значений транспортного и емкостного запаздываний представляет полное запаздывание объекта $t_3=t_T+t_e$.

Наличие запаздывания ухудшает условия работы регулятора и снижает показатели качества процесса регулирования, поэтому запаздывание всегда стремятся свести к минимуму. Этого достигают путем изменения конструкции объекта, более близкой установкой к нему регулирующего органа, первичного преобразователя измерительного устройства и т.п.

7 ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Общая задача управления технологическим процессом формулируется обычно как задача максимизации (минимизации) некоторого критерия (себестоимости, энергозатрат, прибыли) при выполнении ограничений на технологические параметры, накладываемых регламентом. Решение такой задачи для всего процесса в целом очень трудоемко, а иногда практически невозможно ввиду большого числа факторов, влияющих на ход процесса. Поэтому весь процесс разбивают на отдельные участки, которые характеризуются сравнительно небольшим числом переменных. Обычно эти участки совпадают с законченными технологическими стадиями, для которых могут быть сформулированы свои подзадачи управления, подчиненные общей задаче управления процессом в целом.

Задачи управления отдельными стадиями обычно направлены на оптимизацию (в частном случае, стабилизацию) технологического параметра или критерия, легко вычисляемого по измеренным режимным параметрам (производительность, концентрация продукта, степень превращения, расход

энергии). Оптимизацию критерия проводят в рамках ограничений, задаваемых технологическим регламентом.

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

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

7.1 Возмущения, допускающие стабилизацию

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

обеспечивающую устойчивое ведение процесса в рамках технологического регламента.

7.2 Контролируемые возмущения

К ним условно относят те возмущения, которые можно измерить, но невозможно или недопустимо стабилизировать (расход питания, подаваемого непосредственно из предыдущего аппарата; температура окружающей среды). Наличие существенных нестабилизируемых возмущений требует применения либо замкнутых по основному показателю процесса системы регулирования, либо комбинированных САР, в которых качество регулирования повышается введением динамической компенсации возмущения.

7.3 Неконтролируемые возмущения

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

7.4 Возможные регулирующие воздействия

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

7.5 Выходные переменные

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

- уровень жидкости – показатель баланса по жидкой фазе;
- давление – показатель баланса по газовой фазе;
- температура – показатель теплового баланса в аппарате;
- концентрация – показатель материального баланса по компоненту.

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

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

На основе анализа технологического процесса как объекта регулирования проектируют систему автоматизации, обеспечивающую решение поставленной задачи регулирования. Начинают с проектирования

одноконтурных САР отдельных параметров, они наиболее просты в наладке и надежны в работе, поэтому широко используются при автоматизации технологических объектов.

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

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

8 РЕГУЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

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

8.1 Регулирование расхода

При регулировании расхода нужно учитывать некоторые особенности, не присущие обычно системам регулирования других технологических параметров. Первая особенность – небольшая (обычно пренебрежимо малая) инерционность объекта регулирования, который представляет собой, как

правило, участок трубопровода между первичным измерительным преобразователем для измерения расхода и регулирующим органом. После перемещения штока регулирующего органа в новое положение новое значение расхода устанавливается за доли секунды или, в крайнем случае, за несколько секунд. Это означает, что динамические характеристики системы определяются, главным образом, инерционностью измерительного устройства, регулятора, исполнительного устройства и линией передачи сигнала (импульсных линий). Вторая особенность проявляется в том, что сигнал, соответствующий измеренному значению расхода, всегда содержит помехи, уровень которых высок. Частично шум представляет собой физические колебания расхода, частота которых настолько велика, что система не успевает на них реагировать. Наличие высокочастотных составляющих в сигнале изменения расхода – результат пульсаций давления в трубопроводе, которые, в свою очередь, являются следствием работы насосов, компрессоров, случайных колебаний расхода, например, при дросселировании потока через сужающее устройство. Поэтому при наличии шума, чтобы избежать усиления в системе случайных возмущений, следует применять малые значения коэффициента усиления регулятора.

Рассмотрим объект регулирования расхода – участок трубопровода 1, расположенный между местом измерения расхода (местом установки первичного измерительного преобразователя, например диафрагмы 2) и регулирующим органом 3 (рис. 23).

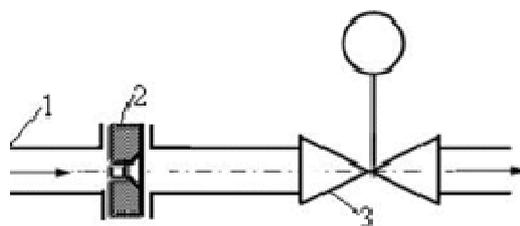


Рисунок 23 – Фрагмент системы регулирования расхода:
1 – участок трубопровода, 2 – диафрагма, 3 – регулирующий орган

Длина прямого участка трубопровода определяется правилами установки нормальных сужающих устройств и регулирующих органов и

может составить несколько метров. Динамику объекта (трубопровода) – (отношение расхода вещества через регулирующий клапан к расходу вещества через расходомер) – можно представить статическим звеном первого порядка с транспортным запаздыванием. Значение постоянной времени T составляет несколько секунд; время транспортного запаздывания $T_{зап}$, 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 $T_{зап}$, 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).

8.2 Регулирование устройств для перемещения жидкостей и газов

Для транспортировки жидкостей по трубопроводам часто применяют центробежные и поршневые насосы, для транспортировки газов – вентиляторы, газодувки, центробежные компрессоры и др. Цель регулирования работы насосов, вентиляторов, компрессоров – поддержать их заданную производительность. Рассмотрим для примера схему регулирования расхода, создаваемого центробежным насосом (рис. 24). Датчик расхода 2 устанавливается после центробежного насоса 1 на линии нагнетания перед регулирующим клапаном 4. При отклонении расхода жидкости от заданного значения регулятор 3 формирует командный сигнал, в соответствии с которым исполнительный механизм перемещает затвор регулирующего клапана 4. Проходное сечение регулирующего клапана изменяется, что приводит к изменению суммарного сопротивления гидравлической линии и, следовательно, расхода жидкости

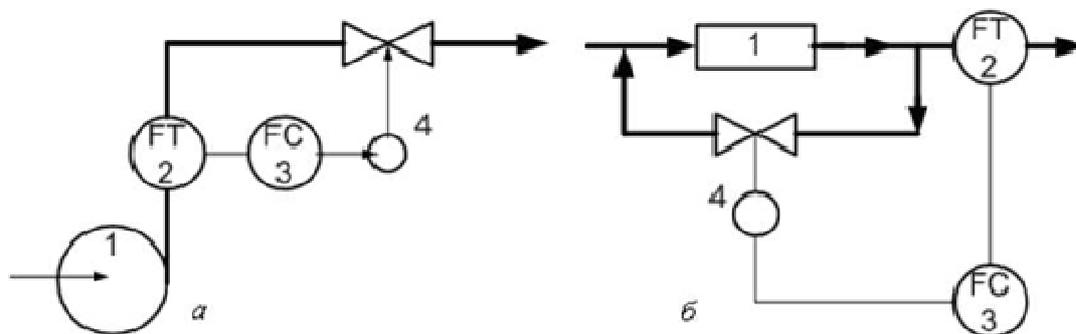


Рисунок 24 – Схема регулирования расхода, создаваемого а – центробежным насосом, б – поршневым насосом 1 – насос; 2 – датчик расхода; 3 – регулятор

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 регулирующийся клапан может полностью закрыться, что, в конечном итоге, приведет к разрыву трубопровода. Если регулирующийся клапан установить на линии всасывания поршневого насоса, то это приводит к помпажу.

Тогда для регулирования расхода используют байпасирование потока (рис. 24,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.25).

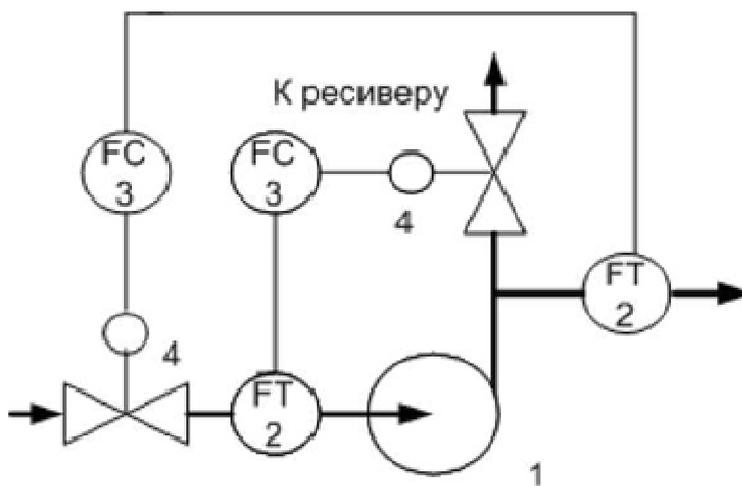


Рисунок 25 – Схема регулирования производительности центробежного компрессора с противопомпажной защитой: 1 – компрессор; 2 – датчик расхода; 3 – регуляторы; 4 – регулирующие клапаны

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 регулирующийся 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.

8.3 Регулирование соотношения расходов двух веществ

Существует несколько вариантов регулирования соотношения расходов двух веществ. Первый вариант (рис. 26). 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 .

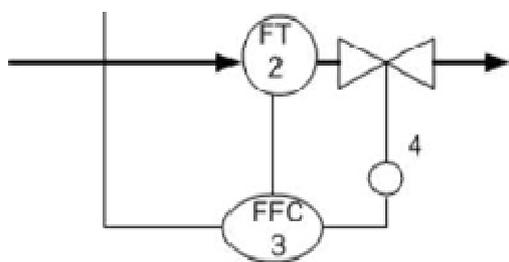


Рисунок 26 – Схема регулирования соотношения расходов при произвольной нагрузке:
1, 2 – датчики расхода; 3 – регулятор расходов; 4 – регулирующий клапан

Второй вариант (рис. 27). 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 .

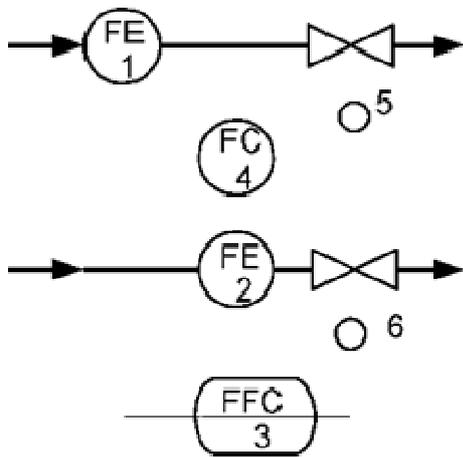


Рисунок 27 – Схема регулирования соотношения расходов при заданной нагрузке:
 1, 2 – датчики расхода; 3 – регулятор соотношения расходов; 4 – регулятор расхода;
 5, 6 – регулирующие клапаны

Третий вариант (рисунок 28). 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 б 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:

$$пн < п < пв,$$

где пн, пв – нижнее и верхнее соотношения расходов веществ соответственно.

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

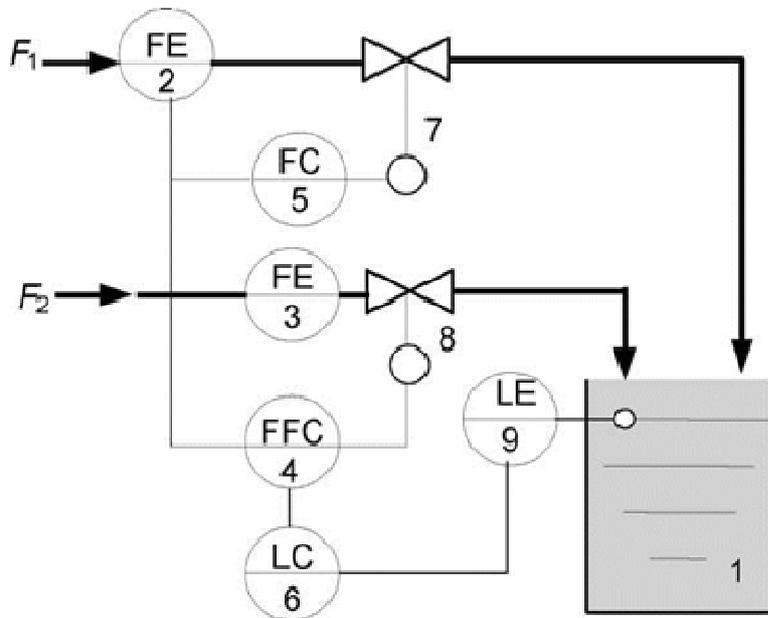


Рисунок 28 – Схема регулирования соотношения расходов с коррекцией по третьему параметру (уровню) при заданной нагрузке: 1 – реактор-смеситель; 2, 3 – датчики расхода; 4 – регулятор соотношения расходов; 5 – регулятор расхода; 6 – регулятор уровня; 7, 8 – регулирующие клапаны; 9 – датчик уровня

8.4 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.

8.5 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.

Понятия «приток» и «сток» рассматриваются как обобщенные понятия. Уровень жидкости в аппарате можно регулировать, применяя различные схемы регулирования.

Первый вариант (рис. 29,а) – регулирование «на притоке», изменяя расход жидкости на входе в аппарат.

Второй вариант (рис. 29,б) – регулирование «на стоке», изменяя расход жидкости на выходе из аппарата.

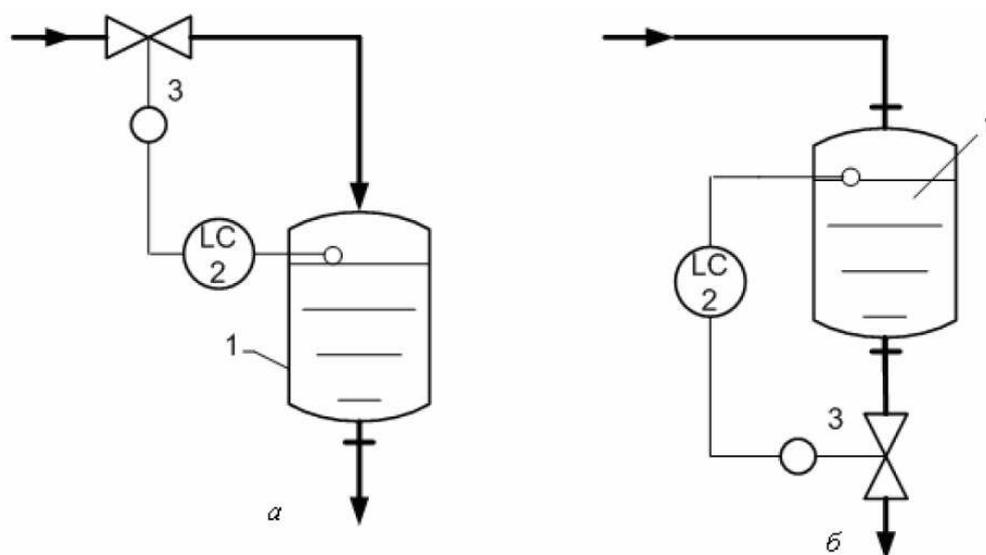


Рисунок 29 – Схема непрерывного регулирования уровня: а – «на притоке»; б – на «стоке»: 1 – аппарат; 2 – регулятор уровня; 3 – регулирующий клапан

Третий вариант (рис. 30) – регулирование соотношения расходов жидкости на входе в аппарат и выходе из него с коррекцией по третьему технологическому параметру – уровню (каскадная система регулирования).

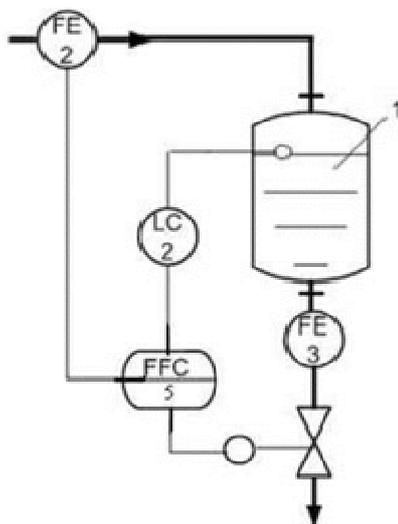


Рисунок 30 - Схема непрерывного регулирования уровня каскадной САР:
 1 – аппарат; 2, 3 – датчики расхода; 4 – регулятор уровня (ведущий); 5 – регулятор соотношения двух расходов (ведомый); 6 – регулирующий клапан

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. 31).

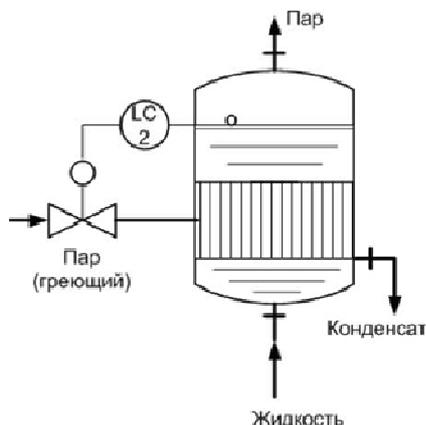


Рисунок 31 - Схема непрерывного регулирования в испарителе:
 1 – испаритель; 2 – регулятор уровня; 3 – регулирующий клапан

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.

8.6 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.

8.7 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.

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. 32) 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.

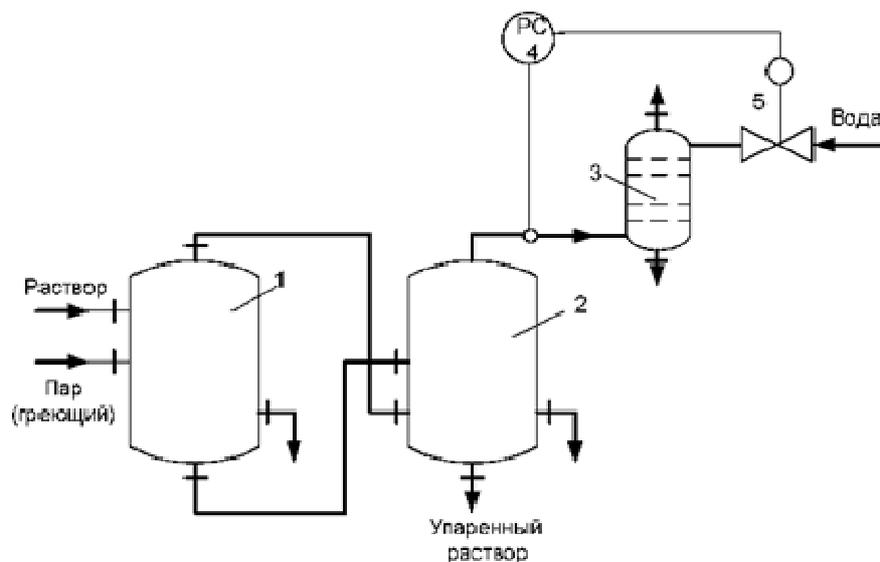


Рисунок 32 – Регулирование вакуума в выпарной установке: 1, 2 – выпарные аппараты; 3 – тарельчатый конденсатор; 4 – регулятор вакуума; 5 – регулирующий клапан

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. 33).

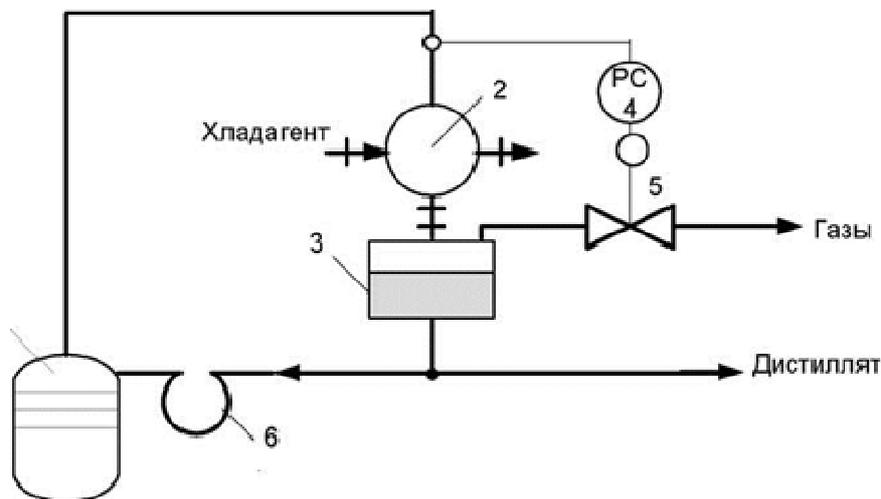


Рисунок 33 – Регулирование давления в ректификационной колонне при наличии неконденсирующихся примесей: 1 – колонна; 2 – дефлегматор; 3 – сборник флегмы; 4 – регулятор давления; 5 – регулирующий клапан; 6 – гидрозатвор

8.8 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.

Как уменьшить инерционность промышленных датчиков температуры? 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, припаивая рабочий спай термоэлектрических преобразователей (термопар) к защитному чехлу;
- правильный выбор типа первичного измерительного преобразователя; например, при наборе первичных измерительных преобразователей: термометр сопротивления, термопара и манометрический термометр, необходимо учитывать, что наименьшей инерционностью обладает термопара (в малоинерционном исполнении), наибольшая инерционность присуща манометрическому термометру.

8.9 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:

$$pH_n < pH < pH_v,$$

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. 34) показывает, сколь трудной является задача поддержания заданного значения рН.

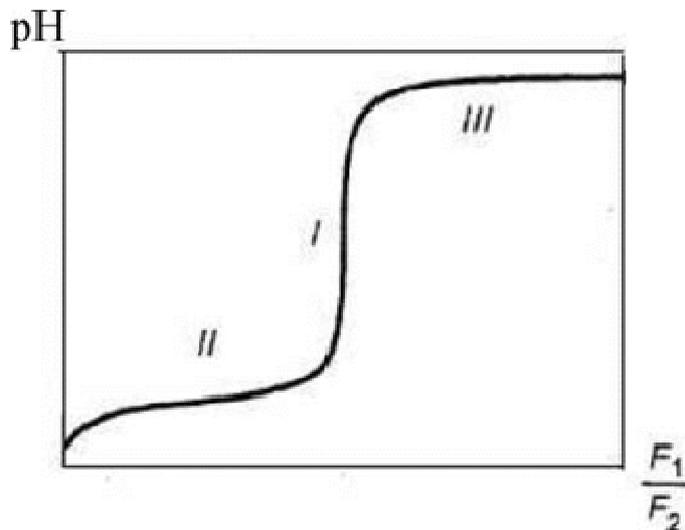


Рисунок 34 – Пример кривой титрования

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 сильноокислым или сильнощелочным средам и имеют небольшие коэффициенты усиления. Если режим работы объекта соответствует первому участку статической характеристики, то допустимый коэффициент усиления регулятора очень мал и не обеспечивает нужного качества регулирования при работе в режимах, соответствующих второму и третьему участкам статической характеристики. Естественно, при использовании простой системы регулирования возможны значительные отклонения текущего значения pH от заданного значения.

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

системы регулирования (измерительных и исполнительных устройств, регулятора) и запаздывание в импульсных линиях.

Необходимо также учитывать, что системы регулирования величины 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 рНзд 7, когда величина рН входящего потока изменяется между 0 и 7. Более того, неопределенность в ходе штока регуливающего клапана преобразуется напрямую в ошибку регулирования

pH, так что гистерезис всего лишь в 0,00005 % может вызвать отклонение величины pH на 1 при pHзд 7.

Как же все-таки можно регулировать процесс при таких условиях? Могут быть предложены различные варианты повышения устойчивости и качества регулирования pH.

1. Увеличение объема реактора, где происходит нейтрализация, увеличивает его постоянную времени и уменьшает отношение $T_{зап}/T$. Это повышает устойчивость системы регулирования, позволяет устанавливать более высокие значения коэффициента усиления регулятора, что приводит к уменьшению максимальной ошибки регулирования $E(\max)$. Кроме того, реактор большого объема сам по себе лучше сглаживает колебания pH, 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. 35): большую часть реагента подают в первый реактор (форнейтрализатор), где, в основном, и происходит реакция нейтрализации («грубая»). Во второй реактор подают оставшуюся (малую) часть реагента, необходимую для окончательного завершения реакции нейтрализации («точной»), т.е. до достижения pH0 (точки нейтрализации на кривой титрования). Такое распределение потока реагента по реакторам связано с особенностями кривой титрования (см. рис. 35), которые были обсуждены выше.

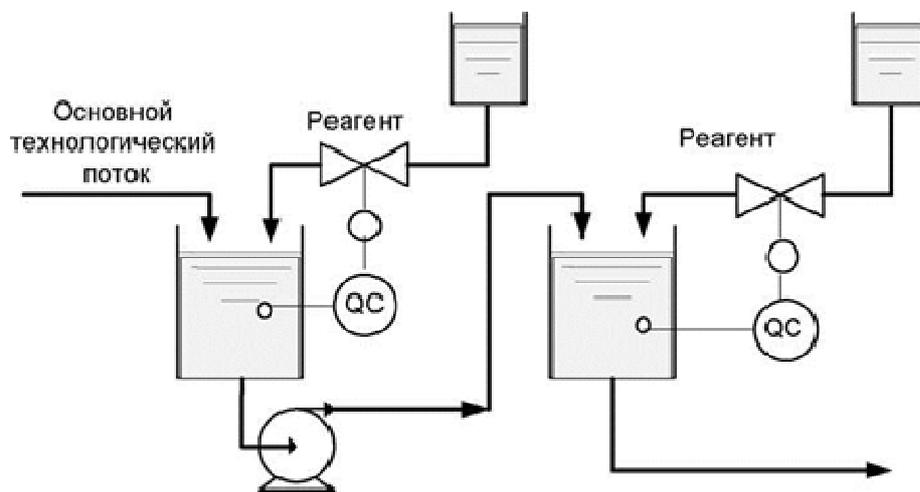


Рисунок 35 – Схема регулирования pH с использованием двух реакторов

3. Регулирование pH с использованием двух регулирующих клапанов разного размера (рис. 36) позволяет «компенсировать» нелинейность статической характеристики объекта в большом диапазоне изменения расхода реагента F_1 .

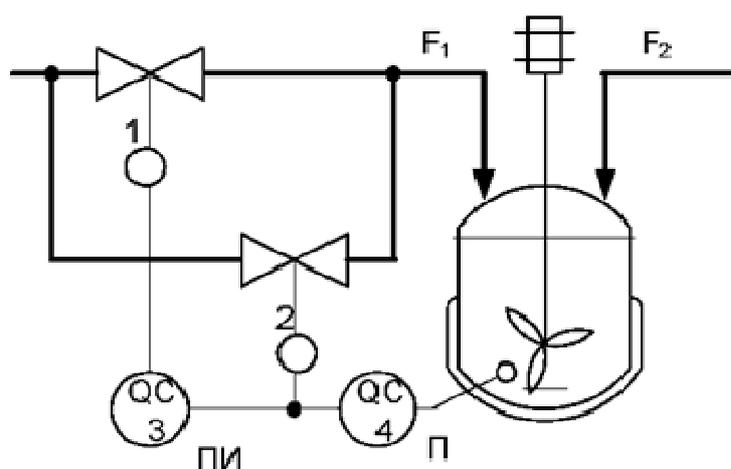


Рисунок 36 – Схема регулирования pH с двумя регулируемыми клапанами

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 рисунке 36), управляющая подачей другого реагента в тот же самый реактор.

8.10 Регулирование параметров состава и качества

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

9 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.

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.37, 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.

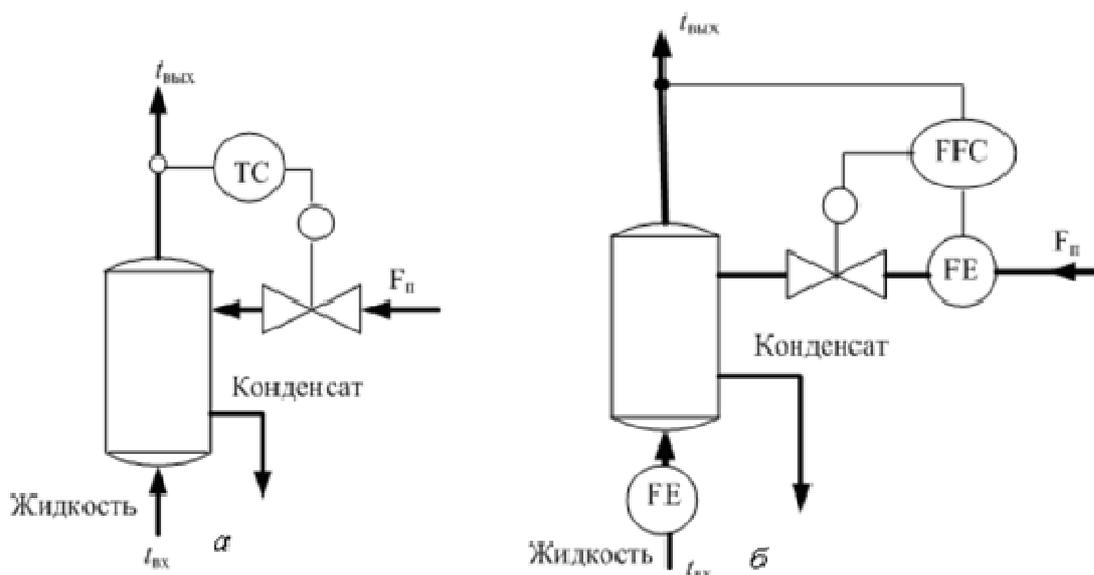


Рисунок 37 – САР температуры жидкости: а – в одноконтурной замкнутой системе в кожухотрубном парожидкостном теплообменнике; б – каскадная система в кожухотрубном парожидкостном теплообменнике (с регулятором соотношения расходов во внутреннем контуре)

Второй вариант. Если имеют место возмущающие воздействия по каналам расхода F 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. 37,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 $T_{\text{вых}}$ (рис. 38, а). Температура (или давление) в межтрубном пространстве теплообменника – промежуточная координата, значительно быстрее реагирующая на указанные возмущающие воздействия, чем температура жидкости на выходе теплообменника $1_{\text{вых}}$.

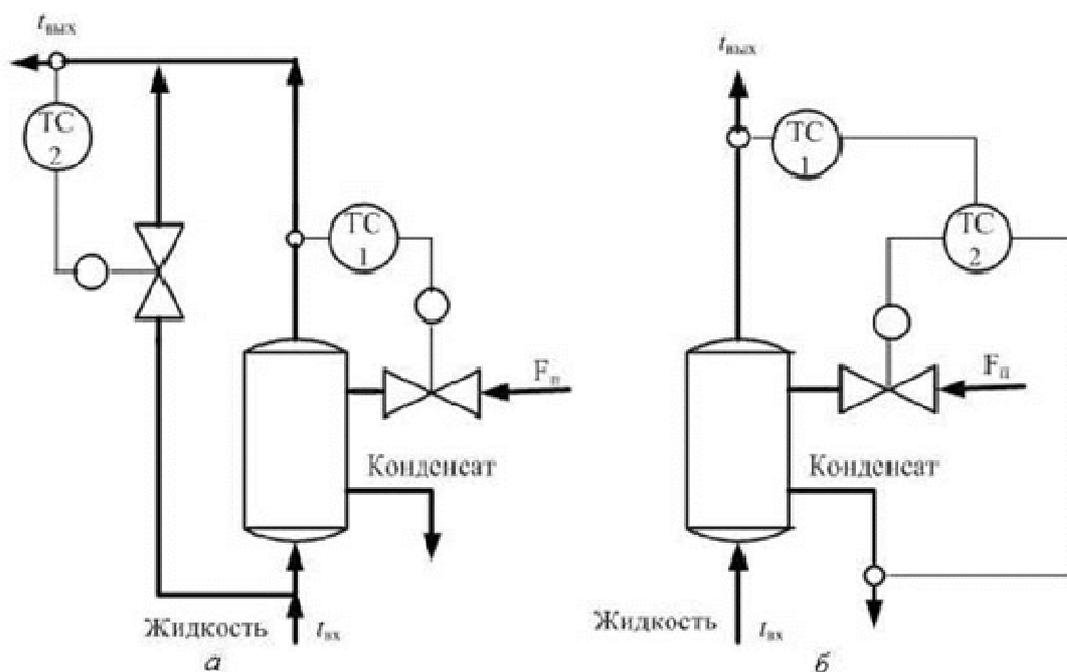


Рисунок 38 – САР температуры жидкости: а – каскадная САР в кожухотрубном парожидкостном теплообменнике (с регулятором температуры конденсата во внутреннем контуре): 1 – регулятор температуры жидкости на выходе из теплообменника; 2 – регулятор температуры конденсата в кожухе б – регулирование жидкости 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 F2) минует теплообменник, оставаясь холодной. За теплообменником нагретый и холодный потоки смешиваются для получения жидкости заданной температуры. Таким образом, реализуется схема с байпасированием (рис. 38). В этом случае регулятор температуры 1 стабилизирует температуру после теплообменника (вспомогательная функция). Регулятор температуры 2 регулирует температуру жидкости после смешения T_{вых} (основная задача). При этом качество регулирования T_{вых} определяется динамикой основного контура, в котором объект представляет собой безынерционное звено, поскольку постоянная времени процесса смешения нагретой и холодной жидкостей практически равна нулю.

10 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, характеризуемые применением дополнительных сигналов из промежуточных точек массообменных аппаратов.

Рассмотрим особенности регулирования массообменных процессов на примере регулирования ректификационной установки.

10.1 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. 39), предназначенной для разделения бинарной смеси, содержащей легколетучий компонент 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.

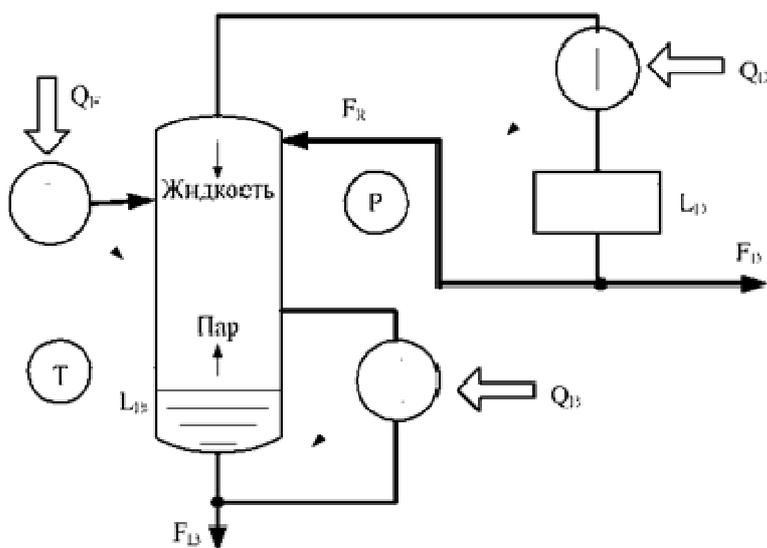


Рисунок 39 – Входные и выходные параметры ректификационной колонны

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 рисунке 40: изменением разности температур в теплообменнике или изменением поверхности теплообмена. В данном случае регулировать тепловой баланс колонны можно, изменяя поверхность теплообмена в дефлегматоре.

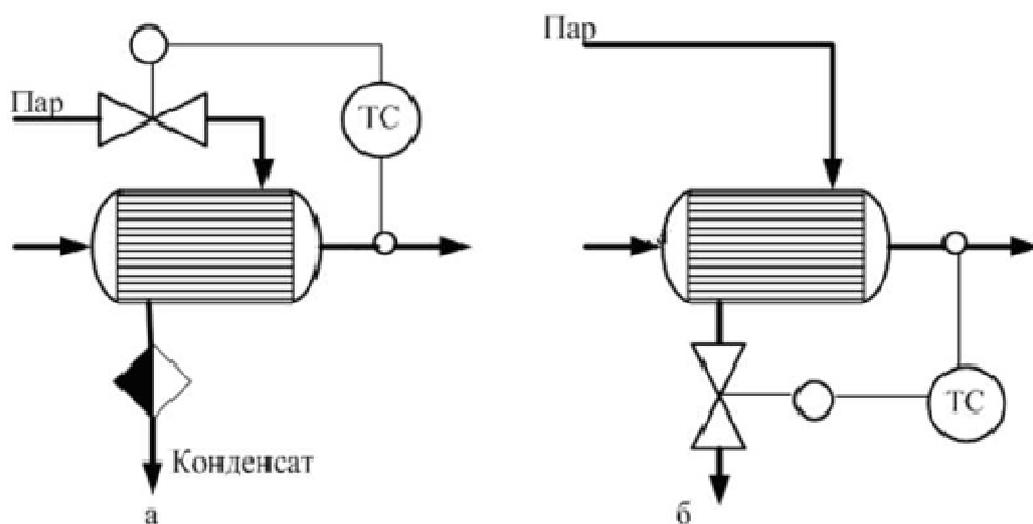


Рисунок 40 – Схемы регулирования теплового баланса ректификационной установки:
 а – изменение разности температур путем изменения давления пара в паровом пространстве теплообменника; б – изменение поверхности теплопередачи за счет изменения уровня конденсата в теплообменнике

11 УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

11.1 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.

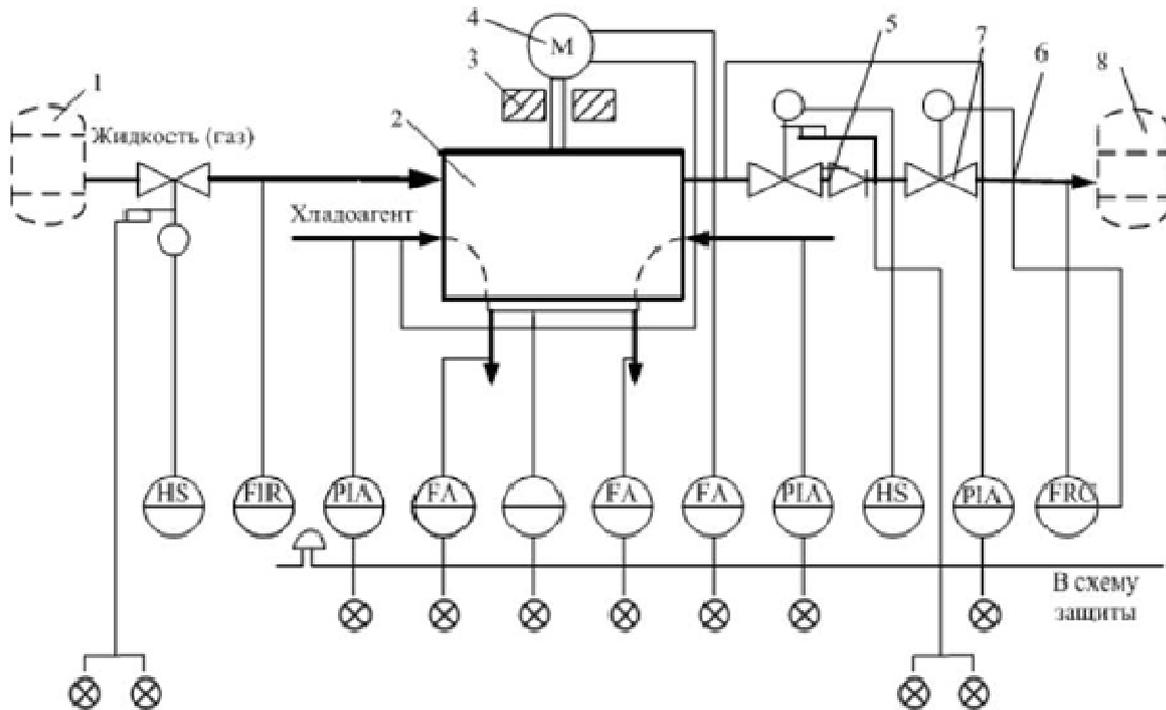


Рисунок 41 – Схема автоматизации процесса перемещения потока:
1, 8 – технологические аппараты; 2 – насос (компрессор); 3 – подшипники; 4 – электродвигатель; 5 – обратный клапан; 6 – трубопровод; 7 – дроссельный орган

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 41). 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 скомпенсируют), 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 расход 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 41 не показан). Рассмотрим ряд наиболее распространенных частных случаев перемещения потоков и особенности схем их автоматизации.

11. 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 42).

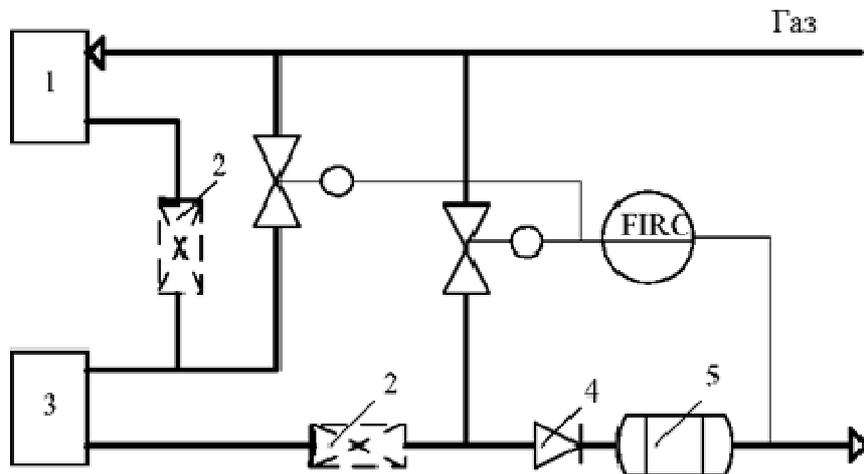


Рисунок 42 – Схема регулирования работы двухступенчатого поршневого компрессора переводом его на холостой ход: 1 – первая ступень компрессора; 2 – холодильник; 3 – вторая ступень компрессора; 4 – обратный клапан; 5 – ресивер

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.

11. 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 43.

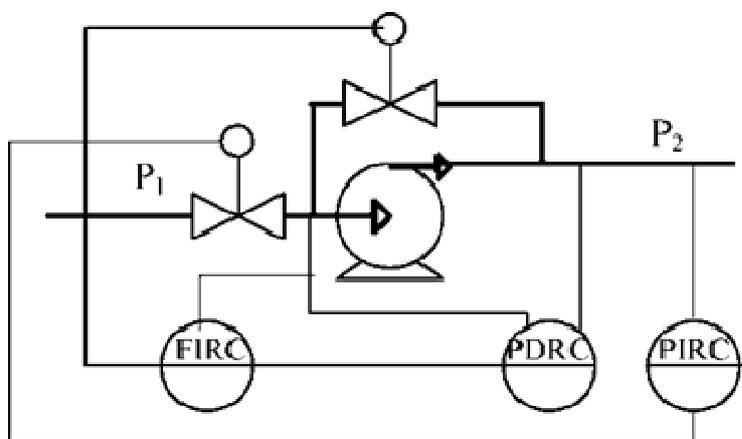


Рисунок 43 – Схема регулирования центробежного компрессора путем перепуска газа по байпасной линии

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 предомпажном режиме является выпуск части сжатого газа в атмосферу. Такое регулирование позволяет поддерживать расход газа выше критического независимо от потребления.

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

11. 4 Смешение жидкостей

Основные принципы автоматизации процесса смешения покажем на примере емкости, в которой смешиваются две жидкости А и Б (см. рис.44)

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 .

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.

11.5 Отстаивание жидких систем

Основные принципы управления при автоматизации процессов отстаивания рассмотрим на примере отстойника со скребковым устройством (рис. 45).

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.

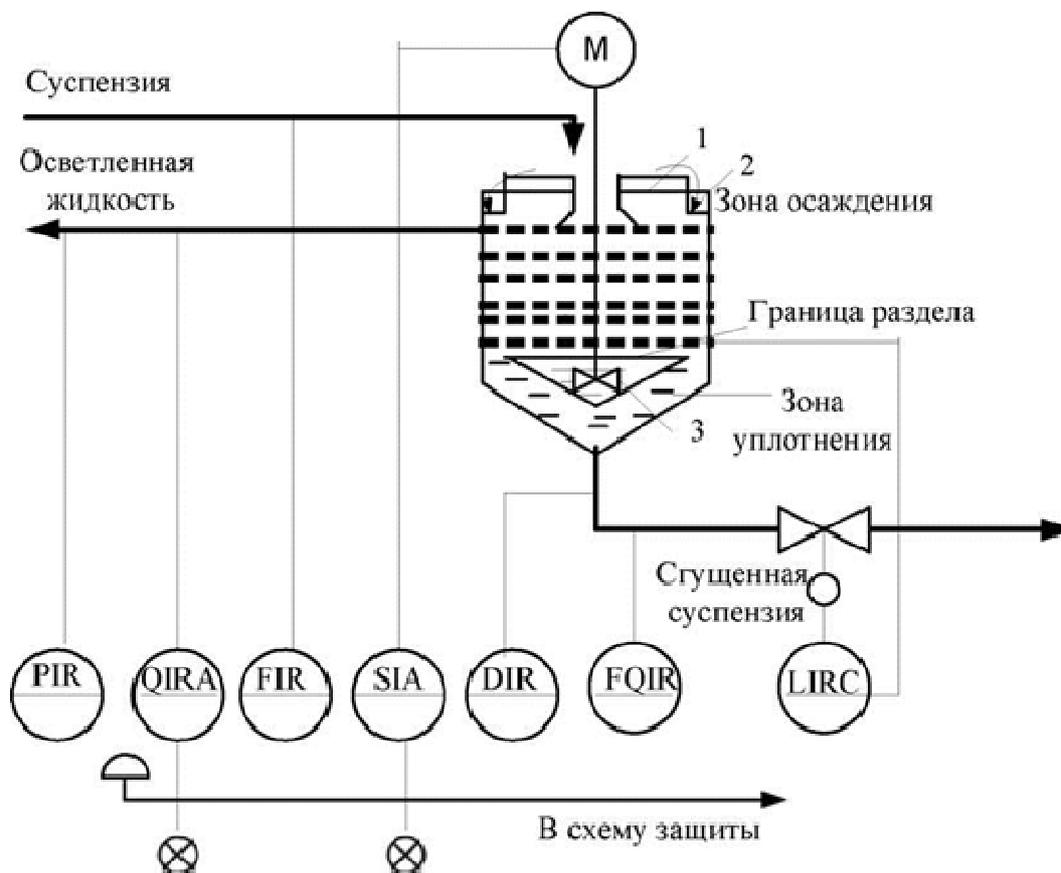


Рисунок 45 – Схема автоматизации процесса отстаивания:
 1 – отстойник; 2 – переливное устройство; 3 – мешалка

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 составляющей и вертикальной составляющей скорости, а положение частицы определяется отношением этих скоростей.

Скорость является переменной величиной, зависящей от изменяющихся во времени параметров: диаметра частиц, концентрации твердой фазы, плотностей фаз, динамической вязкости суспензии. Стабилизировать скорость невозможно, так как все перечисленные параметры определяются предшествующим процессом. Для того чтобы при изменяющейся скорости осаждения частицы успевали оседать в бункер, подбирают такие значения расхода суспензии и диаметра отстойника, которые обеспечивают нужное соответствие скоростей. Необходимость в непосредственном регулировании показателя эффективности процесса при этом отпадает.

Уровень жидкости в отстойнике поддерживается постоянным за счет свободного перелива осветленной жидкости.

В отстойнике необходимо поддерживать на постоянной высоте границу раздела зон осаждения и уплотнения. Эта высота зависит от расхода сгущенной суспензии, поэтому регулирующее воздействие вносится изменением степени открытия специальных клапанов (для высоковязких жидкостей) на линии сгущенной суспензии.

В качестве контролируемых величин принимают расходы исходной и сгущенной суспензий, осветленной жидкости, а также мутность осветленной жидкости, которая является косвенным параметром, характеризующим показатель эффективности и плотность сгущенной суспензии. Контролируется, кроме того, уровень границы раздела зон с помощью гидростатического приемника с непрерывной промывкой. Работа механической части отстойников контролируется путем непосредственного измерения момента на валу двигателя. Можно проводить контроль и по косвенному параметру мощности, потребляемой приводом электродвигателя. Перегрузка электродвигателя сигнализируется. В случае повышенных перегрузок дается сигнал в схему защиты. Сигнализации подлежит также повышение мутности осветленной жидкости.

11.6 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 46).

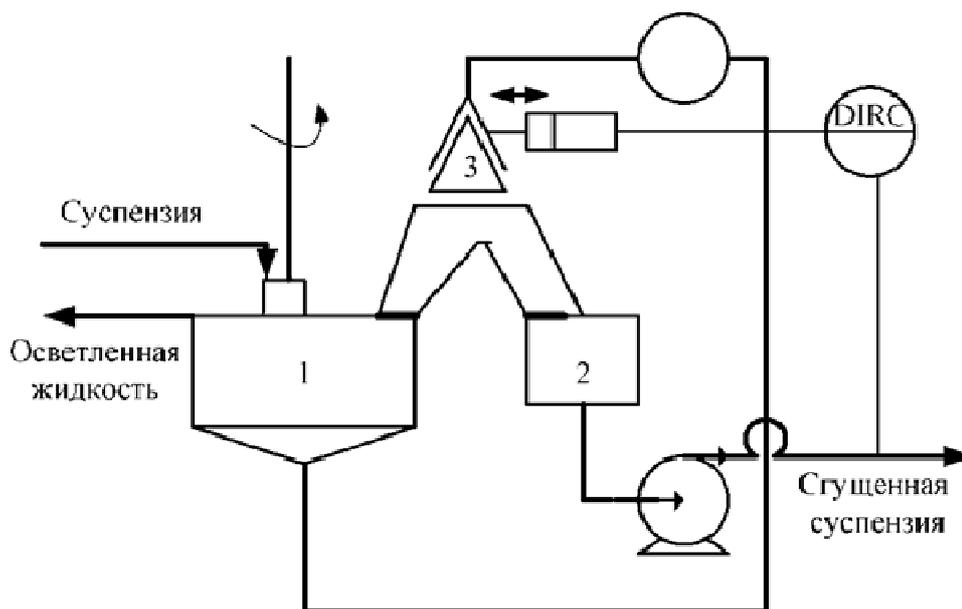


Рисунок 46 – Схема регулирования плотности сгущенной суспензии с рециркуляцией: 1 – отстойник; 2 – промежуточная емкость; 3 – регулятор перераспределения расходов

11.7 Центрифугирование жидких систем

В качестве объекта управления при автоматизации процесса центрифугирования рассмотрим центрифугу непрерывного действия (рис. 47).

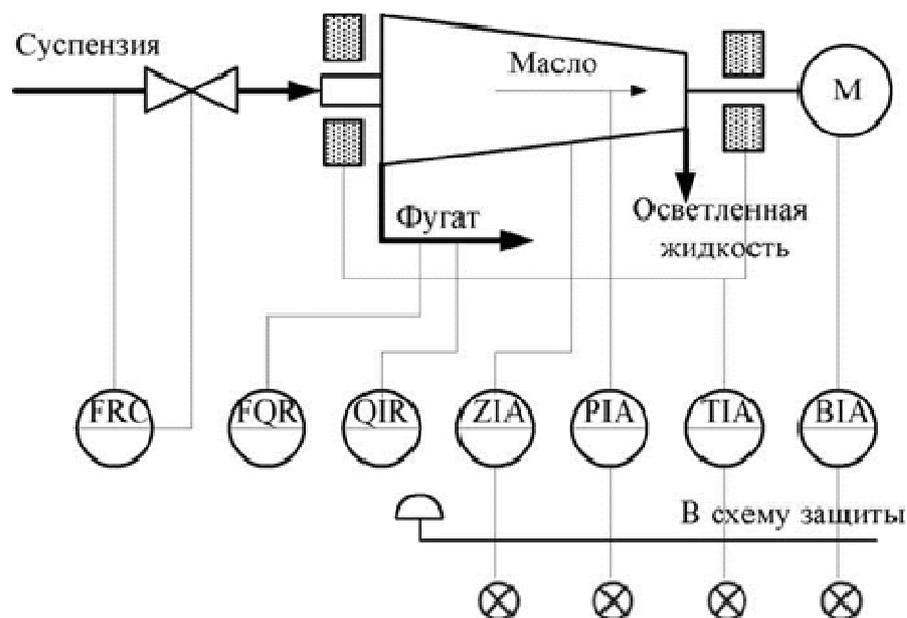


Рисунок 47 – Схема автоматизации процесса центрифугирования жидких систем: В – момент на валу электродвигателя; Z – уровень вибрации

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. Изменением этого параметра в объект можно вносить сильные управляющие воздействия. Однако во многих современных центрифугах в качестве привода используют, как правило, асинхронные электродвигатели с постоянным числом оборотов вала. К тому же и в настоящее время отсутствуют высококачественные датчики влажности конечного продукта. В связи с этим выбирают электродвигатель с таким числом оборотов n , при котором даже при значительных возмущающих воздействиях центрифуга обеспечивала бы заданную влажность осадка.

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

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системы управления химико-технологическими процессами : учебник для вузов / А. В. Беспалов, Н. И. Харитонов. — Москва: Академкнига, 2007. — 690 с.: ил.
2. Автоматизированные системы управления в промышленности : учеб. пособие / М. А. Трушников [и др.] ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. - Волгоград : ВолгГТУ, 2010. - 97 с.
3. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие / А. С. Клюев, Б. В. Глазов, А. Х. Дубровский, А. А. Клюев; Под ред. А. С. Клюева. —2-е издание, переработанное и дополненное — Москва: Энергоатомиздат, 1990. — 464 с.
4. Автоматическое управление в химической промышленности: Учебник для ВУЗов./Под ред. Е.Г. Дудникова. - М.: Химия, 1987. 168 с., ил.
5. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП. Методическое пособие. СПб, Изд. ДЕАН, 2009 – 944 с.
6. Шишов О.В. Современные технологии промышленной автоматизации: учебник / Саранск : Изд-во Мордовского. ун-та, 2007. 250 с.
7. Втюрин В.А., Илющенко В.В. Системы управления химико-технологическими процессами: Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов специальности 240406. – СПб: СПбГЛТУ. 2010. – 179 с.
8. Туманов М.П. Технические средства автоматизации и управления: цифровые средства обработки информации и программное обеспечение, под ред. А.Ф. Каперко: Учебное пособие. – МГИЭМ. М., 2005, 71 с.
9. Цифровые системы автоматизации и управления / Густав Олссон, Джангуидо Пиани. - 3. изд., перераб. и доп. - СПб. : Нев. Диалект, 2001. - 556 с.
10. Интегрированные системы проектирования и управления автоматизированных и автоматических производств [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А. А. Силаев, Е.Ю. Силаева, М.А. Трушников; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. - Волжский : ВПИ (филиал) ВолгГТУ, 2018. - 75 с.

Электронное учебное издание

Максим Алексеевич Трушников
Артем Вячеславович Савчиц
Алексей Александрович Силаев

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И
ПРОИЗВОДСТВ**

Учебное пособие

Электронное издание сетевого распространения

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2020 г. Поз. № 23.

Подписано к использованию 04.06.2020. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 5,94.

Волгоградский государственный технический университет.
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а