

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(Технический университет)

Кафедра автоматизации процессов химической промышленности

О.А. Ремизова, И.В. Рудакова

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

**Учебное пособие для студентов заочной
формы обучения**

Санкт-Петербург

2008

Ремизова, О.А., Рудакова, И.В. Системы управления химико-технологическими процессами [Текст]: учебное пособие / О.А. Ремизова, И.В. Рудакова. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2008. - 176 с.

Учебное пособие содержит информацию об основных понятиях, законах и алгоритмах, используемых при разработке автоматизированных систем управления технологическими процессами. Показаны основные этапы синтеза автоматических систем регулирования. Дана классификация и описание принципов действия, назначения технических средств автоматизации.

В учебное пособие включены учебная программа курса «Системы управления химико-технологическими процессами», вопросы и задания для контрольных работ и примеры их решения.

Пособие предназначено для студентов заочной формы обучения, изучающих дисциплину «Системы управления химико-технологическими процессами» на 4-м курсе.

Ил. 4, табл. 7, библиогр. 3 назв.

Рецензент:

- 1 В.В. Сотников, д-р техн. наук, профессор кафедры систем автоматизированного проектирования и управления СПбГТИ(ТУ)

Утверждено на заседании учебно-методической комиссии факультета информатики и управления

Рекомендовано к изданию РИСо СПбГТИ(ТУ)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОНЯТИЯ	6
1 ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ	9
1.1 Автоматизированная система управления предприятием	9
1.2 Автоматизированная система управления производством	10
1.3 Автоматизированная система управления технологическим процессом	11
1.3.1 Функции АСУТП	11
1.3.2 Классификация АСУТП	12
1.3.3 Компоненты АСУТП	14
1.3.4 Локальные системы автоматизации технологических процессов	16
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ	20
2.1 Динамическое звено. Передаточная функция	20
2.2 Временные динамические характеристики звеньев	21
2.3 Типовые динамические звенья	23
2.4 Структурные схемы и их преобразование	24
2.5 Основные понятия о устойчивости АСР	26
2.6 Оценки качества регулирования	29
3 СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ	33
3.1 Нагрузка. Емкость	33
3.2 Самовыравнивание	33
3.3 Запоздывание	37
3.4 Методы определения свойств объекта	38
4 ТИПОВЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ	41
4.1 Позиционный регулятор	41
4.2 Пропорциональный регулятор	43
4.3 Интегральный регулятор	44
4.4 Пропорционально-интегральный регулятор	44
4.5 Дифференциальный регулятор	45
5 СИНТЕЗ АСР	47
5.1 Метод синтеза АСР	47
5.2 Одноконтурная АСР	47
5.3 Многоконтурные системы. Каскадная АСР	50
5.4 Многоконтурные системы. Комбинированная АСР	51
5.5 Системы регулирования уровня	53
5.6 Системы регулирования расхода	55
5.7 Системы регулирования температуры	57
5.8 Системы регулирования давления	59
6 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ	61
6.1 Выбор регулируемых параметров и каналов внесения регулирующих воздействий	61
6.2 Выбор контролируемых параметров	61
6.3 Выбор сигнализируемых параметров	62
6.4 Выбор параметров и способов защиты (блокировки)	62
6.5 Измерительная цепь	63
6.6 Иерархическая структура технических средств и принципы построения ГСП	64
6.7 Метрологические характеристики измерительных устройств	65
7 ИЗМЕРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ	67
7.1 Измерение температуры	67
7.1.1 Термометры расширения	68
7.1.2 Манометрические термометры	69
7.1.3 Термоэлектрический термометр	70
7.1.4 Термопреобразователи сопротивления	72
7.1.5 Пирометры излучения	73
7.2 Средства измерения давления	74
7.3 Измерение уровня	77
7.3.1 Поплавковый уровнемер	78
7.3.2 Буйковый уровнемер	78
7.3.3 Гидростатический уровнемер	79
7.3.4 Емкостной уровнемер	79

7.3.5 Акустический и ультразвуковой уровнемер	80
7.3.6 Радиоизотопный уровнемер	80
7.4 Измерение расхода и количества	81
7.4.1 Расходомеры переменного перепада давлений	82
7.4.2 Расходомеры постоянного перепада давлений	83
7.4.3 Расходомер переменного уровня	85
7.4.4 Электромагнитный расходомер	85
7.4.5 Тепловой расходомер	86
7.4.6 Ультразвуковой расходомер	87
8 НОРМИРУЮЩИЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ	88
8.1 Элементарные измерительные преобразователи	88
8.1.1 Механические элементарные преобразователи	88
8.1.2 Пневматические элементарные преобразователи	88
8.1.3 Электрические элементарные преобразователи	90
8.2 Промежуточные (вторичные, нормирующие) преобразователи	92
8.2 Измерительные приборы	95
9 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ. 99	99
9.1 Исполнительные механизмы	99
9.2 Регулирующие органы	102
10 АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ	103
10.1 Пневматические регуляторы	103
10.2 Гидравлические регуляторы	106
10.3 Электрические регуляторы и микропроцессорные контроллеры	106
11 ПОЯСНЕНИЯ К ГОСТ 21.404-85 ПО РАЗРАБОТКЕ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ	113
11.1 Основные положения разработки схемы автоматизации (СА)	113
11.2 Оформление чертежа ФСА	115
11.2.1 Правила изображения технологического оборудования и коммуникаций на технологических схемах	115
11.2.2 Правила изображения технических средств автоматизации	117
11.2.3 Методика оформления и графического выполнения ФСА	123
11.3 Методика заполнения заказной спецификации на приборы и средства автоматизации	125
11.4 Состав пояснительной записки	127
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА	131
1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ	133
2 ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ	133
3 ВИДЫ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ И ИХ ОБЪЕМ	133
4 ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ	134
5 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	136
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	137
ТЕМЫ И ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ	139
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТЫ №1	139
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТЫ №2	147
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТЫ №3.	148
ВАРИАНТ № 1	150
ВАРИАНТ № 2	152
ВАРИАНТ № 3	154
ВАРИАНТ № 4	156
ВАРИАНТ № 5	158
ВАРИАНТ № 6	160
ВАРИАНТ № 7	162
ВАРИАНТ № 8	164
ВАРИАНТ № 9	166
ВАРИАНТ № 10	168
ВАРИАНТ № 11	170
ВАРИАНТ № 12	172

ЗАОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

Актуальность введения систем автоматизации и управления объясняется необходимостью интенсификации процессов с одной стороны и максимального улучшения экологической обстановки, сокращения загрязнения окружающей среды промышленными отходами, вредными выбросами с другой. Предъявляются все возрастающие требования к качеству управления технологическими процессами, повышению надежности информации, прогнозированию аварийных ситуаций, диагностике состояния процесса и оборудования.

Управление предприятием на сегодняшний момент подразумевает координацию работы разных процессов, а именно:

- *технологическими* процесса (ТП), т.е. процессами переработки сырья и полуфабрикатов с целью изменения и физических и химических свойств для получения готовой продукции;
- *производственными* процессами, т.е. процессами переработки различных материалов с целью создания инженерных сооружений;
- *энергетическими* процессами, т.е. процессами целью которых является выработка, преобразование и передача различных видов энергии;
- *транспортными* процессами, т.е. процессами результатом которых является перемещение в пространстве грузов и пассажиров;
- процессами *обработки и передачи информации*, т.е. процессами, связанными с обработкой множества физических факторов, сочетание которых служат условными символами, соответствующими определенным понятиям и идеям.

Для того, чтобы эти процессы протекали наилучшим образом, обеспечивая правильное функционирование всего производства, ими необходимо управлять. Большой опыт, накопленный в управлении, показывает, что несмотря на существенное различие многообразных процессов техника управления ими основывается на ряде правил и законов, общих для многих из этих процессов.

Классификация ТП может быть различной, например, по целям, по физической природе, по конструктивному оформлению и т.д. В основу альбомов типовых схем автоматизации положена классификация процессов по физической природе, которая приведена в таблице 1.

Таблица 1 – классификация технологических процессов по физической природе

По физической природе	
Класс	Тип
<u>Гидромеханические</u>	Перемещение жидкостей и газов, Разделение неоднородных систем, Перемешивание, Очистка газов
<u>Тепловые</u>	Нагревание, Охлаждение, Выпаривание, Кристаллизация, Искусственное охлаждение
<u>Массообменные</u>	Ректификация, Абсорбция, Адсорбция, Сушка, Экстракция
<u>Механические</u>	Измельчение, Дозирование, Сортировка, Перемещение.
<u>Химические</u>	Окисление, Восстановление, Синтез, Разложение солей, Образование гидроксидов, Нейтрализация, Дегидратация, Электролиз

Протекание ТП характеризуется совокупностью физических величин – *показателей процесса* (технологическими параметрами). В химической технологии такими параметрами являются расход материальных и энергетических потоков, химический состав, температура, давление, уровень вещества.

Совокупность технологических параметров, полностью характеризующих данный ТП, называется *технологическим режимом*.

Выполнение требований, предъявляемых к ТП (получение продукта заданного качества и в заданном количестве с минимальным расходом сырья и энергии), возможно лишь при целенаправленном воздействии на его технологический режим.

Совокупность операций, необходимых для пуска, остановки процесса, а также для поддержания или изменения в требуемом направлении величин, характеризующих процесс, называется управлением. Частным случаем управления является регулирование – операция управления, которая относится к поддержанию или изменению показателей процесса.

Например, необходимо заполнить бак водой до заданного уровня с получением воды заданной температуры, изменяя расход горячей и холодной воды.

Вариант 1. Задание достигается чередованием шагов: сначала наполнить бак до половины холодной водой, затем добавить горячей до получения заданной температур, затем опять добавить холодной и т.д. Таким образом, осуществляется чередование работы систем регулирования.

Вариант 2. Операции выполняются параллельно: одновременно включаются и горячая и холодная вода, и регулируется изменение температуры путем изменения подачи горячей воды и уровня – посредством воздействия на подачу холодной воды. Таким образом, осуществляется процесс управления с координацией работы нескольких систем регулирования параллельно.

В основном непосредственно с процессом связано регулирование, а управление появляется уже на более высокой иерархии управления предприятием.

ТП вместе с технологическим оборудованием (промышленной установкой, в которой регулируются технологические параметры) называется объектом управления.

Технологические параметры, подлежащие в ходе ТП регулированию, называются регулируемыми параметрами.

Наиболее часто встречающийся вариант регулирования – поддержание регулируемого параметра на заданном значении. Устройство, которое сравнивает текущее значение регулируемой величины с требуемым значением и в случае появления сигнала рассогласования между ними вырабатывает сигнал, который по определенному закону воздействует на ТП называется регулятором.

Чтобы можно было осуществить регулирование, объект должен иметь регулирующий орган (например, регулирующий клапан) изменяя положение или состояние которого, можно изменить показатели процесса. Технологические параметры, изменяемые посредством регулирующих органов, называются регулирующими параметрами.

Объект регулирования (управления) и устройства, необходимые для осуществления процесса управления, называются системой регулирования (управления).

Операции управления могут осуществляться:

1. непосредственно человеком – ручное управление (ручные вентили);
2. из операторского помещения – дистанционное управление (пульт управления);
3. автоматическими регуляторами – автоматическое управление.

Различают автоматическую и автоматизированную систему управления.

- Автоматизированная СУ – разновидность СУ, включающая в себя технические средства, которые обеспечивают сбор, обработку и вывод информации о процессе, а также частичное принятие решений по управлению процессом и их реализацию. Человек (оператор) в такой системе выполняет функцию управления и обслуживания. Используют такую систему если часть первичной информации не может быть получена и введена в систему автоматически, если автоматическое управление с помощью технических средств невозможно и если автоматическое управление требует неоправданно больших затрат.

- Автоматическая СУ – разновидность СУ, включающая средства, которые обеспечивают автоматический сбор и обработку информации, принятие решений и реализацию принятого решения по управлению процессом. Человек в таких системах выполняет функцию контроля и обслуживания систем. Используют такую систему при управлении непрерывными технологическими процессами. Однако при внедрении таких систем на первом этапе они эксплуатируются как автоматизированные СУ.

ЗАОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

1 ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Иерархический принцип управления заключается в многоступенчатой организации процесса управления, где каждая ступень управления имеет свои объекты и цели управления.

Обычно целью управления является достижение заданных технико-экономических показателей процесса. Технологический режим, при котором достигаются заданные показатели, называется оптимальным. Технологический режим изменяется под действием случайных возмущений и поэтому может существенно отклоняться от оптимального.

Таким образом, управление технологическим процессом можно организовать в виде 2-х ступеней. На верхней ступени цель управления заключается в отыскании оптимального режима работы. Объектом управления при этом является весь технологический процесс вместе с оборудованием.

Тогда цель управления на нижней ступени – это обеспечение минимальных отклонений технологических параметров от их оптимальных значений. Эта цель достигается относительно легко и заключается в стабилизации технологических параметров.

При управлении всем предприятием возникают такие цели и задачи, которые нельзя отнести к отдельным технологическим процессам. Это задачи оперативного управления цехами, организации производства, планирование запасов, сырья, готовой продукции и т.д. Поэтому процесс управления предприятием должен включать еще один уровень, где решаются указанные задачи (высший уровень иерархии).

Таким образом, при управлении химическим предприятием применяется 2-х и 3-х уровневая иерархии управления. 3-х уровневая иерархия, представленная в таблице 1.2, применяется тогда, когда производственная структура предприятия включает в себя несколько производств.

Таблица 1.2 – Структурная схема управления предприятием с использованием 3-х уровневой иерархии управления

Уровень	Описание			
1	Автоматизированная система управления предприятием (АСУП) Подсистема оперативного управления предприятием			
2	Автоматизированная система управления производством (АСУПр 1) Подсистема оперативного управления производством 1	(АСУПр n) Подсистема оперативного управления производством n		
3	Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП 1-1)	АСУТП 1-2	АСУТП n-1	АСУТП n-2
	Технологический объект управления ТОУ1-1	ТОУ1-2	ТОУn-1	ТОУn-2

При 2-х уровневой иерархии на верхнем уровне в составе АСУП имеется подсистема оперативного управления производством, которая формирует показатели оперативного управления системой нижнего уровня.

1.1 Автоматизированная система управления предприятием

АСУП – человеко-машинная система, объединяющая административно-управленческий персонал предприятия, вычислительную и организационную технику.

Объектом управления здесь является все предприятие:

- технологические производства вместе с оборудованием и АСУ предыдущих уровней;
- вспомогательные службы (снабжение, сбыт, ремонтные, конструкторские и т.п.), обеспечивающие основное производство;
- транспортное хозяйство;
- цеха контрольно-измерительных приборов, энергоснабжение, теплоснабжение;
- центральные заводские лаборатории.

Все вместе – это единая производственная система, которая имеет входы и выходы, как объект управления. Входы – сырье, материалы, энергетические ресурсы. Выходы – конечный продукт.

Особенности предприятия, как объекта управления:

- число задач управления может составлять до нескольких сотен;
- предприятие все время подвергается внутренним и внешним возмущениям (внутренние возмущения – поломка оборудования или изменение его характеристик, несвоевременная поставка полуфабрикатов, производственные травмы; внешние возмущения – нарушение взаимосвязи с поставщиками сырья и материалов, несвоевременное обеспечение транспортом, нестабильность характеристик сырья внутри одной партии, стихийные бедствия).

Цель деятельности предприятия – максимальный выпуск товарной продукции, требуемого качества при минимальных затратах на ее производство. Для этого осуществляется сбор, передача и обработка производственно-экономической и социальной информации с целью подготовки и принятия управленческих решений.

Задачи, решаемые на данном уровне – планирование производства отдельных цехов и участков, управление транспортом, складами, энергоресурсами, а также показателями оперативного управления системами среднего уровня. В управлении принимает участие административно-управленческий персонал, таким образом, данная система относится к автоматизированным системам. В административно-управленческий персонал входят: руководитель предприятия, ИТР, служащие, заводо- и цехоуправление.

1.2 Автоматизированная система управления производством

АСУПр – средний уровень. Объектом управления на этом уровне являются совокупности технологических процессов вместе с технологическим оборудованием и АСУТП.

Целью управления на данном уровне иерархии является согласование работы отдельных агрегатов между собой с учетом внешних (переход с марки на марку, изменение расходов входных и выходных потоков, подача электроэнергии, оборотной воды, пневмотранспорт и т.п.) и внутренних (поломка оборудования, выход из строя средств автоматизации, изменение расхода готовой продукции) для производства возмущений.

Задачи, решаемые на этом уровне:

- контроль и управление статическими режимами технологических процессов и производств (сбор и обработка информации о технологическом процессе, определение оптимальных режимов);
- оперативное управление (расчет оптимального распределения материальных потоков между цехами и агрегатами, устранение нештатных ситуаций, передача команд на нижний уровень);
- технико-экономическое планирование производства (определение плановых показателей на продолжительном отрезке времени).

Указанные функции управления относительно сложны и не могут быть целиком возложены на автоматические устройства. Поэтому на данном уровне в управлении участвует оператор и система снова подпадает под определение автоматизированных систем.

1.3 Автоматизирования система управления технологическим процессом

Цель управления АСУТП – выработка и реализация управленческих решений на технологический объект управления (ТОУ).

Непосредственно с технологическим процессом связаны локальные системы регулирования, функции которых сводятся к стабилизации отдельных технологических параметров. Этот уровень оснащен автоматическими системами регулирования, имеющими периферийные органы управления, через которые реализуются решения, принимаемые в процессе управления на более высоких иерархических уровнях.

За последние 10-15 лет сформировался новый класс управления – микропроцессорные системы. Основные тенденции в развитии АСУТП.

1. Создание функционально замкнутых анализаторов качества (хроматографов, спектрометров и т.п.).
2. Типизация всех выходных сигналов датчиков.
3. Появление интеллектуальных терминалов, осуществляющих полную обработку сигнала, диагностику и др. функции.
4. Создание операторских станций на базе цветных графических дисплеев с клавиатурой взамен традиционных щитов управления.

Операторские станции осуществляют сбор и обработку информации, управление и связь с верхним уровнем через клавиатуру.

Изменениям подверглись все аппаратные средства, появились многоканальные микропроцессоры, контроллеры. На базе микропроцессоров формируются рабочие станции, т.е. в едином конструктиве персональный компьютер и устройства связи с ТОУ.

Использование средств искусственного интеллекта дает возможность выполнять диагностику не только комплекса технических средств (КТС), но и самого ТОУ. При этом оператору выдаются рекомендации к действиям в той или иной ситуации. Система диагностики сама сопоставляет текущую причину с возможными причинами ее породившими.

1.3.1 Функции АСУТП

Требования, предъявляемые к АСУТП – надежность, точность, быстродействие, экономичность.

Функции, выполняемые АСУТП можно представить в виде таблицы 1.3.

Таблица 1.3 – Функции АСУ ТП

Информационная	Управление	Вспомогательные
➤ сбор, обработка и хранение информации о состоянии ТОУ.	➤ оперативное вычисление критерия качества; ➤ нахождение оптимальных управлений; ➤ стабилизация, программное и логическое управление.	➤ решение общесистемных задач; ➤ подготовка и выдача информации о состоянии ТОУ для верхнего уровня.

Основные задачи оптимизации управления – достижение критерия управления, которые делятся на технологические (минимум дисперсии, максимум значения какого-либо параметра) и экономические (максимум прибыли и производительности).

1.3.2 Классификация АСУТП

1 По режиму работы вычислительного комплекса (ВК) в АСУТП

➤ АСУТП без вычислительного комплекса (ВК)

Для отдельных объектов АСУТП включает системы автоматического регулирования (стабилизации, программного управления, ситуационного управления), системы сигнализации, блокировки и аварийной защиты. Такие системы имеют центральный пульт оператора и позволяют осуществлять постоянный контроль протекания ТП.

➤ АСУТП с ВК в режиме сбора и обработки информации

Структура системы приведена на рисунке 1.1., где

X и Y – переменные состояния и управление

ПП – первичный преобразователь

НорП – нормирующий преобразователь

УСО – устройство связи с объектом

ВК – вычислительный комплекс

УОИ – устройство отображение информации

ЛПР – лицо принимающее решение

ПО – пульт оператора

ЛУ и САР – логическое управление и система автоматического регулирования

ИМ – исполнительный механизм

В этом режиме ВК служит для сбора информации с датчиков, предварительной обработки, представления данных оператору, архивирования информации.

➤ АСУТП с ВК в режиме советчика оператора

Схема – аналогична представленной на рисунке 1.1,

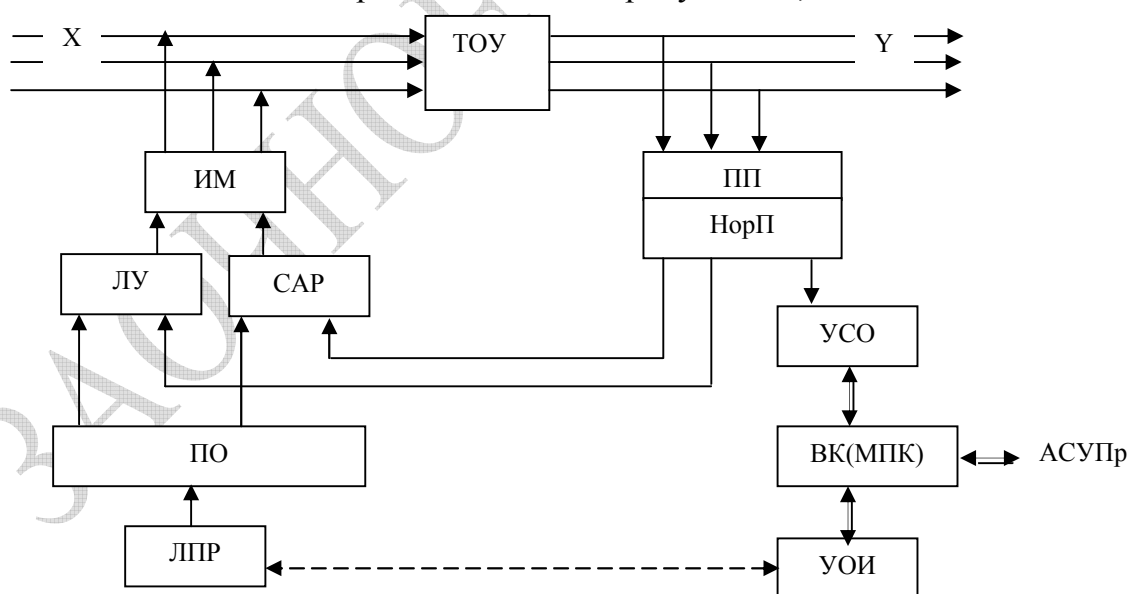


Рисунок 1.1 – Структурная схема АСУТП с ВК в режиме сбора и обработки информации

Отличия состоят в функциях выполняемых ВК. В ВК закладывается модель процесса и через определенные промежутки времени происходит сбор и обработка информации. Период квантования зависит от инерционных свойств объекта (5-15 минут). Эти данные сравниваются с данными модели и в соответствии с алгоритмами управления рассчиты-

ваются управляющие воздействия, которые выдаются оператору на дисплее. Окончательное решение принимает оператор.

➤ АСУТП с ВК, выполняющим функции центрального управляющего устройства (супервизорное управление)

В предыдущих рассматриваемых структурах предполагалось наличие аппаратных регуляторов. В режиме супервизорного управления задание регуляторам рассчитывает и задает ВК, что показано на рисунке 1.2. Таким образом, получается, что контур управления замыкается через ВК. Оператор освобождается от функций управления, непрерывно наблюдает за процессом и может вносить коррективы.

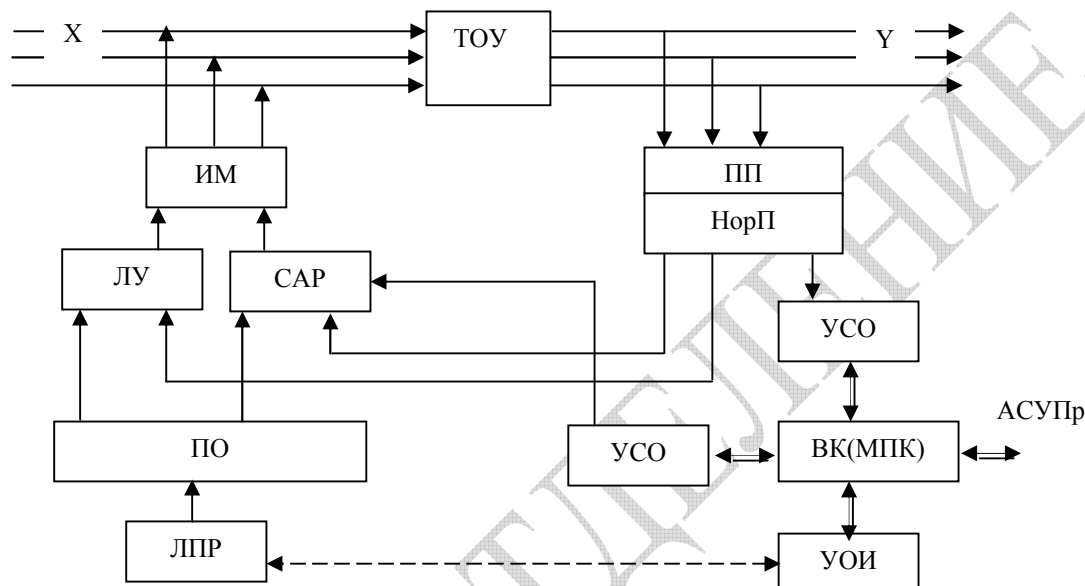


Рисунок 1.2 – Структурная схема АСУТП с ВК в режиме супервизорного управления

Достоинством такой структуры является то, что управление процессом происходит вблизи оптимальной точки, исключая субъективное воздействие на процесс.

➤ АСУТП с ВК в режиме непосредственного цифрового управления

Основное отличие этой структуры (рис.1.3.) – это, то, что в системе отсутствуют аппаратные регуляторы, т.к. их функции возложены на ВК.

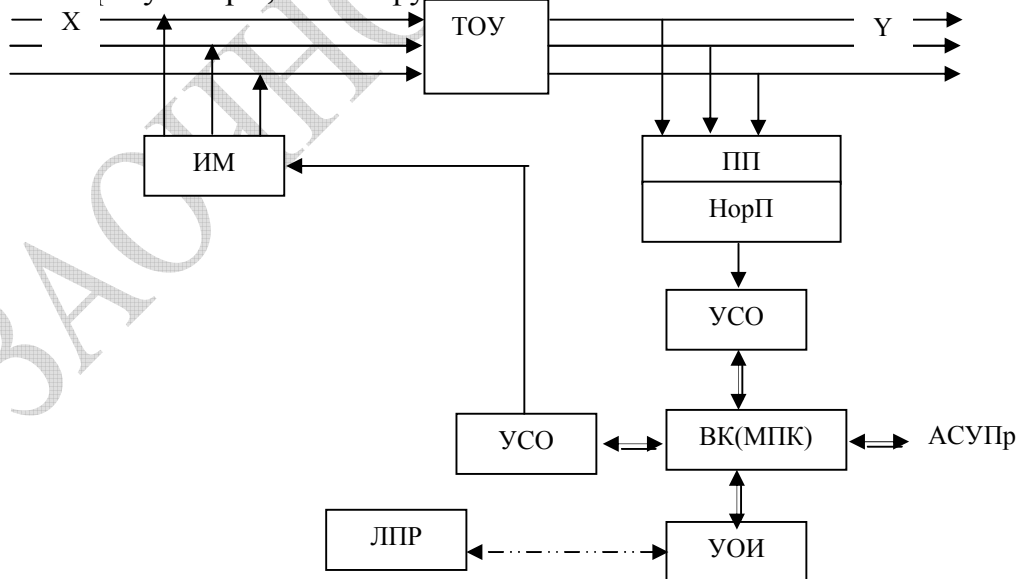


Рисунок 1.3 – Структурная схема АСУТП с ВК в режиме непосредственного цифрового управления

За счет чего могут быть значительно расширены алгоритмические возможности разрабатываемой системы управления, а именно помимо простых (типовых) регулято-

ров могут быть реализованы алгоритмы адаптивного управления, робастного управления и т.д., которые не реализуются аппаратными средствами автоматизации.

В этом режиме ВК рассчитывает не задание регулятору, а непосредственно вырабатывает управляющее воздействие.

2 По характеру управляемого процесса:

- АСУТП, управляющая непрерывным процессом;
- АСУТП, управляющая дискретно-непрерывным процессом;
- АСУТП, управляющая дискретным процессом.

3 По информационной мощности:

- Малой мощности – системы, содержащие от 10 до 40 контролируемых переменных;
- Пониженной мощности – от 41 до 160 переменных;
- Средней мощности – от 161 до 650 переменных;
- Повышенной мощности – от 6581 до 2500 переменных;
- Большой мощности – от 2500 переменных.

1.3.3 Компоненты АСУТП

Компоненты АСУТП – это различного вида обеспечения, которые в совокупности составляют саму систему. Структура взаимосвязи всех видов обеспечения представлена на рисунке 1.4.

Оперативный персонал (слесари КИП, технологи, операторы, электрики) – обслуживает систему в режиме нормального функционирования.

Организационное обеспечение – совокупность документов, определяющих порядок и правила функционирования оперативного персонала (технологическая инструкция и регламенты ведения процесса, инструкции по эксплуатации, описание АСУТП, правила поведения персонала, как в нормальном, так и в предаварийных ситуациях).

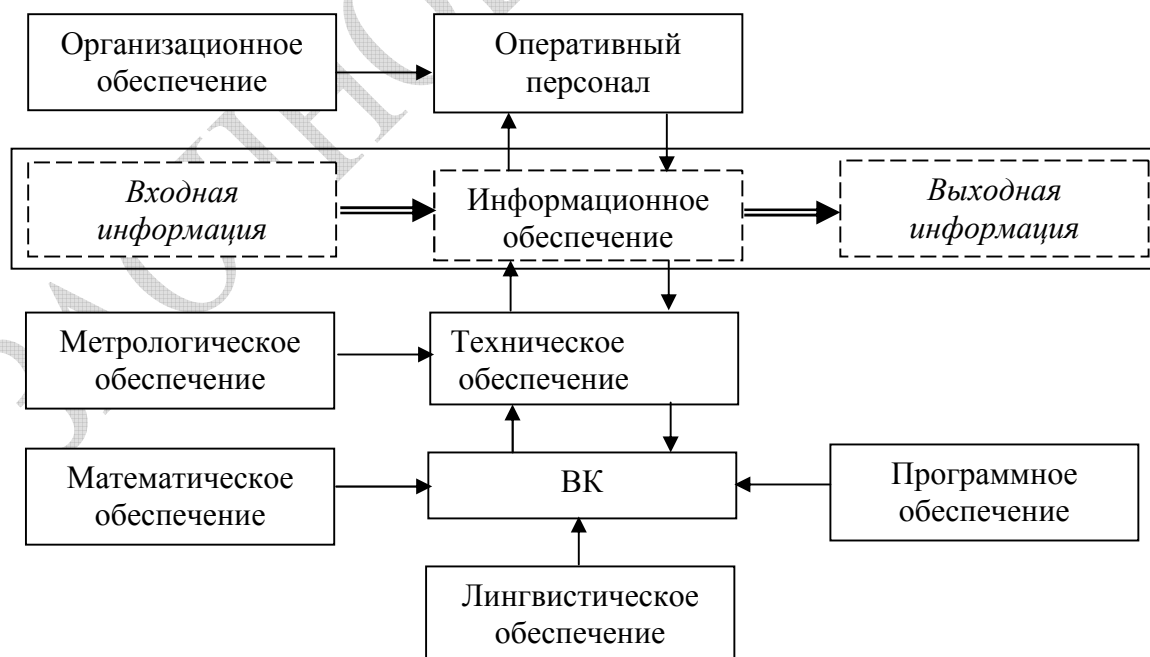


Рисунок 1.4 – Структура взаимосвязи всех видов обеспечения АСУТП

Информационное обеспечение – массивы данных входной и выходной информации (правила обмена информацией и классификация научно-технической информации,

справочная и оперативная информация). Информационное обеспечение в целом должно обеспечивать полноту, непротиворечивость, отсутствие избыточности и дублирование информации.

Техническое обеспечение – комплекс технических средств (КТС) необходимых для функционирования АСУТП и техническая структура АСУТП.

В состав КТС входят:

- источники информации;
- преобразователи информации;
- средства локального регулирования;
- управляющий вычислительный комплекс;
- средства отображения информации;
- исполнительное устройство;
- средства передачи информации в другие АСУ.

С позиции технической структуры АСУТП может быть централизованной и распределенной. Краткая характеристика структур приведена в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Описание технических структур АСУТП

Тип структуры	Централизованная структура	Распределенная структура
Определение	Система, в которой вся информация поступает в единый центр, все технические средства за исключением источников информации и исполнительных устройств находятся в операторском помещении.	Это ряд автономных локальных подсистем, объединенных в единую систему сетью передачи данных и программным обеспечением
Достоинства и недостатки	«+» удобство обслуживания; «-» сложность в технической реализации центрального звена для сложных систем АСУТП; «-» ошибки центрального звена резко влияют на работу всей системы	«+» повышение надежности по сравнению с первой, т.к. есть возможность резервирования подсистем через сеть; «+» большая гибкость при создании и модернизации систем; «+» возможность наращивания систем.
Применение	Целесообразно для компактных установок с умеренным требованием к надежности	Целесообразно для территориально распределенных объектов

Математическое обеспечение – совокупность математических методов, моделей и алгоритмов для решения задачи обработки информации и управления данным технологическим объектом. Реализуется в специальном программном обеспечении. Включают алгоритмы сбора, обработки и представления информации, алгоритмы управления и математические модели соответствующих ТОУ.

Метрологическое обеспечение – совокупность работ, проектных решений, технических и программных средств, а также организационных мероприятий, направленных на обеспечение заданной точности измерения. Применяется на всех стадиях разработки и функционирования АСУТП.

На стадии разработки:

- осуществление выбора соответствующих технических средств и их резервирование для обеспечения единства измерений и точности при заданных условиях эксплуатации;
- обеспечение программными решениями фильтрации измеренных данных и сбор достоверных знаний;
- определение вида и порядка метрологической аттестации информационных измерительных систем.

На стадии эксплуатации:

- анализ состояния информационных измерительных средств;
- метрологическая аттестация средств измерения;
- разработка мероприятий по повышению уровня и совершенствованию средств измерения и контроля.

Программное обеспечение (ПО) – совокупность программ и эксплуатационной программной документации, обеспечивающих реализацию функций АСУТП и функционирование КТС. ПО делится на общее и специальное, отличительные особенности которых даны в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Отличительные особенности общего и специального ПО

Тип ПО	Общее ПО	Специальное ПО
Описание	Поставляется со средствами вычислительной техники – это операционная система, система управления базами данных, служебные программы, программы отладки, библиотеки стандартных программ и т.д.	Разрабатывается на базе общего ПО на языке высокого уровня, для которого в общем ПО предусматривается транслятор на машинном языке
Назначение	Служит для организации функционирования КТС, т.е. для реализации вспомогательных функций	Это совокупность специально разработанных программ, реализующих информационные и управляющие функции конкретной АСУТП

Лингвистическое обеспечение – совокупность языковых средств для общения оператора с ВК, в частности для описания работы с данными.

1.3.4 Локальные системы автоматизации технологических процессов

Локальные системы автоматизации (ЛСА) – системы нижней ступени автоматизации. Они характеризуются показателем эффективности ведения процесса. Цель управления процессом формулируется как обеспечение показателя эффективности на заданном (оптимальном) уровне.

Основные функции ЛСА:

- информационная функция – сбор, преобразование и хранение информации, обнаружение выхода технологических параметров из регламентных диапазонов.
- управляющая функция – реализация автоматического регулирующего воздействия, осуществление автоматической блокировки, защиты и обеспечение реализации ручного воздействия.

Функциональная структура ЛСА приведена на рисунке 1.5.

Подсистема контроля параметров обеспечивает контроль и обнаружение отклонений технологических параметров. Контролируемые параметры должны представлять наиболее полную информацию о процессе, необходимую для обеспечения пуска, наладки системы, а также оперативного управления ею.

Контролю подлежат:

- регулируемые выходные параметры;
- стабилизируемые возмущения входных потоков;
- контролируемые возмущения;
- параметры, необходимые для расчета технико-экономических показателей.

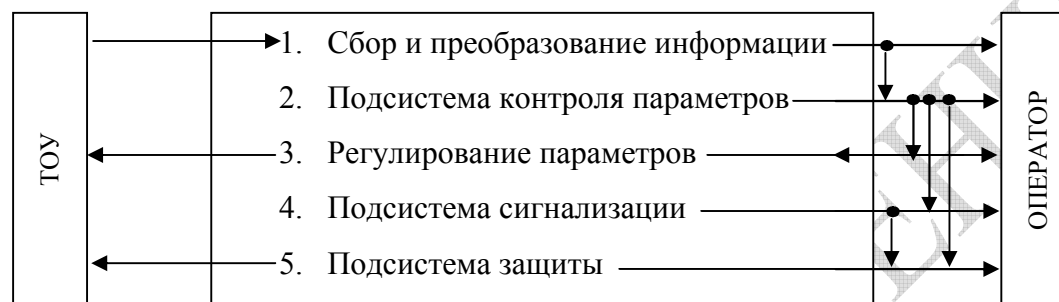


Рисунок 1.5 – Функциональная структура ЛСА

Регулирование параметров включает формирование и реализацию управляющих воздействий. Регулируемые параметры должны обеспечивать проведение процесса в установившемся режиме с заданным значением показателя эффективности. Регулированию подлежат:

- показатель эффективности процесса или параметр косвенно его характеризующий;
- выходные параметры, свидетельствующие о нарушении материального и теплового баланса в процессе;
- стабилизируемые возмущающие воздействия.

Подсистема сигнализации разрабатывается на основании анализа объекта в отношении его взрыво- и пожароопасности, токсичности и агрессивности перерабатываемых веществ. Система сигнализации должна своевременно оповещать обслуживающий персонал о нарушении технологического регламента, который может привести к браку или аварии. Сигнализации подлежат:

- отклонения наиболее важных режимных параметров и показателя эффективности от регламентных значений;
- параметры, изменение которых ведет к браку или аварии, прекращению подачи материальных и тепловых потоков;
- параметры, указывающие на отключение оборудования, не предусмотренные технологическим регламентом.

Подсистема защиты предназначена для формирования и реализации воздействий защиты и блокировки. Она предназначена для реализации мероприятий, предотвращающих аварии по сигналам, свидетельствующим о возникновении предаварийной ситуации и работает автономно.

Для разработки ЛСА необходимо разработать и составить совокупность обеспечений, которые подробно описаны в п. 1.3.3 для АСУТП.

Разработка математического обеспечения ЛСА – это в основном синтез автоматических систем регулирования (АСР). В ходе синтеза АСР последовательно рассматри-

ваются структуры разомкнутой и замкнутой системы управления. Структура разомкнутой и замкнутой систем приведены на рисунках 1.6 и 1.7 соответственно.

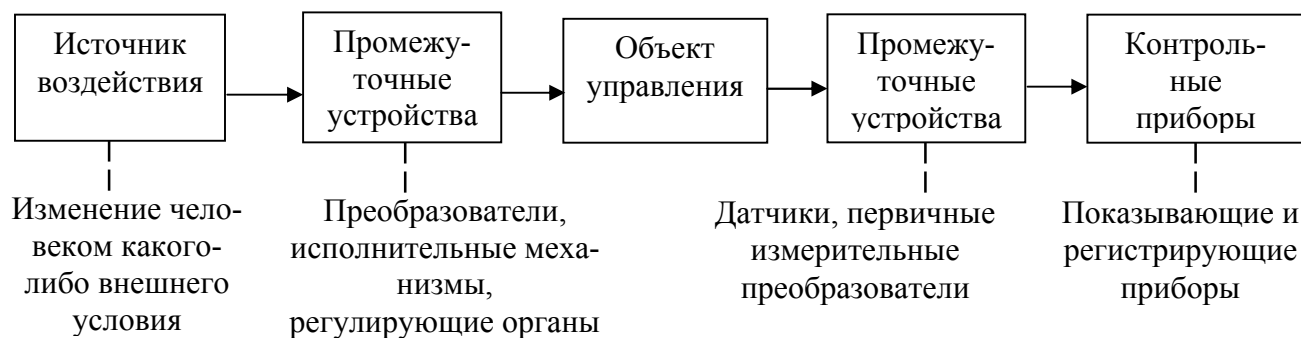


Рисунок 1.6 – Структура разомкнутой системы

Это простейшая система управления. Характерным для нее является то, что процесс работы системы не зависит непосредственно от результата ее воздействия на объект управления.

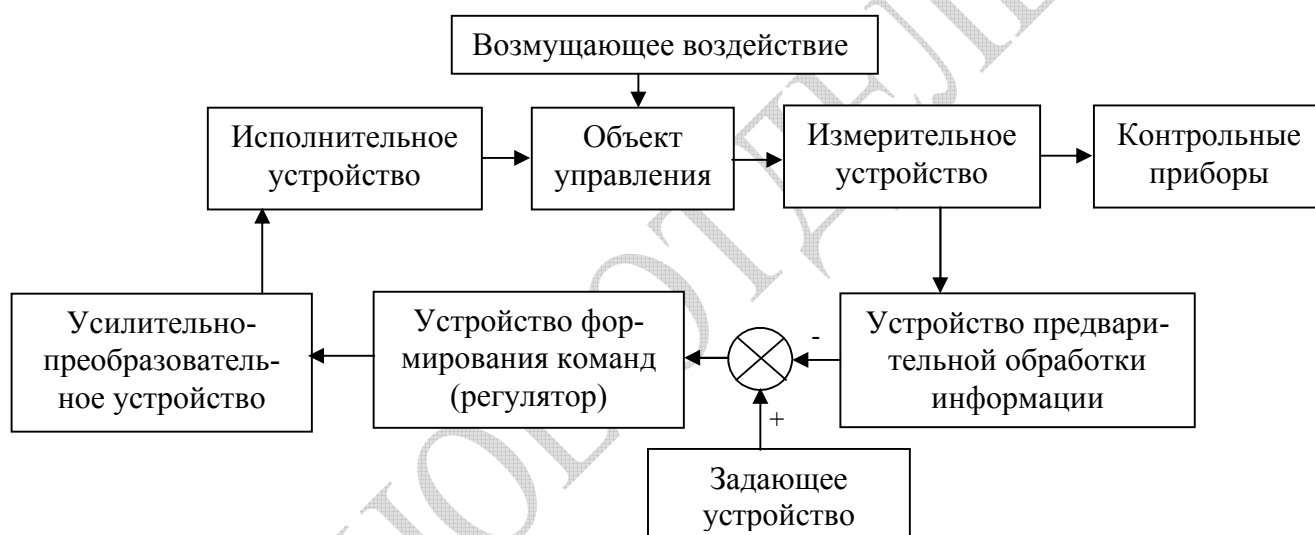


Рисунок 1.7 – Структура замкнутой АСР

Протекание всех процессов в замкнутой системе коренным образом отличается от процессов в разомкнутой системе. В замкнутой системе имеется полная взаимосвязь работы всех устройств друг от друга.

Различные свойства замкнутых систем делают их незаменимыми во тех случаях, когда требуется точность и быстродействие для управления, измерения и для выполнения вычислений операций.

Для последующего синтеза АСР в структуре замкнутой системы выделяют математическое описание объекта управления и регулятора и таким образом, приведенная на рисунке 1.7 структура вырождается в блок-схему показанную на рисунке 1.8, на которой:

$Y(t)$ – регулируемый технологический параметр;

$X(t)$ – регулирующий технологический параметр;

$Y_{зд}(t)$ – задающее воздействие, вводимое в систему и определяющее необходимый закон изменения регулируемой величины;

$F(t)$ – возмущающее воздействие, т.е. воздействие, которое нарушает заданный закон изменения регулируемой величины.

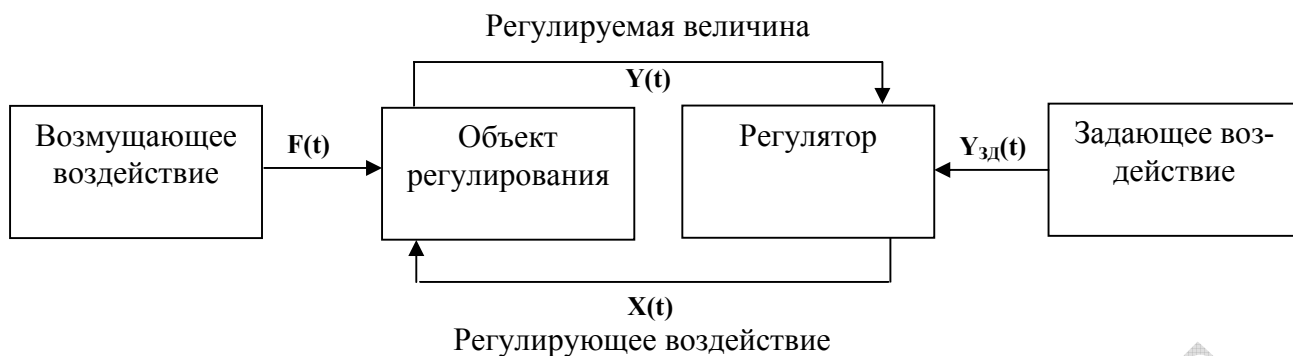


Рисунок 1.8 – Блок-схема замкнутой АСР

Возмущающее воздействие бывает внешним и внутренним.

- Внешнее возмущающее воздействие проникает в объект из вне вследствие изменения входных параметров (материальных и энергетических потоков на входе в объект), некоторых выходных (материальных и энергетических потоков на выходе объекта, состава продукта), а также параметров окружающей среды.
- Внутреннее возмущающее воздействие возникает в самом объекте управления (например, при перераспределении насадок в колоннах насадочного типа или при загрязнении и коррозии внутренних поверхностей аппарата).

В зависимости от цели регулирования АСР делятся на 3 вида:

- Система автоматической стабилизации – система, предназначенная для автоматического поддержания с заданной точностью наперед заданного значения технологических параметров;
- Система программного автоматического регулирования – система, предназначенная для автоматического изменения с заданной точностью какого-либо технологического параметра по предварительно заданному закону;
- Система следящего управления – система, предназначенная для автоматического воспроизведения с заданной точностью траектории изменения какого-либо технологического параметра, меняющегося по произвольному заранее неизвестному закону.

В качестве примера приведем классический пример, а именно систему автоматического управления самолетом (автопилот). Если с помощью автопилота надо поддерживать неизменный курс или надо разворачивать самолет по заданной программе, то данная система управления будет работать либо в режиме стабилизации постоянной величины, либо в режиме программного регулирования. Если же самолет надо наводить на какую-либо цель, причем заданное направление определяется визуализирующим цель устройством, например, радиолокационными, то данная система будет работать, как следящая система.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Каждая АСР состоит из целого ряда блоков и звеньев, различно соединенных между собой. Уравнение звена должно быть составлено так, чтобы оно выражало в динамическом процессе зависимость изменения выходной величины звена от входных величин. Звено может иметь не одну входную величину, а несколько, например, при организации обратной связи в АСР.

2.1 Динамическое звено. Передаточная функция

Динамическое звено – устройство любого физического вида и конструктивного оформления, но характеризующиеся определенным дифференциальным уравнением. Пример изображения динамического звена приведен на рисунке 2.1

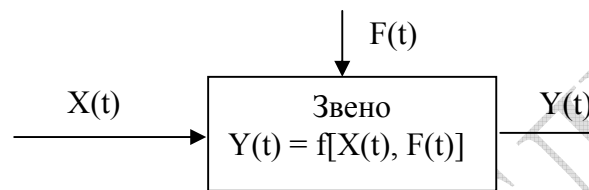


Рисунок 2.1 – Графическое представление динамического звена

При анализе звена рассматриваются его статические и динамические характеристики:

- Статическая характеристика связывает выходную переменную с входной в установившемся режиме

$$Y = f(X)$$

Т.к. в данном курсе рассматриваются только линейные системы, то статические характеристики звеньев будут линейными.

- Динамическая характеристика дает зависимость изменения во времени выходной величины при изменении входной в неустойчивом режиме

$$Y = f(t) \text{ при } X = f(t)$$

В теории автоматического управления принято записывать дифференциальные уравнения, показывающие динамику звеньев, в специальных формах.

Первая форма записи.

Дифференциальное уравнение записывается так, чтобы выходная величина и ее производная находились в левой части уравнения, выходная величина и все остальные члены уравнения – в правой части, например

$$T_1 \frac{d^2 Y(t)}{dt^2} + T_2 \frac{dY(t)}{dt} + T_3 Y(t) = K_1 \frac{dX(t)}{dt} + K_2 X(t) + K_3 F(t) \quad (2.1)$$

Вводится оператор дифференцирования (оператор Лапласа) $p = \frac{d}{dt}$, тогда

$$\begin{aligned} T_1 p^2 Y(p) + T_2 p Y(p) + T_3 Y(p) &= K_1 p X(p) + K_2 X(p) + K_3 F(p) \\ (T_1 p^2 + T_2 p + T_3) Y(p) &= (K_1 p + K_2) X(p) + K_3 F(p) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Это сокращенная форма более полных записей, где T_1-T_3 – постоянные времени данного звена, имеющие размерность времени, а K_1-K_3 – коэффициенты передачи (пропорциональности) данного звена, имеющие размерность $\left[\frac{\text{размерность } Y}{\text{размерность } X} \right]$.

Вторая форма записи.

Получается при принятии оператора дифференцирования в качестве алгебраической величины и решения первой формы уравнения (2.2) относительно выходной величины, например

$$Y = \frac{(K_1 p + K_2)X + K_3 F}{T_1 p^2 + T_2 p + T_3} = \frac{K_1 p + K_2}{T_1 p^2 + T_2 p + T_3} X + \frac{K_3}{T_1 p^2 + T_2 p + T_3} F, \quad (2.3)$$

где члены уравнения, стоящие перед X и F , называются передаточными функциями:

$$W_X(p) = \frac{K_1 p + K_2}{T_1 p^2 + T_2 p + T_3} - \text{передаточная функция по каналу управления};$$

$$W_F(p) = \frac{K_3}{T_1 p^2 + T_2 p + T_3} - \text{передаточная функция по каналу возмущения}.$$

Тогда

$$Y(t) = W_X(p)X(t) + W_F(p)F(t)$$

Передаточная функция вводится для сокращения записи дифференциального уравнения и представляет собой символьную запись дифференциального уравнения.

Передаточная функция – выражение, связывающее выходную величину с входной в операторной форме

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} \quad (2.4)$$

Таким образом, математическое описание звена может идти:

- в области действительной переменной t : $Y(t) = f(X(t))$;
- в области комплексной переменной: $Y(p) = F(X(p))$.

Как правило, преобразования Лапласа выполняются на основе готовых таблиц:

$$f(t) = F(p)$$

$$f(t - \tau) = F(p)e^{-p\tau}$$

$$\int_0^t f(t)dt = F(p) \frac{1}{p} \quad (2.5)$$

$$\frac{df(t)}{dt} = F(p)p$$

2.2 Временные динамические характеристики звеньев

Динамические свойства звеньев могут быть определены по их временным, частотным и логарифмическим характеристикам, в зависимости от того, какой вид возмещения подается на вход звена. В данном курсе рассмотрим только временные характеристики звеньев, отражающих поведение объекта (устройства) в наиболее сложных условиях.

Переходная функция (переходная характеристика, кривая разгона) – переходный процесс на выходе звена, возникающий при подаче на его вход скачкообразного единичного возмущающего воздействия. Обозначается – $h(t)$.

Единичное скачкообразное воздействие на входе – единичная ступенчатая функция описывается выражением

$$X(t) = 1(t) = \begin{cases} X = 0, & \text{при } t < 0 \\ X = 1, & \text{при } t \geq 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

Предполагается, что $1(t)$ имеет ту же размерность, что и физическая величина на входе звена. Пример переходной функции для звена, описываемого дифференциальным уравнением первого порядка, приведен на рисунке 2.2.

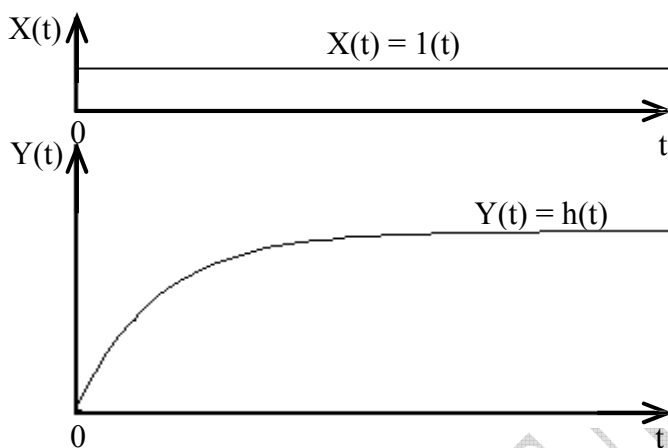


Рисунок 2.2 – Пример динамических характеристик единичной ступенчатой функции и отклика на выходе звена

Функция веса – реакция звена на единичную импульсную функцию, поданную на его вход. Обозначается – $\omega(t)$.

Единичная импульсная функция (дельта-функция) представляет собой производную от единичной ступенчатой функции:

$$\delta(t) = \frac{d1(t)}{dt}. \quad (2.7)$$

δ -функция тождественно равна 0 всюду, кроме точки $t=0$, в которой она стремится к бесконечности. Основные свойства δ -функции:

- δ -функция имеет единичную площадь: $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$;
- δ -функция может быть представлена, как предел некоторого выражения:

$$\delta(t) = \lim_{\sigma \rightarrow \infty} \sigma e^{-\sigma t} 1(t)$$

Пример функции веса для звена, описываемого дифференциальным уравнением первого порядка показана на рисунке 2.3. Здесь выполнена задержка сброса импульса, т.к. в реальных системах возмущение этого типа, строго говоря, не являются идеальными импульсами.

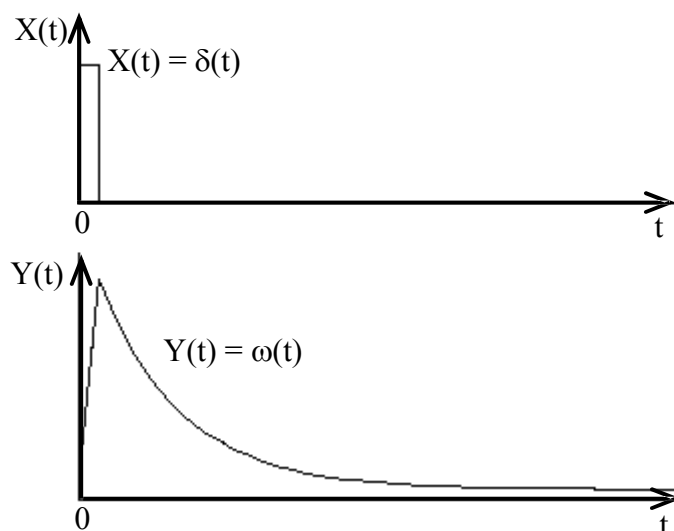


Рисунок 2.3 – Пример динамической характеристики δ -функции и отклика на выходе звена, описывающего уравнением первого порядка

Функция веса может быть получена из переходной характеристики путем дифференцирования последней:

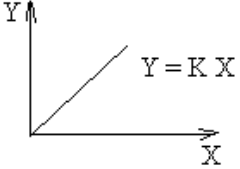
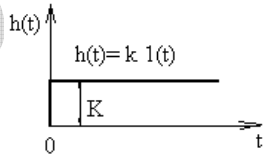
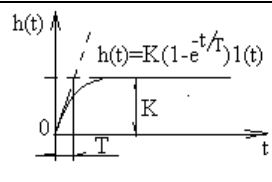
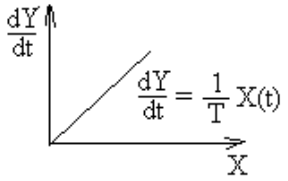
$$\omega(t) = \frac{dh(t)}{dt}.$$

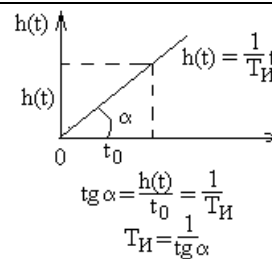
2.3 Типовые динамические звенья

Классификация звеньев идет по виду дифференциального уравнения.

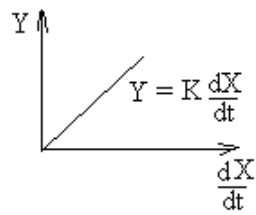
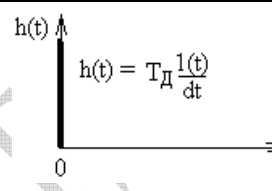
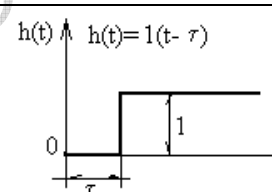
Типовое динамическое звено – звено, которое описывается дифференциальным уравнением не выше второго порядка. В таблице 2.1 приведено описание ряда типовых динамических звеньев.

Таблица 2-1 – Описание простых динамических звеньев

Название звена	Уравнение динамики	Передаточная функция	Переходная характеристика	Примечание
1. <u>Позиционные</u> звенья	Статическая характеристика  В установившемся режиме линейной зависимостью связаны входная и выходная величины этого звена			
1.1. <u>Безинерционное</u> (усилительное) звено	$Y(t) = KX(t)$	$W(p) = K$		K – коэффициент пропорциональности. Это идеализация реальных звеньев, временем динамических процессов которых можно пренебречь (<i>датчик, усилитель</i>)
1.2. <u>Апериодическое звено первого порядка</u>	$T \frac{dY}{dt} + Y = KX$	$W(p) = \frac{K}{Tp + 1}$		K – коэффициент усиления. T – постоянная времени.* (<i>проточная газовая камера, тепловой объект</i>)
2. <u>Интегральное</u> звено	Статическая характеристика  В установившемся режиме линейной зависимостью связаны входная величина и производная выходной.			

2.1. <u>Идеальное интегрирующее</u> звено	$Y = \frac{1}{T_{\text{И}}} \int_0^t X(t) dt$	$W(p) = \frac{1}{T_{\text{И}} p}$		$T_{\text{И}}$ – постоянная времени интегрирования. Это идеализация реальных интегрирующих звеньев (э/двигательный исполнительный механизм).
---	---	-----------------------------------	--	--

Продолжение таблицы 2.1

Название звена	Уравнение динамики	Передаточная функция	Переходная характеристика	Примечание
3. <u>Дифференцирующие</u> звенья	Статическая характеристика  В установившемся режиме линейной зависимостью связаны <i>выходная</i> величина и <i>производная</i> входной.			
3.1. <u>Идеальное дифференцирующее</u> звено	$Y(t) = T_{\text{Д}} \frac{dX}{dt}$	$W(p) = T_{\text{Д}} p$		$T_{\text{Д}}$ – постоянная времени дифференцирования (операционный усилитель в режиме дифференцирования)
4. Звено <u>чистого запаздывания</u>	$Y(t) = X(t - \tau)$	$W(p) = e^{-\tau p}$		τ - время запаздывания (транспортёр, конвейер)

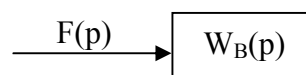
* Постоянная времени – это время, за которое выходная величина вышла бы на установившееся значение, если бы изменялась с постоянной скоростью, равной первоначальной. Это характеристика инерционности – чем больше T , тем дольше длится переходный процесс. Строго говоря, экспонента приближается к установившемуся значению асимптотически (в ∞). Практически процесс считается завершенным через время равное $3T$ (иногда $4-5 T$).

2.4 Структурные схемы и их преобразование

Совокупность уравнений элементов системы регулирования и совокупность связей между ними образуют систему дифференциальных уравнений.

Эти дифференциальные уравнения обычно выражаются в операторной форме с получением передаточных функций звеньев, а связи отражаются посредством структурной схемы.

Структурные схемы – это графическое отображение системы дифференциальных уравнений. Пример структурной схемы замкнутой АСР показан на рисунке 2.4.



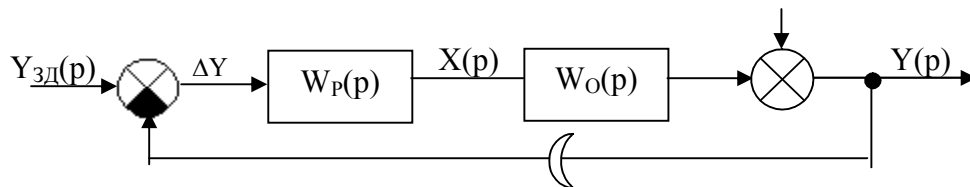


Рисунок 2.4 – Структурная схема замкнутой АСР

Правила построения структурных схем:

- элементы схемы (или группа элементов) изображаются прямоугольниками;
- $W_O(p)$, $W_P(p)$ – звенья направленного действия, т.е. присоединение такого звена к выходу предшествующего звена не оказывает на него обратной реакции;
- $\rightarrow$ – связь, которая указывает направление распространения воздействия;
- $\otimes$ – суммирующее звено, т.е. звено в котором складываются или вычитаются воздействия;
- $\rightarrow \bullet \rightarrow$ – точка разветвления, в которой воздействия перенаправляются в разные стороны.

Связи, совпадающие с направлением основного воздействия, называются прямыми, противоположные – обратными.

Связь называется положительной, если ее воздействие суммируется с основным воздействием и отрицательной, если ее воздействие вычитается из основного.

При построении структурных схем часто используются обобщенные передаточные функции:

- $W_P = W_{РЕГ} + W_{ИМ}$ – суммарная передаточная функция цепи регулирования, описывающая регулятор и исполнительный механизм;
- $W_O = W_{ОБ} + W_{Д}$ – суммарная передаточная функция объекта по каналу регулирования, описывающая объект и датчик;
- W_B – передаточная функция объекта по каналу возмущения в совокупности с датчиком.

При сворачивании структурной схемы определяется обобщенная передаточная функция АСР. Процесс преобразования производится в два этапа.

1. Преобразование для разомкнутой системы. Для получения разомкнутой системы необходимо отключить обратную связь от датчика к регулятору.

Воздействие, которое прикладывает регулятор через исполнительный механизм к объекту можно выразить как:

$$X = W_P \Delta Y.$$

Расчет регулируемой величины

$$Y = W_{ОБ} X - W_B F = W_{ОБ} W_P \Delta Y - W_B F.$$

Передаточная функция разомкнутой системы регулирования, определяется как отношение изображения регулируемой величины и ошибки при нулевых начальных условиях имеет вид:

$$W_{РС}(p) = \frac{Y}{\Delta Y} = W_{ОБ} W_P. \quad (2.8)$$

2. Преобразование для замкнутой системы.

Устранение разрыва – введение уравнения замыкания:

$$\Delta Y(p) = Y_{зд}(p) - Y(p). \quad (2.9)$$

Расширение уравнения разомкнутой системы и получение передаточной функции замкнутой АСР:

$$Y = W_{ОБ} W_P (Y_{зд} - Y) - W_B F;$$

$$Y + W_{\text{ОБ}} W_{\text{Р}} Y = W_{\text{ОБ}} W_{\text{Р}} Y_{\text{ЗД}} - W_{\text{В}} F.$$

$$Y = \frac{W_{\text{ОБ}} W_{\text{Р}}}{1 + W_{\text{ОБ}} W_{\text{Р}}} Y_{\text{ЗД}} - \frac{W_{\text{В}}}{1 + W_{\text{ОБ}} W_{\text{Р}}} F \quad (2.10)$$

Тогда передаточная функция замкнутой АСР по заданию, которая дает связь между регулируемой величиной и управляющим воздействием при равенстве нулю возмущающих воздействий имеет вид:

$$W_{\text{ЗС}} = \frac{W_{\text{ОБ}} W_{\text{Р}}}{1 + W_{\text{ОБ}} W_{\text{Р}}} \quad (2.11)$$

А передаточная функция замкнутой АСР по управлению – связь между регулируемой величиной и управляющим

Введение автоматического регулирования «уменьшает» отклонение регулируемой величины под действием возмущающих воздействий в $(1 + W_{\text{ОБ}} W_{\text{Р}})$ раз по сравнению с отклонением в разомкнутой системе, т.е. когда цепь разомкнута и регулирование отсутствует.

Знаменатель передаточной функции замкнутой системы, приравненный к нулю называется характеристическим уравнением:

$$\begin{aligned} 1 + W_{\text{ОБ}} W_{\text{Р}} &= 0, \\ 1 + W_{\text{РС}} &= 0. \end{aligned} \quad (2.12)$$

используется при анализе синтезируемой АСР на устойчивость.

2.5 Основные понятия о устойчивости АСР

Система всегда подвергается действия возмущающих воздействий. Эти возмущения в некоторые промежутки времени могут стремиться вывести систему из состояния равновесия. Если система устойчива, то она противостоит этим воздействиям, а будучи выведенной из состояния равновесия с определенной точностью возвращается к нему. Если система неустойчива, то она не возвращается в состояние равновесия, а удаляется от него или совершает вокруг него недопустимо большие колебания.

Условие устойчивости – система будет устойчивой, если из возмущенного состояния равновесия она перейдет в некоторую конечную область, окружающую невозмущенное состояние равновесия.

Пример, демонстрирующий устойчивость системы, – перемещение шара по поверхности определенного профиля. Возмущением будет перемещение шара относительно первоначального состояния равновесия и анализ самостоятельного движения шара относительно профиля.

Устойчивое состояние системы «шар-поверхность» (рисунок 2.5) – состояние, которое остается устойчивым при любых возмущениях.

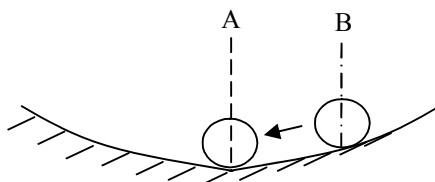


Рисунок 2.5 – Графическая интерпретация устойчивого состояния системы «шар-поверхность»

Шар переведенный из положения А в положение В, последний после ряда колебаний вернется к первоначальному состоянию равновесия.

➤ Неустойчивое состояние (рисунок 2.6) – состояние системы, при котором любое отклонение от положения равновесия вызовет силу, которая будет стремиться увести шар от состояния равновесия.

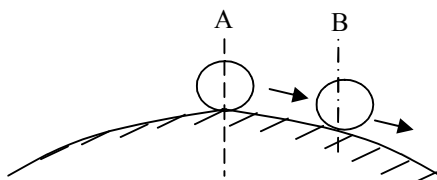


Рисунок 2.6 – Графическая интерпретация неустойчивого состояния системы «шар-поверхность»

Шар переведенный из положения А в положение В, последний чего сила тяжести будет все более увлекать шар от состояния равновесия А.

- Состояние равновесия устойчивое в малом (рисунок 2.7) – состояние, которое остается устойчивым до тех пор, пока отклонение не выйдет за допустимую границу.

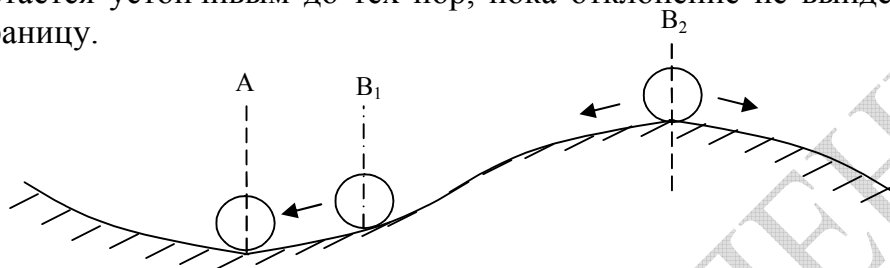


Рисунок 2.7 – Графическая интерпретация состояния равновесия устойчивого в малом системы «шар-поверхность»

Шар, переведенный в положение В₁, самостоятельно вернется в состояние равновесия. Шар, переведенный в состояние В₂, может как вернуться в состояние равновесия, так и перейти в неустойчивое состояние.

В теории управления за устойчивое состояние часто берется не состояние равновесия, а какое-либо движение с заданной заранее траекторией. Методов исследования устойчивости системы регулирования разработано много. Рассмотрим классический метод оценки устойчивости системы, основанный на теореме А.М. Ляпунова.

Линейные управления реальных автоматических систем получаются всегда в результате той или иной линеаризации, т.е. в результате отбрасывания членов, содержащих вторые и высшие степени, а также произведения отклонений переменных и их производных. Возникает вопрос: Насколько влияют отброшенные члены на устойчивость систем? Ляпунов доказал ряд оригинальных теорем и предложил ряд методов для исследования устойчивости динамических линеаризованных систем в различных трудных для анализа случаях.

Оценки берутся из анализа характеристического уравнения системы, 2.12:

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0$$

Решение данного уравнения – это корни характеристического уравнения, которые принимают n алгебраических переменных ($p_i = \alpha \pm \beta i$). Оценку устойчивости можно сделать по анализу полученных корней.

- Если вещественные части всех корней характеристического уравнения отрицательны, то система регулирования устойчива ($\forall \exists \alpha < 0 \Rightarrow \text{АСР устойчива}$)

Примеры переходных процессов устойчивых систем показаны на рисунке 2.8

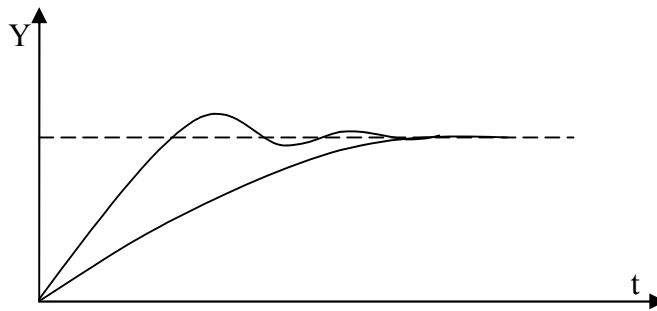


Рисунок 2.8 – Виды переходных процессов устойчивых АСР

Отклонение регулируемой величины приходит к установившемуся значению с затухающими гармоническими колебаниями.

- Если среди корней характеристического уравнения имеется хотя бы один корень с положительной вещественной частью, то система неустойчива ($\exists$ хотя бы один $\alpha_i > 0 \Rightarrow$ АСР неустойчива)

Примеры переходных процессов устойчивых систем показаны на рисунке 2.9

Отклонение регулируемой величины совершает колебания с неограниченно возрастающей амплитудой.

Для линейной системы равенство нулю вещественной части хотя бы одного корня характеристического уравнения дает границу устойчивости ($\exists$ хотя бы один $\alpha_i = 0 \Rightarrow$ АСР на границе устойчивости).

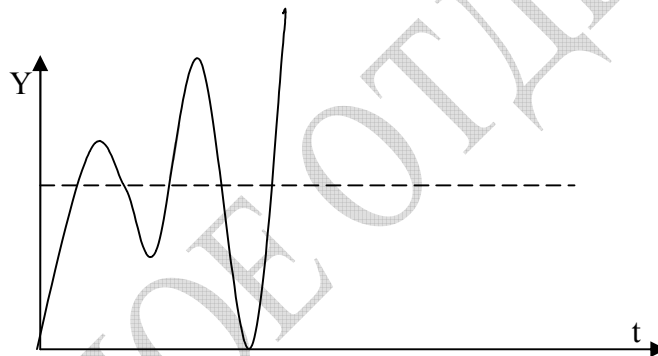


Рисунок 2.9 – Вид переходного процесса неустойчивых АСР

Примеры переходных процессов устойчивых систем показаны на рисунке 2.10

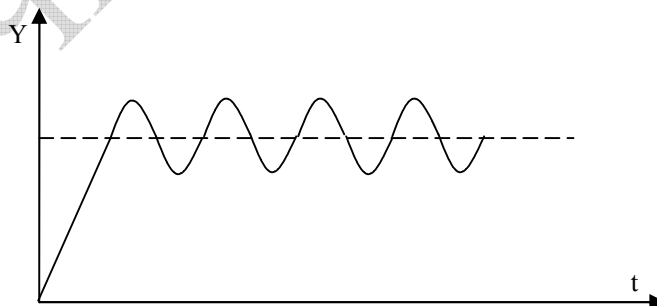


Рисунок 2.10 – Вид переходного процесса АСР на границе устойчивости

По линейным уравнениям нельзя судить, что происходит на границе устойчивости, поэтому к этому режиму при работе стараются не приближаться.

Знаки вещественной части корней можно найти путем непосредственного решения характеристического уравнения. Уравнение третьей степени решается аналитически чрезвычайно сложно. Уравнения более высоких степеней вообще не имеют аналитического решения и могут быть решены лишь приближенно.

Для облегчения оценки знака вещественной части корня используются специальные критерии устойчивости.

2.6 Оценки качества регулирования

Для того, чтобы оценить качество работы системы регулирования, правильно ли настроен регулятор недостаточно обеспечить только устойчивость системы, а необходимо иметь также количественные критерии для оценки качества регулирования.

Оценки качества, полученные непосредственно по переходной характеристике системы, называются прямыми оценками качества, а оценки, полученные другим путем – косвенными оценками.

Прямые оценки качества весьма трудно найти, не решая систему уравнений системы регулирования. Эти оценки могут быть различными, в зависимости от режима, в котором должна работать система. Для систем, работающих в условиях сравнительно резких скачкообразных изменений нагрузки оценки целесообразнее всего давать по переходной характеристике (для систем, работающих при периодически изменяющемся воздействии, более удобны частотные характеристики). Для некоторых импульсных режимов – по их импульсным функциям.

Рассмотрим прямые оценки качества регулирования в АСР при ступенчатых возмущениях. В этом случае процессы, протекающие в системах стабилизации значения регулируемого параметра, могут возникать под действием разного вида возмущений, например:

- ✓ возмущение – импульс, с переходным процессом в виде участка, близкого к скачкообразному изменению нагрузки с последующим переходным процессом;
- ✓ возмущение – скачек, с участком нормальной работы системы между двумя толчками нагрузки, когда регулируемая величина и нагрузка сохраняют постоянное значение.

Предполагается, что участки постоянной работы достаточно длительны, поэтому каждый новый переходный процесс возникает при нулевых начальных условиях.

Приведем два вида характеристик с совпадением и несовпадением начального и конечного равновесных состояний, рисунок 2.11.

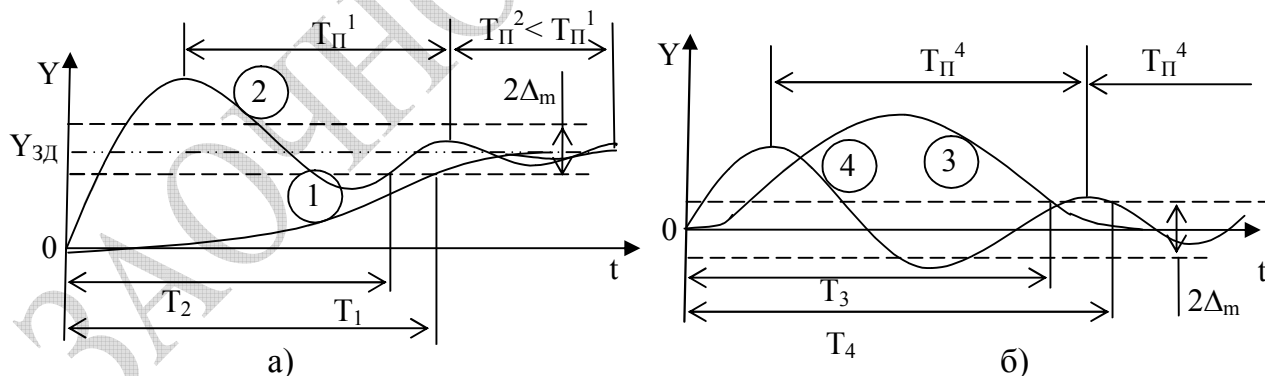


Рисунок 2.11 – Переходные характеристики АСР с различными видами возмущающих воздействий на входе, а) – ступенчатое по заданию $F = Y_{зд}^1 - Y_{зд}^2$, б) – импульсное возмущение $F = \delta(1)$

Переходный процесс, если исключить начальный скачек переменной, можно качественно соотнести со следующей классификацией.

1. Монотонный (кривая 1) – процесс, в котором отклонение регулируемой величины от установившегося значения с течением времени непрерывно уменьшается без изменения знака отклонения. Он требуется при управлении транспортными процессами, технологическими процессами.

2. Апериодический (кривые – 2,3) – процесс, в котором регулируемая величина приходит к установившемуся значению после одного, двух или нескольких колебаний с разной величиной периода колебаний и амплитудой.
3. Колебательный (кривая - 4) – процесс, в котором регулируемая величина приходит к установившемуся значению с гармоническими колебаниями.

При изучении динамических систем не выше 2-го порядка обычно процессы делят на апериодические и колебательные. При определенных условиях (нулевых начальных условиях) в простейших звеньях апериодические процессы монотонны, а колебательные – немонотонны. В более сложных системах или при ненулевых начальных условиях понятие монотонности и апериодичности не совпадают. Так апериодические процессы могут быть немонотонными, колебательными, только число колебаний в них всегда конечно и не превышает порядка уравнения, а в колебательных оно бесконечно велико.

Монотонность, колебательность – это важные качественные, но не количественные оценки переходного процесса.

Количественные оценки – показатели качества, т.е. величины, характеризующие поведение системы в течении переходного процесса, вызванного внешнем возмущением.

Основные показатели качества.

➤ Время регулирования (T_p) – время, в течение которого отклонение регулируемой величины от заданного значения становится меньше наперед заданной величины (Δm).

В линейных системах время регулирования теоретически равно бесконечности ∞ . Прекращение процесса в реальных системах объясняется наличием нелинейных факторов, не учитываемых в линейных уравнениях. Поэтому задаются некоторой зоной $\pm \Delta m$ около установившегося значения, и временем регулирования называется промежуток времени, по истечении которого кривая переходного процесса будет отклоняться от установившегося значения не более чем на величину $|\Delta m|$.

Выбор ширины зоны Δm существенно влияет на величину времени регулирования, поэтому эту величину жестко оговаривают и чаще всего устанавливают равной 5%:

$$\Delta m = 0,05 Y_{зд}(t). \quad (2.13)$$

Для монотонного процесса T_p – время изменения регулируемой величины от начального значения до величины $Y_{зд} - \Delta m$ (кривая 1).

Для колебательного – переходная характеристика может несколько раз перейти через зону $Y_{зд} \pm \Delta m$, а время считается до момента полного входа кривой в эту зону (кривая 2).

➤ Перерегулирование (δ) – максимальное отклонение регулируемой величины от установившегося значения в сторону противоположную от начального значения.

Виды переходных процессов АСР с откликами на ступенчатое и импульсное воздействие на входе приведены на рисунке 2.12.

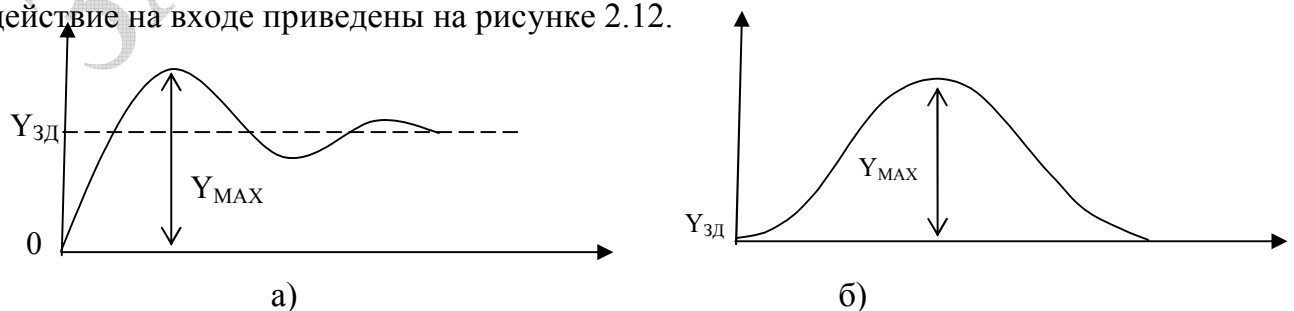


Рисунок 2.12 – Переходные характеристики АСР: а) – демонстрация перерегулирования при скачкообразном возмущении на входе; б) – отображение максимального динамического отклонения при импульсном возмущении на входе

У монотонных процессов перерегулирование отсутствует.

Перерегулирование считается в %, как отношение наибольшего отклонения регулируемой величины от заданного значения в сторону противоположную начальному отклонению к величине начального отклонения:

$$\delta = \frac{Y_{\text{MAX}} - Y_{\text{ЗД}}}{Y_{\text{ЗД}}} 100 [\%]. \quad (2.14)$$

Для тех переходных процессов, в которых начальное и конечное значение регулируемой величины одинаково (рисунок 5,2 Б), понятие перерегулирование теряет силу. Оно заменяется понятием относительного максимального отклонения, равного отношению первого максимального отклонения к заданному значению регулируемой величины:

$$\Delta Y = \frac{Y_{\text{MAX}}}{Y_{\text{ЗД}}} 100 [\%]. \quad (2.15)$$

- Установившееся отклонение (статическая ошибка) ($\Delta_{\text{СТ}}$) – величина отклонения регулируемой величины от заданного значения в установившемся режиме, рисунок 5.3.

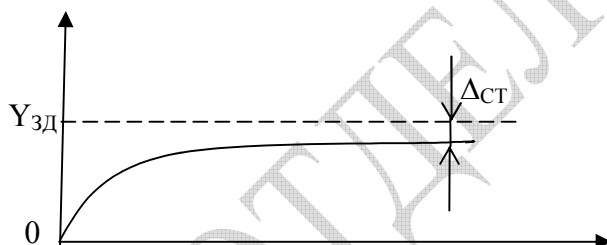


Рисунок 2.13 – Результат работы АСР с получением статической ошибки в конце переходного процесса

- Период колебаний ($T_{\text{П}}$) – расстояние между двумя смежными максимумами или минимумами кривой переходного процесса.

Определяется для колебательных и апериодических процессов высокого порядка, как показано на рисунке 2.14

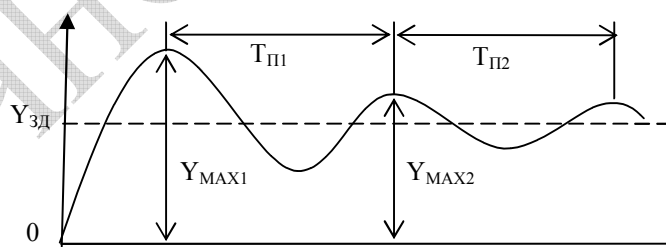


Рисунок 2.14 – Пример колебательного переходного процесса на выходе АСР

- Колебательность – число колебаний регулируемой величины около нового установившегося состояния. Обычно этот параметр не должен превышать наперед заданного числа.
- Затухание – характеризует быстроту затухания переходного процесса и определяется как отношение двух смежных перерегулирований:

$$\chi = \frac{Y_{\text{MAX1}} - Y_{\text{ЗД}}}{Y_{\text{MAX2}} - Y_{\text{ЗД}}}.$$

Характеристика быстродействия – время переходного процесса. Допустимое значение определяется из опыта эксплуатации подобных систем.

Характеристика устойчивости – перерегулирование. Допустимое значение определяется из эксплуатации подобных систем. В большинстве случаев считается, что запас устойчивости систем регулирования считается достигнутым, если величина перерегулирования не превышает 10-30%. Однако в некоторых случаях требуется, чтобы переходный процесс вообще протекал без перерегулирования, т.е. был монотонным.

Чтобы установить в какой степени показатели качества конкретной АСР удовлетворяют требованиям, предъявляемым к АСР, необходимо решить систему дифференциальных уравнений системы при заданных возмущениях и построить кривую переходного процесса. Однако такой метод не дает возможности для систем высокого порядка судить и о целесообразном направлении изменения параметров регулятора для того, чтобы исправить неудовлетворительный переходный процесс. В связи с этим разработаны приближенные косвенные методы оценки показателей качества.

ЗАОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

3 СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Согласно блок-схеме, приведенной на рисунке 1.8 динамическое звено, описывающее объект регулирования связывает регулируемый параметр и регулирующее воздействие. Для типизации подходов к разработке АСР различными объектами выделяют четыре свойства, каждое из которых может быть выражено или нет у конкретного объекта. В зависимости от этого делается предпосылка к применению типовых или специализированных подходов к управлению.

3.1 Нагрузка. Емкость

Нагрузка – количество вещества или энергии, отбираемое от объекта для производственных нужд.

Если нагрузка стабильна во времени (насосная станция, обеспечивающая постоянный напор в сети не зависимо от времени суток), то управление простое. Изменение нагрузки является сильным возмущением и требует специального подхода при разработке АСУ.

Емкость – способность объекта аккумулировать рабочую среду. Емкость характеризует инерционность объекта, т.е. степень влияния входной величины на изменение выходной.

Мера емкости – *коэффициент емкости*, т.е. количество вещества или энергии, которое необходимо подвести к объекту, чтобы изменить регулируемую величину на единицу.

В дифференциальном уравнении, описывающем динамику объекта, характеристикой инерционности является постоянная времени:

$$T = \text{const, если } \frac{dY}{dt} = \text{const}$$

$$T = f(t), \text{ если } \frac{dY}{dt} = \text{var, например, для регулирования уровня в емкости с переменным сечением.}$$

Все объекты управления делят на:

- *одноемкостными*;
- *многоемкостными* – это несколько емкостей вместе образующих объект, но разделенных между собой сопротивлениями, например многосекционный реактор.

АСР одноемкостными объектами базируются на типовых подходах, тогда как для многоемкостных объектов требуется учитывать усложнение динамики.

3.2 Самовыравнивание

Самовыравнивание – способность объекта самостоятельно приходить после возмущения в новое состояние равновесия без вмешательства извне.

Мерой самовыравнивания является *степень самовыравнивания* (ρ), т.е. отношение относительного изменения входной величины к относительному изменению выходной. На рисунке 3.1 приведен пример отклика объекта на ступенчатую функцию, поданную на его вход.

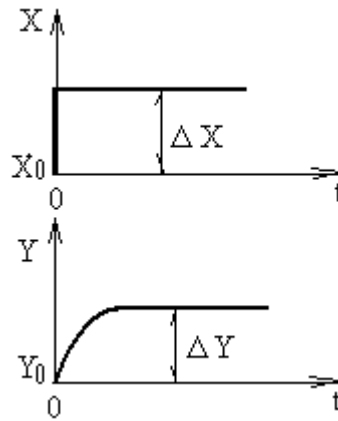


Рисунок 3.1 – Переходный процесс на выходе объекта при подаче на его вход ступенчатого воздействия

Тогда степень самовыравнивания рассчитывается как:

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_0}, \quad \delta Y = \frac{\Delta Y}{Y_0}$$

$$\rho = \frac{\delta X}{\delta Y} = \frac{\Delta X Y_0}{X_0 \Delta Y}$$

О наличии у объекта свойства самовыравнивания можно сделать вывод по виду переходной характеристики. Обобщенная диаграмма переходных характеристик дана на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Переходный процесс на выходе объекта при подаче на его вход ступенчатого воздействия

Чем больше ρ , тем больше выражено самовыравнивание. Нестойчивые объекты, не рассматриваются в качестве объектов управления, т.е. суть любого технологического процесса это длительная и периодическая устойчива работа для получения продукта заданного качества. Поэтому на практике все объекты делятся на два типа:

- без самовыравнивания (астатические);
- с самовыравниванием (статические).

Рассмотри пример астатического объект (рисунок 3.3) – емкость переменного уровня, в которую нагнетается жидкость насосом переменной производительности, а отбирается насосом постоянной производительности

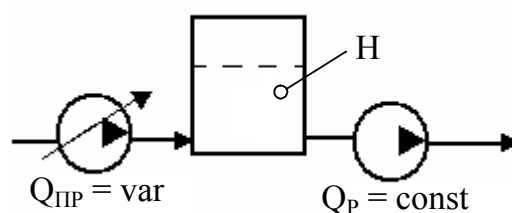


Рисунок 3.3 – Пример астатического объекта управления

Пусть до момента времени t_0 объект находился в равновесии, а после был выведен из равновесия посредством ступенчатого воздействия по расходу на входе. Диаграмма изменения расходов и уровня во времени приведена на рисунке 3.4.

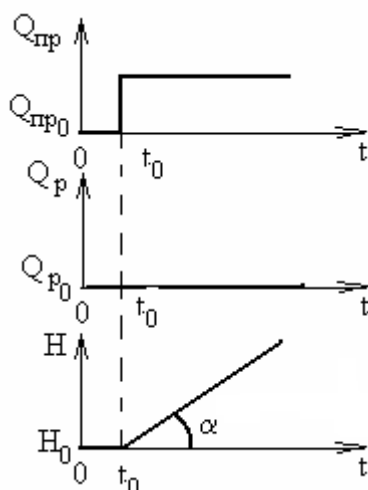


Рисунок 3.4 – Диаграмма динамических характеристик по расходам на входе и на выходе объекта и по уровню для астатического объекта

Запишем уравнение динамики:

$$S \frac{dH}{dt} = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{р}}, \quad (3.1)$$

где S – площадь бака,

левая часть уравнения – изменение объемного количества вещества в емкости в единицу времени.

Выразим расходы и уровень через приращения и запишем уравнение динамики в приращениях:

$$\begin{aligned} H &= H_0 + \Delta H \\ Q_{\text{пр}} &= Q_{\text{пр}0} + \Delta Q_{\text{пр}} \\ Q_{\text{р}} &= Q_{\text{р}0} \end{aligned}$$

$$S \frac{d(H_0 + \Delta H)}{dt} = Q_{\text{пр}0} + \Delta Q_{\text{пр}} - Q_{\text{р}0} \quad (3.2)$$

После вычитания из уравнения динамики уравнения статики ($\frac{dH}{dt} = 0$, следовательно $Q_{\text{пр}} = Q_{\text{р}}$) остается:

$$S \frac{d\Delta H}{dt} = \Delta Q_{\text{пр}} \quad (3.3)$$

Согласно таблице 2-1 типовых динамических звеньев – это идеальное интегрирующее звено, в котором постоянная времени есть величина обратно пропорциональная площади, что не соответствует понятию постоянной времени. Чтобы получить постоянную времени в единицах времени необходимо перейти к безразмерным переменным:

$$H^{\delta} = \frac{\Delta H}{H_0}, \quad Q_{\text{пр}}^{\delta} = \frac{\Delta Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{пр}0}} \quad (3.4)$$

Тогда после нормализации:

$$SH_0 \frac{dH^6}{dt} = Q_{np}^6 Q_{np0}$$

$$\frac{SH_0}{Q_{np0}} \frac{dH^6}{dt} = Q_{np}^6$$

$$T_{и} = \frac{SH_0}{Q_{np0}}.$$

Рассмотри пример статического объекта (рисунок 3.5) – емкость переменного уровня, в которую нагнетается жидкость насосом переменной производительности, а слив вещества зависит от уровня.

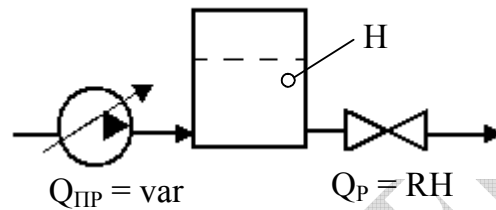


Рисунок 3.5 – Пример статического объекта управления

Пусть до момента времени t_0 объект находился в равновесии, а после был выведен из равновесия посредством ступенчатого воздействия по расходу на входе. Диаграмма изменения расходов и уровня во времени приведена на рисунке 3.6.

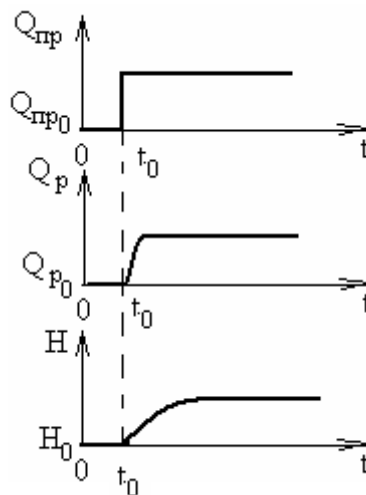


Рисунок 3.6 – Диаграмма динамических характеристик по расходам на входе и на выходе объекта и по уровню для статического объекта

Запишем уравнение динамики при учете, что Q_p связан с уровнем через гидравлическое сопротивление R :

$$S \frac{dH}{dt} = Q_{np} - RH$$

$$S \frac{dH}{dt} + RH = Q_{np}$$

Тогда после представления основных параметров через приращения и вычитания из уравнения динамики уравнения статики получим:

$$S \frac{d(H_0 + \Delta H)}{dt} + RH_0 + R\Delta H = Q_{np0} + \Delta Q_{np}$$

$$\frac{S}{R} \frac{d\Delta H}{dt} + \Delta H = \frac{1}{R} \Delta Q_{\text{пр}} \quad (3.5)$$

Согласно таблице 2.1 типовых динамических звеньев – это аperiodическое звено первого порядка. После перехода к безразмерным величинам можно по аналогии с преобразованиями для объектов астатических получить K безразмерную, а T в размерности времени. Свойство самовывравнивания является положительным, однако может привести к появлению большой статической ошибки при работе АСР со статическим регулятором.

3.3 Запаздывание

В реальных объектах между моментом нарушения равновесия и моментом изменения регулируемого параметра проходит некоторое время – запаздывание.

Выделяют запаздывание: чистое или транспортное и переходное или емкостное.

Чистое запаздывание смещает во времени реакцию на выходе объекта по сравнению с моментом внесения входного воздействия на величину запаздывания, не изменяя величину и форму воздействия.

В качестве примера рассмотрим установку перемещения сыпучего вещества транспортером постоянной производительности из бункера Б1 в бункер Б2, которая схематично показана на рисунке 3.7. В качестве регулируемого параметра примем уровень в бункере Б2. Параллельно рассмотрим изменение массового расхода вещества в сечениях А и В.

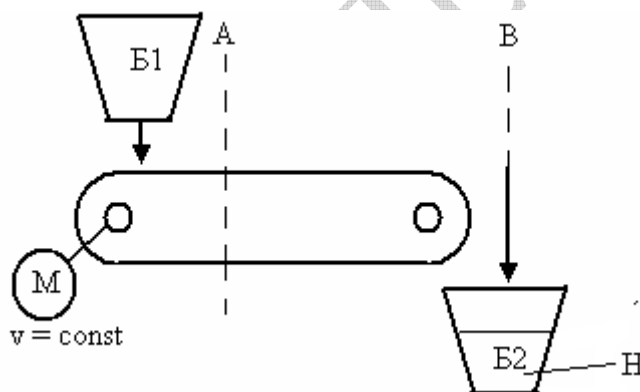


Рисунок 3.7 – Пример объекта с явно выраженным чистым запаздыванием
 Диаграмма изменения расходов в сечениях А и В, а также уровня в бункере Б2 приведена на рисунке 3.8.

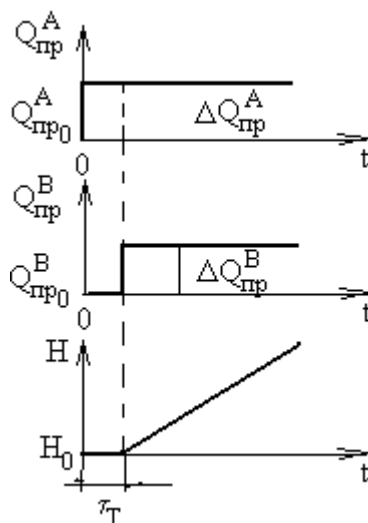


Рисунок 3.8 – Диаграмма динамических характеристик по расходам в сечениях А и В и по уровню для объекта перемещения сыпучего вещества

На диаграмме в нулевой момент времени появился расход вещества в сечении А при условии, что до этого момента установка была выключена и соответственно начальные значения расходов и уровня равны 0. Через время запаздывания τ_T появляется расход в сечение В и начинает возрастать уровень в бункере Б2. Здесь τ_T - время чистого запаздывания.

Переходное запаздывание обусловлено многоемкостью объекта и тем, что между емкостями существует сопротивление. Пример такого объекта показан приведен на рисунке 3.9.

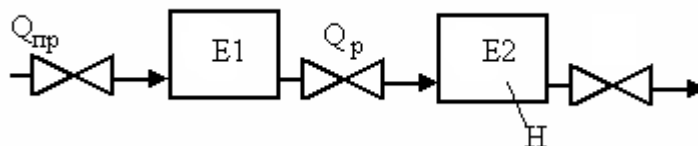


Рисунок 3.9 – Пример многоемкостного объекта с выраженным свойством переходного запаздывания

Диаграмма изменения расходов на входе и на выходе емкости E1, а также уровня в емкости E2 приведена на рисунке 3.10.

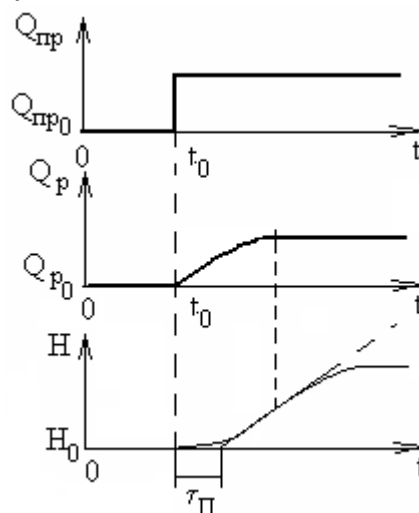


Рисунок 3.10 – Диаграмма динамических характеристик по расходам на входе и выходе емкости E1 и по уровню в емкости E2 для многоемкостного объекта

Здесь в момент времени t_0 подается ступенчатое возмущения по расходу на входе в емкость E1. Наличие динамики при нарастании расходе на выходе из емкости E1 обусловлено гидравлическим сопротивлением. Тогда переходный процесс по уровню в емкости E2 имеет два явно выраженных участка. До точки перегиба низкая скорость изменения уровня обуславливается инерционностью при изменении расхода на выходе, а далее динамикой изменения расход на выходе емкости E2. Часть характеристики, где изменения уровня незначительно можно условно принять за переходное запаздывание и при синтезе рассматривать такой объект, как объект первого порядка с запаздыванием.

В реальных объектах могут одновременно присутствовать как чистое, так и транспортное запаздывание.

Запаздывание – отрицательное свойство объекта, оно затрудняет управление процессом и проявляется в том, что при работе АСР возникает колебательный процесс (незатухающий), который может привести к потери системой устойчивости.

3.4 Методы определения свойств объекта

Аналитический метод – метод на основе математического описания объекта.

Достоинства:

- математическое описание составляется на основе теоретического анализа химических и физических процессов, протекающих в объекте;
- по таким моделям можно прогнозировать работу объекта в статических и динамических режимах.

Недостатки:

- трудоемкость решения системы уравнений, описывающей сложные объекты.
- точность математического описания зависит от степени изученности объекта.

По таким моделям на инженерном уровне можно ориентировочно оценить параметры объекта на основе уравнений динамики и статики материальных и тепловых потоков.

Экспериментальные методы – состоят в определении характеристик объекта путем постановки на нем специального эксперимента.

Достоинства:

- простота;
- возможность определения свойств конкретного объекта.

Недостаток:

- невозможно выявить функциональные связи между входными и выходными переменными в широком диапазоне.

При постановке эксперимента на объект наводят типовые возмущения: ступенчатое, импульсное, синусоидальное.

Обработка эксперимента называется идентификацией, которая делится на:

Структурную – определение структуры модели объекта;

Параметрическую – определение параметров модели объекта.

Идентификации экспериментальных данных может состоять в графической интерпретации. Кроме того, объект может аппроксимироваться звеном произвольного порядка, а сам метод идентификации сводится к оценке коэффициентов дифференциального уравнения путем многократного интегрирования экспериментальных данных. Пример структурной идентификации путем графической интерпретации показан на рисунке 3.11

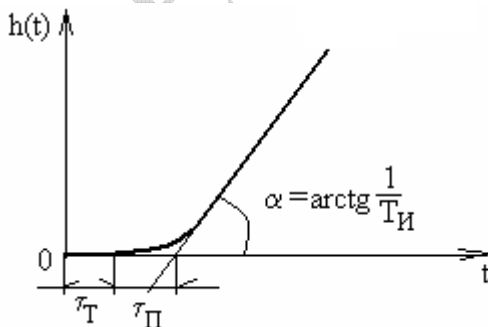


Рисунок 3.11 – Идентификация объекта по переходной характеристике

Структурная идентификация:

Объект аппроксимируется моделью, состоящей из звена чистого запаздывания и идеального интегрирующего звена. Передаточная функция модели объекта:

$$W(p) = \frac{1}{T_I p} e^{-\tau p}$$

Параметрическая идентификация включает следующие этапы графической идентификации:

1. выделение чистого запаздывания τ_T ;
2. построение линии вдоль участка характеристики, изменяющего с постоянной скоростью до пересечения с осью времени;
3. выделение переходного запаздывания τ_{II} ;

4. определение общего запаздывания: $\tau = \tau_T + \tau_{II}$;

5. определение постоянной времени интегрирования $T_{II} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$.

ЗАОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

4 ТИПОВЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

АСР создают на выходе исполнительного элемента регулирующее воздействие, прикладываемое к объекту, которое определяется величиной ошибки.

Функциональная связь между регулирующим воздействием и ошибкой называется законами регулирования. Представление регулятора в виде звена структурной схемы дано на рисунке 4.1

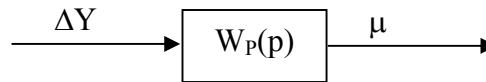


Рисунок 4.1 – Представление регулятора в виде звена структурной схемы, где ΔY – ошибка (рассогласование), μ – регулирующее воздействие.

4.1 Позиционный регулятор

Позиционный (ПЗ) регулятор – это регулятор, у которого регулирующий орган может занимать ограниченное число определенных положений. Наиболее часто используются 2-х и 3-х позиционные регуляторы с положительной и отрицательной зоной регулирования.

Математическая запись 2-х позиционного закона с положительной зоной регулирования:

$$\begin{cases} \mu = 0, & \text{если } \Delta Y > 0 \\ \mu = 1, & \text{если } \Delta Y \leq 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

Статическая характеристика 2-х позиционного регулятора с положительной зоной регулирования показана на рисунке 4.2.

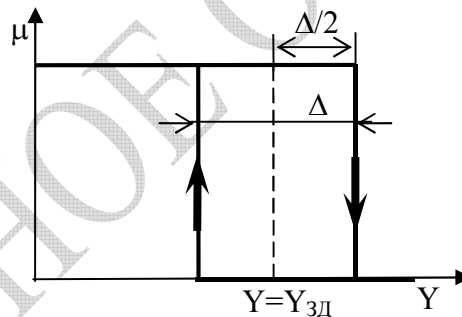


Рисунок 4.2 – Статическая характеристика 2-х позиционного регулятора с положительной зоной регулирования

На рисунке 4.2 Δ – нейтральная зона или зона регулирования, которая является настройкой регулятора. При работе такого регулятора возникает петля гистерезиса. Вследствие присутствия гистерезиса регулируемый параметр на выходе объекта будет совершать непрерывные колебания около заданного значения.

Это можно проиллюстрировать на примере объектов с ярко выраженными отдельными свойствами, что показано на рисунке 4.3, на котором

- 1 – объект без самовыравнивания;
- 2 – объект с самовыравниванием;
- 3 – объект с самовыравниванием и с запаздыванием.

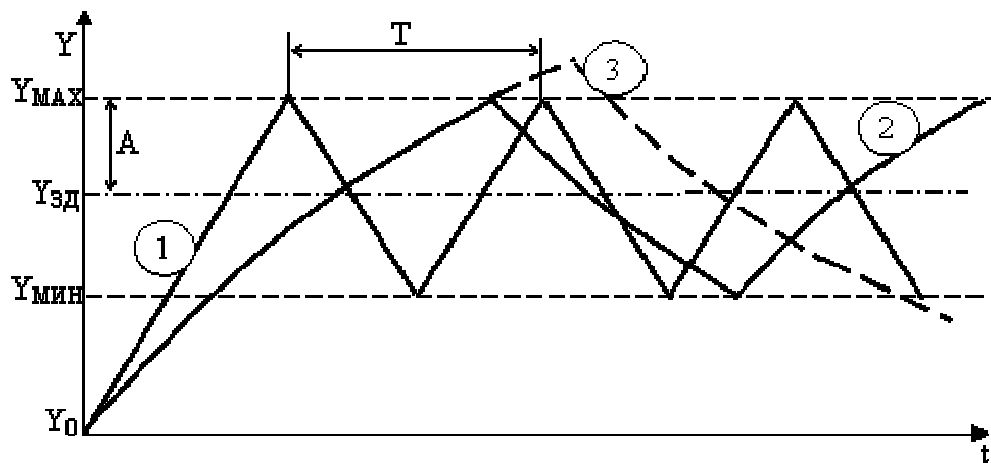


Рисунок 4.3 – Переходный процесс АСР с ПЗ регулятором и объектами разных свойств

Переходный процесс на выходе объекта при работе ПЗ регулятора – автоколебательный процесс со следующими характеристиками:

- T – период;
- A – амплитуда колебаний.

Амплитуда A уменьшается при сужении зоны регулирования Δ , но при этом будет нарастать частота и уменьшаться период колебаний, а следовательно исполнительный механизм быстро выработает свой ресурс. Таким образом, при настройке регулятора идут на компромисс: A выбирается по возможности минимальной, определяется свойствами реального объекта и требованиями к качеству его регулирования; а T – исходя из конструктивных соображений.

Статическая характеристика 2-х позиционного регулятора с отрицательной зоной регулирования показана на рисунке 4.4.

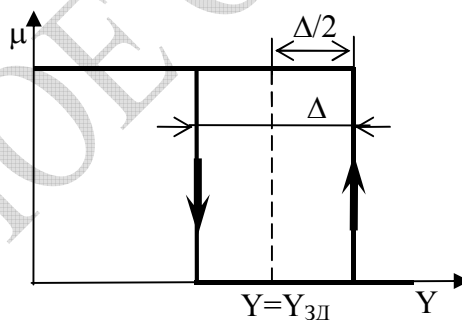


Рисунок 4.4 – Статическая характеристика 2-х позиционного регулятора с отрицательной зоной регулирования

Переключение идет раньше, чем параметр достигает заданного значения. Достоинства этой характеристики ПЗ регулятора состоит в том, что можно уменьшить амплитуду в 1,5 раза для объекта с запаздыванием. Недостатки – это возможность выпадения регулятора из алгоритма работы, что показано на рисунке 4.5.

Использование ПЗ регуляторов – в основном для инерционных объектов, где отношение запаздывания к постоянной времени ($\tau/T > 0,2$) больше 0,2.

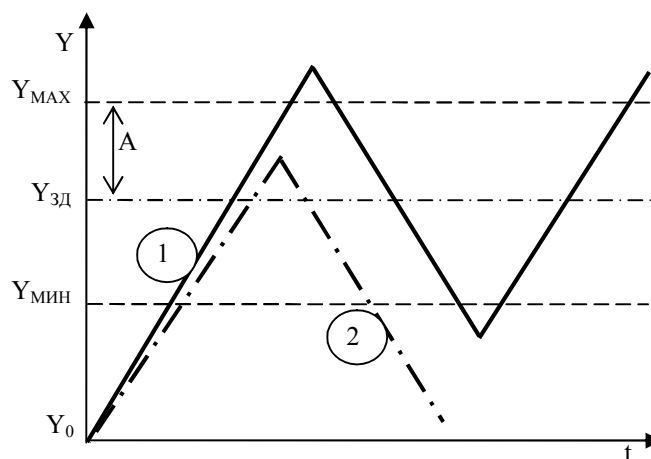


Рисунок 4.5 – Переходная характеристика работы АСР в случае выпадения из алгоритма управления

4.2 Пропорциональный регулятор

Пропорциональный(П) регулятор (статической регулятор) – регулятор, у которого перемещение регулируемого органа пропорционально отклонению регулируемого параметра от заданного значения.

Уравнение динамики:

$$\mu = K_p \Delta Y = \frac{1}{\delta} \Delta Y$$

Настройка регулятора:

K_p – коэффициент усиления (передачи) регулятора;

δ - предел пропорциональности (%) показывает в каких пределах должна изменяться регулируемая величина, чтобы μ изменилось на 100%.

Статическая характеристика П регулятора показана на рисунке 4.6.

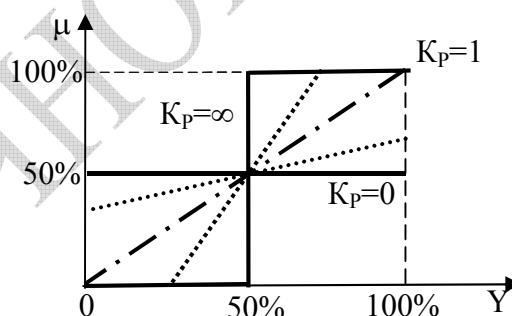


Рисунок 4.6 – Статическая характеристика П регулятора

Если K_p возрастает ($K_p \uparrow \Rightarrow \delta \downarrow$), то в пределе $\delta=0$, а $K_p = \infty$ и это характеристики позиционного регулятора.

Переходная характеристика: $h(t) = K_p$

Передаточная функция:

$$W(p) = K_p. \quad (4.2)$$

Достоинства: простота, высокое быстродействие и минимальное время регулирования.

Недостаток – наличие статической ошибки регулирования.

Статическая ошибка возникает за счет введения жесткой обратной связи (связи по положению регулирующего органа):

4.3 Интегральный регулятор

Интегральный (И) регулятор – это регулятор, у которого скорость перемещения регулирующего органа пропорциональна отклонению регулируемого параметра от заданного значения.

Уравнение динамики:

$$\mu = \frac{1}{T_{\text{И}}} \int_0^t \Delta Y \, dt$$

Настройка регулятора $T_{\text{И}}$ – время интегрирования – это время перемещения регулирующего органа из одного крайнего положения в другое при 100% отклонении регулируемого параметра.

Переходная характеристика И регулятора приведена на рисунке 4.7

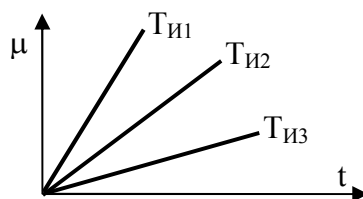


Рисунок 4.7 – Переходная характеристика И регулятора

С ростом $T_{\text{И}}$ уменьшается наклон характеристики, т.к. $T_{\text{И}} \uparrow \Rightarrow \alpha \downarrow$. В пределе при $T_{\text{И}} \rightarrow \infty$ характеристика принимает вид прямой линии и дает инвариантную систему.

Передаточная функция:

$$W(p) = \frac{1}{T_{\text{И}} p} \quad (4.3)$$

Достоинство – отсутствие отклонения от заданного значения в конце переходного процесса, но только если объект с самовывравниванием.

Недостаток – малое быстродействие регулятора.

Скорость быстродействия зависит от настройки регулятора: снижение $T_{\text{И}}$ приводит к увеличению быстродействия, но и к снижению устойчивости.

4.4 Пропорционально-интегральный регулятор

Пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор – это регулятор, у которого регулирующее воздействие пропорционально как отклонению, так и интегралу отклонения регулируемой величины.

Уравнение динамики:

$$\mu = K_p \Delta Y + \frac{1}{T_{\text{И}}} \int_0^t \Delta Y \, dt.$$

Передаточная функция ПИ-регулятора с независимыми настройками:

$$W_{\text{ПИ}} = W_{\text{П}} + W_{\text{И}} = K_p + \frac{1}{T_{\text{И}} p}, \quad (4.4)$$

где $W_{\text{П}}$ и $W_{\text{И}}$ – передаточные функции П и И регуляторов.

Настройки регулятора:

- K_p – коэффициент усиления, в пределе если $K_p \rightarrow 0$, то ПИ $\rightarrow$ И регулятор;
- $T_{\text{И}}$ – время интегрирования, в пределе если $T_{\text{И}} \rightarrow \infty$, то ПИ $\rightarrow$ П регулятор.

Переходная характеристика регулятора показана на рисунке 4.8

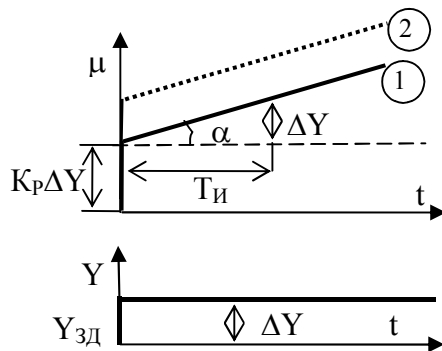


Рисунок 4.8 – Переходная характеристика ПИ регулятора

В начальный момент времени регулирующее воздействие скачкообразно изменяется на величину $\Delta Y K_p$, а затем плавно возрастает и за время интегрирования увеличивается еще на величину входного сигнала.

Достоинства – сочетание свойств П- и И-регуляторов:

- высокое быстродействие;
- регулирование без статических ошибок;
- отсутствие ограничений на свойства объекта.

Для улучшения динамических свойств обратная связь в таких регуляторах реализуется не по положению регулирующего органа, а по скорости изменения регулируемого параметра. Гибкая отрицательная обратная связь действует только в переходные моменты времени, при прекращении изменения перестает действовать обратная связь и остается только интегральная составляющая.

ПИ регулятор используется, если необходимо вести процесс без статической ошибки регулирования и когда возмущение на входе объекте изменяется не резко по своей величине (плавно, но может принимать большие значения) и когда запаздывание в системе не велико (τ/T - мало).

4.5 Дифференциальный регулятор

Дифференциальный (Д) регулятор – это регулятор, у которого есть составляющая пропорциональная скорости изменения отклонения регулируемого параметра.

Реально существует две структуры дифференциальных регуляторов.

1. Пропорционально-дифференциальный (ПД) регулятор

Уравнение динамики:

$$\mu = K_p \Delta Y + T_d \frac{d\Delta Y}{dt}.$$

Передаточная функция ПД регулятора:

$$W_{ПД} = W_{П} + W_{Д} = K_p + T_d p, \quad (4.5)$$

где $W_{П}$ и $W_{Д}$ – передаточные функции П и Д составляющих регулятора.

Настройки регулятора:

- K_p – коэффициент усиления, присутствует обязательно;
- T_d – время дифференцирования, в пределе если $T_d \rightarrow 0$, то ПД $\rightarrow$ П регулятор.

T_d – это время, на которое выходная величина регулятора опережает его П составляющую приращением входной величины ($\frac{d\Delta Y}{dt} = \text{const}$) при $K_p = 1$.

Переходная характеристика ПД регулятора приведена на рисунке 4.9

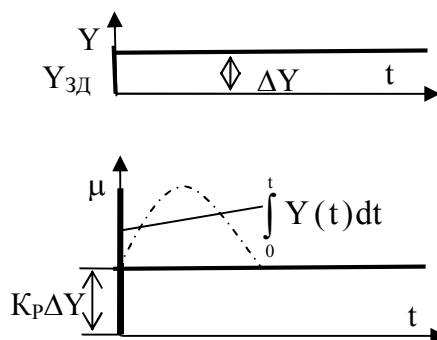


Рисунок 4.9 – Переходная характеристика ПД регулятора

В начальный момент времени действует Д составляющая: Д (при $t = 0$) $\Rightarrow \infty$.
Далее преобладает П составляющая: Д (при $t > 0$) $\Rightarrow K_p \Delta Y$.

Достоинство – большое регулирующее воздействие.

2. Пропорционально -интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор

Уравнение динамики:

$$\mu = K_p \Delta Y + \frac{1}{T_{\text{И}}} \int_0^t \Delta Y dt + T_{\text{Д}} \frac{d\Delta Y}{dt}$$

Передаточная функция ПИД регулятора:

$$W_{\text{ПИД}} = K_p + \frac{1}{T_{\text{И}} p} + T_{\text{Д}} p \quad (4.6)$$

Настройки регулятора:

- K_p – коэффициент усиления;
- $T_{\text{И}}$ – время интегрирования;
- $T_{\text{Д}}$ – время дифференцирования.

Переходная характеристика ПИД регулятора приведена на рисунке 4.10

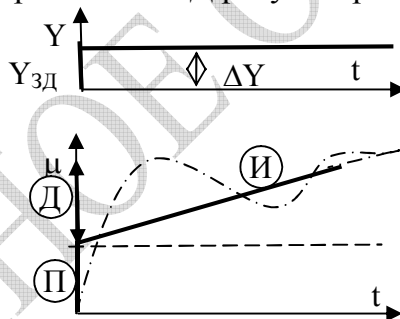


Рисунок 4.10 – Переходная характеристика ПИД регулятора

На рисунке 4.10 показаны: П – пропорциональная составляющая (K_p); И – интегральная составляющая ($\alpha = \arctg \frac{1}{T_{\text{И}}}$); Д – дифференциальная составляющая ($\int_0^t Y dt = T_{\text{Д}}$).

Достоинства: устойчивая АСР с астатическими и статическими объектами и регулирование без статической ошибки.

Недостаток – дифференциальная составляющая увеличивает воздействие на входе объекта и снижает устойчивость системы в целом ($K_p \uparrow$, $T_{\text{И}} \downarrow$, $T_{\text{Д}} \uparrow$).

Если возмущение изменяется скачкообразно и если присутствуют значительные запаздывания в системе, то для получения качественного процесса регулирования используются регуляторы с дифференциальной составляющей. Но они являются наиболее сложными и наиболее дорогими и имеют сложный процесс настройки.

5 СИНТЕЗ АСР

5.1 Метод синтеза АСР

Синтез АСР включает несколько этапов:

1. Структурный синтез – определение структуры и параметров регулятора на основе структуры и параметров объекта.
2. Параметрический синтез – определение параметров регулятора, обеспечивающих в системе требуемое качество регулирования.

Метод параметрического синтеза делится на:

- синтез по прямым показателям качества;
- синтез по косвенным показателям.

Постановка задачи независимо от метода одна и та же:

1. построение тем или иным способом графика переходного процесса при заданном входном воздействии;
2. определение качественных показателей по нему;
3. изменение параметров настройки регулятора, с целью получения переходного процесса с заданными характеристиками качества.

Расчет настроек регулятора можно выполнять, например, на основе эмпирических формул (метод Всероссийского университета), которые даны в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Расчет настроек регулятора методом ВТИ

Настройки регулятора	Формулы расчета настроек регуляторов			Характеристика объекта
	ПИ-регулятор	ПИИ-регулятор	ПИД-регулятор	
K_p	$\frac{T_o}{\tau_o}$	$\frac{T_o}{1.1 \cdot \tau_o}$	$\frac{T_o}{0.8 \cdot \tau_o}$	$0 < \frac{\tau_o}{T_o} < 0.2$
T_i	–	$\frac{3.3 \cdot \tau_o}{T_o}$	$\frac{2.5 \cdot \tau_o}{T_o}$	
K_p	$\frac{\tau_o/T_o + 0.6}{2.6 \cdot K_o \cdot (\tau_o/T_o - 0.8)}$		$\frac{\tau_o/T_o + 1.5}{3.7 \cdot K_o \cdot (\tau_o/T_o - 0.13)}$	$0.2 < T_o < 1.5$
T_i	–	$0.8 \cdot T_o$	T_o	
K_p	$\frac{1}{2 \cdot K_o}$	$\frac{1}{2 \cdot K_o}$	$\frac{1}{1.7 \cdot K_o}$	$\frac{\tau_o}{T_o} < 1.5$
T_i	–	$0.6 \cdot \tau_o$	$0.7 \cdot \tau_o$	

В таблице 5.1 τ_o , T_o , K_o – время запаздывания, постоянная времени и коэффициент усиления объекта; K_p , T_i – коэффициент усиления и постоянная времени интегрирования регулятора. Постоянная времени дифференцирования регулятора T_d берется как четверть времени интегрирования: $T_d = 0,25 T_i$.

5.2 Одноконтурная АСР

Одноконтурная АСР включает только один регулятор. Структурная схема одноконтурной АСР приведена на рисунке 5.1.

Передаточная функция замкнутой АСР по каналу управления:

$$W(p) = \frac{Y}{F} = \frac{W_o}{1 + W_o W_p}. \quad (5.1)$$

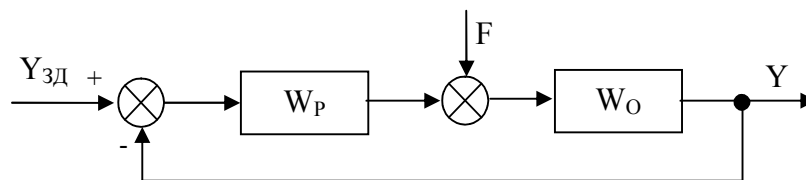


Рисунок 5.1 – Структурная схема одноконтурной АСР, где W_O – передаточная функция объекта, W_P – передаточная функция регулятора

Передаточная функция замкнутой АСР по каналу задания:

$$W_{АСР}(p) = \frac{Y}{Y_{зд}} = \frac{W_O W_P}{1 + W_O W_P}. \quad (5.2)$$

Рассчитав корни характеристического уравнения можно оценить устойчивость системы, не рассчитывая каждый раз переходный процесс, а рассматривая только наиболее интересные варианты.

Рассмотрим влияние характеристик объекта и настроек регулятора на свойства одноконтурной АСР

В качестве примера проанализируем систему стабилизации ($Y_{зд} = \text{const}$) с подачей на вход ступенчатое воздействие по заданию ($F = \Delta Y_{зд}$).

1. АСР с астатическим объектом и П-регулятором.

Пусть передаточная функция объекта регулирования имеет вид:

$$W_O = \frac{1}{T_O p},$$

а передаточная функция регулятора

$$W_P = K_P.$$

Тогда передаточная функция замкнутой АСР:

$$W_{АСР} = \frac{W_O}{1 + W_O W_P} = \frac{1}{T_O p \left(1 + \frac{K_P}{T_O p} \right)} = \frac{1}{T_O p + K_P} = \frac{1}{K_P} \frac{1}{\frac{T_O}{K_P} p + 1} = \frac{K_{АСР}}{1 + T_{АСР} p}. \quad (5.3)$$

Характеристическое уравнение:

$$\frac{T_O}{K_P} p + 1 = 0,$$

где $p = -\frac{K_P}{T_O}$. Здесь только один вещественный отрицательный корень и следовательно

система устойчива. На рисунке 5.2 приведена совокупность переходных процессов на выходе АСР с постоянной времени объекта равной 25 с. и тремя значениями коэффициента усиления регулятора ($20 > 10 > 2$).

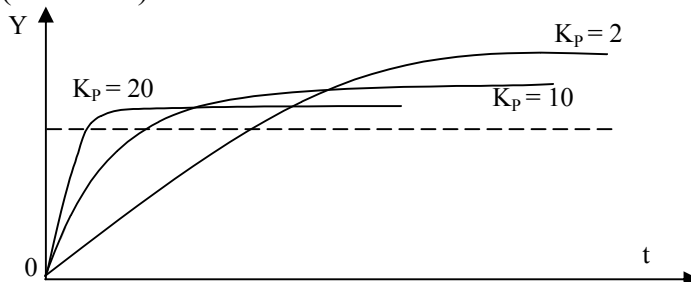


Рисунок 5.2 – Переходные процессы на выходе АСР с различными значениями коэффициента усиления регулятора

С ростом коэффициента усиления статическая ошибка снижается, однако при этом переходный процесс АСР приближается к работе позиционного регулятора и в пределе при больших значениях K_p можно выйти на колебательный процесс. Таким образом, результаты анализа этой АСР можно выразить в следующей диаграмме:

$$K_p \uparrow \Rightarrow \begin{cases} K_{АСР} \downarrow \Rightarrow \Delta_{СТ} \downarrow \\ T_{АСР} \downarrow \Rightarrow T_p \downarrow \Rightarrow \text{Устойчивость} \downarrow \end{cases}$$

Таким образом, синтезируемая АСР устойчива, но регулирование идет со статической ошибкой. Величина ошибки зависит от K_p и тем меньше, чем больше K_p . Поэтому K_p выбирают согласно условию $K_p < K_p^{KP}$, где значение K_p^{KP} дает появление колебательного процесса.

2. АСР с астатическим объектом и ПИ-регулятором.

Пусть передаточная функция объекта регулирования имеет вид:

$$W_O = \frac{1}{T_{Op}},$$

а передаточная функция регулятора

$$W_P = K_p + \frac{1}{T_{Иp}}.$$

Тогда передаточная функция замкнутой системы:

$$W_{АСР} = \frac{W_O}{1 + W_O W_P} = \frac{1}{T_{Op} \left(1 + \frac{K_p}{T_{Op}} + \frac{1}{T_O T_{Иp} p^2} \right)}$$

$$W_{АСР} = \frac{1}{T_{Op} + K_p + \frac{1}{T_{Иp}}} = \frac{T_{Иp}}{1 + K_p T_{Иp} + T_O T_{Иp} p^2}. \quad (5.4)$$

Характеристическое уравнение имеет вид:

$$1 + K_p T_{Иp} + T_O T_{Иp} p^2 = 0,$$

где $p_{1,2} = \frac{-K_p T_{И} \pm \sqrt{K_p^2 T_{И}^2 - 4 T_O T_{И}}}{2 T_O T_{И}}$. Вещественная часть корня: $\frac{-K_p T_{И}}{2 T_O T_{И}} \neq f(T_{И})$ будет отрицательной и не зависит от величины $T_{И}$, а только от K_p . На рисунке 5.3 показана совокупность переходных процессов при разных условиях, определяющих устойчивость АСР.

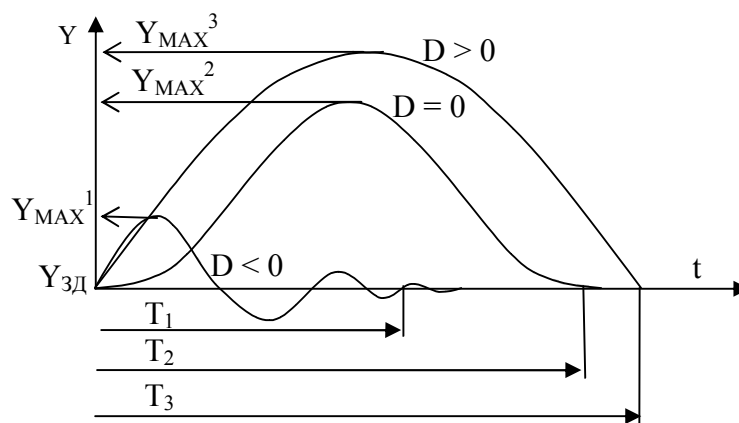


Рисунок 5.3 – Переходные процессы на выходе АСР с различными состояниями мнимой части корней характеристического уравнения

Переходный процесс при ступенчатом возмущении по каналу возмущения:

- при $D > 0$, т.е. $p_1 \neq p_2$ и корни вещественные (апериодический процесс без статической ошибки);
- при $D = 0$, т.е. $p_1 = p_2$ и корни вещественные (апериодический процесс на границе устойчивости);
- при $D < 0$, т.е. $p_1 \neq p_2$ и корни комплексные (апериодический или колебательный процесс).

$$K_1(D > 0) > K_2(D = 0) > K_3(D < 0).$$

Диаграммы влияния настроек регулятора на качество переходного процесса:

$$K_P \uparrow \Rightarrow \begin{cases} Y_{\text{MAX}} \uparrow \Rightarrow \text{интенсивность затухания} \downarrow \Rightarrow \text{Устойчивость} \uparrow \\ T_P \uparrow \Rightarrow \text{Быстродействие} \downarrow \end{cases}$$

$$T_I \uparrow \Rightarrow \begin{cases} Y_{\text{MAX}} \uparrow \\ T_P \uparrow \end{cases}.$$

Система работоспособна. Регулирование идет без статической ошибки. Параметры переходного процесса зависят от настроек регулятора.

5.3 Многоконтурные системы. Каскадная АСР

Многоконтурная система – это система, содержащая более одного регулятора

Каскадная АСР – двухконтурная замкнутая система, построенная на базе двух стандартных регуляторов, используется для регулирования основной и вспомогательной координат.

Каскадная АСР применяется для объектов, обладающих большой инерционностью или большим запаздыванием по каналу управления, при чем в том случае, если можно выбрать менее инерционную по отношению к основному возмущению промежуточную координату и использовать для нее то же регулирующее воздействие, что и для основного выхода объекта.

В качестве примера рассмотрим каскадную АСР с использованием основного и вспомогательного параметров различной физической природы, рисунок 5.4

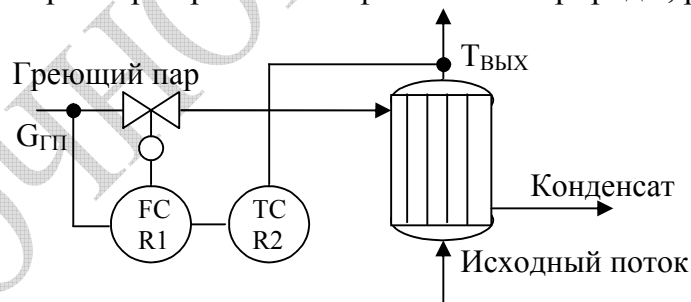


Рисунок 5.4 – Пример теплового объекта с реализацией каскадной АСР для регулирования температуры на выходе из теплообменника

Объект обладает большой инерционностью по каналу регулирования температуры на выходе путем изменения расхода греющего пара. Тогда можно ввести менее инерционный вспомогательный канал:

Основной канал – регулирование температуры на выходе аппарата расходом греющего пара: $G_{\text{ГП}} \rightarrow T_{\text{ВЫХ}}$.

Вспомогательный канал – стабилизация расхода греющего пара: $G_{\text{ГП}} \rightarrow G_{\text{ГП}}^{\text{PO}}$.

Структурная схема каскадной АСР приведена на рисунке 5.5

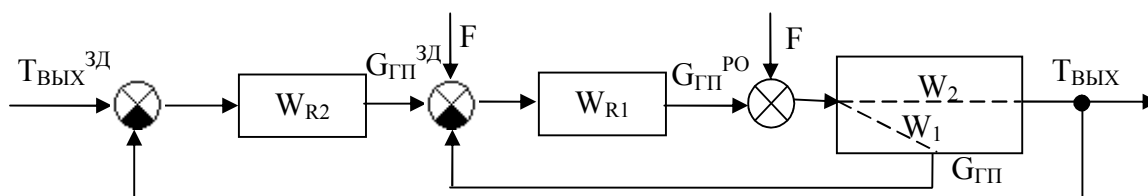


Рисунок 5.5 – Структурная схема каскадной АСР

В этой структуре регуляторы включены последовательно. Вспомогательный регулятор R1 стабилизирует расход пара, а основной регулятор R2 корректирует задание регулятору R1 по изменению основного регулируемого параметра. W_1 и W_2 – передаточные функции объекта по каналу управления и по каналу возмущения.

Методика настройки каскадной АСР носит итерационный характер. Настройки регуляторов R1 и R2 взаимосвязаны. На каждом шаге итерации рассчитывается приведенная АСР, в которой один из регуляторов условно отнесен к объекту.

5.4 Многоконтурные системы. Комбинированная АСР

Комбинированная АСР – многоконтурная система регулирования, состоящая из одноконтурной АСР и динамического компенсатора. Такая система обеспечивает инвариантность регулируемого параметра по отношению к основному возмущению. Применяется, когда есть существенные измеряемые возмущения.

В качестве примера рассмотрим комбинированную АСР с подключением компенсатора на вход регулятора, рисунок 5.6

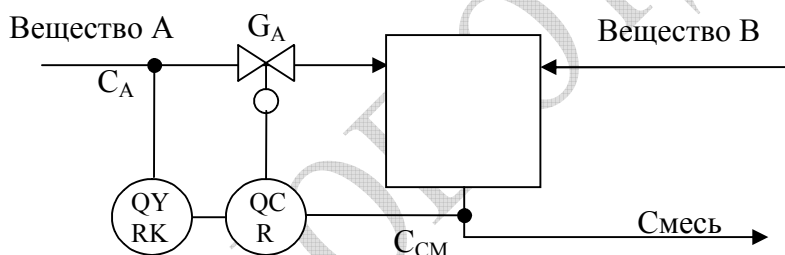


Рисунок 5.6 – Пример объекта смешения веществ с реализацией комбинированной АСР с подключением компенсатора на вход регулятора

Регулятор R должен обеспечивать инвариантность состава смеси по отношению к изменению концентрации вещества А, которая не стабильна во времени и для измерения которой существует автоматическое средство измерения.

Структурная схема комбинированной АСР приведена на рисунке 5.7

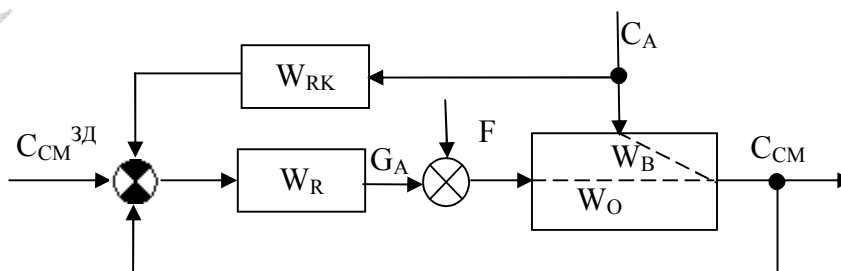


Рисунок 5.7 – Структурная схема комбинированной АСР с подключением компенсатора на вход регулятора

Передаточная функция компенсатора выбирается исходя из математического описания объекта по каналу управления и возмущения и регулятора:

$$W_{RK} = \frac{W_B}{W_R W_O}. \quad (5.5)$$

Основной принцип инвариантности заключается в том, чтобы при любых значениях компенсируемого возмущения регулируемый параметр не отклонялся от равновесного состояния. Обязательное условие выполнения – идеальная компенсация возмущающего воздействия. При выборе компенсатора необходимо соблюдение условия физической реализуемости компенсатора:

$$W_{RK} = \frac{B_m(p)}{A_n(p)} e^{-\tau_{kp}}$$

- $m \leq n$ – первое условие физической реализуемости;
- $\tau_k > 0$, т.е. $\tau_k = \tau_B - \tau_O \Rightarrow \tau_B \geq \tau_O$ – второе условие.

Если компенсатор оказался физически не реализуемым, то можно изменить точку подключения компенсатора. Рассмотрим пример комбинированной АСР с подключением динамического компенсатора на вход объекта, рисунок 5.8.

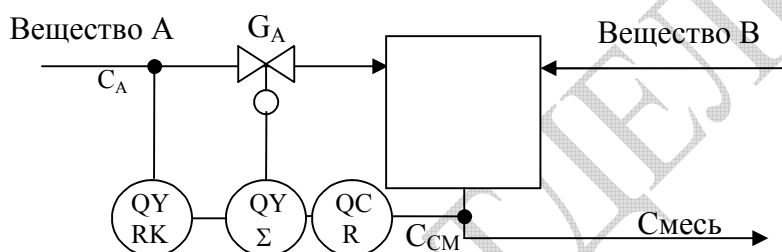


Рисунок 5.8 – Пример объекта смешения веществ с реализацией комбинированной АСР с подключением компенсатора на вход объекта

Структурная схема такой комбинированной АСР приведена на рисунке 5.9

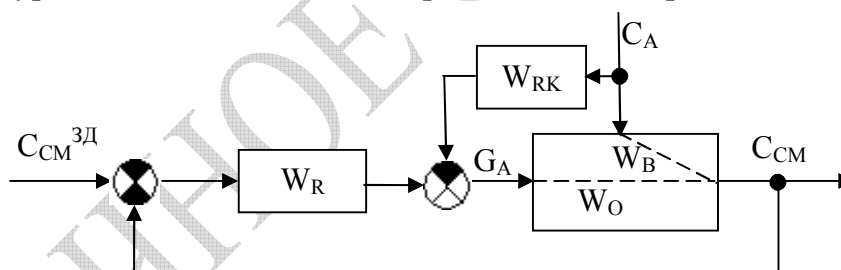


Рисунок 5.9 – Структурная схема комбинированной АСР с подключением компенсатора на вход объекта

Передаточная функция компенсатора:

$$W_{RK} = \frac{W_B}{W_O}. \quad (5.6)$$

Комбинированная АСР будет обеспечивать полную инвариантность по отношению к возмущениям при условии использования идеальных компенсаторов, которые легко реализуются на средствах вычислительной техники.

При реализации компенсатора с помощью средств агрегатированных комплексов для локальных систем, подбираются устройства приблизительно реализующие функцию W_{RK} и полная инвариантность в таких системах не обеспечивается.

5.5 Системы регулирования уровня

Уровень является косвенным показателем гидродинамического равновесия в аппарате (приход = расход). Постоянство уровня свидетельствует о соблюдении материального баланса по жидкой фазе. В аппаратах с фазовым превращением (испарители, конденсаторы, ректификационные установки).

Уравнение материального баланса по жидкой фазе:

$$S \frac{dH}{dt} = \sum Q_{\text{пр}} - \sum Q_{\text{р}} \pm \sum Q_{\text{преоб}}, \quad (5.7)$$

где $S \frac{dH}{dt}$ - изменение объема жидкости в аппарате в единицу времени.

Если рассматривать в качестве объекта емкость и устройство подачи и отбора жидкости, то возможны следующие варианты.

1. Регулирование уровня путем изменения расхода на входе при условии, что расход на выходе постоянен, т.е. $Q_{\text{пр}}$ и $Q_{\text{р}}$ – зависят от скорости вращения выходного вала насоса, см. рисунок 3.3. Тогда уравнение динамики такого объекта имеет вид:

$$S \frac{dH}{dt} = Q_{\text{пр}}$$

и по каналу управления $Q_{\text{пр}} \rightarrow H$ – это интегральное звено.

2. Регулирование уровня путем изменения расхода на выходе, где установлено переменное гидравлическое сопротивление, см. рисунок 3.5. Тогда уравнение динамики такого объекта имеет вид:

$$S \frac{dH}{dt} = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{р}}(H)$$

$Q_{\text{пр}} = f(H)$; $Q_{\text{р}} = f(\text{скорость вращения выходного вала})$. По каналу управления $Q_{\text{пр}} \rightarrow H$ – это апериодическое звено первого порядка.

3. Регулирование уровня путем изменения расхода на выходе за счет работы насоса постоянной производительности и при создании расхода на входе за счет гидростатического напором, h , см. рисунок 5.10.

Тогда уравнение динамики такого объекта имеет вид:

$$S \frac{dH}{dt} = Q_{\text{пр}}(h) - Q_{\text{р}}$$

По каналу управления $Q_{\text{р}} \rightarrow H$ – это объект с самовыравниванием.

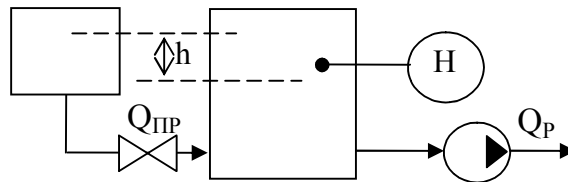


Рисунок 5.10 – Структура объекта управления уровнем при создании расхода на входе за счет гидростатического напора

4. Регулирование уровня путем изменения расхода на выходе за счет переменного гидравлического сопротивления и при создании расхода на входе за счет гидростатического напором, h , см. рисунок 5.11.

Тогда уравнение динамики такого объекта имеет вид:

$$S \frac{dH}{dt} = Q_{\text{пр}}(h) - Q_{\text{р}}(H),$$

где $Q_{\text{пр}} = f(h)$, а $Q_{\text{р}} = f(H)$.

По каналу управления $Q_P \rightarrow H$ – это объект с самовыравниванием (самый устойчивый).

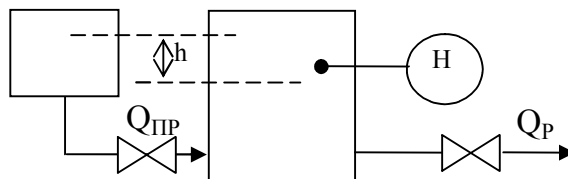


Рисунок 5.11 – Структура объекта управления уровнем при создании расхода на входе за счет гидростатического напора и реализации управления за счет переменного гидравлического сопротивления на выходе

Анализ результатов синтеза АСР с такими объектами можно проиллюстрировать следующим образом.

➤ *Позиционное регулирование* (2-х, 3-х позиционное с зоной нечувствительности).

ПЗ регуляторы поддерживают уровень в емкости в заданных пределах ($H_H < H < H_B$). АСР с ПЗ регулированием устанавливают на сборниках жидкости или на промежуточных емкостях для обеспечения непрерывного процесса стабилизации расхода:

Если $H > H_{зд}$, то регулирующий орган *закрыт*.

Если $H < H_{зд}$, то регулирующий орган *открыт*.

При таком способе регулирования идут частые переключения исполнительного механизма и хотя амплитуда автоколебаний не велика, но износ контактной аппаратуры происходит быстро.

➤ *Аналоговое* (П и ПИ регулирование)

Осуществляется стабилизация уровня на заданном значении.

П регулятор применяется, если не требуется высокая точность поддержания уровня и когда возмущения в системе не имеют постоянной составляющей.

ПИ регулятор применяется, когда к точности регулирования уровня предъявляются высокие требования, например в аппаратах с кипящим слоем.

➤ Для аппаратов с безфазным превращением применяют:

- ✓ одноконтурные системы (регулирование уровня по расходу притока и слива);
- ✓ системы косвенного регулирования уровня по соотношению расходов притока и слива;
- ✓ системы каскадного регулирования, в которых вспомогательный параметр - стабилизация расхода или соотношения расходов, как показано на рисунке 5.12

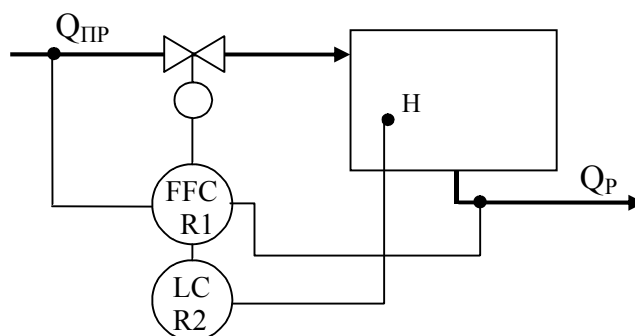


Рисунок 5.12 – Пример реализации системы каскадного регулирования уровня с вспомогательным контуром регулирования – системой соотношения расходов

➤ Для аппаратов с фазовым превращением.

Уровень зависит от других параметров процесса, поэтому выбор способа регулирования связан с решениями по регулированию других параметров.

Применяют одноконтурные, каскадные и комбинированные АСР. Показатель эффективности процесса – уровень жидкой фазы. Канал управления: расход теплоносителя → уровень. Качество такой системы может быть недостаточным, т.к. идут сильные возмущения по расходу жидкой фазы, температуре греющего пара. Тогда строятся системы многоконтурного регулирования с дополнительной стабилизацией параметров по возмущению.

➤ Для аппаратов кипящего слоя.

Уровень является косвенной характеристикой показателя эффективности процесса. Уровень регулирования расхода материала на подаче или отборе или расхода газа на притоке. Устойчивое поддержание уровня возможно в достаточно узких пределах соотношения расхода газа и расхода материала.

5.6 Системы регулирования расхода

АСР расхода применяются:

- для стабилизации возмущений по технологическим потокам;
- как внутренние контуры каскадных АСР других технологических параметров;
- для регулирования соотношения расходов технологических потоков в одноконтурных и каскадных АСР.

Технологические цели АСР расхода:

- обеспечение заданного состава смеси;
- поддержание материального и теплового балансов в аппарате;
- стабилизация производительности установки.

В качестве примера объекта регулирования расхода рассмотрим участок трубопровода, см. рисунок 5.13.

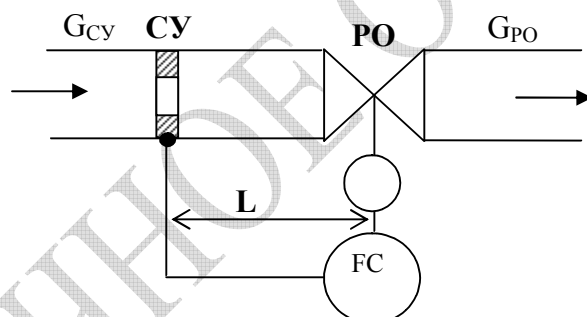


Рисунок 5.13 – Пример АСР стабилизации расхода

В этом случае в качестве регулируемого параметра выступает расход вещества после сужающего устройства СУ (средства измерения), а регулирующего – расход после клапана РО (регулирующего органа).

Передаточная функция такого объекта имеет вид:

$$W_{\text{ОБ}} = \frac{K_{\text{ОБ}}}{T_{\text{ОБ}}P + 1} e^{-\tau_{\text{ОБ}}P},$$

где $\tau_{\text{ОБ}} = \frac{L}{v}$, L – длина трубопровода между местом установки СУ и РО, v – скорость движения потока. Для данного объекта характерна малая инерционность, соизмеримая с инерционностью цепи контроля и регулирования. Поэтому выбор структуры АСР и закона регулирования диктуется требованиями, предъявляемыми к качеству регулирования:

- П регулятор → быстродействующий контур в качестве вспомогательного контура в каскадных АСР;

- ПИ регулятор → для регулирования без статической ошибки;
- ПД и ПИД регуляторы → не рекомендуются из-за возможного наличия высокочастотных помех в сигнале расхода.

Рассмотрим различные способы реализации регулирующего воздействия в АСР расхода

1 Дросселирование потока с помощью клапана, шибер, заслонки и т.д., как показано на рисунке 5.14.

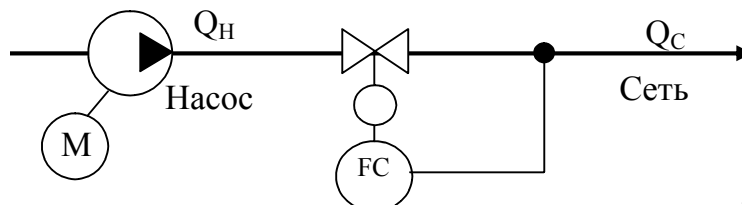


Рисунок 5.14 – АСР расхода путем дросселирования потока

Применяется при условии того, что напор насоса примерно соответствует напору сети: $H_H = H_C$.

2 Байпасирование потока – перепускание потока из линии нагнетания в линию всасывания, как показано на рисунке 5.15.

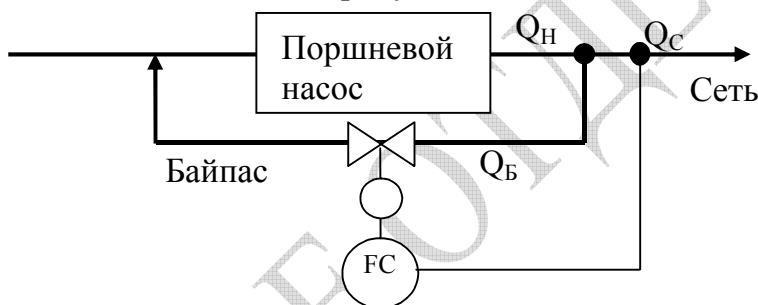


Рисунок 5.15 – АСР расхода путем байпасирования потока

Применяется при условии: $Q_C \approx Q_H$ и соответственно $Q_H = Q_B + Q_C$.

3 Изменение числа оборотов привода насоса, т.е. изменение напора в трубопроводе, как показано на рисунке 5.16.

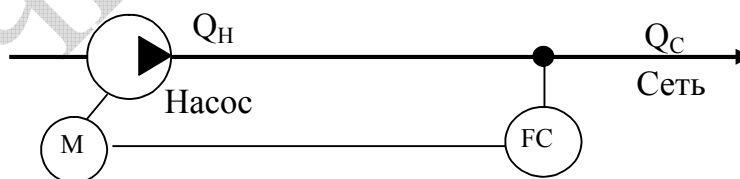


Рисунок 5.16 – АСР расхода путем изменение числа оборотов привода насоса

Применяется при условии $\eta_H = \eta_C = \text{const}$

Несколько отличные подходы используются для реализации систем регулирования соотношения расходов

Рассмотрим ситуацию когда Q_1 – ведущий поток, т.е. поток, изменяющийся независимо, а Q_2 – ведомый поток, т.е. поток, который приводится в заданное соотношение с ведущим Q_1 ($Q_2 = \gamma Q_1$)

Тогда для регулирования соотношения расходов при независимой общей нагрузке ($Q_1 = \text{var}$) потребуется всего один регулятор, заданием которому будет служить произведение γQ_1 , где γ - коэффициент соотношения расходов. Сокращенная схема подключения регулятора показана на рисунке 5.17.

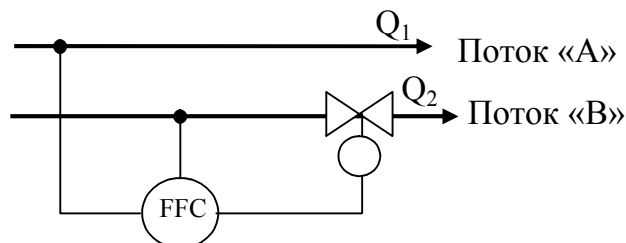


Рисунок 5.17 – АСР соотношения расходов при независимой общей нагрузке

В этом случае для формирования задания регулятору необходимы результаты измерения расхода Q_1 и значение γ . Последний может быть постоянным во времени $\gamma = \text{const}$ или переменным, если контур регулирования соотношения расходов является внутренним, например, для системы каскадного регулирования уровня, как показано на рисунке 5.12. и рассчитываться внешним регулятором R2.

Для регулирования соотношения расходов при заданной общей нагрузке параллельно работают две АСР: одноконтурная для стабилизации Q_1 и система регулирования соотношения расходов, как показано на рисунке 5.18.

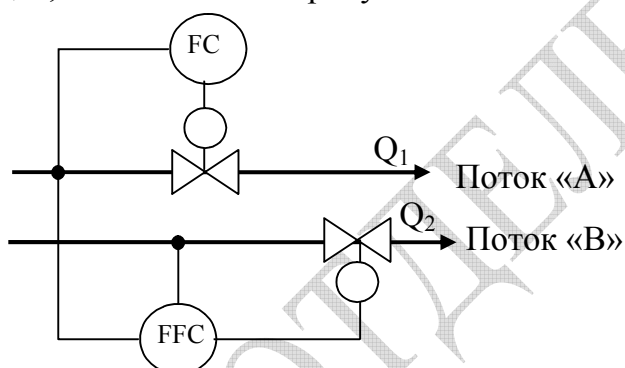


Рисунок 5.18 – АСР соотношения расходов при заданной общей нагрузке

5.7 Системы регулирования температуры

Температура – показатель термодинамического состояния процесса. Постоянство температуры свидетельствует о соблюдении теплового баланса в аппарате.

Уравнение теплового баланса в общем виде имеет вид:

$$\rho V C_p \frac{dT_{\text{вых}}}{dt} = \sum G_{\text{вх}} C_{p\text{вх}} T_{\text{вх}} - \sum G_{\text{вых}} C_{p\text{вых}} T_{\text{вых}} \pm Q_{\text{пр}}, \quad (5.8)$$

где $\rho V C_p \frac{dT}{dt}$ – изменение количества тепла в аппарате в единицу времени, V – объем аппарата, C_p – удельная теплоемкость, ρ – плотность, G – массовый расход, $Q_{\text{пр}}$ – количество тепла преобразования в единицу времени.

Рассмотрим типовые АСР температуры

➤ Системы регулирования температуры, как выходной координаты тепловых объектов. В тепловых процессах температура является показателем эффективности системы. Основные структуры системы регулирования: одноконтурная, каскадная, комбинированная.

Например, одноконтурная АСР температуры в кожухотрубчатом теплообменнике, приведенная на рисунке 5.19.

Такая система используется, если объект обладает малой инерционностью, и по параметру управления не действуют сильные возмущения.

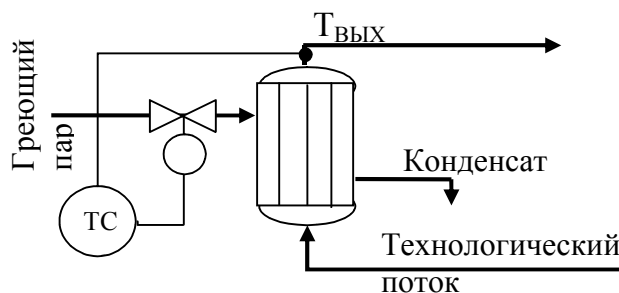


Рисунок 5.19 – Одноконтурная АСР температуры, как выходной координаты тепловых объектов

Если присутствуют измеряемые возмущения, например, по температурам греющего пара и потока на входе в аппарат, то целесообразным может быть применение комбинированной АСР, как показано на рисунке 5.20 для кожухотрубчатого теплообменника с динамическими компенсаторами, подключенными на вход объекта.

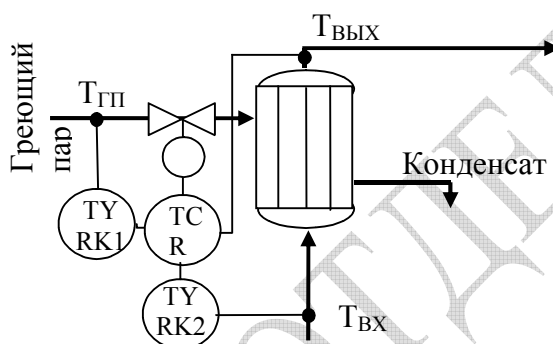


Рисунок 5.20 – Комбинированная АСР температуры с подключением динамических компенсаторов на вход регулятора

Пример каскадной системы был рассмотрен в п. 5.3

➤ АСР температуры, как показателя качества физико-химических процессов. Температура используется, как косвенный параметр. Основные структуры системы регулирования: одноконтурная, каскадная, комбинированная.

В качестве примера одноконтурной АСР рассмотрим систему регулирования температуры в процессе сушки, см. рисунок 5.21.

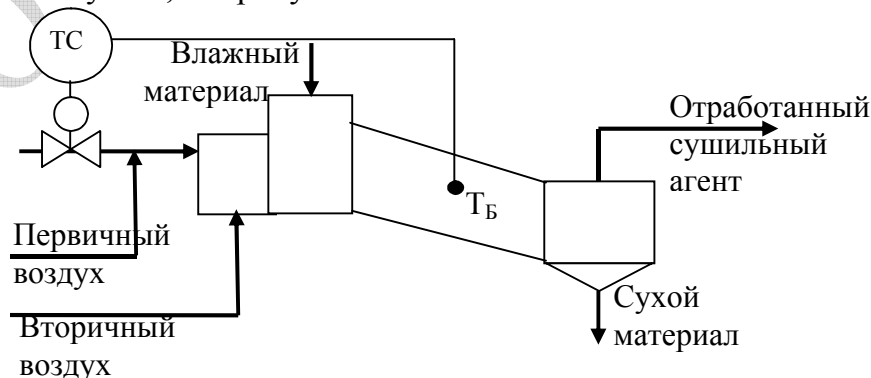


Рисунок 5.21 – Одноконтурная АСР температуры в процессе сушки сыпучего материала

Температура характеризует движущую силу процесса, а также используется как косвенная характеристика показателя эффективности процесса: $T = f(\omega_{\text{см}})$, где $\omega_{\text{см}}$ – влажность сухого материала, как показатель эффективности сушки. Точка снятия сиг-

нала о температуре (T_B) – первая треть барабана. Канал управления: расход топочного газа $\rightarrow T_B$

В качестве примера каскадной АСР можно привести систему регулирования температуры с основным контуром по температуре отработанного сушильного агента (T_{CA}), а вспомогательным – по температуре в барабане, см. рисунок 5.22

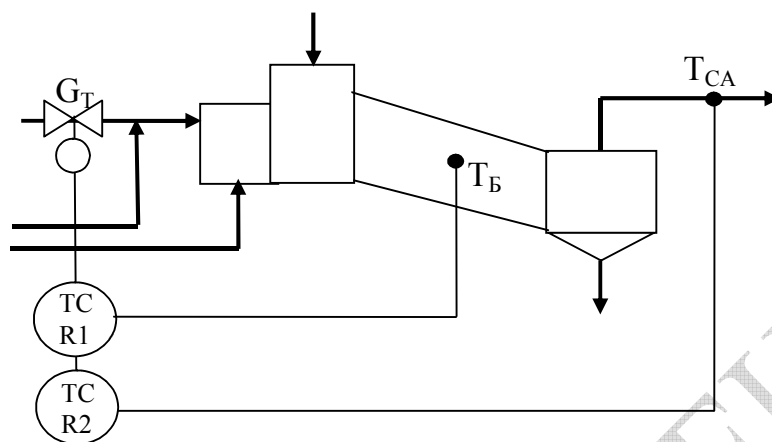


Рисунок 5.22 – Каскадная АСР температуры в процессе сушки сыпучего материала

5.8 Системы регулирования давления

Давление – показатель соотношения расходов газовой фазы на входе и выходе аппарата. Постоянство давления свидетельствует о соблюдении материального баланса по газовой фазе.

Уравнение материального баланса по газовой фазе через изменение давления имеет вид:

$$\frac{V}{RT_p} \frac{dP}{dt} = \sum Q_{\text{вх}} - \sum Q_{\text{вых}} \pm Q_{\text{пр}}, \quad (5.9)$$

где T – температура в аппарате, Q – объемный расход.

Для регулирования давления применяют АСР с ПЗ, П и ПИ законами регулирования.

Например, АСР стабилизации давления в выпарном аппарате приведена на рисунке 5.23.

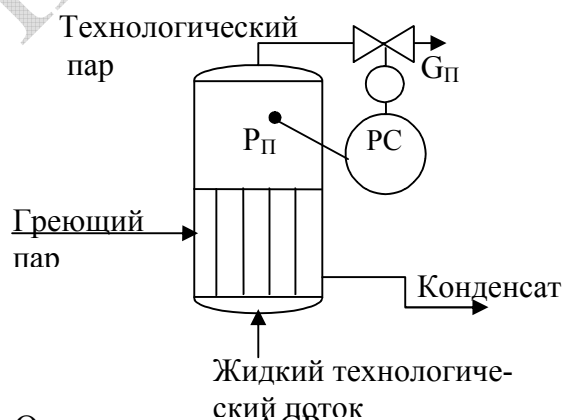


Рисунок 5.23 – Одноконтурная АСР давления пара в выпарном аппарате

Здесь канал управления – обеспечение материального баланса по паровой фазе. В многокорпусных установках обычно стабилизируют давление в одном аппарате (в последнем), а в остальных аппаратах давление устанавливается в соответствие с гидравлическим сопротивлением линии и самих аппаратов.

На практике часто встречаются задачи регулирования разности давлений, например при обработки сухого материала в противоточном аппарате, см. рисунок 5.24.

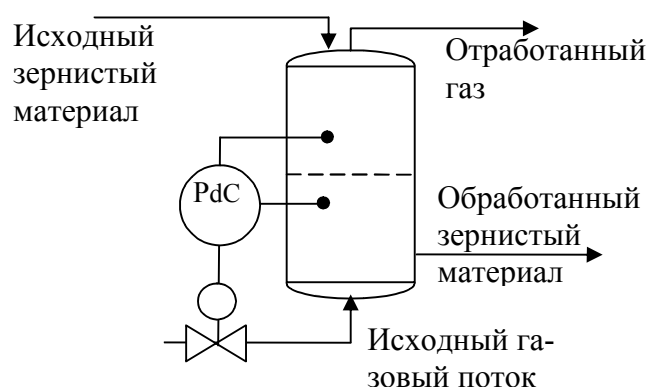


Рисунок 5.24 – Одноконтурная АСР разности давлений

Такой аппарат чувствителен к гидродинамическому режиму, а высота слоя характеризуется перепадом давлений над и под слоем.

В аппаратах с фазовым превращением давление характеризует движущую силу процесса, поэтому к точности регулирования давления предъявляются особые требования, как например при стабилизации разрежения в барабане путем регулирования отбора отработанной газовой фазы, см. Рисунок 5.25.

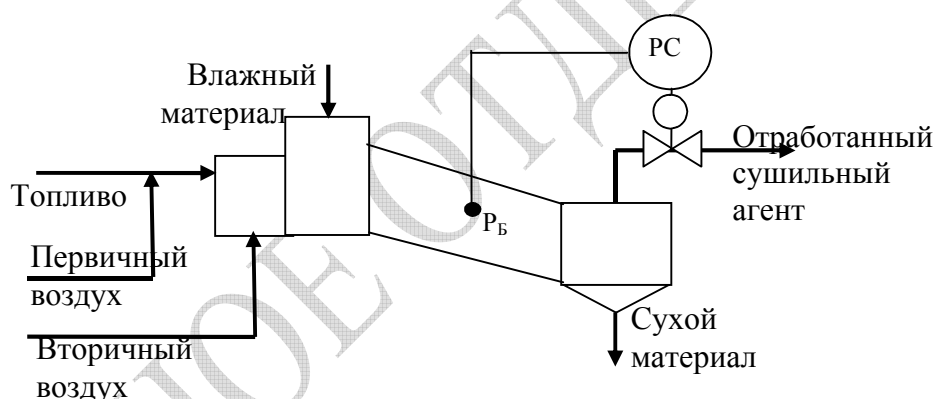


Рисунок 5.24 – Одноконтурная АСР разрежения в барабане

6 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Система управления ТООУ должна обеспечивать ряд целей управления:

- заданную точность поддержания технологического регламента в любых условиях;
- надежную и безаварийную работу оборудования;
- пожаро- и взрывобезопасность.

Разработку системы управления начинают с выбора параметров, участвующих в управлении. К ним относятся контролируемые, сигнализируемые и регулируемые величины, а также параметры, изменяя которые, можно вносить регулирующее воздействие. Далее выбирают идеи и способы осуществления алгоритмов управления, защиты и блокировки, а затем – конкретные автоматические устройства системы управления. Существенное значение имеет достижение цели управления при минимальном числе параметров.

6.1 Выбор регулируемых параметров и каналов внесения регулирующих воздействий

При осуществлении выбора необходимо знать целевое назначение процесса, взаимосвязь его с другими процессами производства, его статические и динамические характеристики.

Обычно число регулируемых параметров составляет $\frac{1}{4}$ часть всех остальных параметров. Важно стабилизировать входные параметры, т.к. с их изменением в объект поступают наиболее сильные возмущения. Однако это не всегда возможно, т.к. многие параметры определяются технологическими режимами предыдущего и последующего процессов.

Обычно выбирают наиболее целесообразный перечень регулируемых параметров в силу следующих обстоятельств:

- должен быть обеспечен перечень требований к системе управления;
- число параметров должно быть минимальным;
- канал управления должен обеспечивать максимально-быстрое изменение регулируемой величины.

Выбор эффективных каналов основан на анализе статических и динамических характеристик:

- по статической характеристике можно оценить степень влияния одних параметров на другие;
- по динамической характеристике можно оценить эффективность вносимого воздействия (взаимосвязь параметров).

6.2 Выбор контролируемых параметров

Необходимо при минимальном числе контролируемых параметров обеспечить наиболее полное представление о процессе.

Контролю подлежат, прежде всего, параметры, знание текущих значений которых облегчает пуск, наладку и ведение технологического процесса, т.е. все регулируемые и нерегулируемые параметры, при изменении которых в объект поступает возмущающее воздействие.

Особое внимание следует обратить на контроль параметров, характеризующих предельные допустимые концентрации газов в воздухе производственных помещений.

6.3 Выбор сигнализируемых параметров

Выбор осуществляется после анализа объекта с учетом его *пожаро- и взрывоопасности, токсичности и агрессивности* перерабатываемых веществ.

Сигнализации подлежат все параметры, изменение которых могут привести к аварии, несчастным случаям или серьезному нарушению технологического режима. Одним из важных назначений устройств сигнализации является оповещение обслуживающего персонала о нарушениях технологического процесса, которые могут привести к браку выпускаемой продукции (отклонение наиболее ответственных внутренних параметров, прекращение подачи продуктов, теплоносителей) или аварии.

Под аварией понимают, как правило, быстротечный переход из состояния нормальной работы установки к нештатному развитию процесса. Признаки аварии регламентируются нормативно-справочной документацией. Различают две категории аварий:

Для своевременного распознавания возникновения нештатной ситуации на объекте разрабатываются систем технической диагностики и диагностики состояния процесса.

Под технической диагностикой подразумевают оценку состояния оборудования в ходе его эксплуатации по заранее выясненной совокупности определяющих параметров, а под диагностикой состояния – оценку хода технологического процесса, с выявлением отклонений от регламента, вызванных внешними и внутренними для объекта возмущениями.

Алгоритм системы диагностики упрощенно можно представить следующим образом:

1. получение информации о техническом состоянии системы (количественное и качественное состояние объекта);
2. анализ полученной информации (обработка и сравнение полученных результатов с допустимыми, декларированными значениями);
3. подготовка и принятие управленческих решений, необходимых для возвращение процесса в нормальный режим работы.

Системы диагностирования закладываются при проектировании системы управления, т.к. только при этом можно обеспечить необходимый уровень контролепригодности и технологичности. Важной задачей диагностирования является разработка эффективных средств диагностирования (датчиков, преобразователей), имеющих повышенную надежность и срок службы.

6.4 Выбор параметров и способов защиты (блокировки)

В качестве параметров защиты выбираются:

- ✓ концентрация взрывоопасных веществ в воздухе помещений (ПДК);
- ✓ прекращение подачи одного из веществ в технологический аппарат (пар, вода, хладагент);
- ✓ давление в аппарате.

Оперативный персонал при оповещении его средствами сигнализации о нежелательном развитии событий должен принять соответствующие меры по их ликвидации. Если меры не эффективны и параметр достигает аварийного значения должна сработать автоматическая система защиты, которая обязана:

- ✓ перераспределить материальные и тепловые потоки;
- ✓ включить или выключить аппараты с целью предотвращения выпуска брака или перехода к аварии;

✓ объект переводится в безопасное состояние вплоть до останова, а пуск осуществляется только оператором.

6.5 Измерительная цепь

Управление технологическими процессами невозможно без измерения технологических параметров. Измерительные устройства являются обязательными элементами любой АСР и необходимы не только для работы АСР, но и для контроля технологического режима операторами или для управления на более высоких иерархических уровнях.

Совокупность технических средств, с помощью которых осуществляется процесс измерения, называется измерительной цепью. Преобразование измеряемого сигнала в требуемый выходной сигнал в измерительной цепи может осуществляться одним или несколькими устройствами, как показано на рисунке 6.1.

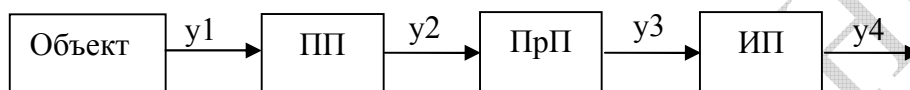


Рисунок 6.1 – Структура измерительной цепи, где ПП – первичный преобразователь, ПрП – промежуточный преобразователь, ИП – измерительный прибор; y_1 – измеряемый физический параметр, y_2 – промежуточный сигнал, y_3 – унифицированный сигнал, y_4 – результат измерения.

ПП – находится в контакте с измеряемой средой и часто должен работать в тяжелых условиях (высокие температура, давление, вибрация), поэтому для измерения однотипных параметров выпускаются различные преобразователи. Иногда, если непосредственный контакт не допустим, используются бесконтактные преобразователи.

ПрП – посредством него удается отделить первичный преобразователь от измерительного прибора и разместить измерительный прибор на щите, где обеспечены нормальные условия эксплуатации. Вид ПрП зависит от принципа действия и конструкции ПП, удобства передачи сигнала и дальнейшего его преобразования. Если выходным сигналом ПП является перемещение, то ПрП связывается с ПП жесткой связью и поэтому эти преобразователи объединяются в единый блок.

ИП – это преобразователь, выходной сигнал которого предназначен для наблюдения.

Назначение измерительной цепи:

- обеспечение измерительной информацией АСУТП, АСУП;
- обеспечение измерительной информацией постов оперативной связи;
- обеспечение лабораторного контроля.

Построение для каждого технологического параметра системы измерения представляет собой дорогостоящую задачу. Во избежание этого целесообразно использовать информационно-измерительные системы, которые обеспечивают сбор информации с группы преобразователей, ее обработку и представление.

В промышленности используют ограниченное число промежуточных сигналов, что позволяет существенно уменьшить номенклатуру измерительных приборов – наиболее сложных и дорогих элементов измерительной цепи.

С целью упорядочения в области разработок принципов построения и структуры средств измерения принята Государственная система приборов и средств автоматизации (ГСПиСА).

6.6 Иерархическая структура технических средств и принципы построения ГСП

ГСП занимается:

- выделением типовых функций измерительных приборов и средств автоматизации,
- систематизация и нормирование видов и параметров сигнала.

Структура ГСП может быть представлена в виде рисунка 6.2

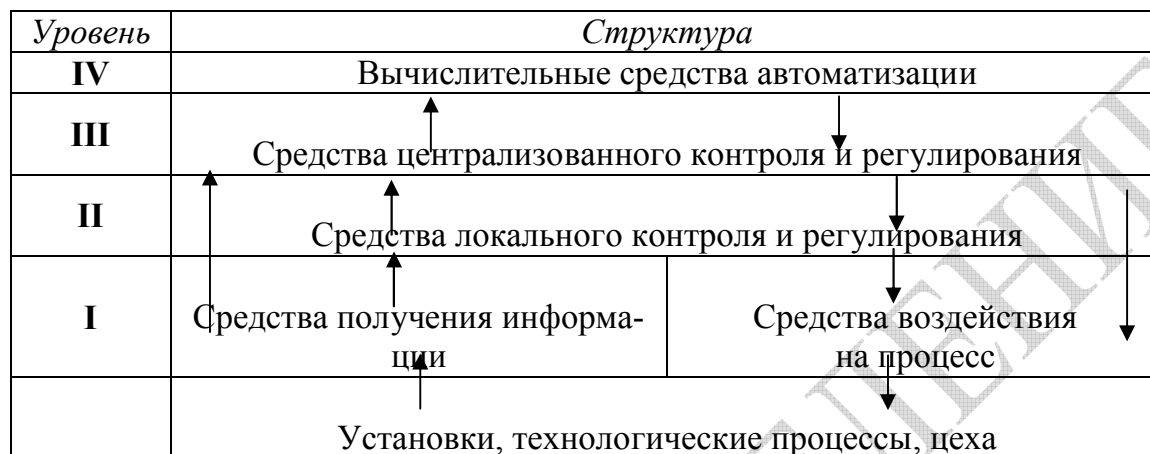


Рисунок 6.2 – Структура технических средств ГСП

Принципы построения и функционирования ГСП

1. Унафикация – приведение к единой норме.

Элементы унификации:

- виды носителей информации (род энергии и величина сигнала);
- метрологические характеристики;
- условия эксплуатации (взрывоопасное, нормальное исполнение и т.д.);
- конструктивное исполнение.

Виды сигналов ГСП – *ветви ГСП*:

- - электрическая;
- - пневматическая;
- - гидравлическая.

Унификация промежуточных сигналов позволила вместо специализированных измерительных приборов для измерения конкретных технологических параметров использовать небольшую группу приборов для измерения промежуточных параметров: тока, напряжения, частоты, давления сжатого воздуха. Основные виды унифицированных сигналов даны в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Виды унифицированных сигналов

Ветви ГСП	Вид сигнала	Пределы измерения
<u>Электрическая</u>		
- аналоговые	- сигналы постоянного тока:	
	- токовые	0-5; 0-20; 4-20 мА
	- напряжение	0-100мВ; 0-10; -10-0-10В
	- сигналы переменного тока	
	- напряжение	0-2; -1-0-1 В
	- взаимоиндуктивность	0-10; 10-0-10МГц
	- частота	4-8 кГц

<i>дискретные</i>	кодированные сигналы (цифровые)	ГОСТ 13052-74
<i>Пневматическая</i>	давление сжатого воздуха	(0,02-0,1)МПа
<i>Гидравлическая</i>	давление воды	1-6,4 МПа

При выборе унифицированного промежуточного сигнала руководствуются:

а) длиной канала связи:

- до 300м → любой унифицированный сигнал;
- до 10 км → постоянный ток или частотный сигнал;
- более → кодированные дискретные сигналы.

Б) влиянием внешних факторов на линию дистанционной передачи:

- пожаро- и взрывобезопасность обеспечивают пневматические сигналы;
- помехоустойчивость – кодированные.

2. Агрегатирование – разработка комплекса устройств различного функционального назначения, удовлетворяющего требованиям системы ГСП. В состав агрегатных комплексов системы ГСП входят:

- АСКР – агрегатный комплекс средств контроля и регулирования для локальной АСР;
- АСВТ – агрегатный комплекс средств вычислительной техники;
- АСЭТ – агрегатный комплекс средств электротехники;
- КТС ЛИУС – комплекс технических средств локальных измерительно-управляющих систем;
- АСАТ – агрегатный комплекс средств автоматической техники.

3. Взаимосвязь. Взаимосвязь средств измерения обеспечивается за счет согласования входов и выходов приборов, что наиболее целесообразно реализовывать, если приборы будут иметь унифицированные входные и выходные сигналы.

4. Блочно-модульная структура. Разработки средств измерения организуются в виде отдельных блоков или модулей, выполняющих элементарные функции.

6.7 Метрологические характеристики измерительных устройств

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с использованием специальных технических средств и сравнение данной величины с некоторым ее значением, принятым за 1.

Уравнение измерения, т.е. результат измерения представляется в виде:

$$Q = q V,$$

где Q – измеряемая физическая величина; q – числовой коэффициент; V – единица измерения.

Известно, что всякое измерение осуществляется с искажением (погрешностью), обуславливаемой несовершенством методов и средств измерения, условиями измерения и т.д. Для определения точности измерения, т.е. отражения близости результата измерения к истинному значению измеряемой величины необходимо знать погрешность измерения.

Абсолютная погрешность измерения – определяется по абсолютному отклонению между измеренным и истинным значениями параметра:

$$\Delta = \pm |Q_{\text{и}} - Q|,$$

где $Q_{\text{и}}$ – действительное значение (истинное значение физической величины); Q – результат измерения.

За истинное значение принимают результат, измеренный более точным прибором или расчетное значение, т.е. аналитическое значение.

Понятие абсолютной погрешности неудобно для сравнения точности измерений разных технологических параметров. Поэтому вводится относительная (безразмерная) погрешность измерения – определяется как отношение абсолютной погрешности к действительному значению:

$$\delta = \frac{\Delta}{Q_H}.$$

Т.к. для сопоставления погрешности разных приборов требуется обобщенная характеристика и вводится понятие относительной приведенной погрешности – как отношение абсолютной погрешности к нормируемой величине, например, диапазону измерения или некоторой точке на шкале:

$$\gamma = \frac{\Delta}{Q_N} 100\%$$

Максимальное значение относительной приведенной погрешности $\gamma_{\max}$, выраженное в % и полученное при нормальных условиях эксплуатации называется классом точности прибора $\gamma_{\text{ДП(МАХ)}}$. Класс точности – это обобщенная характеристика метрологических свойств. ГОСТ 8.011-72 устанавливает стандартизованный ряд классов точности, приведенный в таблице 6.2

Таблица 6.2 – Стандартизованный ряд классов точности

Класс γ	0,005	0,02	0,05	0,1	0,25	1,0	1,5	2,5	4,0
Приборы	Высокоточные			Технические средства измерения					Грубые

7 ИЗМЕРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Измерение технологических параметров осуществляется посредством первичных преобразователей в механический, пневматический или электрический сигнал.

Первичный преобразователь (датчик, сенсор) – наиболее многочисленная группа преобразователей, предназначенных для измерения состояния окружающей среды и диагностики.

Первичные преобразователи предназначены для непосредственного преобразования измеряемой величины в другую величину, удобную для измерения или использования. Различают генераторные, параметрические и механические преобразователи:

- 1) Генераторные осуществляют преобразование различных видов энергии в электрическую, то есть они генерируют электрическую энергию (термоэлектрические, пьезоэлектрические, электрокинетические, гальванические и другие датчики).
- 2) К параметрическим относятся реостатные, тензодатчики, термосопротивления и т.п. Им для работы необходим источник энергии.
- 3) Выходным сигналом механических первичных преобразователей (мембранных, манометров, дифманометров, ротаметров и др.) является усилие, развиваемое чувствительным элементом под действием измеряемой величины.

7.1 Измерение температуры

Температурой называется физическая величина, характеризующая степень нагретости тела, которая определяется внутренней кинетической энергией теплового движения молекул. Измерение температуры практически возможно только методом сравнения степени нагретости двух тел. Для сравнения нагретости этих тел используют изменения каких-либо физических свойств, зависящих от температуры и легко поддающихся измерению.

Т.е. измерять температуру можно только косвенным путем, основываясь на зависимости от температуры таких физических свойств как: длина, объем, плотность, термоЭДС, электрическое сопротивление, которые поддаются непосредственному измерению.

Для оценки количественного значения температуры используют температурные шкалы, имеющие начало отсчета (ноль температурной шкалы) и единицу измерения температурного интервала (1 градус).

В 1927 году на VII Генеральной конференции по мерам и весам была принята международная «практическая» температурная шкала. Она согласована со 100°С шкалой. Сейчас действует МПТШ-68 («международная практическая температурная шкала - 1968»). Она базируется на 11 основных реперных точках (температуры кипения, затвердевания) и 27 вторичных. Эта шкала охватывает диапазон от -259,194 до +3387 °С.

Введем классификацию средств измерения температуры по свойству термодинамического тела, используемого для измерения температуры, см. таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Классификация средств измерения температуры по принципу действия

Термометрическое свойство	Наименование средства	Диапазон измерения, °С
1. Изменение объема жидкости или твердого тела	Термометры расширения	-260 ... +600
2. Изменение давления рабочего вещества при постоянном объеме	Манометрические термометры: - газовые; - жидкостные; - конденсационные	-150 ... + 600 -150 ... +600 -50 ... +350
3. Термоэлектрический эффект (термоЭДС)	Термоэлектрический преобразователь	-200 ... +2200
4. Изменение электрического сопротивления	Термометры сопротивления: - металлические; - полупроводниковые	-260 ... +1100 -240 ... 300
5. Теплое излучение	Пирометры излучения: - квазимонохромные; - спектрального отношения	+700 ... + 6000 +1400 ... + 2800

7.1.1 Термометры расширения

Жидкостные термометры расширения

Принцип действия основан на различие коэффициентов объемного расширения термометрического вещества (ртуть, спирт, эфиры) и оболочки, в которой оно находится (термометрическое стекло).

Коэффициентом объемного расширения определяется как

$$\beta_{t_1, t_2} = \frac{V_{t_1} - V_{t_2}}{V_0(t_2 - t_1)}, 1/^\circ\text{C},$$

где V_0 , V_{t_1} , V_{t_2} - объемы жидкости при 0 °С, температурах t_1 и t_2 соответственно.

Чувствительность термометра зависит от разности коэффициентов объемного расширения термометрической жидкости и стекла, от объема резервуара и диаметра капилляра. Чувствительность термометра обычно лежит в пределах 0,4...5 мм/°С (для некоторых специальных термометров 100...200 мм/°С).

Для защиты от повреждений технические термометры монтируются в металлической оправе, а нижняя погружная часть закрывается металлической гильзой.

Термометры расширения твердого тела

Принцип действия основан на изменении линейных размеров твердых тел при изменении температуры. К этой группе приборов относятся дилатометрические и биметаллические термометры

Конструктивное исполнение дилатометрических термометров основано на удлинении (расширении) при нагреве стержня, изготовленного из сплава с большим коэффициентом теплового расширения (никель и железо), как показано на рисунке 7.1

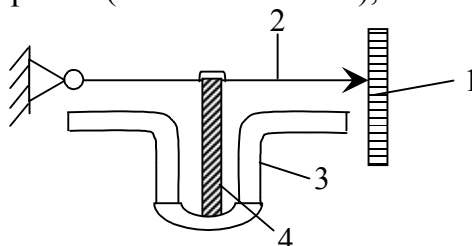


Рисунок 7.1 – Принцип действия дилатометрических термометров, где 1 – шкала, 2 – рычаг, – защитный кожух, 4 – стержень.

Применяется для местного контроля или на преобразовании измеряемой температуры в разность абсолютных значений удлинений двух стержней, изготовленных из материалов с существенно различными термическими коэффициентами линейного расширения:

$$\beta_{t_1, t_2} = \frac{l_{t_1} - l_{t_2}}{l_0(t_2 - t_1)}, 1/\text{град},$$

где l_0 , l_{t_1} , l_{t_2} - линейные размеры тела при 0°C , температурах t_1 и t_2 соответственно.

В силу того, что $\Delta\beta$ мала, dilatометрические термометры применяются в качестве различного рода тепловых реле в устройствах сигнализации и регулирования температуры.

Биметаллические термометры основаны на деформации биметаллической ленты при изменении температуры. Обычно применяются биметаллические ленты, согнутые в виде плоской или винтовой спирали. Один конец спирали укреплен неподвижно, второй - на оси стрелки. Угол поворота стрелки равен углу закручивания спирали, который пропорционален изменению температуры.

Биметаллические термометры обеспечивают изменение температуры с относительными погрешностями 1 - 1,5 %.

Достоинства: - простота конструкции.

Недостатки: - ограниченный диапазон измерения;
- сложность дистанционной передачи данных.

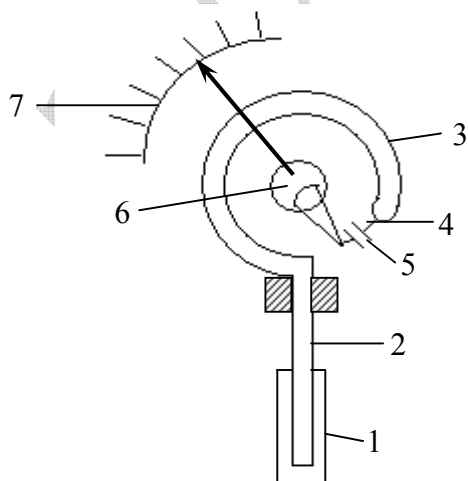
7.1.2 Манометрические термометры

Принцип действия основан на зависимости между давлением рабочего вещества (газ, жидкость) и температуры в замкнутом объеме. Диапазон измерения определяется наполнителем термосистемы, например, при использовании расплавленных металлов (сплав Вуда) диапазон составляет $+100 \dots +1000^\circ\text{C}$.

Наиболее часто используемые наполнители термосистемы:

1. газы – гелий, азот;
2. жидкости – ртуть (при давлении 10-15 МПа), толуол, ксилол, пропиловый (метиловый) спирт;
3. конденсационные – легкокипящие (парожидкостные) жидкости: пропан, этиловый эфир, ацетон хлористый этил, хлористый метил.

При нагревании термобаллона, установленного в зоне измеряемой температуры, давление рабочего вещества внутри замкнутой системы увеличивается. Увеличение давления воспринимается манометрической пружиной, которая воздействует через передаточный механизм, на стрелку или перо прибора, что показано на рисунке 7.2.



- 1 - чувствительный элемент – *термобаллон* из латуни или стали (диаметром 5-30 мм и высотой – 60-500 мм);
- 2 – *капилляр* – медная или стальная трубка $d = 0,1 - 0,5$ мм, защищенная гофрированной трубкой, длиной от 10 см до 60 м;
- 3 – измерительный прибор – манометрическая пружина;
- 4 – поводок;
- 5 – биметаллический капилляр;
- 6 – зубчатая передача;
- 7 – отсчетное устройство

Рисунок.7.2 – Схема момнометрического термометра.

Конденсационные манометрические термометры реализуют зависимость упругости насыщенных паров низкокипящей жидкости от температуры. Поскольку эти зависимости для используемых жидкостей нелинейны, следовательно, и шкалы термометров неравномерны. Однако, эти приборы обладают более высокой чувствительностью, чем газовые жидкостные.

Применяется для местного контроля (показывающие и самопишущие приборы) и для дистанционной передачи показаний (бесшкальные) с электрическим или пневматическим токовым выходным сигналом.

- Достоинства:*
- применяется для взрывоопасных объектов;
 - простота конструкции;
 - высокая чувствительность (класс точности 1, 1,5, 2);
 - равномерность шкалы прибора.
- Недостатки:*
- частые проверки на предмет разгерметизации;
 - сложность ремонта;
 - большие размеры термобалона для газовых термосистем;
 - сравнительно большая инерционность.

7.1.3 Термоэлектрический термометр

Принцип действия основан на использовании, открытого в 1821 году Зеебеком, термоэлектрического эффекта, который состоит в следующем: в замкнутой цепи, состоящей из двух или нескольких разнородных проводников возникает электрический ток, если хотя бы два места соединения (спаи) этих проводников имеют разную температуру. Схематично такое соединение можно изобразить как показано на рисунке 7.3.

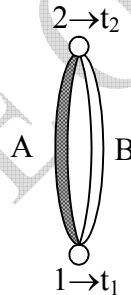


Рисунок 7.3 – Схема соединения разнородных проводников, где А и В – термоэлектроды, 1 и 2 – спаи.

Если $t_1 \neq t_2$, то в замкнутой цепи протекает ток. Существует и обратный эффект – эффект Пельтье. Он состоит в следующем: если цепь из нескольких разнородных проводников подать ток, то в зависимости от направления тока один из спаев будет греться.

Если $t_1 < t_2$, то направление тока от электрода А к электроду В и в этом случае А – термоположительный электрод, а В – термоотрицательный.

Причины возникновения термоэлектрического эффекта характеризуют по разному. Например, различные металлы обладают различной работой выхода электронов и поэтому при соприкосновении двух разнородных металлов возникает контактная разность потенциалов. При различии температур концов проводников в них возникает диффузия электронов, приводящая к возникновению разности потенциалов на концах.

Возникающая в системе термоЭДС зависит от температур t_1 и t_2 :

$$E_{AB} = f(t_1, t_2) = e_{AB}(t_1) + e_{AB}(t_2)$$

$$\text{Если } t_2 = \text{const, то } E_{AB} = e_{AB}(t_1) - C$$

В этом случае спай 1 – рабочий спай, а спай 2 – свободный спай.

Зависимость термоЭДС от температуры устанавливается экспериментально, путем градуировки и последующего построения графика.

ТермоЭДС зависит от температуры концов спаев, химического состава термоэлектродов и от их длины. В соответствии со стандартами $t_2 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. При измерениях температура t_2 может отличаться от градуировочного значения. В этом случае вводится соответствующая поправка в результат измерения:

$$E_{AB}(t_0) = E_{AB}(t_0') + E_{AB}(t_0' t_0).$$

Поправка $E_{AB}(t_0' t_0)$ равна термоЭДС, которую развивает данная термопара при температуре горячего спая t_0' , а холодных спаев – равной градуировочному значению. Поправка берется положительной, если $t_0' > t_0$, и отрицательной, если $t_0' < t_0$. Величина поправки может быть взята из градуировочной таблицы.

Основной способ включения измерительного прибора в измерительную цепь – в разрыв спая, что отображено на рисунке 7.4.

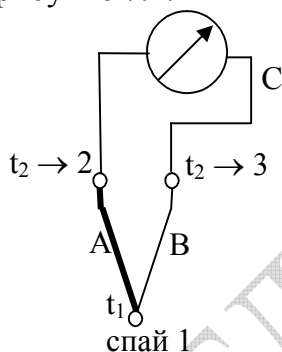


Рисунок 7.4 – Способ вклю-

чения измерительного прибора
в разрыв спая

В цепь измерения включается еще один третий проводник С, при этом спай 1 – рабочий, а спаи 2 и 3 – свободные.

Для исключения влияния температуры измеряемого объекта на свободные концы термопары последние удаляют из зоны с переменной температурой, используя не сами электроды, а удлиняющие термоэлектродные провода. Места подключения термоэлектродных проводов рассматриваются, как свободные концы. Соединительные провода должны быть термоэлектрически подобны термоэлектродам термопары. Как правило, соединительные провода для термопар, изготовленных из неблагородных металлов, выполняются из тех же самых материалов, что и термоэлектроды. Исключение составляет хромель-алюмелевая термопара, для которой с целью уменьшения сопротивления линии в качестве соединительных проводов применяется медь в паре с константаном.

Для предохранения от механических повреждений и вредного воздействия объекта термоэлектроды помещают в защитную арматуру (защитная гильза, изоляционные бусы и головка).

Требования к термопарам: воспроизводимость, высокая чувствительность, надежность, стабильность, достаточный температурный диапазон.

Применяемые термоэлектродные преобразователи:

- ТК (хромель-копель) ХК₆₈ (-50 ... +60 °С);
- ТХА (хромель-алюмель) ХА₆₈ (-50 ... +1000°С);
- ТПП (платинородий-платина) ПП₆₈ (0 - 1300°С);
- ТПР (платинородий-платинородий) ПР30/6₆₈ (300 - 1600°С);
- ТВР (вольфрамовый-вольфрамовый) ВР5/20₆₈ (0-2200°С).

Данный преобразователь работает с магнитоэлектрическими милливольтметрами, потенциометрами или нормирующими преобразователями с получением на выходе унифицированного сигнала.

Достоинства: измерение высоких температур;
точность измерения.

Недостатки: сложность изготовления и монтажа;
сложность градуировки.

7.1.4 Термопреобразователи сопротивления

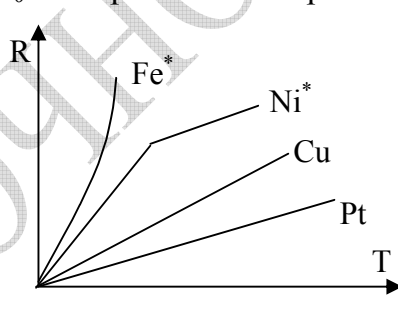
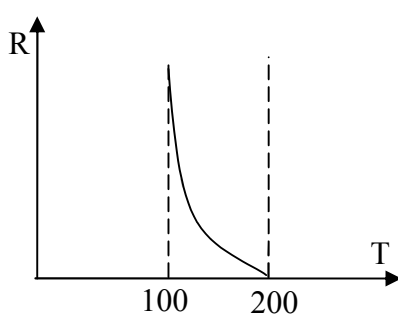
Принцип действия основан на свойстве металлов и полупроводников менять свое электрическое сопротивление при изменении температуры.

Для изготовления чувствительных элементов серийных термосопротивлений применяются чистые металлы, к которым предъявляются следующие требования:

- металл не должен окисляться или вступать в химические реакции с измеряемой средой;
- температурный коэффициент электрического сопротивления металла α должен быть достаточно большим и неизменным;
- функция $R = f(t)$ должна быть однозначна.

Сравнительные характеристики металлов и полупроводников, используемых при изготовлении термометров сопротивления представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Сравнительные характеристики металлов и полупроводников, используемых при изготовлении термометров сопротивления

	<u>Металлы</u>	<u>Полупроводники</u>
<i>Материал</i>	Платина, медь, никель, железо (Pt, Cu, Ni, Fe)	Оксиды металлов: магния, кобальта, титана, меди (Mg, Co, Ti, Cu)
<i>Статическая характеристика</i>	$R_t = R_0 (1 + \alpha + \beta t^2)$ α и β - коэффициенты, зависящие от свойств металлов; R_0 – сопротивление при $t = 0^\circ\text{C}$  дат чики, имеющие нелинейную характеристику (не стандартизованы). $T \uparrow \Rightarrow R \uparrow$ Cu, Ni, Fe – имеют ограниченный диапазон измерений.	$R_t = A e^{B/t}$ A и B - коэффициенты, зависящие от свойств полупроводников.  $T \uparrow \Rightarrow R \downarrow$

Диапазон измерения	(-200 ... + 650) °С	(-60 ... + 280) °С
<i>Достоинства:</i>	- линейность характеристик; - простота изготовления; - относительно широкий диапазон измерения; - высокая надежность; - удобство согласования со средствами измерения.	- малые габариты и поэтому применяются в труднодоступных местах; - высокая чувствительность; - низкая инерционность.
	<u>Металлы</u>	<u>Полупроводники</u>
<i>Недостатки:</i>	- большие габариты; - сравнительно низкая чувствительность - большая инерционность (до 10 мин).	- плохая воспроизводимость характеристик; - ограниченный диапазон измерения; - ограниченный срок службы; - невозможность прямого контакта с измерительной техникой (большое выходное сопротивление).

Для защиты от повреждений датчик помещается в алюминиевую гильзу. Саму проволоку наматывают на каркас (керамика, слюда, кварц). Бифилярная намотка необходима для исключения индукционного сопротивления. Длина намотанной части может быть разной, например, для платины: 50-100мм, для меди: 40 мм.

Данный преобразователь работает с уравновешенными мотами, автоматическими уравновешенными мостами, неуравновешенными мостами, логометрами, нормирующими преобразователями с получением на выходе унифицированного сигнала.

7.1.5 Пирометры излучения

Пирометры излучения основаны на использовании теплового излучения нагретых тел. Верхний предел измерения температуры пирометра излучения практически не ограничен. Измерение основано на бесконтактном способе, поэтому отсутствует искажение температурного поля, вызываемое введением преобразовательного элемента прибора в измеряемую среду. Возможно измерение температуры пламени и высоких температур газовых потоков при больших скоростях.

Лучистая энергия выделяется нагретым телом в виде волн различной длины. При сравнительно низких температурах (до 500 °С) нагретое тело испускает инфракрасные лучи. По мере повышения температуры цвет тела от темно-красного доходит до белого. Возрастание интенсивности монохроматического излучения с повышением температуры описывается соответствующими уравнениями.

В цветовых пирометрах определяется отношение интенсивности излучения реального тела E_λ в лучах с двумя заранее выбранными значениями длины волны λ_1 и λ_2 , то есть показания цветовых пирометров определяются функцией $f(E_{\lambda_1} / E_{\lambda_2})$. Это отношение для каждой температуры различно, но однозначно.

7.2 Средства измерения давления

Под давлением в общем случае понимают предел отношения нормальной составляющей усилия к площади, на которую действует усилие.

Важен как сам параметр, так и его функция для косвенного отображения другого параметра, например, уровня, расхода.

В системе СИ измеряется в Па.

Обычно измеряют избыточное давление (манометрическое):

$$P_{\text{изб}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}},$$

где $P_{\text{абс}}$ – абсолютное давление (полное);

$P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление (начало отсчета), равное 760 мм.рт.ст. или 0,1 МПа (барометрическое).

При измерении $P_{\text{абс}}$ за начало отсчета принимается нулевое давление, которое можно себе представить как давление внутри сосуда после полной откачки воздуха. Естественно, достигнуть $P_{\text{абс}} = 0$ невозможно.

Если абсолютное давление меньше атмосферного, то их разница называется вакуумом или разрежением:

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}.$$

В большинстве случаев датчик давления имеет неэлектрический выходной сигнал в виде силы или перемещения и объединены в единый блок с измерительным прибором. Если результаты измерений необходимо передавать на расстояние, то применяются промежуточные преобразователи этого неэлектрического сигнала в унифицированный электрический или пневматический. При этом первичный и промежуточный преобразователи объединены в один блок. Относительно диапазона измерения давления приборы классифицируют так, как показано в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Классификация средств измерения давления

	-0,04МПа	-0,02МПа	АТМ = 0,1МПа		+0,02 МПа	+0,04МПа		
Вакууметры			Барометры		Маномерты			
	Тягомер				Напоромер			
		Тягонапоромер						
Средства измерения давления								
10 ⁻²	10 ⁰	10 ¹	10 ²	10 ⁴	10 ⁶	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰
		Деформационные						
		Поршневые						
	Тепловые							
Жидкостные								
Ионизационные							Электрические	

Дифференциальные манометры – средства измерений разности давлений.

Классификация по принципу действия:

- жидкостные (основанные на уравнивании давления столбом жидкости);
- поршневые (измеряемое давление уравнивается внешней силой, действующей на поршень);
- пружинные (давление измеряется по величине деформации упругого элемента);
- электрические (основанные на преобразовании давления в какую-либо электрическую величину).

Приведенное подразделение средств измерения давления по принципу действия не является исчерпывающим и может быть дополнено средствами измерений, основанными на иных физических явлениях.

Рассмотрим средства измерения, наиболее широко применяемые в качестве рабочих, а именно деформационные.

Принцип действия деформационных средств измерений давления основан на использовании упругой деформации чувствительного элемента или развиваемой им средой. Различаются три основные формы элементов, получивших распространение в практике измерения: трубчатые пружины, сильфоны, мембраны.

Основные упругие деформационные элементы

1. Мембрана – зажатый между фланцами гофрированный диск, чаще всего из прорезиненной ткани с жестким диском в центре, см. рисунок 7.5.

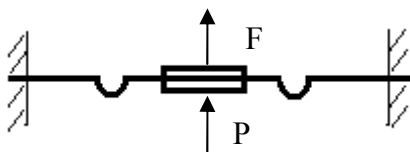


Рисунок 7.5 – Использование мембраны в качестве преобразователя давления

Мембрана – преобразователь давления в силу. Статическая характеристика – линейная: $F = PS$, где S – площадь, на которую действует давление.

2. Трубчатая пружина – согнутая в виде дуги трубка овального сечения, один конец которой запаян, а другой – неподвижно закреплен и через него подается измеряемое давление, см. рисунок 7.6.

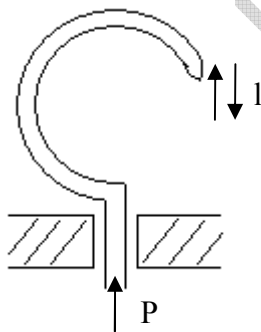


Рисунок 7.6 – Использование трубчатой пружины в качестве преобразователя давления

Трубчатая пружина – преобразователь давления в перемещение. Под действием давления трубка пытается распрямиться, вследствие чего ее свободный запаянный конец перемещается. Это перемещение пропорционально измеряемому давлению: $l = kP$, где k – коэффициент передачи трубчатой пружины.

3. Сильфон – гофрированная трубка, один конец которой закрыт (дно сильфона), а к другому подводится давление, см. рисунок 7.7.

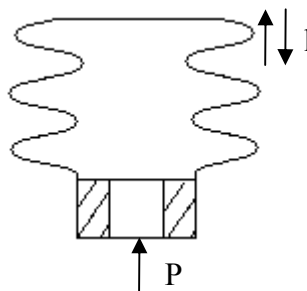


Рисунок 7.7 – Использование сильфона в качестве преобразователя давления

Сильфон – преобразователь давления в перемещение. Под действием давления сильфон растягивается. Статическая характеристика линейная: $l = kP$. Если перемещению

дна сильфона препятствует неподвижная опора, то выходным сигналом будет не перемещение, а действующая на опору сила.

Основные требования к упругому элементу – коррозионная стойкость, стабильность, отсутствие гистерезиса.

Достоинства деформационных средств измерения: простота, удобство и безопасность в работе.

На базе этих упругих элементов выпускают следующие виды преобразователей давления.

1. Пружинные манометры Упругий элемент – одно- и многовитковая пружина.

Структура пружинного манометра приведена на рисунке 7.2. Измеряемое давление меняет кривизну трубчатой пружины 3. Ее свободный конец через тягу 4 перемещает зубчатый сектор и находящуюся с ним в зацеплении шестерню 6. Вместе с шестерней поворачивается стрелка 7 отсчетного устройства.

Выпускают манометры и вакууметры; показывающие, самопишущие, а также бесшкальные с дистанционной передачей показаний через электрический (токовый, напряжение переменного тока) или пневматический сигналы.

Снабжают приборы электроконтактным устройством, которые имеют два подвижных контакта, посредством которых можно выставить максимальное и минимальное пороговые значения.

2. Мембранные манометры

Эти манометры обеспечивают непрерывное преобразование значения измеряемого параметра (давления избыточного, абсолютного, разряжения, разности давлений нейтральных и агрессивных сред) в унифицированный токовый сигнал для дистанционной передачи (0 - 5 мА, 0 - 20 мА и др.).

Упругие элементы – мембрана или мембранный блок, структура последней показана на рисунке 7.8.

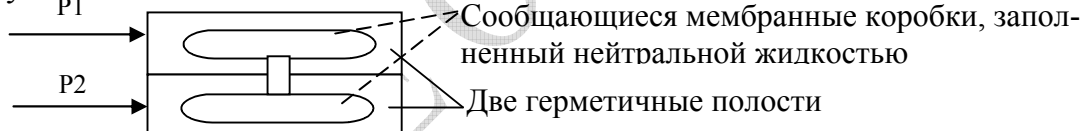


Рисунок 7.8 – Структура мембранного блока, как первичного преобразователя разности давлений

Мембранный блок состоит из двух сообщающихся мембранных коробок, заполненных жидкостью.

Наиболее широкое применение нашли дифманометры, напоромеры и тягонапоромеры, построенные на этом принципе действия.

Структура дифманометра, снабженного дифференциально-трансформаторным преобразователем перемещения в напряжение переменного тока приведена на рисунке 7.9.

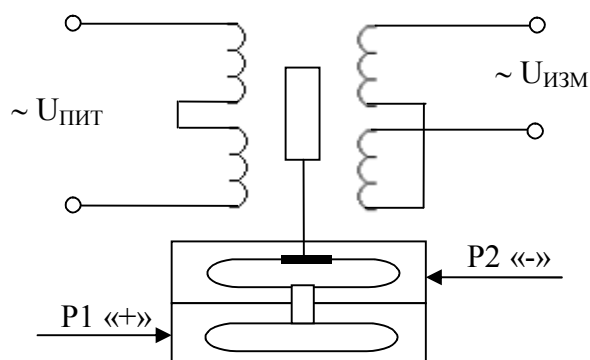


Рисунок 7.9 – Структура дифманометра, снабженного дифференциально-трансформаторным преобразователем

Перепад давлений в камерах дифманометра вызывает деформацию мембранных коробок. При этом сжатие нижней коробки больше и жидкость вытесняется из нее в верхнюю мембранную коробку, вызывая тем самым ее расширение. Деформация верхней мембраны передается жестко связанному с ней плунжеру дифференциально-трансформаторного преобразователя.

Дифманометр устанавливают для измерения перепада давлений до 0,63 МПа при статическом давлении до 63 МПа. Выпускаются дифманометры с промежуточными преобразователями, имеющими унифицированный токовый или пневматический сигналы.

Для измерения агрессивных сред применяются датчики, снабженные защитной мембраной, изготовленной из коррозионно-стойкого материала. Тогда измеряемое давление передается к измерительной мембране через силиконовое масло, которым заполнена внутренняя полость датчика.

В качестве основных способов защиты материалов датчика от агрессивных сред можно выделить следующие.

1. Разделительные сосуды, см. рисунок 7.10.

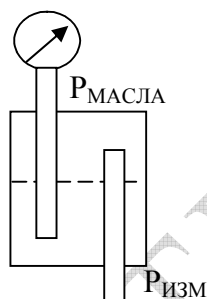


Рисунок 7.10 – Использование разделительного сосуда для защиты датчика давления от агрессивных сред.

Полость сосуда заполнена жидкостью, инертной по отношению к материалу прибора, соединительных трубок и сосуда. Она не должна взаимодействовать с измеряемой средой и смешиваться с ней. Обычно это – глицерин, эфирные масла.

2. Мембранные разделители, см. рисунок 7.11.

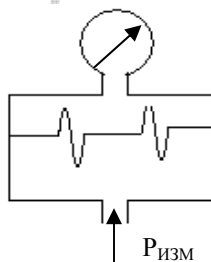


Рисунок 7.11 – Использование мембранных разделителей для защиты датчика давления от действия агрессивных сред

Измеряемая среда отделена от прибора мембраной с малой жесткостью из нержавеющей стали или фторопласта. Для передачи давления верхнее пространство заполняется жидкостью.

7.3 Измерение уровня

Важен как сам параметр-уровень, так и уровень, как косвенный параметр измерения другого параметра, например давления или количества вещества.

В зависимости от условий измерения применяются разные средства измерения уровня, что отражено в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Классификация методов измерения уровня

<i>Принцип действия уровнемера</i>	<i>Контактный/безконтактный</i>
Поплавковый	Контактные
Буйковый	
Гидростатический	Контактный или без- в зависимости от датчика давления
Емкостной	Контактный
Акустический и ультразвуковой	Безконтактные
Радиоизотопный	

7.3.1 Поплавковый уровнемер

Принцип действия основан на преобразовании уровня в перемещение поплавка, плавающего на поверхности жидкости, что схематично показано на рисунке 7.12. Поплавок должен быть легким и изготовленным из коррозионно стойкого материала.

Используется в аппаратах, работающих под атмосферным давлением и в неагрессивных средах.

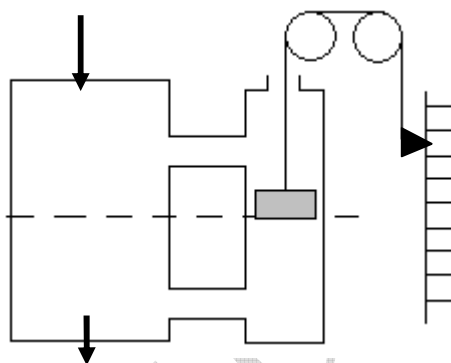


Рисунок 7.12 – Принцип действия поплавкового уровнемера

7.3.2 Буйковый уровнемер

Принцип действия основан на законе Архимеда. На погруженный (80% погружения) в жидкость боек действует сила равная весу жидкости, вытесненной буйком. При неизменности площади резервуара по высоте и плотности жидкости изменение вытесненного ее количества будет пропорционально изменению высоты бака, т.е. уровню жидкости. Таким образом, измерение уровня преобразуется в выталкивающую силу, что показано на рисунке 7.13.

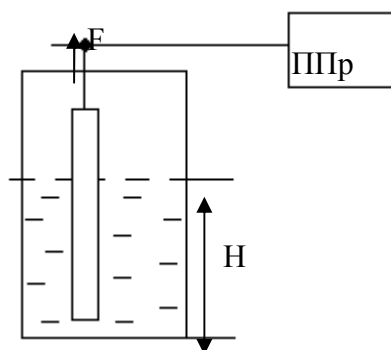


Рисунок 7.13 – Принцип действия буйкового уровнемера

В буйковых уровнемерах боек передает усилие на рычаг промежуточного преобразователя ППр. Выходной сигнал ППр либо унифицированный электрический, либо унифицированный пневматический.

Достоинства:

- линейность характеристик;
- широкий диапазон измерения (0-40мм до 0-16м) за счет смены буйка изменение передаточного отношения рычажного механизма.

7.3.3 Гидростатический уровнемер

Принцип действия основан на существовании гидростатического давления пропорционального уровню, т.е. расстояние от поверхности жидкости. Поэтому для измерения уровня гидростатическим способом могут использоваться приборы для измерения давления (рисунок 7.14 а) или разности давлений, дифманометры (рисунок 7.14 б).

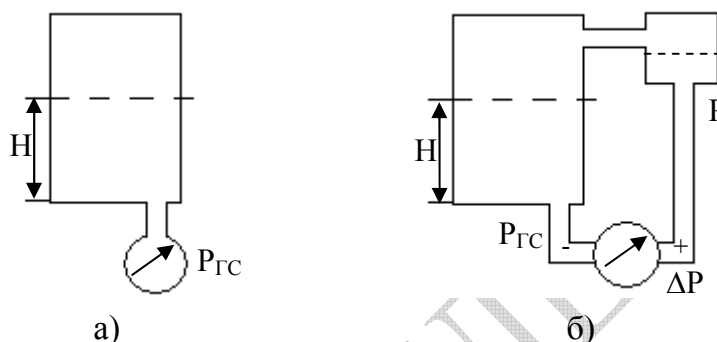


Рисунок 7.13 – Принцип действия гидростатического уровнемера: а – непосредственное измерение гидростатического давления $P_{ГС}$, б – измерение разности давлений ΔP

Схема с дифманометром целесообразна, если аппарат, в котором измеряется уровень находится под давлением. Тогда плюсовая камера дифманометра соединяется с пространством над жидкостью через уравнильный сосуд, который заполнен жидкостью и создает столб постоянного гидростатического давления в плюсовой камере:

$$\Delta P = P + P_{\Gamma} - P_{ГС} - P_{\Gamma} = P - P_{ГС} \sim H_{уc}(const) - H \sim H.$$

Для измерения уровня агрессивных сред дифманометр снабжается разделительным сосудом или мембранным разделителем, что позволяет заполнить его камеры неагрессивной жидкостью.

Еще один способ построения гидростатического уровнемера – это использование принципа барбатирувания, тогда $P_{ГС} = \gamma H$, где γ – удельный вес жидкости.

7.3.4 Емкостной уровнемер

Принцип действия основан на различии диэлектрической проницаемости жидкости и воздуха, см. рисунок 7.14.

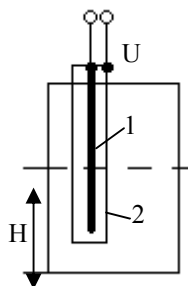


Рисунок 7.14 – Принцип действия емкостного уровнемера, где 1 – электрод, 2 – вертикальная труба.

Вместе эти два коаксиально расположенных электрода образуют цилиндрический конденсатор, емкость которого зависит от уровня диэлектрической проницаемости и будет изменяться от диэлектрической проницаемости воздуха до диэлектрической проницаемости жидкости:

$$C_{\text{ж}} = f(T) \Rightarrow \text{конденсационный конденсатор.}$$

Электрическая измерительная схема (электронный блок) – это электрический неуравновешенный мост постоянного тока.

Достоинства:

- измерение уровня не только жидкостей, но и твердых сыпучих материалов (например цемента);
- емкостные сигнализаторы уровня, при этом электрод располагается горизонтально и погрешность измерения не превышает 3 мм;
- диапазон измерения от 0-0,4 м до 0-20 м.

7.3.5 Акустический и ультразвуковой уровнемер

Принцип действия основан на измерении интервала времени прохождения импульса ультразвука от излучателя до поверхности жидкости и обратно, как показано на рисунке 7.15.

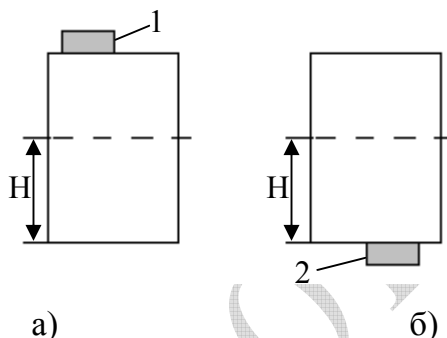


Рисунок 7.15 – Принцип работы акустического (а) и ультразвукового (б) уровнемеров, где 1 и 2 – излучатель/приемник.

При приеме отраженного импульса излучатель становится приемником. Если излучатель установлен над жидкостью (рисунок 7.15 а.), то уровнемер называется акустическим, а если – внутри жидкости (рисунок 7.15 б), то – ультразвуковым.

Измерительная схема состоит из первичного преобразователя и промежуточного преобразователя (электронный блок). Расстояние между последними может быть до 25м.

Электронный блок, работающий в комплекте с излучателем, служит для формирования излучаемых импульсов, усиления отраженных импульсов, измерения времени прохождения импульсом двойного пути и преобразование этого времени в унифицированный электрический сигнал.

Достоинства:

- независимость показаний от физико-химических свойств среды;
- диапазон измерения 0-3 м;

Недостаток – влияние на показания изменения условий окружающей среды (температура, давление газа для акустического и свойства жидкости для гидростатического).

7.3.6 Радиоизотопный уровнемер

Принцип действия основан на поглощении γ -лучей при прохождении через слой вещества. Источник γ -лучей – Со 60 или цезий 137. Приемник – счетчик Гейгера.

Может использоваться для контроля и сигнализации уровня, тогда источник и приемник закреплены на поверхности бака (рисунок 7.16 а). Для непрерывного контроля датчик опускается и поднимается вместе с уровнем (рисунок 7.16 б).

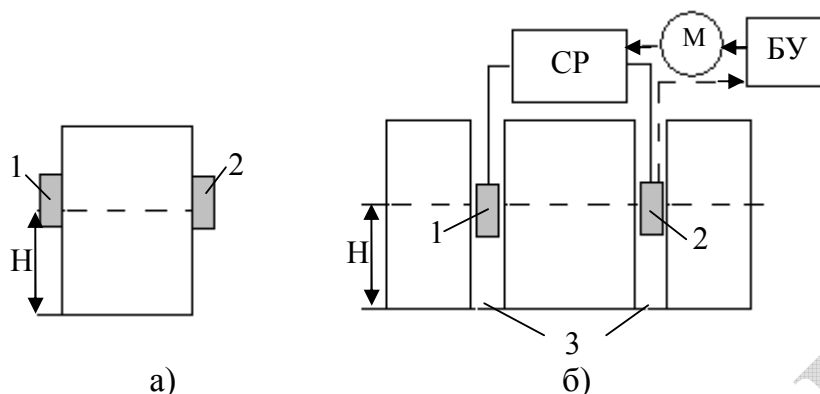


Рисунок 7.16 – Принцип работы радиоизотопного уровнемера, используемого для сигнализации уровня (а) и для измерения уровня (б), где 1 – источник, 2 – приемник, 3 – трубы, СР – система рычагов, БУ – блок управления.

Источник и приемник в схеме рисунка 7.16 б подвешены на стальных лентах, а за перемещение приемника отвечает блок управления. Если источник расположен выше уровня, то γ -излучение поглощается слабо и на блок управления поступает сильный сигнал, вследствие чего измерительная схема спускается. Иначе, если источник ниже уровня, то γ -излучение поглощается сильно и происходит подъем измерительной схемы. Таким образом, измерительная схема будет находиться в непрерывном колебании около измеряемого уровня. Использовать такую схему целесообразно тогда, когда нет возможности применить другую схему.

7.4 Измерение расхода и количества

Расход – количество жидкости, пара или газа, проходящее через данное сечение трубопровода в единицу времени.

Классификация средств измерения расхода по принципу их действия дана в таблице 7.5

Таблица 7.5 – Классификация средств измерения расхода

Принцип действия расходомера	Контактный/безконтактный
Расходомеры переменного перепада давлений	Контактные
Расходомеры постоянного перепада давлений (ротаметры)	
Расходомеры переменного уровня	Контактные или безконтактные в зависимости от датчика уровня
Электромагнитные расходомеры	Безконтактные
Тепловые расходомеры	
Ультразвуковые расходомеры	

Различают объемный расход ($F \text{ м}^3/\text{ч}$) и массовый расход ($G \text{ кг/ч}$), которые связаны следующей зависимостью через плотность среды: $G = \rho F$. Количество жидкости с равной степенью точности может быть измерено и объемным, и массовым методами, количество газа – только объемным. Для твердых и сыпучих материалов используется понятие насыпной или объемной массы, которая зависит от гранулометрического состава

сыпучего материала. Для более точных измерений количество сыпучего материала определяется взвешиванием.

Для измерения количества вещества применяют расходомеры с интегратором или счетчики. Интегратор непрерывно суммирует показания прибора, а количество вещества определяют по разности его показаний за требуемый промежуток времени.

На показания расходомеров значительно влияют свойства измеряемых потоков. Свойства зависят от условий эксплуатации: температуры, давления и т.д. Если условия эксплуатации резко отличаются от тех, при которых проводилась градуировка, то ошибки в показаниях приборов могут резко превысить допустимые значения, поэтому на серийно выпускаемые приборы накладывают ограничения по свойствам измеряемых потоков, максимальной температуре и давлению рабочей среды, по условиям окружающей среды и т.д.

7.4.1 Расходомеры переменного перепада давлений

Принцип действия основан на возникновении перепада давлений на сужающем устройстве в трубопроводе при движении через него потока жидкости или газа. Является самым распространенным и изученным методом измерения расхода жидкости, пара и газа.

Из всех сужающих устройств (диафрагма, сопло Вентури, труба Вентури) чаще всего в расходомерах переменного перепада давлений используется диафрагма.

Диафрагма – диск с круглым отверстием в центре, установленный в трубопроводе так, чтобы его отверстие было концентрично внутреннему контуру сечения трубопровода, как показано на рисунке 7.17.

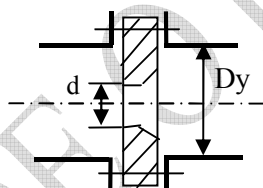


Рисунок 7.17 – Способ установки диафрагмы в трубопровод

Сужение потока начинается до диафрагмы. Затем на некотором расстоянии за ней благодаря действию сил инерции поток сужается до минимального значения, а далее постепенно расширяется до полного сечения трубопровода. Перед диафрагмой и за ней образуются зоны с вихревым движением. Материал диафрагмы должен быть химически стойким по отношению к измеряемой среде и устойчивым к механическому износу.

Формирование типа выбранной диафрагмы ДК 10 – 100 осуществляется последовательно:

- выбор ДК или ДБ – диафрагма камерная или бескамерная, если $Dy > 400$ мм, то рекомендуется бескамерная диафрагма, если $Dy < 400$ мм, то рекомендуется камерная диафрагма;
- указание диаметра условного прохода Dy мм, например, 100;
- указание рабочее давление в трубопроводе P МПа, например, 10

Статическая характеристика таких расходомеров нелинейная (квадратичная):

$$F = \alpha S \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P}, \quad (7.1)$$

где S – площадь проходного сечения сужающего устройства, m^2 ;
 $\Delta P = P_1 - P_2$ – перепад давлений на сужающем устройстве, МПа;
 ρ – плотность среды, расход которой измеряется, kg/m^3 ;

α - коэффициент расхода, зависящий от многих факторов, определяющийся экспериментально (существуют специальные таблицы значений коэффициентов).

В измерительной цепи этих преобразователей последовательно соединяются три устройства. Промежуточный преобразователь – дифманометр, который связывается с трубопроводом импульсными трубками и устанавливается в непосредственной близости от него и должен иметь встроенный нормирующий преобразователь. Для защиты от действия агрессивных сред дифманометр снабжается разделительными сосудами или мембранными разделителями.

Т.к. статическая характеристика первичного преобразователя расхода квадратичная, то чтобы показания измерительного прибора линейно зависели от расхода, в измерительную цепь вводят линеаризующий преобразователь или линеаризация может производиться в самом измерительном приборе с помощью лекала квадратичной характеристики.

Достоинства:

- малые перепады давлений;
- стабильность показаний;
- стойкость к агрессивным средам и загрязнениям.

7.4.2 Расходомеры постоянного перепада давлений

Принцип действия основан на зависимости от расхода вещества вертикального перемещения тела, изменяющего площадь проходного сечения преобразователя. К ним относятся гидродинамические, поршневые, поплавковые, ротаметрические расходомеры.

Для сохранения постоянства перепада давления при изменении расхода через сужающее устройство необходимо автоматически изменять площадь его проходного сечения. Такой преобразователь называется ротаметром и схематично изображен на рисунке 7.18.

Конструктивно ротаметр представляет собой вертикальную конусную трубку с поплавком внутри. Измеряемый поток, проходя через ротаметр снизу вверх, создает перепад давлений до и после поплавка.

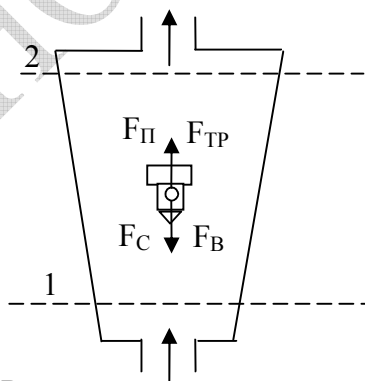


Рисунок 7.18 – Распределение сил, действующих на поплавок ротаметра
На поплавок непрерывно действуют следующие силы:

- сверху вниз:
 - статическое давление за поплавком: $F_C = P_2 S_{пл}$;
 - вес поплавка: $F_B = V \rho_{пл} g$;
- снизу вверх:
 - сила потока: $F_П = P_1 S_{пл}$;
 - сила трения потока о боковую поверхность поплавка: $F_{ТР} = K W_K^n S_B$,

где $S_{\text{пл}}$ – площадь наибольшего поперечного сечения поплавка;
 P_1 – полное давление потока;
 $S_{\text{б}}$ – площадь боковой поверхности поплавка;
 $\rho_{\text{пл}}$ – плотность материала поплавка;
 K – коэффициент сопротивления, зависящий от шероховатости поплавка;
 W_K – средняя скорость потока в кольцевом пространстве;
 n – показатель степени, зависящий от W_K .

Записав уравнение, описывающее состояние равновесия поплавка получим:

$$\begin{aligned} F_{\text{п}} + F_{\text{тр}} &= F_{\text{с}} + F_{\text{в}}; \\ F_{\text{п}} - F_{\text{с}} &= F_{\text{в}} - F_{\text{тр}}; \\ P_1 S_{\text{пл}} - P_2 S_{\text{пл}} &= V \rho_{\text{пл}} g - K W_K^n S_{\text{б}}; \\ \Delta P = P_1 - P_2 &= \frac{V \rho_{\text{пл}} g - K W_K^n S_{\text{б}}}{S_{\text{пл}}}. \end{aligned}$$

Следовательно ΔP определяется совокупностью постоянных величин, за исключение скорости потока. Но W_K практически не меняется при $\Delta P = \text{const}$. Поэтому этот расходомер обтекания называется расходомером постоянного перепада давлений.

При изменении расхода на входе в расходомер равновесие нарушается и при перемещении поплавка определяется следующее состояние равновесия:

$F \uparrow \Rightarrow \Delta P \uparrow \Rightarrow I_{(\text{перемещение})} \uparrow \Rightarrow S_{\text{прс}}$ (площадь проходного сечения) $\uparrow \Rightarrow$ новое состояние равновесия.
 Зависимость I от F нелинейна, но в начальном и среднем участках равномерность делений шкалы искажается в незначительной степени. Отсутствие прямой зависимости между F и I требует индивидуальной градуировки каждого прибора.

Достоинства:

- линейность шкалы $\{ S_{\text{прс}} \sim I \}$;
- нельзя измерить большие расходы;
- измерение агрессивных сред.

Недостатки:

- невозможность использования в загрязненных средах;
- измерение только малых расходов.

Для дистанционной передачи сигнала используются промежуточные преобразователи линейного перемещения в унифицированный электрический (рисунок 7.19 а) или пневматический (7.19 б) сигнал.

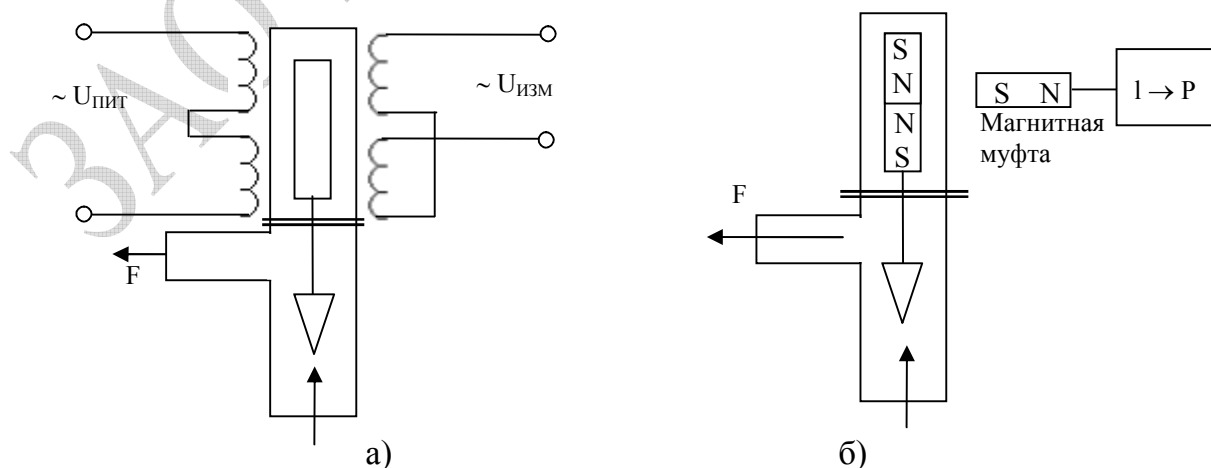


Рисунок 7.19 – Схемы преобразования перемещения поплавка в унифицированный электрический (а) или пневматический (б) сигнал

Ротаметр с электрическим выходом включает дифференциально-трансформаторный преобразователь, связанный через плунжер с поплавком. А в ротаметре с пневматическим выходом для передачи положения поплавка используется магнитная муфта, которая состоит из двух магнитов. Один вдвоенный, который перемещается вместе с поплавком, а другой укреплен на рычаге преобразователя перемещения в давление и движется вместе с рычагом за первым магнитом.

7.4.3 Расходомер переменного уровня

Принцип действия основан на зависимости уровня от расхода жидкости, поступающей в сосуд с калиброванным отверстием, см. рисунок 7.20.

Из гидравлики известно, что если жидкость свободно вытекает через отверстие в дне бака, то ее расход и уровень в баке связаны между собой.

Измерения осуществляются при атмосферном давлении. Состоит из элементов: 1 - калиброванный сосуд, 2 – датчик уровня, 3 – калибровочное отверстие в днище, 4 - перегородка для успокоения потока.

В качестве первичного преобразователя используется любой преобразователь уровня.

$L = f(F)$ – зависимость линейная.

Достоинства:

- служат для измерения пульсирующих потоков и двухфазных сред;
- измерение агрессивных и загрязненных сред.

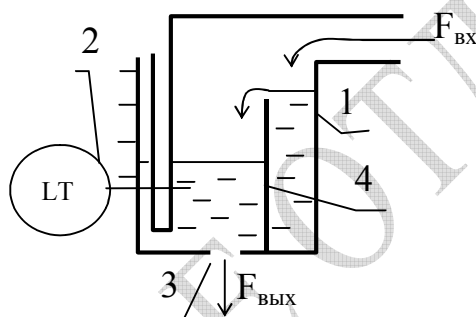


Рисунок 7.20 – Схема расходомера переменного уровня

7.4.4 Электромагнитный расходомер

Принцип действия основан на законе электромагнитной индукции (закон Фарадея), согласно которому в проводнике, движущемся в магнитном поле будет наводиться э.д.с., пропорциональная скорости движения проводника.

Проводником является электропроводная жидкость, протекающая в трубопроводе из немагнитного материала и пересекающая поле электромагнита, см. рисунок 7.21.

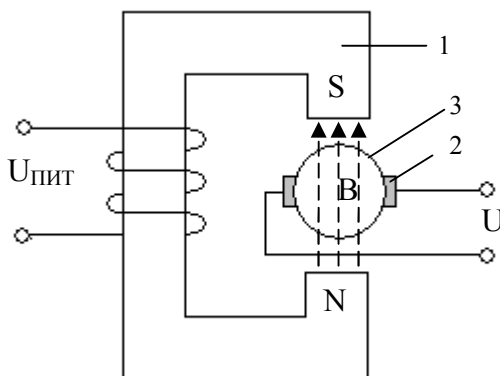


Рисунок 7.21 – Схема электромагнитного расходомера, где 1 – электромагнит, 2 – измерительные электроды, 3 – трубопровод.

Результирующее напряжение пропорциональное расходу вещества в трубопроводе можно рассчитать следующим образом:

$$U = BD_y v_{cp} = \frac{4B}{\pi D_y} F,$$

где B – магнитная индукция;

D_y – внутренний диаметр трубопровода (от 3 мм до 1 м);

v_{cp} – средняя скорость потока;

F – объемный расход жидкости.

Трубопровод с перемещающимся в нем потоком жидкости располагается между полюсами постоянного магнита перпендикулярно силовым линиям. В стенках трубопровода диаметрально противоположно заподлицо заделаны измерительные электроды. Под действием магнитного поля ионы, находящиеся в жидкости перемещаются к электродам и отдают свой заряд. Созданная э.д.с. пропорциональна скорости потока, т.е. расходу жидкости.

Участок трубопровода по обе стороны от электродов покрывают электроизоляцией, чтобы исключить шунтирование наводимой э.д.с.

Измерительная схема для этих расходомеров, как правило, выполнена в виде отдельного блока, преобразующего наводимую э.д.с. в унифицированный сигнал.

Ограничением в использовании этого расходомера является электропроводность жидкости, которая должна быть не менее 10^{-3} - 10^{-2} См/м. Диапазон измеряемых расходов: 1 - 2500 м³/ч. Класс точности 1,0 – 2,5.

Расстояние от датчика до вторичного преобразователя зависит от электропроводности жидкости: на расстояние до 100 м при электропроводности $5 \cdot 10^{-2}$ См/м, на расстояние до 10 м при электропроводности 10^{-3} См/м

Достоинства:

- использование для измерения расходов жидких металлов;
- измерение расходов пульсирующих потоков, потоков агрессивных сред (условие допустимости использования – стойкость изоляции электродов и материала трубопровода);
- отсутствие дополнительных потерь давления на участке измерения, т.к. нет частей, выступающих внутрь трубопровода;
- безинерционность.

7.4.5 Тепловой расходомер

Принцип действия основан на измерении зависящего от расхода эффекта теплового воздействия на поток или тело, контактирующее с потоком, что показано на рисунке 7.22.

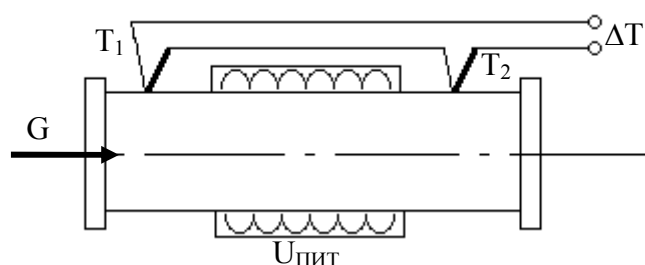


Рисунок 7.22 – Схема теплового расходомера

Зависимость перепада температур до и после участка нагрева связана с расходом следующей закономерностью:

$$\Delta T = f(G), \text{ где } \Delta T = T_2 - T_1$$

$$G = \frac{N}{K C_p \Delta T}$$

где N – мощность нагревателя; C_p – теплоемкость вещества при $\frac{T_1 + T_2}{2}$; K – поправочный множитель на неравномерность распределения температур.

При постоянной мощности нагревателя ($U_{\text{ПНТ}} = \text{const}$) количество тепла, забираемое потоком постоянно: $G \uparrow \Rightarrow T_2(\text{нагрев потока}) \downarrow \Rightarrow \Delta T \downarrow$.

Для измерения больших расходов нагревают не весь поток, только часть, которую пропускают по байпасной трубке.

Недостатки: тепловое воздействие на измеряемый поток.

7.4.6 Ультразвуковой расходомер

Принцип действия основан на сложении скорости распространения ультразвука в жидкости и скорости самого потока. Источник и приемник располагаются на торцах измерительного участка трубопровода. Электронный блок содержит генератор импульсов и измеритель времени прохождения импульсом этого расстояния (между 1 и 2), как показано на рисунке 7.23.

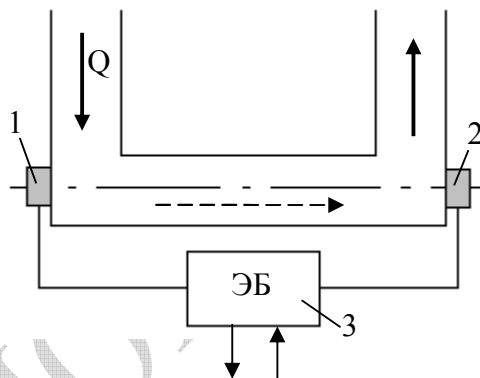


Рисунок 7.23 – Схема ультразвукового расходомера, где 1 – излучатель, 2 – приемник, 3 – электронный блок.

Источник и приемник – пьезоэлектрические элементы. При движении потока его скорость будет складываться со скоростью ультразвука, что приведет к уменьшению времени пробега импульса.

Достоинства:

- диапазон измерения практически не ограничен;
- отсутствие влияния на свойства измеряемой среды.

8 НОРМИРУЮЩИЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

8.1 Элементарные измерительные преобразователи

Блочно-модульный принцип построения технических средств автоматизации заключается в том, что функции, выполняемые сложным устройством, разбиваются на ряд простых (элементарных), которые выполняют более простые функции.

Этот принцип позволяет:

- ✓ существенно сократить номенклатуру преобразователей и унифицировать эти преобразователи;
- ✓ обеспечить связь отдельных элементов за счет унификации сигналов.

Однако элементарные преобразователи и измерительные приборы обычно не обеспечивают требуемых метрологических характеристик преобразования: малой погрешности, стабильности, линейности, чувствительности, а также достаточной мощности выходного сигнала. Поэтому в промышленных преобразователях применяют комбинации элементарных преобразователей с использованием обратной связи, корректирующих и регулирующих элементов, усилителей сигналов и т.п.

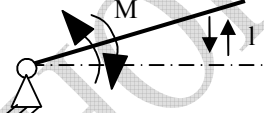
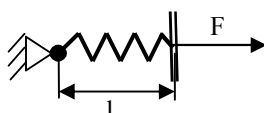
Выделяют три группы элементарных преобразователей:

1. механические;
2. пневматические;
3. электрические.

8.1.1 Механические элементарные преобразователи

Классификация механических элементарных преобразователей приведена в таблице 8.1

Таблица 8.1 – Классификация элементарных преобразователей

Наименование	Рисунок	Примечание
<u>Рычаг</u> – служит для преобразования вращающего момента M в угловое перемещение.	 M – момент; l – перемещение. Вход $\rightarrow M$ (F=сила); Выход $\rightarrow l$.	При малых углах поворота рычага перемещение всех его точек почти линейное. Поэтому рычаг с малым углом поворота можно считать преобразователем момента в линейное перемещение: $M \Rightarrow l$ Т.к. рычаг находится в положении равновесия, когда $M=0$, а иначе его выходной сигнал непрерывно изменяется, то этот преобразователь можно представить как интегрирующее звено.
<u>Пружина</u> – служит для преобразования силы F в линейное перемещение l .	 F – сила; l – перемещение. Вход $\rightarrow M$ (F=сила); Выход $\rightarrow l$.	Между деформацией пружины l и усилием F имеется зависимость: $F = kl$, где k – коэффициент жесткости пружины или коэффициент передачи пружины, как преобразователя. Характеристика преобразователя – линейная.

8.1.2 Пневматические элементарные преобразователи

Эти преобразователи имеют широкое применение, т.к. обладают рядом достоинств:

- простота устройства;
- надежность в эксплуатации;
- пожаро- и взрывобезопасность;
- единый унифицированный диапазон пневматического входного и выходного сигналов ($0,2 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^5$) Па, что позволяет использовать их без дополнительных преобразователей и проще согласовывать их входные и выходные сигналы.

1. Пневматические сопротивления (дроссели)

Пневматическое сопротивление создается специальными устройствами – дросселями. Сопротивление движению воздуха в таких устройствах достигается за счет сужения проходного сечения воздушного канала. Зависимость между расходом воздуха через элемент и перепадом давления на нем можно выразить следующим образом:

$$Q = \frac{\Delta P}{R},$$

где R – пневматическое сопротивление.

Величина R является постоянной лишь при ламинарном режиме движения воздуха, когда воздух движется через элемент параллельными струями (не перемешиваясь). С увеличением скорости возникает турбулентный режим течения, при котором воздух движется с завихрениями и перемешивается. При этом пневматическое сопротивление становится величиной переменной и зависит от перепада давлений:

$$R = k\sqrt{\Delta P} \text{ – характеристика квадратичная.}$$

Классификация пневматических дросселей приведена в таблице 8.2

Дроссели делятся на постоянные и переменные.

Постоянные дроссели – дроссели, проходное сечение которых в процессе работы не меняется. *Вход* – Q (расход), *а выход* – ΔP (перепад давлений).

Переменные дроссели – дроссели, проходное сечение которых изменяется в широких пределах. *Вход* – l (перемещение), *а выход* – P (давление). Применяется в схемах делителей давления. Наиболее распространенные конструкции переменных дросселей – это сопло-заслонка (рисунок 8.1а) и цилиндр-конус (рисунок 8.1б).



Рисунок 8.1 – Конструкции переменных дросселей сопло-заслонка (а) и цилиндр-конус (б).

Дроссель цилиндр-конус состоит из цилиндрической втулки 1, вдоль оси которой перемещается конус 2. Проходное сечение зависит от положения конуса по отношению к цилиндру.

Сопло-заслонка состоит из сопла 1 с цилиндрическим отверстием и заслонки 2. Пневматическое сопротивление определяется величиной зазора между соплом и заслонкой.

2. Мембрана (см. п. 7.2). Характеристика преобразователя линейная: *вход* – P (давление), *а выход* – F (сила).

3. Трубчатая пружина (см. п. 7.2). Характеристика преобразователя линейная: *вход* – P (давление), *а выход* – l (перемещение).

4. Сильфон (см. п. 7.2). Характеристика преобразователя линейная: *вход* – P (давление), *а выход* – F (сила) или l (перемещение).

5. Преобразователь сопло-заслонка служит для преобразования линейного перемещения в давление сжатого воздуха. Состоит из переменного дросселя сопло-заслонка R_2 и постоянного дросселя R_1 . Два дросселя вместе составляют делитель давления, как показано на рисунке 8.2.

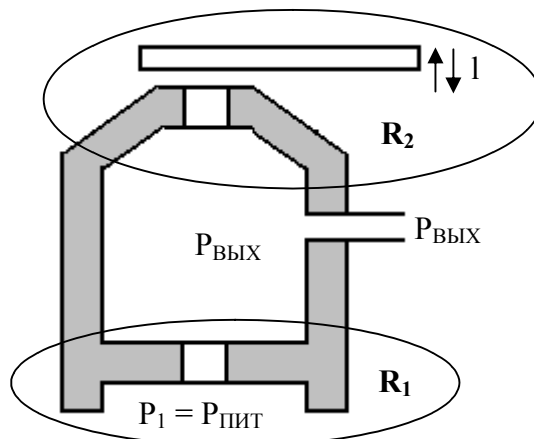


Рисунок 8.2 – Конструкции преобразователя сопло-заслонка

Характеристика преобразователя нелинейная: вход – l (перемещение), а выход – P (давление) ее вид дан на рисунке 8.3.

Давление питания $P_{ПИТ}$ подводится через постоянный дроссель R_1 , а выходным сигналом делителя является промежуточное давление $P_{ВЫХ}$.

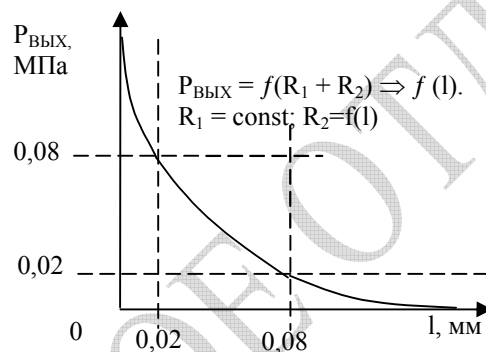


Рисунок 8.3 – Статическая характеристика преобразователя сопло-заслонка

8.1.3 Электрические элементарные преобразователи

1. Реостат – намотанная на каркас проволочная спираль, по которой перемещается подвижный контакт, см. рисунок 8.4.

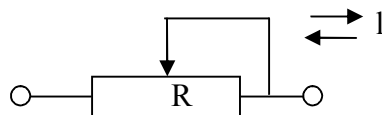


Рисунок 8.4 – Изображение реостата, как элементарного преобразователя перемещения в сопротивление

Необходим для преобразования перемещения l в изменение электрического сопротивления: вход – l (перемещение), а выход – R (сопротивление).

Характеристика может быть как линейной, так и нелинейной. Реостат с линейной характеристикой называется реоходом:

$$R = kl,$$

где k – коэффициент передачи реостата.

В зависимости от материала проволоки, способа намотки можно получить заданную зависимость выхода ко входу. Для работы реостат необходимо включить в электрическую

цепь, например, в уравновешенный мост, так чтобы получить заданный выходной сигнал: U , R , I .

2. Термометр сопротивления (см. п. 7.1.4).

Характеристика преобразователя линейная: вход – T (температура), а выход – R (сопротивление).

3. Термопара (см. п. 7.1.4) – преобразователь, не требующий внешнего источника питания. Характеристика преобразователя нелинейная: вход – T (температура), а выход – E (термо э.д.с.).

4. Неуравновешенный мост

Используется для преобразования переменного сопротивления в напряжение. Состоит из двух делителей: Д1 – включает переменный резистор $R1$ и постоянный $R2$; Д2 – включает два постоянных резистора $R3$ и $R4$, что приведено на рисунке 8.5.

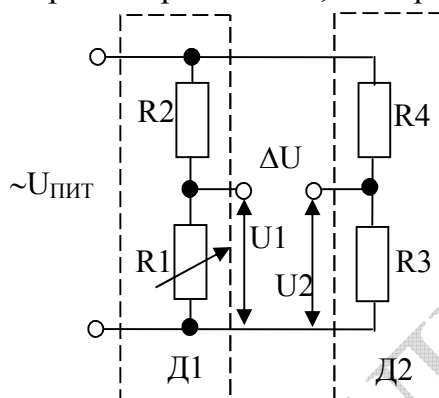


Рисунок 8.5 – Структура неуравновешенной электрической мостовой схемы

Характеристика преобразователя нелинейная: вход – $R1$ (переменное сопротивление), а выход – ΔU (разбаланс моста).

Разбаланс определяется как разность выходных напряжений двух делителей Д1 и Д2:

$$\Delta U = U1 - U2 = U_{\text{пит}} \frac{R1R4 - R2R3}{(R1 + R2)(R3 + R4)}$$

Подбором постоянных резисторов всегда можно добиться того, чтобы нулевой выходной сигнал соответствовал началу диапазона изменения сопротивления переменного резистора. Состояние моста, при котором его выходной сигнал равен 0, называется состоянием равновесия, а мост в этом состоянии – уравновешенным.

5. Магнитоэлектрический преобразователь

Используется для преобразования тока в силу. Он состоит из постоянного магнита 1 и П-образного магнитопровода 2, образующих магнитную цепь, в зазоре которой помещена катушка 3 (круглая рамка с обмоткой), см. рисунок 8.6.

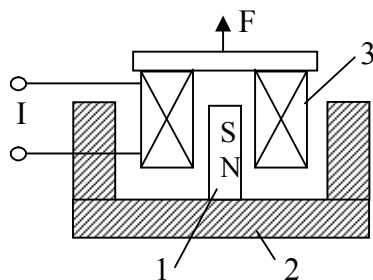


Рисунок 8.6 – Структура магнитоэлектрического элементарного преобразователя

При взаимодействии электрического тока I , протекающего по катушке, с полем постоянного магнита возникает сила F , действующая на катушку. Характеристика линейная:

$$F = B l n I,$$

где B – магнитная индукция; L – средняя длина витка катушки; n – число витков.
Характеристика преобразователя линейная: вход – I (сила тока), а выход – F (сила.).

6. Трансформаторный преобразователь

Для преобразования перемещения в напряжение переменного тока.

Для преобразования линейного перемещения используется дифференциально-трансформаторный преобразователь, а для угловых перемещений – ферродинамические.

Дифференциально-трансформаторный преобразователь состоит из двух одинаковых трансформаторов с общим каркасом и плунжером. Обе обмотки каждого трансформатора расположены на одной из половин каркаса, см. рисунок 7.19 а.

Первичные обмотки обоих трансформаторов соединены так, что одна является продолжением другой (согласное включение). Вторичные обмотки соединены таким образом, что их напряжения вычитаются друг из друга (встречное включение). Поэтому выходное напряжение определяется разностью напряжений вторичных обмоток составляющих его трансформаторов.

В промышленности выпускают дифференциально-трансформаторные преобразователи малым ходом плунжера по сравнению с длиной катушек трансформатора (обычно не более 5 мм). При этом зависимость напряжения U от перемещения плунжера l можно считать линейной:

$$U = kl,$$

где k – коэффициент передачи.

Таким образом, характеристика преобразователя линейная: вход – l (перемещение), а выход – U (напряжение.).

7. Усилитель

Предназначены для пропорционального усиления электрических сигналов. Используются усилители напряжения или тока (по величине сигнала), усилители мощности (не изменяют величины усиливаемого сигнала).

Усиление по величине сигнала используется в цепях, построенных по принципу следящих систем, для усиления глубины обратной связи.

8. Реверсивный электродвигатель

Реверс двигателя позволяет менять направление движения регулирующего органа, счетного устройства и т.д. По своим свойствам двигатель, как преобразователь, является интегратором. Пока напряжение приложено к двигателю, его вал вращается в противном случае вал находится в состоянии покоя сколь угодно долго. Таким образом, при наличии входного сигнала выходной сигнал преобразователя непрерывно изменяется, а при отсутствии его может быть любым, но неизменным.

8.2 Промежуточные (вторичные, нормирующие) преобразователи

Большинство датчиков (первичных преобразователей) имеют на выходе сигнал, неудобный для передачи на расстояние или формируют неунифицированный сигнал.

При разработке измерительных схем следует придерживаться следующих правил:

- вне зависимости от природы сигнала датчика (D) с помощью промежуточных преобразователей (ПП) переводят сигнал в унифицированный: особенно если исходный сигнал – механическое перемещение ;

$$D \Rightarrow \text{ПП} \Rightarrow \text{«унифицированный сигнал»}$$

- если сигнал с датчика неунифицированный электрический, то системой ГСП допускается его использование (например, от термосопротивлений, термопар) во избе-

жание усложнения структуры измерительной цепи, в этом случае используются специализированные измерительные приборы:

$ТП, ТС \Rightarrow$ «неунифицированный сигнал» $\Rightarrow$ специальный ИП

- в случае ограничений, накладываемых категоричностью предприятия (взрыво- и пожароопасность) передача сигнала в цепи $Д \Rightarrow ПП$ (в пределах зоны) рекомендуется осуществлять по пневматической линии связи, далее передачу можно вести любым унифицированным сигналом:

$Д \Rightarrow ПП1 \Rightarrow$ «пневмат. сигнал» $\Rightarrow ПП2 \Rightarrow$ «электрич сигнал»

Для повышения точности измерения ПП строятся по схеме нулевого метода измерения с автоматическим уравниванием. Такие схемы действуют по принципу автоматических следящих систем (автоматические компенсаторы).

Метод уравнивающего преобразования характеризуется тем, что в приборах используется две цепи преобразования: прямая и обратная, роли которых резко отличаются, см. рисунок 8.7.

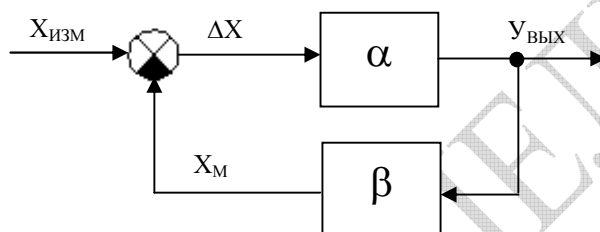


Рисунок 8.7 – Структура автоматического компенсатора

Цепь прямого преобразования α служит для обнаружения степени неравновесия. Назначение цепи обратного преобразования β заключается в том, чтобы, используя энергию прямого преобразования, создать уравнивающую величину (меру) $X_М$, однородную с измеряемой величиной $X_{ИЗМ}$. В результате этого уравнивания на вход прямой цепи преобразования поступает только часть входной величины ΔX . Погрешность такого метода определяется погрешностью в обратной цепи.

Рассмотрим в качестве примеров преобразователей, построенных в виде автоматических компенсаторов схемы пневмосилового преобразователя и преобразователя электрического сопротивления в ток.

1. Пневмосиловой преобразователь. Схема преобразователя дана на рисунке 8.8.

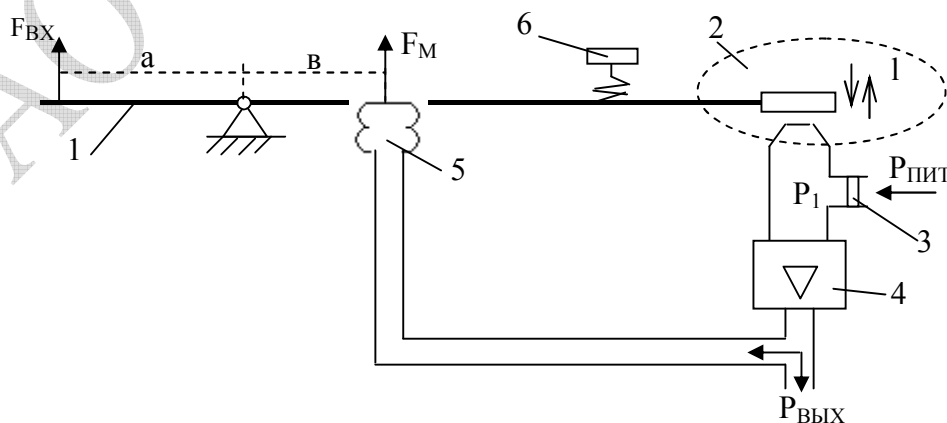


Рисунок 8.8 – Схема пневмосилового преобразователя, где 1 – рычаг, 2 – дроссель со-
пло-заслонка, 3 – постоянный дроссель, 4 – пневмоусилитель, 5 – сильфон обратной свя-
зи, 6 – корректор нуля.

На входе преобразователя – сила, приложенная к левому плечу рычага (а).

На выходе – давление сжатого воздуха ($P_{\text{ВЫХ}}$) на выходе усилителя мощности.

За счет подбора постоянного дросселя обеспечивается равенство давления питания унифицированному значению 0,14 МПа.

Вращающий момент $M=f(F_{\text{ВХ}})$ на входе преобразователя создается входным усилием. Противоположно направленный момент меры $M_{\text{М}}=f(F_{\text{М}})$ создается на правом плече рычага (в) сильфоном обратной связи. Результирующий момент $\Delta M=M-M_{\text{М}}$ вызывает поворот рычага (1) и перемещение 1, расположенной на его правом плече заслонки преобразователя сопло-заслонка (2-3). Изменение давления на выходе элементарного преобразователя, пропорциональное перемещению заслонки после усилителя мощности (4) становится выходным сигналом всего преобразователя. Одновременно давление с выхода усилителя подается с цепь обратной связи (5).

Окончанием преобразования является достижение величиной ΔM нулевого значения.

Корректор нуля применяется для настройки схемы. А именно, изменяя натяжение пружины можно создавать дополнительный вращающий момент на рычаге и тем самым изменять величину выходного сигнала. При наладке схемы корректором устанавливается начальное значение выходного сигнала 0,02 МПа при нулевом значении силы.

Статическая характеристика преобразователя линейная. В промышленности часто выпускается в едином корпусе с первичным преобразователем.

2. Преобразователь электрического сопротивления в ток. Схема преобразователя дана на рисунке 8.9.

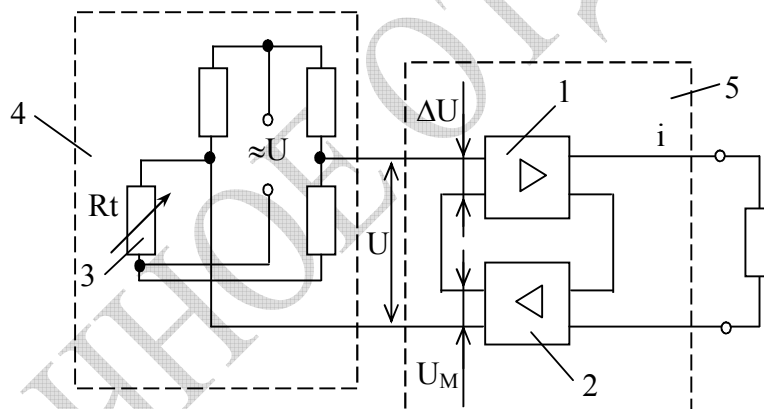


Рисунок 8.9 – Схема преобразователя электрического сопротивления в ток, где 1 – усилитель прямого преобразования, 2 – усилитель обратного преобразования, 3 – переменное сопротивление (термо- или тензосопротивление), 4 – неуравновешенный мост, 5 – преобразователь напряжения в ток.

На входе преобразователя – изменение электрического сопротивления (R_t).

На выходе – изменение тока.

Напряжение в измерительной диагонали неуравновешенного моста (4) подается на вход преобразователя $U \Rightarrow I$ (5), далее - на вход усилителя цепи прямого преобразования (1). На выходе усилителя формируется токовый сигнал (унифицированный 0..5мА), который является выходным сигналом всего преобразователя. Далее токовый сигнал поступает на вход усилителя (2) цепи обратного преобразования, на выходе которого вырабатывается напряжение меры.

Завершение процесса преобразования наступает после достижения величиной разности измеряемого напряжения и напряжения меры нулевого значения $\Delta U = U - U_M = 0$.

Характеристика блока линейризации выбирается такой, чтобы скомпенсировать нелинейность статической характеристики неуравновешенного моста. измерительные приборы

Предназначены для преобразования измеряемых сигналов в перемещение стрелки или пера относительно шкалы.

8.2 Измерительные приборы

Классификация измерительных приборов по метрологическому признаку дана в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Классификация измерительных приборов по метрологическому признаку

Класс прибора	Технические	Лабораторные	Образцовые
Описание	Для работы в производственных помещениях, поэтому должны быть недорогими и надежными в эксплуатации. У них нет поправки на погрешность изменения. Класс точности: 0,25...2,5	Для точных измерений в лабораторных условиях. Для повышения точности измерения в них вводится поправка на внешние условия. Класс точности: 0,05; 0,1; 0,2	Для поверки технических и лабораторных приборов. Класс точности: 0,005; 0,02; 0,05

Согласно классификации измерительных приборов по способу измерения последние делятся на *измерительные приборы непосредственной оценки* и *измерительные приборы следящего уравнивания*.

Согласно классификации измерительных приборов по числу точек измерения последние делятся на *одноточечные, 3-х точечные, 6-ти и 12-ти точечные*.

В многоточечных приборах осуществляется отображение мгновенного значения всех параметров. В приборах регистрирующих значения во времени на бумажном носителе запись ведется только по одному параметру с возможностью переключения на запись поочередно

Классификация измерительных приборов по виду входного сигнала дана в таблице 8.3.

Таблица 8.3 – Классификация измерительных приборов по виду входного сигнала

Вид входного сигнала	Примеры измерительных приборов
Давление сжатого воздуха	Системы СТАРТ, ЦЕНТР
Напряжение постоянного тока	Милливольтметры, потенциометрические компенсаторы (КСП)
Токовые сигналы и унифицированные сигналы напряжения	Компенсаторы с унифицированным токовым сигналом и сигналом напряжения на входе (КСУ)
Электрическое сопротивление	Логометры, компенсаторы с мостовой схемой (КСМ)
Напряжение переменного тока	Компенсаторы с дифференциально-трансформаторным преобразователем на входе (КСД)

Классификация измерительных приборов по виду выходного сигнала дана в таблице 8.4.

Таблица 8.4 – Классификация измерительных приборов по виду выходного сигнала

Название	Описание
Показывающие	Величина измеряемого параметра указывается отчетным устройством (шкала, стрелка). <u>Достоинства:</u> простота конструкции. <u>Недостатки:</u> индикация только в текущий момент времени. <u>Конструктивное оформление:</u> - с неподвижной шкалой и подвижной стрелкой; - с подвижной шкалой и неподвижной стрелкой (уменьшенный фронтальный размер).
Самопишущие	Снабжены устройством для автоматической записи результатов измерения во времени. Запись ведется на бумажной ленточной диаграмме, которая движется с постоянной скоростью или на дисплее с записью информации на жесткий носитель.
Интегрирующие	Использование дополнительного устройства с функцией непрерывного суммирования мгновенных значений измеряемого параметра (счетчик).
Комбинированные	Возможность одновременной записи и индикации значений измеряемого параметра, а также дополнительно: сигнализации отклонений параметра, преобразования сигнала, регулирования, интегрирования и т.д.

Для повышения точности измерения строятся, как и промежуточные преобразователи по нулевому методу измерения.

Рассмотрим в качестве примеров измерительных приборов, построенные по схеме автоматических компенсаторов, схемы прибора для записи пневматического сигнала и прибора для записи электрического сигнала.

1. Прибор для записи пневматического сигнала. Схема преобразователя дана на рисунке 8.10.

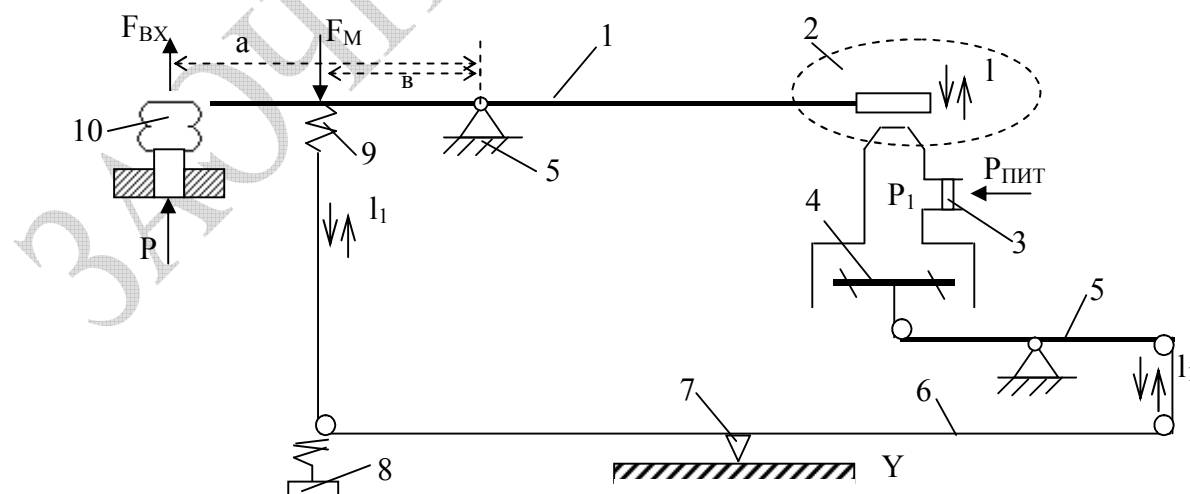


Рисунок 8.10 – Схема прибора для записи пневматического сигнала, где 1 – рычаг, 2 – элементарный преобразователь сопло-заслонка, 3 – постоянный дроссель, 4 – мембрана, 5 – рычаг, 6 – леска, 7 – отсчетное устройство, 8 – корректирующий винт, 9 – пружина обратной связи, 10 – сильфон.

Прибор типа ПВ (пневматический вторичный прибор) применяется для измерения любых технологических параметров, предварительно преобразованных в давление сжатого воздуха.

Измерительная цепь состоит из четырех преобразователей:

- 1 . Преобразование давление P в силу $F_{ВХ}$, приложенную к рычагу $\Rightarrow$ сильфон 10.
- 2 . Преобразование силы $F_{ВХ}$ в момент $M_{ВХ}$ – большее плечо рычага 1- $a \Rightarrow$ рычаг 1.
3. Следящая цепь – преобразование момента $M_{ВХ}$ в перемещение стрелки $l_1 \Rightarrow$ 1 – 7.
- 4 . Цепь обратной связи $F_M \Rightarrow$ пружина 9 и меньшее плечо рычага 1- b .

Принцип работы близок к принципу работы преобразователя силы в давление. Рабочее давление P , преобразованное через момент $M_{ВХ}(F_{ВХ})$ в перемещение l преобразователем сопло-заслонка 2-3, вызывает прогиб мембраны 4, связанной с левым плечом рычага 5. При этом правый конец рычага 5 тянет, связанную с ним леску 6, вызывая тем самым перемещение l_1 (растяжение) пружины обратной связи 9 и стрелки отсчетного устройства 7. Это перемещение l_1 является одновременно выходным сигналом следящей системы и сигналом цепи обратной связи. Растяжение пружины 9 вызывает силу F_M , которая через меньшее плечо рычага 1– b , создает на нем момент $M_M(F_M)$. Окончание преобразования - $M_{ВХ}(F_{ВХ}) = M_M(F_M) \pm M_{КОР}$. Изменение начального натяжения пружины 9 осуществляется корректором 8.

Пневматические приборы имеют линейную шкалу и могут применяться для отображения 1, 2 или 3 параметров одновременно.

2. Прибора для записи электрического сигнала – напряжения постоянного тока и токовых сигналов. Схема преобразователя дана на рисунке 8.11.

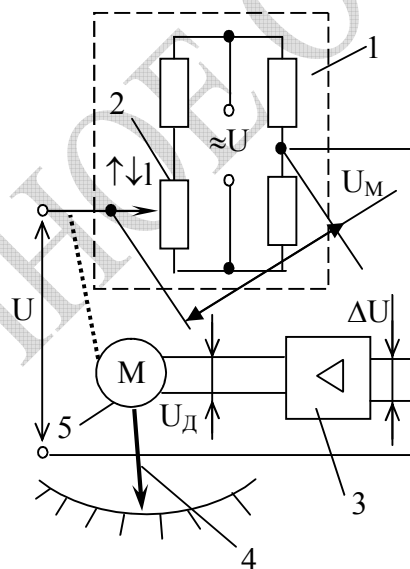


Рисунок 8.11 – Схема прибора для записи электрического сигнала, где 1 – неуравновешенный мост, 2 – реохорд (реостат с линейной характеристикой), 3 – усилитель, 4 – отсчетное устройство, 5 – реверсивный электродвигатель.

По такой схеме собирается, например, компенсатор потенциометрический (измерение нулевым методом).

Измерительная цепь состоит из двух преобразователей:

1. Цепь прямого преобразования – преобразование измеряемого напряжения U в поворот вала электродвигателя 5 ($f(U_D)$) и перемещение механически связанной с ним стрелки 4 показывающего прибора $\Rightarrow$ мост 1, усилитель 3, э/двигатель 5, отсчетное устройство 4.

2. Цепь обратной связи – компенсация ΔU измеренного сигнала U напряжением меры U_M , создаваемым за счет перемещения механически связанного с э/двигателем 5 движка реохорда 2.

Принцип работы основан на уравнивании (компенсации) измеряемого напряжения U . Во входную цепь усилителя 3 последовательно с измеряемым напряжением включен неуравновешенный мост 1. Его выходное напряжение U_M действует встречно с измеряемым и поэтому к входу усилителя 3 прилагается их разность $\Delta U = U - U_M$.

Эта разность усиливается U_D и приводит в действие реверсивный э/двигатель 5. Вал э/двигателя 5 перемещает движок реохорда 2 и стрелку отсчетного устройства 4. Это перемещение l является одновременно выходным сигналом следящей системы и входным сигналом преобразователя в цепи обратной связи, функцию которого неуравновешенный мост 1.

Для устранения помех (обеспечения постоянства рабочего тока) питание мостовой схемы осуществляется от стабилизированного источника питания.

Т.к. 2 – реохорд, то статическая характеристика неуравновешенной мостовой схемы 1, как обратного преобразователя перемещения l в напряжение U_M также линейная. Таким образом, шкала автоматического компенсатора оказывается равномерной.

Промышленностью выпускаются потенциометры, отличающиеся в основном конструктивным оформлением (габаритные размеры, вид и форма шкалы, способ регистрации и т.д.).

Компенсатор для измерения унифицированных токовых сигналов – автоматический миллиамперметр с нулевым методом измерения.

Принципиальная схема такого преобразователя полностью совпадает с аналогичной схемой автоматического потенциометра за исключением линии подвода токового сигнала.

Входной токовый сигнал i преобразуется в напряжение U за счет прохождения через резистор, включенный во входную цепь прибора, что показано на рисунке 8.12.

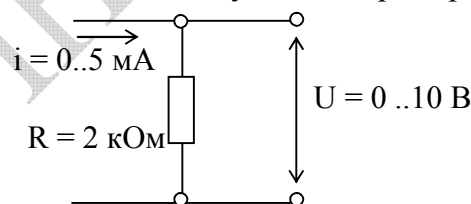


Рисунок 8.12 – Схема входной цепи потенциометра при измерении токовых сигналов.

Таким образом, промышленный компенсатор для измерения токовых сигналов практически представляет собой автоматический потенциометр, снабженный входным резистором.

9 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ

Исполнительным устройством называется устройство в системе управления, непосредственно реализующее управляющее воздействие со стороны регулятора на объект управления. Исполнительное устройство включает исполнительный механизм (ИМ) и регулирующий орган (РО).

Большинство управляющих воздействий в нефтепереработке, нефтедобыче и нефтехимии реализуется путем изменения расходов веществ (например, сырья, топлива, кубового остатка колонны и т.д.).

9.1 Исполнительные механизмы

Исполнительный механизм преобразует выходной сигнал регулятора в перемещение регулирующего органа. От правильного выбора и расчета исполнительного устройства зависит качество работы системы регулирования. Классификация исполнительных механизмов по виду используемой энергии дана в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Классификация исполнительных механизмов по виду используемой энергии

Исполнительный механизм								
Пневматические			Гидравлические				Электрические	
Мембранные	Поршневые	Сильфонные	Мембранные	Поршневые	Лопастные	С гидромуфтой	Электродвигательные	Электромагнитные

Исполнительный механизм состоит из собственно исполнительного механизма и узла кинематической передачи. Усилие выходных элементов исполнительного механизма определяется из приведенного усилия, развиваемого самим механизмом с учетом передаточного числа и коэффициента полезного действия узла кинематической передачи.

В пневматических механизмах передаточное усилие создается за счет давления сжатого воздуха (до 1 МПа).

В гидравлических механизмах передаточное усилие создается за счет давления рабочей жидкости (2,5-20 МПа).

В пружинных механизмах перестановочное усилие в одном направлении создается давлением рабочей среды, а в обратном – упругим элементом (пружиной). В безпружинных ИМ – перестановочное усилие создается перепадом давлений на рабочем органе.

Требования, предъявляемые к ИМ.

- ИМ должен обеспечивать необходимую скорость регулирования.
- ИМ должен иметь минимальное время трогания и минимальное время отключения.
- ИМ должен быть достаточно чувствителен к командным сигналам.
- ИМ должен иметь минимальный выбег выходного элемента.
- ИМ должен иметь линейную ходовую характеристику, т.е. постоянство мощности во всем диапазоне изменения регулируемой величины.
- ИМ должен сохранять равенство между перемещением выходного элемента и рабочим ходом штока затвора регулирующего органа.

Помимо этих преобразователей необходимо учитывать вид энергии регулятора и энергии создающей перестановочное усилие должны быть идентичны.

ИМ должен выбираться в соответствии с категоричностью помещения и иметь соответствующее исполнение. Необходимо учитывать габариты и массу ИМ.

Конструкция ИМ должна содержать дополнительные устройства:

- Ручной привод.
- Указатель положения выходного элемента.
- Устройство подрегулирования начального и конечного положения выходного элемента.

1 Пневматические исполнительные механизмы

➤ Мембранно-пружинный ИМ

Нашел широкое распространение благодаря простоте конструкции, низкой стоимости, надежности, способности работать в пожаро- и взрывоопасных условиях. Недостатки: ограниченность расстояния от регулятора до места установки ИМ (обычно до 200 м), низкое быстродействие, низкий класс точности.

Представляет собой преобразователь давления сжатого воздуха в пропорциональное ему перемещение выходного штока, что показано на рисунке 9.1. Величина перемещения зависит от конструкции: $l = 6 - 100$ мм.

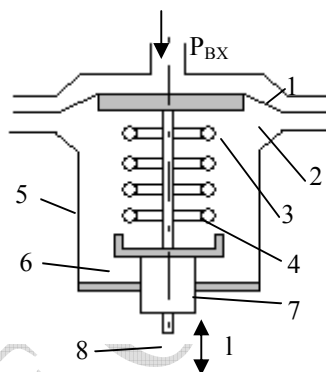


Рисунок 9.1 – Схема мембранно-пружинного ИМ, где 1 – крышка корпуса, 2 – мембрана, 3 – опорный диск, 4 – пружина, 5 – корпус, 6 – опорная чашка, 7 – чашка, 8 – шток.

Мембрана резиново-тканевая, герметично заделанная между крышками. Входным сигналом этих ИМ является давление сжатого воздуха $P_{ВХ}$, которое, воздействуя на мембрану, создает усилие

$$F = S_{эф} (P_{ВХ} - P_0),$$

где $P_{ВХ}$ – управляющее давление,
 P_0 – начальное давление, при котором создается движение плунжера,
 $S_{эф}$ – эффективная площадь мембраны.

В зависимости от той плоскости, в которую подается давление $P_{ВХ}$, ИМ может быть либо прямого, либо обратного действия. В механизме прямого действия при повышении давления в рабочей плоскости место сочленения выходного штока с регулирующим органом отделяется от места заделки мембраны.

Статическая характеристика должна быть линейной: $l * c = F_{эф} * P$, где l – перемещение штока; c – жесткость пружины; $F_{эф}$ – эффективная площадь (та часть площади, которая воспринимает командный сигнал).

Для уменьшения нелинейности из-за изменения эффективной площади (мембрана растягивается) устанавливается опорный диск, который ограничивает перемещение мембраны и изменяется профиль мембраны:

Из-за непостоянства жесткости пружины (гистерезиса пружины) и из-за наличия усилий трения в сальнике регулирующего органа возникает гистерезис, что показано на рисунке 9.2.

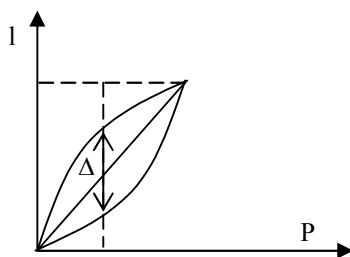


Рисунок 9.2 – Статическая характеристика мембранно-пружинного ИМ

Согласно паспортным данным на клапан величина гистерезиса Δ не должна превышать 2 % от полного хода штока.

Чтобы уменьшить погрешность (примерно до 1,5%) перемещения регулирующего органа используются позиционеры, при этом также увеличивается быстродействие.

➤ Поршневой ИМ

Применяется, если требуется большой ход выходного элемента (до 500мм) или большое перестановочное усилие (до 5000 Н). Конструкции и способы управления поршневыми ИМ показаны на рисунке 9.3.

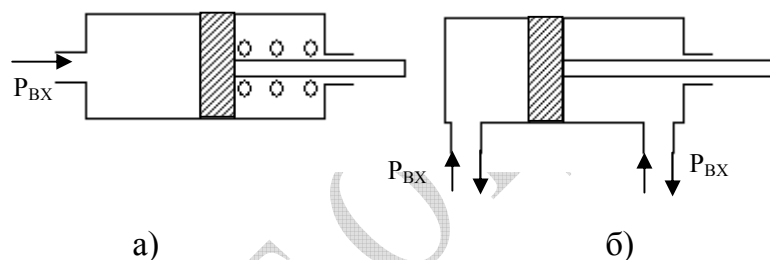


Рисунок 9.3 – Конструкции поршневых исполнительных механизмов

2 Гидравлические исполнительные механизмы

В основном применяются поршневые ИМ. Диаметр поршня от 80 до 150 мм, ход штока – до 200 мм, а перестановочное усилие – от 5000 Н до 20000 Н. Могут быть прямоходными с кривошипным механизмом с углом поворота до 300°. Мощность, подводимая к поршню зависит положения выходного вала.

2 Электрические Исполнительные Механизмы

➤ Электромагнитные

Используются ИМ соленоидного типа (рисунок 9.4) или электромагнитные муфты. Используются для малых условных диаметров трубопроводов.

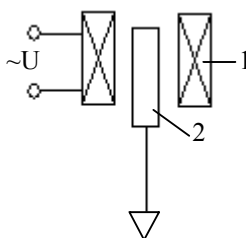


Рисунок 9.4 – Конструкция электромагнитных исполнительных механизмов соленоидного типа, где 1 – обмотки; 2 – плунжер (сердечник).

➤ Электродвигательные

Электродвигатель может быть общего промышленного исполнения или специальные электродвигатели. Специальные имеют в своем составе помимо двигателя

еще редуктор, ручной привод, конечные выключатели, указатели положения выходного вала. Редуктор используется для фиксации в определенном положении вала двигателя при отключении последнего. Если угол поворота превышает технические возможности ($\sim 330^\circ$), ИМ отключается конечными выключателями.

ИМ с постоянной скоростью вращения выходного вала используются с импульсными регуляторами.

ИМ с переменной скоростью вращения применяется для работы с аналоговыми регуляторами.

9.2 Регулирующие органы

РО осуществляют регулирующее воздействие на объект посредством изменения расхода вещества или энергии подводимой к нему. Регулирующие органы могут быть:

- дросселирующими – переменное гидравлическое сопротивление, воздействующее на расход вещества за счет изменения своего проходного сечения;
- дозирующими – это механизмы и агрегаты, посредством которых осуществляется заданное дозирование, поступающего вещества или энергии за счет изменения производительности агрегата или механизмов.
- *Дроссельные РО* используются, если перекрываемые потоки не несут абразивных веществ.

В зависимости от расхода перекрываемого потока условного диаметра трубопровода, напора в магистрали и т.д. используются односедельные (рисунок 9.5 а) и двухседельные РО (рисунок 9.5 б).

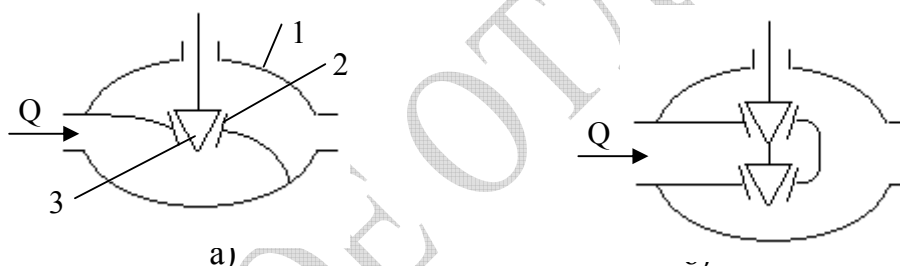


Рисунок 9.5 – Конструкции односедельного РО (рисунок 9.5 а) и двухседельного РО (рисунок 9.5 б), где 1 – корпус; 2 – плунжер; 3 – седло

Односедельные РО обеспечивают наилучшую герметичность, но перепад давлений создает максимальное выталкивающее усилие при полностью закрытом клапане, что приводит к неустойчивости штока (используются разные усилия для перемещения). Используется, если $D_y < 25$ мм.

В двухседельных РО силы давления в потоке прикладываются к обоим плунжерам, при чем усилие направлено в разные стороны, однако при этом не обеспечивается полная герметичность. Используется, если $D_y > 25$ мм.

➤ Шланговые РО

Используются, если потоки содержат абразивные вещества. Изменяют проходное сечение при перемещении роликов, как показано на рисунке 9.6.

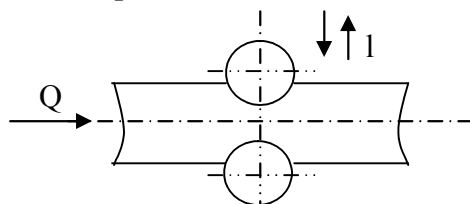


Рисунок 9.6 – Конструкция шлангового РО

1. Диафрагмовые РО

Проходное сечение трубопровода изменяется за счет перемещения центра диафрагмы относительно перегородки, как показано на рисунке 9.7.

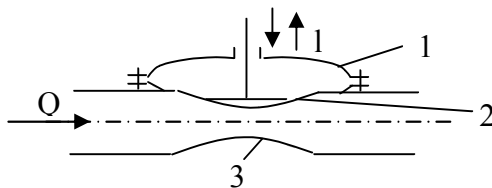


Рисунок 9.7 – Конструкция диафрагмового РО, где 1 – корпус; 2 – диафрагма; 3 – перегородка.

Применяются при изменении проходного сечения потоков агрессивных сред. Имеют более простую конструкцию по сравнению с ранее рассмотренными РО, однако имеют ограничение по условному давлению в трубопроводе.

➤ *РО заслоночного типа*

Принцип действия состоит в изменении угла поворота дискового затвора ($0-90^\circ$), как показано на рисунке 9.8. Используется для изменения расхода газовых сред в трубопроводах большого диаметра.

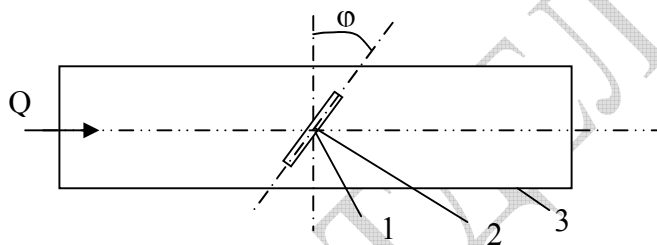


Рисунок 9.8 – Конструкция РО заслоночного типа, где 1 – диск; 2 – ось; 3 – корпус.

Общие требования к регулирующим органам.

1. Принцип действия и конструкция регулирующего органа должны обеспечивать выполнение поставленной задачи автоматизации. Необходимо учесть какой должен быть регулирующий орган: нормально открытый или нормально закрытый, чтобы обеспечить безаварийность процесса при отказе системы автоматического регулирования.

НО – регулирующий орган, проходное сечение которого остается открытым при отсутствии командного сигнала. НЗ – регулирующий орган, проходное сечение которого остается закрытым при отсутствии командного сигнала.

2. Технические параметры регулирующего органа должны соответствовать свойствам и значениям параметров регулируемой среды, т.е. материал должен быть стойким к агрессивным средам, должен выдерживать рабочее давление и температуру.

3. Регулирующий орган должен обеспечивать требуемую надежность работы и технический ресурс.

4. Регулирующий орган должен безотказно работать в производственной атмосфере, в предполагаемом месте установки.

5. Место размещения регулирующего органа должно отвечать условиям удобства монтажа и обслуживания.

6. Участок трубопровода, на котором устанавливается регулирующий орган и его байпасный узел должны иметь такое крепление, при котором регулирующий орган не испытывал бы механических перенапряжений, перекосов, изгибающих усилий.

7. Трубопровод должен иметь прямолинейный участок до и после места установки регулирующего органа.

Характеристики регулирующего органа:

➤ Пропускная способность (условная) K_{VY} – номинальный расход в м³/ч жидкости, плотностью 1000 кг/м³ при нормальных условиях (20°С), протекающей через полностью открытый регулирующий орган при перепаде давлений на нем 0,1 МПа.

Действительная пропускная способность может отличаться от условной на ±10%. Пропускная характеристика выражает функциональную зависимость изменения пропускной способности от перемещения штока $K_V = f(\mu)$. Виды пропускных характеристик приведены на рисунке 9.9.

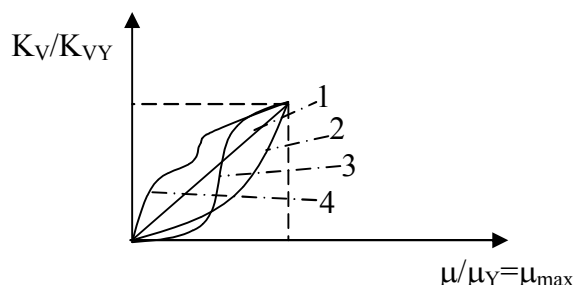


Рисунок 9.9 – Виды пропускной характеристик РО

На рисунке 9.9 представлены следующие виды пропускных характеристик:

1 – линейная характеристика применяется для регулирования:

$$dK_V = m d\mu,$$

где m – коэффициент пропорциональности;

2 – равнопроцентная применяется для регулирования:

$$\frac{dK_V}{d\mu} = m K_V,$$

где $dK_V/d\mu$ – приращение пропускной способности, относительно приращения перемещения штока;

3 – двузпозиционная характеристика создается с помощью специального профиля затвора с учетом дополнительных конструктивных особенностей и используется в системах блокировки;

4 – специальная характеристика создается с помощью специального профиля затвора и используется в системах регулирования, когда необходимо совместить все виды передаточных функций, чтобы получить переходную функцию стандартного регулятора.

➤ Диаметр условного прохода D_y .

➤ Конструктивные характеристики. Выражают функциональную зависимость относительного изменения проходного сечения f регулирующего органа от степени его открытия l :

$$f = \varphi(l), \quad f = \frac{F}{F_{MAX}}, \quad l = \frac{\mu}{\mu_{MAX}},$$

где F – площадь проходного сечения в конкретный момент времени, μ – ход штока в конкретный момент времени, μ_{MAX} – максимальный условный ход.

➤ Расходная характеристика. Выражает функциональную зависимость относительного изменения расхода от степени открытия регулирующего органа:

$$q = \varphi(l) = \frac{Q}{Q_{MAX}},$$

где Q – текущий расход. Расходная характеристика практически совпадает с пропускной характеристикой, но пропускная характеристика снимается при постоянном перепаде давлений (0,1 МПа), а расходная может сниматься при других перепадах.

ЗАОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

10 АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Для упрощения выбора регулятора используется следующий ряд классификаций.

1. По виду регулируемого параметра различают регуляторы давления, температуры и т.д. Помимо специфических регуляторов существуют универсальные, которые могут управлять несколькими технологическими параметрами.

2. В зависимости от источника энергии, используемой для работы регулятора различают регуляторы прямого действия и косвенного действия. Регуляторы прямого действия используют для работы энергию непосредственно из объекта управления, а регуляторы косвенного действия получают энергию от дополнительного источника питания.

3. По характеру действия, т.е. по виду закона регулирования различают позиционный, пропорциональный (П), пропорционально-интегральный (ПИ), и т.д. регуляторы.

4. По виду настройки рассматривают регуляторы с предварительной настройкой и с автоматической настройкой.

В регуляторах с предварительной настройкой заранее на основе математического описания объекта управления рассчитываются ориентировочные значения настроек регулятора. Коррекция настроек по мету осуществляет наладчик системы.

В регуляторах с автоматической настройкой настроечные параметры регулятора ищутся с помощью специальных алгоритмов автоматического описки, реализованных непосредственно в блоке регулирования.

5. По виду задающего воздействия различают:

- регуляторы стабилизирующие, в которых заданный параметр поддерживается на определенном заданном значении;
- программные регулятор, который изменяет регулируемый параметр согласно заранее определенной функции его изменения во времени.
- следящий регулятор, который изменяет регулируемый параметр в соответствии с изменением другой величины, характер изменения которой заранее не известен.

6. По конструктивному признаку различают:

- аппаратные регуляторы, которые работают в комплекте с датчиками, т.е. имеют самостоятельную цепь измерения регулируемого параметра;
- приборные регуляторы конструктивно объединены с измерительными приборами и получают от них информацию о величине параметра;
- агрегатные регуляторы состоят из отдельных унифицированных блоков, выполняющих довольно сложные функции (алгебраические, интегрирующие, дифференцирования);
- модульные регуляторы набираются из отдельных элементов, выполняющих простейшие функции, например, пневматическая система элементов УСЭП-ПА.

7. По виду используемой энергии выделяют пневматические, гидравлические и электрические регуляторы.

10.1 Пневматические регуляторы

Существует 4 поколения развития пневмоавтоматики:

1. Универсальные регуляторы приборного типа (компенсаторы).
2. Регуляторы, реализующие агрегатную структуру по принципу компенсации усилия. Создана агрегатная унифицированная система.

3. Универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА) и ее развитие комплект миниатюрных элементов и модулей пневмоавтоматики (КЭМП).
4. Струйная техника, где отсутствуют подвижные части (увеличение быстродействия). Но малый уровень помехозащищенности (малый перепад давлений и мощность выходного сигнала).

Распространение получили агрегатные комплексы системы «СТАРТ», «Центр», использующие элементарный и блочно модульный принцип, и построенные на основе системы УСЭППА.

Любое новое устройство пневмоавтоматики собирается путем коммутации пневмоэлементов универсального назначения. Например, структурная схема пневматической АСР приведена на рисунке 10.1.

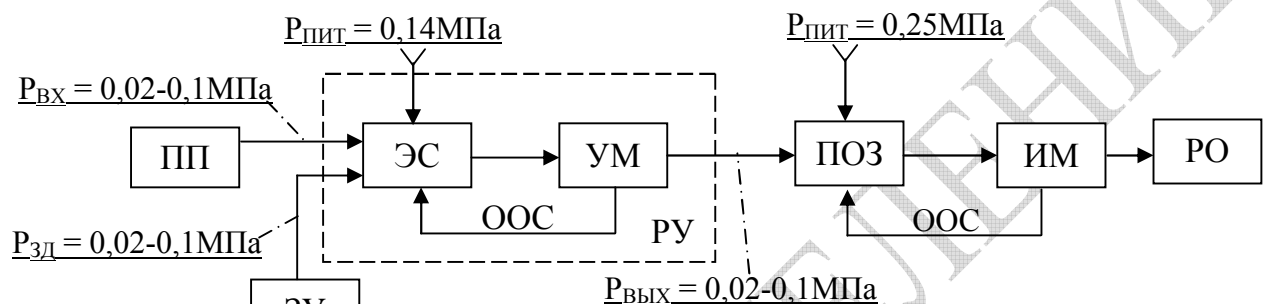


Рисунок 10.1 – Структурная схема пневматической АСР, где

ПП – первичный преобразователь;

ЗУ – задающее устройство;

РУ – регулирующее устройство;

ЭС – элемент сравнения;

УМ – усилитель мощности;

ПОЗ – позиционер;

ООС – отрицательная обратная связь;

$P_{ПИТ}$ – давление питания;

$P_{ЗД}$ – задание регулятору;

$P_{ВХ}$ – входной сигнал регулятора;

$P_{ВЫХ}$ – рассчитанное регулятором регулирующее воздействие.

Для передачи сигнала между блоками регулятора используется унифицированный пневматический сигнал. В качестве ЗУ используются редуктор или ручной регулятор давления, с помощью которого можно замыкать или размыкать пневмолинии.

Математические операции, необходимые для воспроизведения законов регулирования осуществляется с помощью пневматического усилителя и элемента сравнения, хваченных обратной связью положительной или отрицательной.

ИМ характеризуется простотой конструкции, низкой стоимостью, достаточно высокой мощностью, быстродействием. Он представляет собой усилительное звено, поэтому ИМ не изменяет тип закона регулирования, который был сформулирован на РУ.

Для обеспечения максимальной дальности передачи сигнала и большой его мощности, рядом с ИМ устанавливается ПОЗ, который является практически усилителем мощности. Чтобы не было потерь в точности передачи командного сигнала, вводится отрицательная обратная связь по положению выходного элемента ИМ. Сигнал с ПОЗ усиливается по мощности за счет увеличения питания или за счет большого расхода воздуха.

Элементы, на которых строится пневморегулятор, в большинстве своем рассмотрены в элементарных пневматических преобразователях: постоянный дроссель, переменный дроссель, проточная или глухая камеры.

Элементы пневматических устройств предназначены для выполнения различных операций с пневматическими сигналами, однако номенклатура операций ограничена. Поэтому в подавляющем большинстве устройств пневматические сигналы предварительно преобразуют в силу и перемещение, а после этой операции снова в пневматический сигнал ($P_{ВХ} \rightarrow F \rightarrow \Delta l \rightarrow P$).

В качестве примера рассмотрим 2-х позиционный регулятор, схема которого дана на рисунке 10.2.

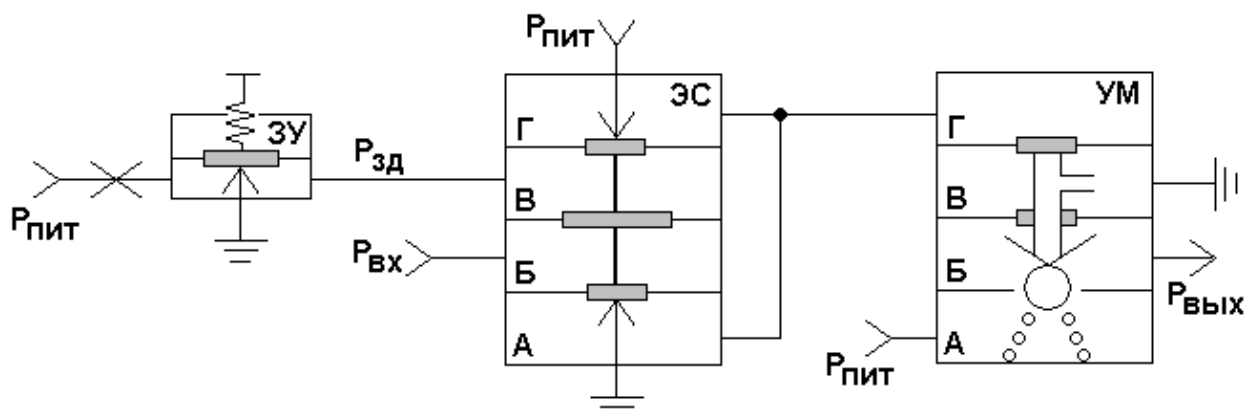


Рисунок 10.2 – Структурная схема пневматического позиционного регулятора

ЭС двухвходовый состоит из четырех камер: Б и В – глухие и А и Б - проточные.

На выходе регулятора возможно только два значения нулевое (0-0,02 МПа) или максимальное (0,1 – 0,14 МПа). Этот регулятор не имеет настраиваемой зоны возврата, т.к. гистерезис постоянен и обусловлен конструктивными особенностями.

Алгоритм работы регулятора следующий:

$$P_{ВЫХ} = \begin{cases} P_{АТМ}, & P_{ВХ} > P_{ЗД} \\ P_{ПИТ}, & P_{ВХ} < P_{ЗД} \end{cases}$$

Предназначен ЭС для сравнения двух входных сигналов. На выходе формируется дискретный сигнал (0 или 1). Двухвходовое реле с подпором состоит из четырех камер и блока (3 мембраны, связанные между собой штоком), а также 2 дросселей типа сопло-заслонка. Площадь средней мембраны больше площадей крайних. Давление в камерах создает усилие, действующее вдоль оси штока. Если результирующее усилие направлено вертикально, то мембранный блок закрывает подачу давления питания.

Усилитель мощности используется на больших пневмотрассах через каждые 300 м. Усилитель имеет 3 секции, связанные в мембранный блок, который состоит из 2 мембран, равной площади и клапана, обеспечивающего сопротивление потоку воздуха из камеры А в камеру Б и из камеры Б в камеру В. Поскольку площади мембран равны, то давления на входе и выходе усилителя в момент равновесия будут равны.

Достоинства пневматических регуляторов:

- для управления взрыво- и пожароопасными процессами;
- относительная дешевизна устройства;
- простота обслуживания, что требует менее квалифицированного персонала.

Недостатки пневматических регуляторов:

- ограниченное расстояние в передаче пневматического сигнала;
- запаздывание в передаче сигнала.

10.2 Гидравлические регуляторы

Применяются в чистом виде значительно реже, т.к. расстояние между элементами гидравлической системы регулирования не должно превышать 50 м, т.е. они устанавливаются непосредственно около объекта регулирования.

Достоинства гидравлических регуляторов:

- исполнительные механизмы гидравлических регуляторов развивают максимальную мощность при минимальных габаритах и массе;
- гидравлические исполнительные механизмы обеспечивают высокую точность позиционирования, т.е. перемещении основного элемента исполнительного механизма.

Недостатки гидравлических регуляторов:

сложность реализации законов регулирования;
ограниченный диапазон настроек регулятора;
наличие специального источника энергии.

10.3 Электрические регуляторы и микропроцессорные контроллеры

Используются для невзрывоопасных (не пожароопасных) объектов и при больших расстояниях от станции управления до объекта (до 20 км).

Основной недостаток электрических регуляторов – сложность принципиальной электрической схемы регулирования, что предъявляет повышенные требования к квалификации обслуживающего персонала.

Электрические регуляторы делятся на *аналоговые* и *цифровые*.

Аналоговый регулятор – регулятор, который использует сигнал, непрерывно изменяющийся во времени, и преобразует его в непрерывный сигнал, используемый в качестве управляющего. Реально используемый регулятор отличается от идеального, что математически может быть представлено последовательностью идеального и балансного звеньев:

$$W(p)_{\text{реал}} = W(p)_{\text{идеал}} W(p)_{\text{бал}}$$

Где свойства балансного звена определяет отличие характеристик реального регулятора от идеального. Причины, вызывающие появление балансного звена:

- ограниченный диапазон настроек регулятора;
- наличие нелинейных элементов в структуре регулятора (нелинейные усилители);
- ограниченный ход выходного элемента исполнительного механизма;
- наличие инерции в ряде элементов, входящих в структуру регулятора.

Цифровой регулятор – регулятор, в котором для формирования заданного закона регулирования используется цифровая форма представления как входной, так и промежуточной информации.

Преобразование сигнала в цифровую форму выполняется с помощью аналого-цифрового преобразователя, наличие которого приводит к квантованию входного сигнала, как по времени, так и по уровню. Квантование входного сигнала во времени и дальнейшая его обработка в цифровом виде приводит к тому, что изменение регулирующего воздействия совершается только в определенные моменты времени с некоторым интервалом, что характерно для регуляторов дискретного действия. Между этими моментами регулирующее воздействие остается устойчивым (интервал времени = время цикла).

При времени квантования стремящемся к нулю характеристики систем с цифровым и непрерывным регулятором практически совпадают.

Применяются:

- когда при управлении процессами информация может быть получена только в дискретные моменты времени;
- если датчики преобразуют значение технологического параметра в частотный сигнал;
- если осуществляется управление инерционными процессами и/или система управления является многоканальной.

В настоящее время применяют так называемые «интеллектуальные датчики». Этот термин означает, что устройство имеет встроенный микропроцессор, который позволяет осуществлять определенные функции. Интеллектуальный датчик может давать более точные показания благодаря применению числовых вычислений для компенсации нелинейностей чувствительного элемента или температурной зависимости. В круг возможностей некоторых приборов входит измерение нескольких параметров и пересчет их в одно измерение (например, объемный расход, температуру и давление в массовый расход, т.н. многопараметрические датчики), функции встроенной диагностики, автоматическая калибровка.

Некоторые интеллектуальные приборы позволяют посылать в канал передачи и аналоговый сигнал, и цифровой. В случае одновременной трансляции обоих видов сигналов аналоговый используется для трансляции значения измеренного параметра, а цифровой - для функций настройки, калибровки, а также позволяет считывать измеряемый параметр. Эти устройства обеспечивают преимущества цифровой связи и, в то же время, сохраняют совместимость и надежность аналоговых средств, которые требуются для существующих систем.

Цифровой датчик позволяет хранить дополнительную информацию о процессе, записи о процедурах его обслуживания и т.п., считываемой по запросу.

Класс цифровых устройств, кроме перечисленных выше задач, позволяет решать задачи управления сильно распределенных объектов и благодаря применению пары проводов для подключения нескольких приборов значительно уменьшает затраты на монтаж системы. Особенности применения цифровой передачи, из-за отсутствия единого стандарта, связаны с использованием различных протоколов связи.

Особенности электрических регуляторов.

- Распространение обуславливается, например тем, что многие технологические параметры измеряют с помощью преобразователей, имеющих на выходе электрический сигнал. С этим связана простота связи между датчиком и регулирующим устройством.
- Математические операции, необходимые для реализации заданных законов регулирования, реализуются с помощью обратных связей, охватывающих либо усилители, либо усилители и исполнительные механизмы. В качестве элементов обратной связи используются R-C цепочки, изменением параметров которых и достигаются необходимые характеристики регулирующих устройств.
- Отсутствие ограничений на взаимное расположение отдельных элементов регулирующего устройства (датчика, регулятора, исполнительного механизма), т.к. электрический сигнал дает передачу на большое расстояние.

Особенности электрических ИМ – это то, что без питания выходной элемента ИМ, остается неподвижным сколь угодно долго, что достигается с помощью самотормозящих редукторов. Однако, в динамики при останове ИМ наблюдается наличие выбега выходного элемента, т.е. движение выходного элемента после отключения сигнала в те-

чение некоторого времени. Это свойство может обусловить наличие колебаний в системе регулирования, особенно, если исполнительный механизм не охватывается обратной связью.

Выпускаются электрические регуляторы, как приборного, так и аппаратного типа, а также широко представлены и агрегатные электрические комплексы, например: Каскад, АКЭСР (агрегатный комплекс электрических средств регулирования), Р29 (Контур).

Функциональный состав комплексов Каскад, АКЭСР

Комплексы состоят из различных регулирующих и функциональных устройств, предназначенных для преобразования сигналов, поступающих от датчиков, а также для формирования команд управления исполнительными механизмами, состав комплекса АКЭСР представлен в таблице 10.1

Таблица 10.1 – Совокупность блоков, образующих комплекс АКЭСР.

Регулирующие блоки	Импульсные блоки ($\pm 24В$)			Аналоговые блоки(0-5мА)		
Блоки оперативного управления	Блоки ручного управления			Задатчики		
Функциональные блоки	Измерительные блоки	Алгебраич. блоки	Логические блоки	Блоки нелинейного преобразования	Диф...-интегр.	Усилители
Первичные преобразователи (датчики)	Токовые: 0-5мА, 0-20мА, 4-20мА		Взаимная индуктивность: 0-10мГн, 0-2В		Неунифицир сигнал ТП, ТС	...

Измерительные блоки служат для непосредственного воспроизведения информации. Блоки нелинейного преобразования служат для кусочно-нелинейной аппроксимации.

На основе элементов этого комплекса можно:

- реализовать различные законы регулирования;
- осуществить ввод и вывод информации для операторов, логических устройств, управляющих комплексов;
- сформировать динамические и логические связи между контурами управления;
- выполнить различные преобразования аналоговой информации (демпфирование = фильтрация, дифференцирование, интегрирование).

Методом агрегатирования устройств может быть построены разнообразные системы регулирования и управления технологическими процессами. При этом из устройств комплекса могут быть скомплектованы как простейшие сигнализаторы, так и сложные многоуровневые АСУ ТП, с развитыми вычислительными и логическими функциями. Комплексы могут функционировать как самостоятельно, так и взаимодействовать с выше или параллельно стоящими системами управления, построенными на базе других агрегатных комплексов.

В настоящее время «автоматика» ориентирована на использование микропроцессорных средств. Микропроцессорные контроллеры в совокупности с локальными вычислительными сетями создают новый спектр функциональных возможностей:

- сохранение результатов измерения технологических параметров за любой период времени и вывод информации в виде трендов или в ином удобном для оператора виде на экраны мониторов операторских станций;

- мнемосхемы технологического процесса любой степени детализации с указанием текущих значений технологических параметров и сигнализацией состояния оборудования выводятся на экраны операторской станции, в связи с этим исчезает необходимость разработки и применения громоздких щитов;
- вследствие высокой надежности контроллеров дистанционное управление в ручном режиме осуществляется через те же модули вывода управляющих сигналов, что и при автоматическом режиме, а это способствует экономии кабелей на прокладку линий связи.

Обобщенная структурная схема микропроцессорного контроллера (МПК) приведена на рисунке 10.3.

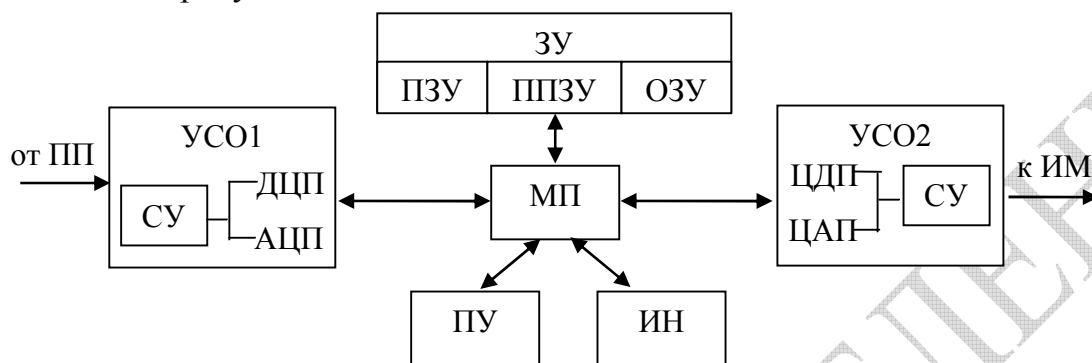


Рисунок 10.3 – Структурная схема микропроцессорного контроллера, где МП – микропроцессор;

ЗУ – запоминающее устройство;

ПЗУ – постоянное (логические схемы), ППЗУ – перепрограммируемое (изменение программы), ОЗУ – оперативное;

УСО – устройство связи с объектом для ввода и вывода информации;

СУ – согласующее устройство (согласование уровня сигналов от ПП к преобразователю гальванически развязанное);

АЦП и ДЦП – аналогово и дискретно-цифровые преобразователи;

ЦАП и ЦАП – цифро – аналоговые и дискретные преобразователи.

Чтобы мог общаться с МПК используются:

ИН – индикаторные устройства;

ПУ – пульт управления контроллером или соединенная с МПК ЭВМ.

Недостатки МПК:

- более сложное обслуживание МПК;
- необходимость обеспечения помехозащищенности МПК по входным цепям и по цепям питания (гальванические развязки, фильтры), т.к. сильные э/м поля искажают характеристики питающих и входных цепей;
- необходимость обеспечения надежности работы при сбоях питания (независимый источник питания и дублирование питающей сети), т.к. есть опасность потери текущей информации в ОЗУ;
- необходимость обеспечения самодиагностики работы МПК и при обнаружении неисправности передача информации оператору и/или передача управления резервному МПК.

Почти все технологические параметры, присутствующие в реальном промышленном объекте, имеют аналоговый или дискретный вид. Существует много датчиков, которые могут преобразовывать измеряемые величины только в аналоговый вид, а также много исполнительных механизмов, имеющих только аналоговые входные сигналы. С другой стороны, новейшие средства автоматизации, которые находят все большее применение в системах управления, используют цифровое представление обрабатываемых

величин. Для того, чтобы связать между собой параметры, представленные в аналоговом/дискретном и цифровом виде, используются устройства связи с объектами (УСО). Таким образом, УСО являются неотъемлемой частью любой системы управления, в том числе использующей цифровые устройства (промышленные компьютеры, вычислительные сети и т.д.).

Модули УСО – это конструктивно законченные устройства, выполненные в виде модулей, устанавливаемых, как правило, в специализированные платы, имеющие клеммные соединители для подвода внешних цепей (такие платы называют монтажными панелями), либо на стандартный несущий DIN-рельс.

На УСО возлагают следующие функции:

1) Нормализация аналогового сигнала - приведение границ шкалы первичного непрерывного сигнала к одному из стандартных диапазонов входного сигнала аналого-цифрового преобразователя измерительного канала.

2) Предварительная низкочастотная фильтрация аналогового сигнала - ограничение полосы частот первичного непрерывного сигнала с целью снижения влияния на результат измерения помех различного происхождения. На промышленных объектах наиболее распространены помехи с частотой сети переменного тока, а также хаотические импульсные помехи, вызванные влиянием на технические средства измерительного канала переходных процессов и наводок при коммутации исполнительных механизмов повышенной мощности.

3) Обеспечение гальванической изоляции между источниками сигнала и каналами системы.

Аналоговые УСО должны обладать большой точностью, хорошей линейностью и обеспечивать достаточно большое напряжение изоляции. Кроме того, желательными являются работа с различными источниками входных сигналов (токи, напряжения, сигналы от терморезисторов, термопар и т.д.), возможности быстрой замены и низкая стоимость.

Дискретные УСО обеспечивают опрос датчиков с релейным выходом, концевых выключателей, контроль наличия в цепи напряжения, тока и т.д., а выходные УСО формируют сигналы для управления пускателями, двигателями и прочими устройствами. Кроме того, они должны обладать минимальным временем переключения, а выходные - обеспечивать коммутацию как можно более высоких напряжений и токов и вносить при этом минимум искажений, обусловленных переходными процессами, в коммутируемую цепь.

Среди модулей УСО существуют также устройства, работающие только с *цифровой формой* информации. К ним относятся коммуникационные модули, предназначенные для обеспечения сетевого взаимодействия. Например, повторители, служащие для увеличения протяженности линии связи, преобразователи интерфейсов RS-232/RS-485.

МПК или промышленный компьютер в системе играет роль управляющего элемента, принимающего цифровую информацию от УСО и вырабатывающего управляющие сигналы. Для связи между ним и УСО используется любой из цифровых интерфейсов, к числу которых относятся RS-232, RS-422, RS-485 и др.

Промышленные контроллеры и компьютеры, расположенные на среднем уровне АСУТП, играют роль управляющих элементов, принимающих цифровую информацию и передающих управляющие сигналы.

До последнего времени роль контроллеров в АСУТП в основном исполняли PLC (Programmable Logic Controller - программируемые логические контроллеры) зарубежного и отечественного производства. В связи с бурным ростом производства миниатюрных РС-совместимых компьютеров последние все чаще стали использовать в качестве контроллеров.

Первое и главное преимущество РС-контроллеров связано с их открытостью, позволяющей применять в АСУ оборудование разных фирм. Теперь пользователь не привязан к конкретному производителю.

Второе важное преимущество их заключается в более «родственных» связях с компьютерами верхнего уровня. В результате не требуются дополнительные затраты на подготовку персонала.

Третье преимущество - более высокая надежность. Обычно различают физическую и программную надежность контроллеров. Под физической надежностью понимают способность аппаратуры устойчиво функционировать в условиях окружающей среды промышленного цеха и противостоять ее вредному воздействию. Под программной понимается способность программного обеспечения (ПО) устойчиво функционировать в ситуациях, требующих реакции в заданное время. Программная надежность определяется в первую очередь степенью отлаженности ПО. Поскольку в большинстве РС-контроллеров используются коммерческие широко распространенные и хорошо отлаженные операционные системы (Windows, Unix, Linux, QNX и др.), то следует ожидать, что программная надежность будет выше, чем у PLC.

Для организации эффективного управления производственным процессом все его этапы должны быть связаны информационными сетями. Сети, обеспечивающие информационные потоки между датчиками, контроллерами и разнообразными исполнительными механизмами, объединяются общим названием «промышленные сети» (FieldBus, полевая шина).

Fieldbus - это, во-первых, некий физический способ объединения устройств (например, RS485) и, во-вторых, программно-логический протокол их взаимодействия.

При решении задач реализации (построения) АСУ обычно используются специализированные программные пакеты, которые достаточно условно можно разбить на подмножества:

CASE–средства (Computer Aided Software Engineering), предназначенные для программирования задач, реализуемых подсистемами нижнего уровня АСУТП на промышленных микроконтроллерах (ремиконтах);

ОСРВ - операционные системы реального времени: pSOS, VRTX, LynxOS, VxWorks, QNX, OS9 и др. [28, 29];

SCADA–системы (Supervisory Control And Data Acquisition), которые предназначены для автоматизированного конфигурирования АСУТП из таких элементов, как микроконтроллеры, компьютеры, технологические станции и т. д. и программирования задач, отнесённых к SCADA – уровню;

ПТК - программно-технические комплексы:

ЭСРВ - экспертные систем реального времени, к числу которых относятся:

СУБД – системы управления базами данных.

MRP-системы (MRP – Material Requirements Planning) - автоматизированное планирование потребности в сырье и материалах для производства;

MRP II (Manufacturing Resource Planning) – планирование ресурсов предприятия;

ERP-системы (ERP - Enterprise Resource Planning – планирование/управление ресурсами предприятия с точки зрения бизнеса);

ЕАМ-системы (ЕАМ - Enterprise Asset Management - управление основными фондами и имуществом).

Логика развития АСУТП в нефтегазовой промышленности диктует необходимость интеграции разработок специализированных аппаратно-программных средств, в дальнейшем встроенных систем, применяемых для обработки информации, контроля и управления рассредоточенными по территории объектами.

Уровень АСУТП может быть реализован с использованием SCADA-систем

К SCADA-системам предъявляются особые требования:

- соответствие нормативам "реального времени" (в т.ч. и "жесткого реального времени");
- способность адаптироваться как к изменениям параметров среды в темпе с этими изменениями, так и к условиям работы информационно-управляющего комплекса;
- способность работать в течение всего гарантийного срока без обслуживания (бесперебойная работа годами);
- установка в отдаленных и труднодоступных местах (как географически - малообжитые районы, так и технологически - колодцы, эстакады).

Основные возможности SCADA-систем:

- сбор первичной информации от устройств нижнего уровня;
- архивирование и хранение информации для последующей обработки (создание архивов событий, аварийной сигнализации, изменения технологических параметров во времени, полное или частичное сохранение параметров через определенные промежутки времени);
- визуализация процессов;
- реализация алгоритмов управления, математических и логических вычислений (имеются встроенные языки программирования типа VBasic, Pascal, C и др.), передача управляющих воздействий на объект;
- документирование как технологического процесса, так и процесса управления (создание отчетов), выдача на печать графиков, таблиц, результатов вычислений и др.;
- сетевые функции (LAN, SQL);
- защита от несанкционированного доступа в систему;
- обмен информацией с другими программами (например, Outlook, Word и др. через DDE, OLE и т.д.).

Понятие открытости ПО

Открытость: аппаратная и программная.

Аппаратная открытость – поддержка или возможность работы с оборудованием сторонних производителей.

Современная SCADA не ограничивает выбора аппаратуры нижнего уровня, т.к. предоставляет большой выбор драйверов или серверов ввода-вывода.

Программная открытость - для программной системы определены и открыты используемые форматы данных и процедурный интерфейс, что позволяет подключить к ней внешние, независимо работающие компоненты, в том числе разработанные отдельно программные и аппаратные модули сторонних производителей.

Для подсоединения драйверов ввода-вывода к SCADA используются два механизма:

- стандартный динамический обмен данными (DDE–Dynamic Data Exchange и др.),
- по внутреннему протоколу, известному только фирме-разработчику.

Типичная последовательность действий при программировании SCADA-системы:

- 1) Формирование статического изображения рабочего окна: фон, заголовки, мнемосхема процесса и т.д.
- 2) Формирование динамических объектов каждого окна. Как правило, динамические объекты создаются с помощью специализированного графического редактора самого SCADA-пакета по жестко заданному алгоритму или на основе набора библиотечных элементов с последующим присвоением параметров (например, рукоятка на экране).
- 3) Описание алгоритмов отображения, управления, архивирования, документирования. Для этого имеются соответствующие встроенные языки программирования.

11 ПОЯСНЕНИЯ К ГОСТ 21.404-85 ПО РАЗРАБОТКЕ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

11.1 Основные положения разработки схемы автоматизации (СА)

При создании системы автоматизации технологического процесса одним из основных проектных документов является функциональная схема автоматизации (СА). Выполнение СА требует знакомства с рядом ГОСТов и руководящих материалов.

Функциональная схема представляет собой чертеж, выполненный в соответствии с ГОСТ 21.404-85, на котором с помощью условных обозначений изображаются основное технологическое оборудование, коммуникации, исполнительные устройства и средства контроля и управления. На основании СА выполняются остальные чертежи проекта и составляются заказные ведомости и заказные спецификации приборов и средств автоматизации.

СА является техническим документом, который определяет функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, регулирования, управления и оснащения объекта управления приборами, средствами автоматизации и вычислительной техники. Создание СА предопределяет необходимость глубокого изучения технологического процесса.

Проектирование СА базируется на ряде принципов.

➤ Уровень автоматизации технологических процессов должен определяться не только целесообразностью внедрения определенных комплексов технических средств, но и перспективами модернизации и дальнейшего развития, как технологии, так и технических средств автоматизации.

На сегодняшний момент наблюдается тенденция к переходу от аппаратных регуляторов, агрегатных и модульных комплексов (АКЭСР, «СТАРТ») к промышленным программируемым микропроцессорным контроллерам, а также от представления информации с помощью показывающих, регистрирующих приборов к промышленным ЭВМ со SCADA пакетами, выполняющим дополнительно задачи диагностики, оперативного управления и т.п.

➤ При разработке схем автоматизации в процессе выбора элементов комплекса технических средств должны учитываться:

- а) особенности технологического процесса и его свойства как технологического объекта управления;
- б) условия пожаро- и взрывоопасности, агрессивность и токсичность перерабатываемых продуктов, их параметры и области допустимых изменений;
- в) расстояния от мест установки преобразователей и вспомогательных устройств, исполнительных механизмов, приводов машин и запорных органов до пунктов управления и контроля;
- г) требуемая точность и быстродействие средств автоматизации;
- д) массивы перерабатываемой информации и число сигналов управления.

Схемы автоматизации технологических процессов должны строиться на базе серийно выпускаемых технических средств. При этом необходимо стремиться к применению однотипных и предпочтительно унифицированных блочно-модульных систем или программно-технических комплексов. В случае отсутствия требуемого прибора в составе серийно выпускаемой аппаратуры составляется техническое задание на разработку нового технического средства автоматизации. При этом в спецификации вместо марки (типа) прибора указывается - «спецразработка».

Выбор технических средств, для АСР производится в соответствии со структурной схемой, представленной на рисунке 11.1, где даны следующие обозначения функциональных блоков: ПП - первичный преобразователь; ВП - промежуточный (вторичный преобразователь) преобразователь; ИП - измерительный прибор; Зд – задатчик; ИМ - исполнительный механизм; РО - регулирующий орган.

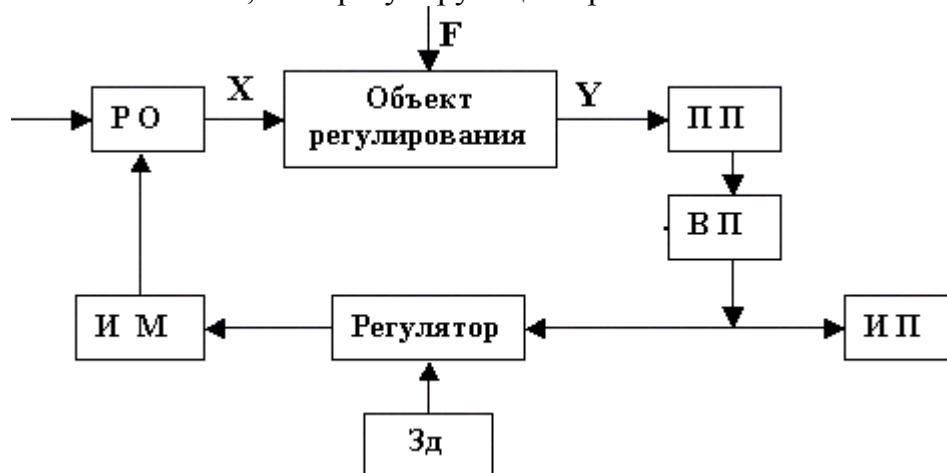


Рисунок 11.1 – Структурная схема АСР

При выборе технических средств конкретной марки необходимо учитывать, что некоторые технические средства могут сочетать в своем комплекте несколько функциональных блоков.

Выбор рода энергии измерительных и управляющих сигналов и соответствующих технических средств производится на основе анализа условий пожаро- и взрывоопасности технологического объекта управления, агрессивности среды, требований к быстродействию, дальности передачи сигналов информации и управления. Некоторые рекомендации даны в таблице 11-1. Взаимосвязь средств измерения, регистрации, регулирования обеспечивается за счет согласования входов и выходов приборов, что наиболее целесообразно реализовать, если приборы имеют унифицированные входные/выходные сигналы (см. таблицу 6.1).

Таблица 11-1 – Рекомендации по выбору ветви ГСП при разработке СА

Характеристики	Ветви ГСП	
	Электрическая	Пневматическая
<i>Максимальная длина канал связи:</i>		
- до 300 м	любой унифицированный сигнал	
- до 10 км	пост. ток и частота	-
- более 10 км	кодированный сигнал	-
<i>Быстродействие</i>		- запаздывание в передачи сигнала; - время срабатывания – 0,01с < 0,1 с
<i>Условия применения</i>	- невзрыво- и пожароопасные процессы (иначе взрывобезопасное исполнение приборов); - большие расстояния от объекта до операторского помещения (до 20 км); - код: помехоустойчивость	- пожаро- и взрывобезопасность; - высокие температуры; - при магнитных и радиационных помехах; - относительная дешевизна; - простота обслуживания

➤ Количество приборов, аппаратуры управления и сигнализации, устанавливаемых на щитах и рабочих станциях, должно быть по возможности минимально, например, посредством использования многоканальных промежуточных преобразователей, многофункциональных приборов и т.д.

Результатом составления СА является:

- 1) выбор методов измерения технологических параметров;
- 2) выбор основных технологических средств, наиболее полно отвечающих предъявленным требованиям и условиям работы объекта;
- 3) определение энергии приводов исполнительных механизмов, регулирующих и запорных органов технологического оборудования, управляемого автоматически или дистанционно;
- 4) размещение средств автоматизации на щитах управления, технологических объектах и трубопроводах, и определение способа представления информации о состоянии технологического оборудования.

11.2 Оформление чертежа ФСА

11.2.1 Правила изображения технологического оборудования и коммуникаций на технологических схемах

- Графическое построение технологической схемы должно давать наглядное представление о последовательности технологического процесса. На технологической схеме обычно показывается только то оборудование и те коммуникации, для которых разрабатывается ФСА. На трубопроводах обычно показывается та регулирующая и запорная аппаратура, которая непосредственно используется при контроле и управлении процессом.
- Технологическая схема изображается упрощенно (контурные линии агрегатов: 0,2 – 0,5 мм; коммуникаций трубопроводов: 0,5 – 1,5 мм), без соблюдения масштаба.

Соединение технологических трубопроводов обозначается точкой в узле соединения линий; отсутствие точки обозначает отсутствие соединения. Направление движения потоков указывается стрелками, оформленными в виде равносторонних треугольников со стороной 5 мм, пример приведен на рисунке 11.10. 2.

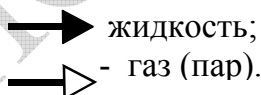


Рисунок 10.11.2 – Изображение направления движения потоков

- На линиях обрыва ставятся стрелки и даются необходимые пояснения, например как показано на рисунке 10.11.3.



Рисунок 10.11.3 - Выполнение пояснений на линиях обрыва

Маркировка трубопроводов выполняется в соответствии с ГОСТ 3464-63 цифровыми индексами, которые проставляются равномерно через 50 – 60 мм в разрывах условной линии магистрали. Список веществ и соответствующие им по ГОСТу цифровые индексы приведен в таблице 10.211.

ЗАОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Таблица 11.10.2 Условные обозначения трубопроводов для жидкостей и газов согласно ГОСТ 3464-63

Содержимое Трубопроводов		Условное обозначение	Содержимое трубопроводов	Условное обозначение	
<u>Вода</u>		1	Жидкое горючее	15	
Пар		2	Газы	Водород	16
<u>Воздух</u>		3		Ацетон	17
Азот		4		Фреон	18
Кислород		5		Метан	19
Инертные газы	Аргон	6		Этан	20
	Неон	7		Этилен	21
	Гелий	8		Пропан	22
	Криптон	9		Пропилен	23
	Ксенон	10	Бутан	24	
Аммиак		11	Бутилен		25
Кислота		12	Противопожарный трубопровод		26
Щелочь		13	Трубопровод под разряжением		27
Масло		14	Другие продукты		28 ...

Не упомянутым в ГОСТе продуктам присваивается порядковый номер, начиная с 28. Расшифровка новых обозначений дается в таблице, располагаемой в правом верхнем углу чертежа (от кромки листа), см. рисунок 10.11.4.

Рисунок – 11.104 – Оформление непредусмотренных стандартами условных изображений

Отдельным аппаратам, блокам, машинам, представленным на ФСА, присваиваются индивидуальные обозначения (предпочтительно буквенные), которые размещаются возле или внутри изображения агрегата. Расшифровка вводимых обозначений дается в таблице, располагаемой в правом верхнем углу чертежа под таблицей условных обозначений трубопроводов, см. рис. 11.4. В пояснительных надписях на первое место ставится существительное в именительном падеже, далее – остальные поясняющие слова.

- В правом нижнем углу чертежа выполняется основная надпись согласно ГОСТ 2.104-68 выполняется штамп основной надписи.

11.2.2 Правила изображения технических средств автоматизации

Схемы автоматизации выполняют двумя основными способами – с упрощенным или развернутым изображением средств автоматизации.

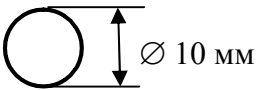
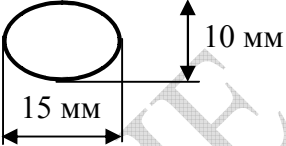
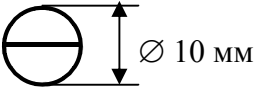
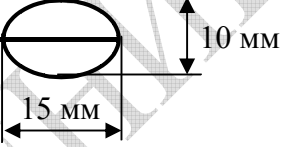
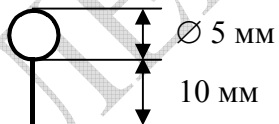
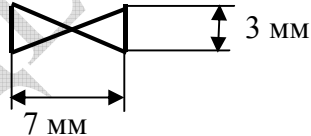
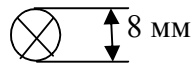
- 1) При упрощенном способе построения на схемах автоматизации не обозначаются первичные измерительные преобразователи и вся дополнительная и вспомогательная аппаратура автоматики. Основные функции контроля и управления отражают с помощью одного графического обозначения, которое располагают на поле чертежа вблизи места измерения параметра или нанесения управляющего воздействия.
- 2) При развернутом способе построения каждое средство измерения, прибор или блок на схеме автоматизации показывают в виде отдельного обозначения.

Методика построения графических условных изображений для упрощенного и развернутого способов является общей. ГОСТ 21.404-85 предусматривает систему по-

строения графических и буквенных условных обозначений в зависимости от функций, выполняемых техническими средствами.

- Основные средства автоматизации выполняются на ФСА в виде условных графических изображений, см. табл.11.3, линиями толщиной 0,5-0,6 мм.

Таблица 11.3. Условные графические изображения технических средств автоматизации согласно ГОСТ 21.404-85

Наименование	Обозначение
Первичные измерительные преобразователи, приборы, устанавливаемые по месту	 
Приборы, устанавливаемые на щите (дистанционно)	 
Исполнительный механизм	
Регулирующий орган	
<i>Лампа накаливания</i>	

Овал применяется вместо окружности в случаях, когда условное буквенное обозначение превышает 5 знаков или при большом числе знаков позиционного обозначения.

➤ Графические условные обозначения электроаппаратуры (гудки, сирены, электродвигатели и т.д.), а также буквенное обозначение элементов выполняются в соответствии с действующими стандартами ЕСКД [7].

➤ Вспомогательные элементы и дополнительные устройства (источники питания, предохранители, стабилизаторы и т.п.) не влияющие на сущность действия системы автоматизации на схемах не показываются.

➤ Правила изображения линий связи между средствами автоматизации:

1) Линии изображаются однолинейными толщиной 0,2 – 0,3 мм.
2) Наносятся линии по возможно кратчайшему расстоянию с наименьшим количеством изгибов и пересечений. Допускается пересекать только линии связи технологической аппаратуры и коммуникаций. Расстояния между параллельными линиями связи – не менее 3 мм.

3) Подвод линий связи к символам средств автоматизации допускается сверху, сбоку, снизу. При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи наносят стрелки.

4) Слияние линий связи отмечается точкой и допускается только в случае функционального воздействия сигналов на соответствующие элементы цепи контроля, управления, блокировки.

5) В целях облегчения чтения схемы, линии связи, идущие от приборов, расположенных на схеме у оборудования, к другим приборам, расположенным по месту или на щите управления, разрывают. Обрывы желательно располагать на одном уровне, под

изображением технологического оборудования. Маркировка обрывов осуществляется адресным способом строго по порядку со стороны прямоугольников "ПМ" и "ЩУ" слева направо, см. рис. 5.

б) Предельные рабочие (максимальное и минимальное) значения измеряемых или регулируемых величин в единицах Международной системы СИ указываются вдоль линий связи, идущих от прямоугольников к отборным устройствам и преобразователям, см. рис. 5.

➤ Отборные устройства для всех постоянно подключенных средств измерения специального обозначения не имеют, а изображаются линией связи, соединяющей технологическое оборудование или трубопровод с условным изображением первичного измерительного преобразователя. Для указания точного места расположения отборного устройства или точки измерения, в конце линии связи в точке отбора импульса изображается окружность диаметром 2 мм.

➤ Принципы построения буквенного условного обозначения функций автоматизации.

- 1) Буквенное условное обозначение размещается в верхней половине окружности или овала, см. рис. 11.5.

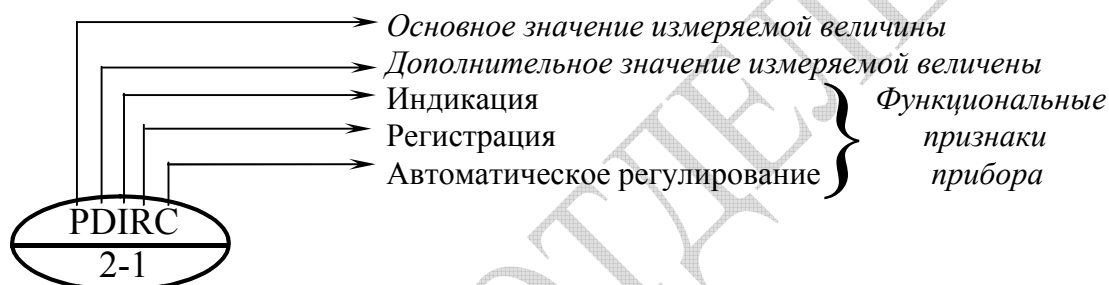


Рисунок 11.5 - Пример построения условного обозначения прибора
Буквы **D, F, Q** на втором месте (при уточнении измеряемой величины) можно записывать как строчные: **d, f, q**.

- 2) Для обозначения приняты буквы латинского алфавита, расшифровка содержания которых приведена в табл. 11.4. Позиции отмеченные * могут быть использованы в качестве резервных; при этом на ФСА должна быть приведена расшифровка содержания принятого обозначения.

Таблица 11.4 Основные и дополнительные буквенные обозначения по ГОСТ 21.404-85

Об.	Значение измеряемой величины		Функциональный признак прибора		
	Основное	Дополнительное	Отражение информации	Формирование выхода	Дополнительно
A	*	*	Сигнализация		
B	*	*	*	*	*
C	*	*		Автоматическое регулирование	
D	Плотность	Разность, перепад	*	*	*
E	Электрическая величина				Первичное преобразование
F	Расход	Соотношение, дробь, доля	*	*	*
G	Размер, положение, перемещение		*	*	*
H	Ручное воздействие		Верхний предел измеряемой величины		
I	*	*	Показания		
Y	*	*			Преобразование, вычислительные функции
K	Время				Станция управления
L	Уровень		Нижний предел измеряемой величины		
M	<i>Влажность</i>		*	*	*
N	*	*	*	*	*
P	Давление, вакуум		*	*	*
O	*	*	*	*	*
Q	Состав, концентрация	Интегрирование, суммирование	*	*	*
R	Радиоактивность		Регистрация		
S	Скорость, частота			Включение, отключение, переключение	
T	<i>Температура</i>				Дистанционная передача сигнала (промежуточное преобразование)
V	Вязкость		*	*	*
W	Масса		*	*	*
U	Несколько различных величин		*	*	*

При использовании условных обозначений по ГОСТ 21.404-85 следует соблюдать следующие правила, см. табл.10. 5.

Таблица 11. 5 Некоторые правила использования условных обозначений

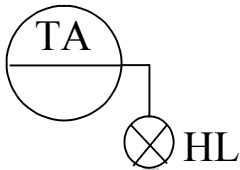
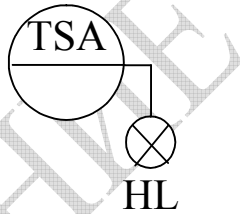
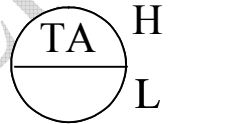
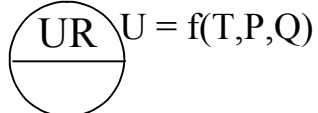
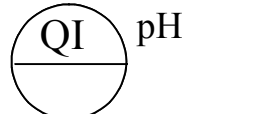
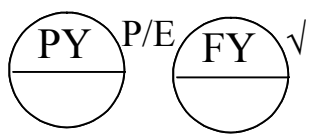
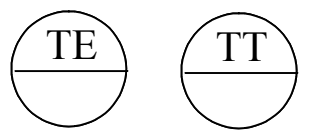
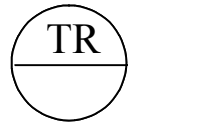
Назначение условных обозначений	Пример обозначения
Букву A используют для обозначения функции «сигнализация» независимо от того, вынесена ли сигнальная аппаратура на какой-либо щит или для сигнализации используются лампы, встроенные в сам прибор.	
Букву S используют для обозначения контактного устройства прибора, предназначенного только для включения, отключения, переключения, блокировки. При использовании контактного устройства прибора для включения, отключения и одновременно для сигнализации в обозначении прибора применяются обе буквы S и A .	
Сигнализируемые предельные значения измеряемых величин конкретизируются добавлением букв H и L , которые наносятся вне графического обозначения, справа от него	
Буква U используется для обозначения приборов, измеряющих несколько разнородных величин, поэтому справа от изображения прибора должна быть приведена расшифровка этих величин.	
Для конкретизации измеряемой величины справа от изображения средства измерения, можно указать наименование или символ этой величины (ток, pH, A, NO ₂).	
При построении условных обозначений преобразователей и вычислительных устройств дополнительные обозначения, расшифровывающие вид преобразования или вычислительной операции, наносятся справа от условного изображения. Список используемых дополнительных обозначений приведен в табл. 6.	
Буква E используется только в том случае, если это единственная функция прибора. Если прибор кроме первичного преобразования дополнительно выполняет функции, например T , то буква E опускается.	
Если вторичный измерительный прибор выполняет функции и показания (I), и регистрации (R) параметра, то букву I указывать не рекомендуется.	
Все устройства, выполненные в виде отдельных блоков и предназначенные для ручных операций, имеют на первом месте буквенного обозначения букву H .	Ручной задатчик - H Панель дистанционное управления - HC Переключатель цепей- HS

Таблица 11.6.Дополнительные обозначения для преобразователей и вычислительных устройств

Наименование		Обозначение
Род энергии сигнала	Электрический (независимо от вида сигнала)	E
	Пневматический	P
	Гидравлический	G
Виды формы сигнала	Аналоговый	A
	Дискретный	D
Алгебраические функции	Суммирование	Σ
	Интегрирование	$\int$
	Умножение на постоянный коэффициент	xK
	Перемножение сигналов	x
	Извлечение корня	$\sqrt{}$
	Дифференцирование	dt
	Логарифм	lg

➤ Принципы построения позиционного обозначения средств автоматизации

- 1) Позиционное обозначение размещается в нижней половине окружности или овала, см. рис. 11.5.
- 2) Позиционное обозначение состоит из двух частей: номер контура управления или контроля и через тире - номер позиции средства автоматизации в данном контуре. Причем позиционное обозначение приборов сохраняются в заказной спецификации и во всех схемах, разрабатываемых в процессе проектирования.
- 3) Системы управления нумеруются в следующей последовательности: сложные контура (многоконтурные системы); одноконтурные системы регулирования и системы контроля температуры, давления, расхода, уровня, состава и качества и т.п.
- 4) Номера присваиваются всем элементам контура управления исходя из последовательности прохождения сигнала: от устройства получения измерительной информации к устройствам регистрации, регулирования и устройствам, осуществляющим непосредственное воздействие на объект управления.
- 5) Позиционные обозначения не присваиваются: отборным устройствам; приборам и средствам автоматизации, поставляемым комплектно с технологическим оборудованием.
- 6) Электроаппаратуре, изображенной на ФСА, присваивается буквенно-цифровое обозначение, принятое в электрических схемах. Список некоторых элементов электрических принципиальных схем, которые также показываются на ФСА приведен в табл.11.7.

Таблица 11.7.Условное обозначение электрических элементов

Наименование	Обозначение	
	Буквенное	Позиционное
Кнопка	H	SB{1,2...}
Переключатель	HS	SA{1,2...}
Магнитный пускатель	NS	KM{1,2...}
Лампа	-	HL{1,2...}

11.2.3. Методика оформления и графического выполнения ФСА

Чертеж ФСА должен быть выполнен на формате А1 или А2, иметь основную надпись, расположенную в правом нижнем углу формата и рамку к ней. Формы, размеры и содержание основных надписей определены ГОСТ 2.104-68.

В верхнем поле чертежа (вблизи или непосредственно в месте подсоединения к объекту) располагаются графические изображения средств автоматизации, механически связанных с технологическим оборудованием и коммуникациями, а именно датчиков или первичных преобразователей, вторичных преобразователей механических величин (перемещения, силы), регулирующих органов и исполнительных механизмов, см. рис. 11.6.

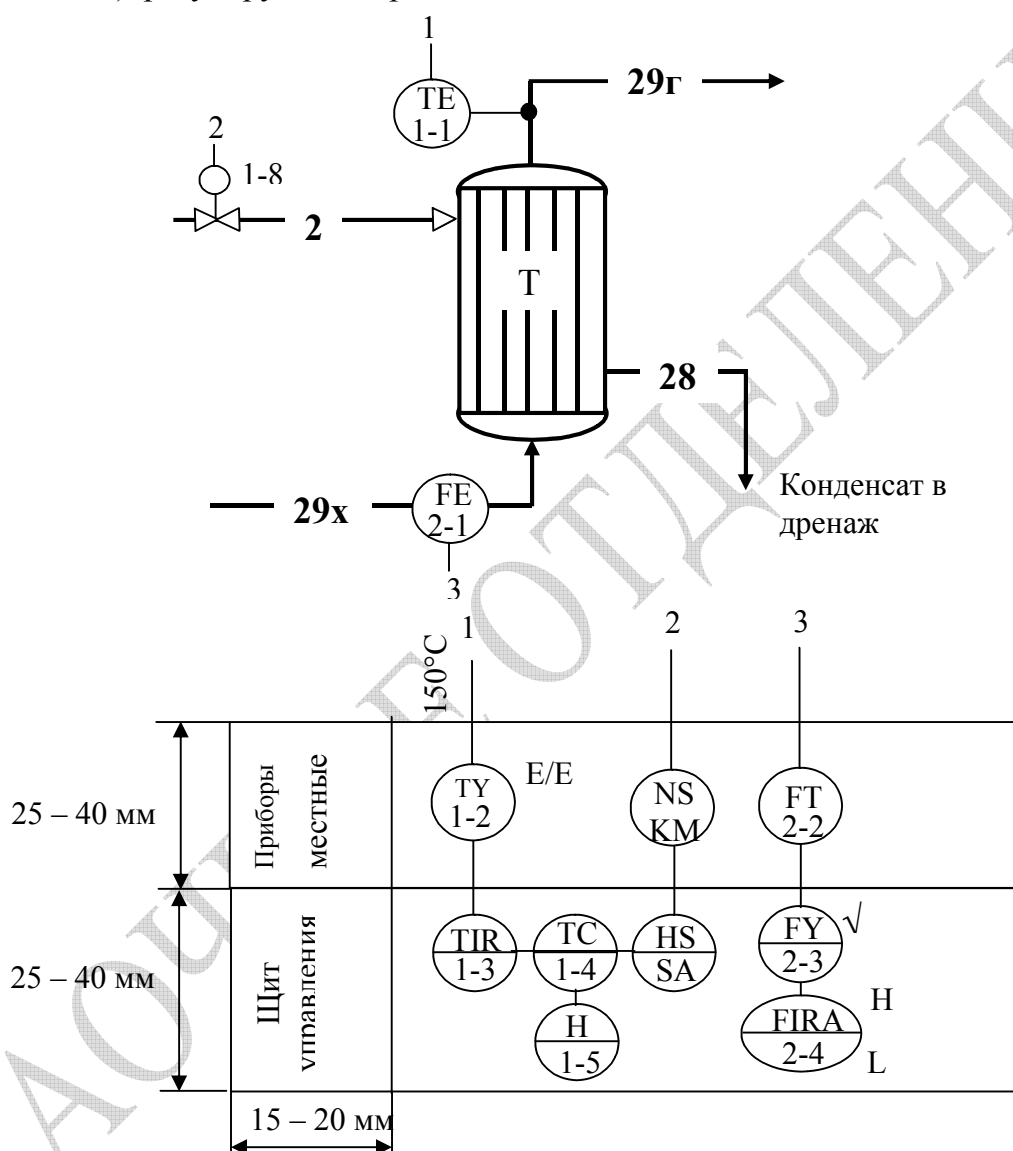


Рисунок 11.6 - ФСА трубчатого теплообменника с размещением регуляторов на щите управления.

Список неуказанных в ГОСТе веществ оформляется в виде таблицы, см. рис.3 (28 – конденсат; 29х – холодный реагент; 29г – горячий реагент).

- Остальные приборы и средства автоматизации располагаются в нижней части чертежа и распределяются между прямоугольниками, каждый из которых отображает определенное место расположения, см. рис. 11.6. В зависимости от возможного места расположения приборы располагаются в следующей последовательности:

- а) *приборы местные* (приборы, располагаемые на некотором отдалении от технологического объекта и непосредственно с ним не связанные – промежуточные преобразователи, магнитные пускатели, переключатели и т. д.);
- б) *щиты управления* (приборы, располагаемые в специальных операторских щитовых помещениях, откуда ведется контроль и управление технологическим процессом – приборы визуализации, регуляторы, задатчики, панели ручного управления, средства сигнализации и т.д.);
- в) *выносные модули преобразования информации в цифровой код и обратно* (аналого-цифровой преобразователь – ЦАП, цифро-импульсный преобразователь – ЦИП и т.д.);
- г) *промышленные микропроцессорные контроллеры*;
- д) *рабочие станции*.

На рис. 11.6 приведен пример размещения регуляторов на щите управления, на рис. 11.7 - пример использования в качестве регулятора контроллера. Причем контроллер выполняет функции регулятора, задатчика, коммутатора сигналов, он имеет также встроенные функции математической обработки входных сигналов.

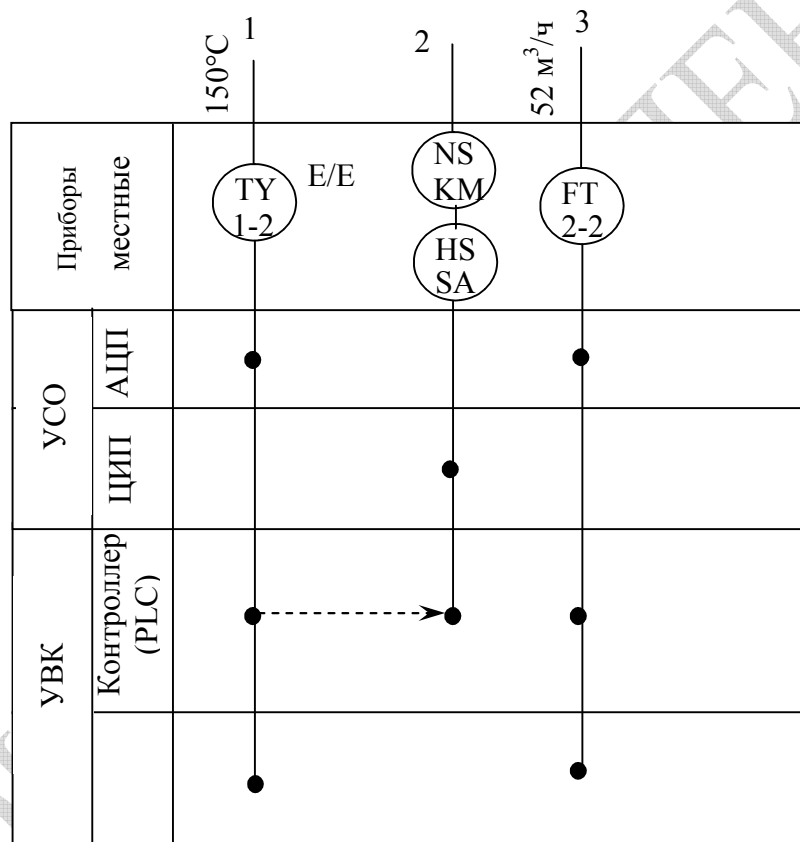


Рисунок 11.7 - Пример ФСА для технологического объекта управления, представленного на рис.6 с применением в качестве регулятора микропроцессорного контроллера.

Выполнение той или иной функции указывается посредством зачерненной окружности диаметром 2 мм. Рабочая станция (ПЭВМ) снабжена монитором для предоставления информации оператору и клавиатурой, посредством которой оператор вносит свои коррективы в управление процессом.

Все приборы и средства автоматизации в прямоугольниках вычерчиваются на расстоянии между осями 12 мм. Допускается кратное увеличение этого интервала.

В правой части чертежа, над основной надписью помещаются Примечания к ФСА.

Пояснения

1. Условные обозначения приборов и средств автоматизации - согласно ГОСТ...
2. Условные обозначения трубопроводов - в соответствии с ГОСТ...
3. Резервная буква ... использована для обозначения ...

11.3. Методика заполнения заказной спецификации на приборы и средства автоматизации

Спецификация предназначена для: составления сводных заказных ведомостей, чтения проектной документации, подготовки и организации монтажных работ и т.д. По ней производится закупка приборов и средств автоматизации, необходимых для реализации решений, принятых при разработке технического проекта.

В проектах систем автоматизации выполняются следующие заказные спецификации: оборудования и материалов, щитов и пультов, основных монтажных материалов и изделий и т.д.

Заказная спецификация на оборудование выполняется в сокращенном виде на формате А4 (согласно ГОСТ 21.110-82 спецификация должна выполняться на формате А3). Форма текста, разбитого на графы заказной спецификации оборудования приведена на рис. 11.8.

	15	105	25	10	15	14
15	Поз.	Наименование и техническая характеристика оборудования и материалов, завод-изготовитель	Тип, марка оборудования	Ед. изм.	Цена, руб.	Кол, шт.
8						

Рисунок 11.8 - Графы заказной спецификации.

Спецификация заполняется по разделам (при курсовом проектировании заполняются только два).

➤ *Приборы и средства автоматизации.*

Приборы и средства автоматизации записываются в подразделе группами: сначала описываются все сложные контура контроля и регулирования, затем для измерения и регулирования температуры, давления и разряжения, расхода, количества, уровня, состава и качества веществ, прочие приборы; регуляторы и комплектные устройства.

Приборы в каждой группе записывают комплектами по каналам контроля и регулирования в следующем порядке: местные приборы (сначала показывающие, затем – регистрирующие, далее - сигнализирующие); дистанционные измерительные комплекты в той же последовательности; комплекты систем автоматического регулирования. В пределах контура запись приборов производят сначала с первичных приборов, затем идут промежуточные преобразователи, вторичные приборы, функциональные блоки, регуляторы, исполнительные механизмы.

Аппараты и устройства, поставляемые комплектно с приборами и регуляторами, состав которых определяется конкретными условиями технологических процессов и установок, включаются в спецификацию за соответствующими позициями оборудования после слов «Комплектно поставляются».

➤ *Агрегатные комплексы и средства вычислительной техники.*

Оборудование подраздела «Агрегатные комплексы и средства вычислительной техники» записывают следующими группами: *машины централизованного контроля, регулирования и управления* (установки контроля, регулирования и управления; машины централизованного контроля; агрегатные комплексы пневмоавтоматики; комплексы электрических и электронных технических средств); *вычислительные комплексы* (вычислительные комплексы системы малых ЭВМ, микро Э.ВМ, волоконно-оптические системы передачи информации).

Графы заполняются в порядке приведенном ниже.

В графе «Позиция» указываются позиции приборов и средств автоматизации согласно ФСА. В случае, если несколько разных контуров (регулирования или контроля) содержат один и тот же прибор, то прибор этой марки заносится в спецификацию один раз, а в графе «Позиция» при этом перечисляются все позиционные обозначения этого прибора согласно ФСА.

➤ В графе «Наименование и техническая характеристика оборудования и материалов, завод-изготовитель» приводят наименование приборов и средств автоматизации, их технические характеристики в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и другой технической документации.

Для оборудования указывают характеристики и параметры, однозначно определяющие выбранное оборудование (не обозначенные в типе, марке, модификации), а также комплектность в объеме, установленном ТУ. Например, оговаривают поставку комплектно с преобразователями давления соединений для подключения внешних трубных проводок; для первичных приборов и преобразователей, которые соприкасаются с измеряемой средой, указывают наименования и предельные значения параметров этой среды. Для импортных приборов указывается страна и фирма.

В графе «Тип, марка оборудования» записывается тип, марка оборудования, обозначение стандарта или технических условий (ТУ) на оборудование.

Если обозначение ТУ на оборудование и изделия превышает десять знаков, то это обозначение допускается приводить в графе «Наименование и техническая характеристика оборудования и материалов, завод-изготовитель».

➤ В графе «Единицы измерения» указывается наименование единицы измерения. При записи оборудования в этой графе указываются штуки, при записи материалов соответственно метры, килограммы и т.д.

➤ В графе «Цена» записывается цена оборудования.

➤ В графе «Количество» проставляется количество оборудования, предусмотренного рабочей документацией.

Спецификация обычно состоит из нескольких листов. При переходе на следующий лист первая графа с наименованием граф повторяется.

Формат спецификации должен иметь основную надпись, расположенную в правом нижнем углу формата и рамку к ней. Каждый лист заказной спецификации должен иметь основную надпись, выполняемую согласно ГОСТ21.103-78. Пример основной надписи для первого листа приведен на рис. 11.9, все последующие листы документов должны иметь основную надпись, представленную на рис. 11.10.

17		23		15		10		70			50						
Изм.	№ докум.	Подп.		Дата					Стадия			Лист			Листов		
Разраб.																	
Пров.																	
Н.контр.									15			15			20		
Утв.																	

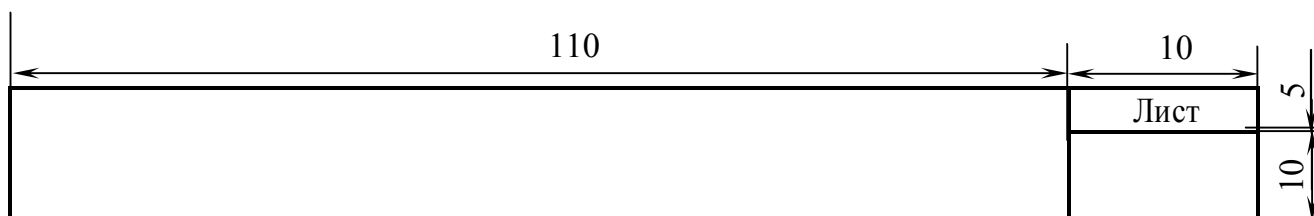


Рисунок 11.10 - Основная надпись последующих листов заказной спецификации оборудования

Заказная спецификация подшивается к пояснительной записки, но не включается в ее состав.

11.4. Состав пояснительной записки

Пояснительная записка служит для обоснования технических решений по сложным системам автоматизации для новых, крупных и особо ответственных технологических объектов, а также при разработке для объектов АСУ ТП.

Пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

- Введение;
- Краткая характеристика объекта автоматизации;
- Основные технические решения по автоматизации;
- Указания о разработке нестандартного оборудования (если требуется);
- Описание функциональной схемы автоматизации;
- Заключение;
- Литература.

Все разделы, кроме Введения, Заключения и Литературы нумеруются арабскими цифрами. Изложение текста пояснительной записки должно быть кратким, без повторений описаний.

Во «Введение» описывается назначение системы автоматического управления технологическим объектам, предполагаемая выгода от ее внедрения, а также состав курсового проекта (графический материал, пояснительная записка и спецификация)

В разделе «Краткая характеристика объекта автоматизации» приводят сведения об объекте управления, имеющие принципиальное значение при разработке АСУ ТП:

- а) краткое описание технологического процесса,
- б) территориальное размещение участков и подразделений,
- в) характеристики материальных и энергетических потоков,
- г) характеристики рабочих сред, помещений и установок (агрессивность, взрыво- и пожароопасность).

При описании «Основных технических решений по автоматизации» объекта должны быть даны пояснения по организационной структуре управления и наиболее сложным и оригинальным системам автоматизации, обоснование применения систем передачи информации, основные принципы выбора технических средств автоматизации.

Главной задачей при разработке системы управления является выбор параметров, участвующих в управлении, т.е. регулируемых, контролируемых и сигнализируемых. При этом необходимо получить наиболее полное представление об объекте, имея минимально возможное число выбранных параметров. Таким образом, разрабатывается стратегия управления технологическим объектом. Успешному достижению цели управления способствует не только правильный выбор вышеперечисленных параметров, но и выбор автоматических устройств для реализации стратегии управления.

Выбор регулируемых величин и каналов внесения регулирующих воздействий.

На этом этапе из многих параметров, характеризующих процесс, необходимо выбрать те, которые подлежат регулированию и изменением которых целесообразно вносить регулирующие воздействия. Основным регулируемым параметром – показателем эффективности процесса. Далее регулированию подлежат параметры, влияющие на материальные и тепловые балансы в объекте. Выбор регулирующих воздействий осуществляют на основе анализа статических и динамических характеристик процесса, дающих представление о взаимном влиянии параметров. При этом статическая характеристика объекта позволяет оценить степень влияния регулирующего параметра на регулируемый. Динамическая характеристика демонстрирует скорость изменения регулируемого параметра, а также позволяет вычислить время запаздывания по соответствующему каналу управления.

Канал регулирования выбирают таким образом, чтобы изменение регулирующего воздействия сопровождалось широким диапазоном изменения регулируемого параметра, а также чтобы инерционность выбранного канала регулирования была минимальной.

Для объекта (теплообменника-нагревателя), изображенного на рис.10.6 показателем эффективности является температура реагента на выходе теплообменника, а цель управления соответственно – поддержание данной температуры на заданном значении. Исходя из этого, выбирается следующий основной канал регулирования: температура реагента на выходе из аппарата → изменение расхода пара, подаваемого в межтрубное пространство теплообменника.

После выбора каналов управления необходимо проанализировать объект с точки зрения возможных возмущений и путей их ликвидации. При этом особое значение имеет стабилизация входных параметров, т.к. с их изменением в объект поступают наиболее сильные возмущения. Так, для приведенного выше примера (см. рис.6) наиболее сильным возмущением является изменение расхода реагента на входе в теплообменник, поэтому, по-возможности его необходимо стабилизировать. Но, как правило, расходы входных потоков определяются технологическим режимом предыдущих аппаратов и не могут быть изменены. Поэтому на рис. 11.6 данный контур регулирования отсутствует.

Выбор контролируемых параметров.

Контролю подлежат параметры, по которым ведется оперативное управление объектом в нормальном режиме, а также в режиме пуска и останова. К таким параметрам в первую очередь относятся регулируемые и регламентируемые величины, далее – выходные параметры и возмущения (в примере на рис.6 входной расход реагента – контролируемое возмущение). Как правило, контролируемых параметров в несколько раз больше регулируемых. Особое внимание должно быть уделено контролю технологических параметров потенциально-опасных процессов.

Выбор параметров сигнализации.

Сигнализации подлежат параметры, предельные значения которых могут привести к взрыву или пожару, несчастным случаям, выводу из строя оборудования, существенному нарушению технологического режима, выходу брака. Кроме того, обязательной сигнализации подлежит изменение количественных и качественных характеристик целевых продуктов, а также не предусмотренная регламентом остановка оборудования.

Выбор параметров и способов защиты.

Комплекс реализуемых способов защиты разрабатывают исходя из особенностей объекта управления, анализа аварийных ситуаций и категории взрывоопасности объекта. Функции автоматических систем защиты (АСЗ) заключаются в перераспределении материальных и энергетических потоков, включения и отключения аппаратов и вспомогательного оборудования с целью предотвращения взрыва, аварии, несчастного случая, выпуска большого количества брака. При этом с помощью данных защитных действий объект должен быть переведен в безопасное состояние, вплоть до его остановки.

При применении для целей автоматизации нестандартных технических средств в пояснительной записке приводится раздел «Указания о разработке нестандартного оборудования». В разделе приводятся обоснование применения такого оборудования, указывают перечень исходных требований на его разработку, а в приложении к пояснительной записке приводят эти исходные требования.

В разделе «Описание функциональной схемы автоматизации» приводят краткие сведения по функционированию окончательно принятых в рабочей документации систем управления с необходимыми указаниями по организационной структуре и комплексу технических средств. Данный раздел пояснительной записки выполняется после разработки схемы автоматизации и заказной спецификации и включает описание отдельных контуров управления, входящих в систему. Описание контуров выполняется в той последовательности, как они изображены на схеме автоматизации, и является кратким пояснением принципа работы каждого контура. Описание контура управления должно быть построено по принципу последовательного прохождения сигнала от первичного преобразователя до исполнительного механизма. При этом для каждого прибора по ходу сигнала указывается его наименование и марка (из спецификации), вид входного и выходного сигнала, а также функции, которые прибор выполняет в данном контуре. В скобках указывается его позиционное обозначение по схеме автоматизации. Указание вида входных и выходных сигналов приборов имеет принципиальное значение для проверки правильности выбора средств автоматизации. Далее приведено описание контура регулирования температуры реагента на выходе теплообменника для схемы автоматизации, изображенной на рис. 11.6:

Регулирование температуры реагента на выходе теплообменника. $T_{30}=150^{\circ}\text{C}$.

В качестве первичного преобразователя для измерения температуры реагента используется термопреобразователь сопротивления ТСП-1293 (поз. 1-1), сигнал с которого в виде электрического сопротивления, пропорционального измеренной температуре поступает на нормирующий преобразователь НП-02-21-10П (поз. 1-2). С помощью преобразователя электрический неунифицированный сигнал преобразуется в унифицированный сигнал постоянного тока в диапазоне 4-20 мА, который подается на самопишущий прибор Диск-250 (поз. 1-3) для показания и регистрации текущего значения температуры. Унифицированный сигнал, пропорциональный текущему значению температуры, также подается на первый вход блока аналогового регулирования Р27.3 (поз. 1-4). На второй вход регулятора поступает заданное значение данной температуры в виде сигнала постоянного тока 4-20 мА, формируемое вручную с помощью ручного задатчика РЗД-22 (поз. 1-5). Сигнал регулирующего воздействия в виде импульсов 24 В поступает на блок ручного управления БРУ-32 (поз. 1-6). Последний выполняет функции перехода с автоматического на ручной режим, а также посредством кнопок «больше», «меньше» - функции дистанционного управления исполнительным механизмом. Импульсное регулирующее воздействие далее подается на реверсивный магнитный пускатель ПБР-2м (поз. 1-7), который коммутирует силовые цепи управления электродвигателем исполнительного механизма типа МЭО (поз. 1-8) в соответствии со знаком и длительностью регулирующих импульсов. При вращении выходного вала исполнительного механизма, связанный с ним регулирующий клапан увеличивает или уменьшает проходное сечение трубопровода подачи греющего пара, изменяя тем самым расход теплоносителя. Пример заполнения заказной спецификации представлен на рисунке 11.11.

В разделе «Заключение» приводятся краткие результаты выполненной работы.

В раздел «Литература» заносятся используемые в процессе выполнения курсового проекта дополнительные источники информации.

Пояснительная записка выполняется на листах формата А4. К ней выполняется титульный лист и содержание. В содержании перечисляют все разделы пояснительной записки и приложения к ней.

Поз.	Наименование и техническая характеристика оборудования и материалов, завод изготовитель	Тип, марка оборудования	Ед. из м.	Цена, руб.	Кол. шт.
	<u>Приборы и средства автоматизации</u>				
	Измерение и регулирование температуры				
1-1	Термопреобразователь сопротивления. НСХ 10П. Длина монтажной части - 500 мм. НИИтеплоприбор, г. Москва.	ТСП-1293	шт.		1
1-2	Преобразователь нормирующий. НСХ 10П. Диапазон измерения -50 - + 500°C. Выходной сигнал 4-20 мА. Основная допустимая, погрешность 0,5%. НИИтеплоприбор, г. Москва.	НП-02-21-10П	шт.		1
1-3	Прибор самопишущий. Входной сигнал 4-20 мА. Выходной сигнал 4-20мА. Шкала 0-100%. НИИтеплоприбор, г. Москва.	Диск-250-1121,УХЛ4.2	шт.		1
1-4	Блок регулирующий аналоговый с импульсным выходным сигналом. Входной сигнал 4-20мА. Выходной сигнал – импульсный 24 В постоянного тока. МЗТА, г. Москва.	P27	шт.		1
Подл. и дата	1-5	Ручной задатчик. Выходной сигнал 4-20мА. Шкала 0-100%. ПО «Электроприбор» г. Чебоксары.	РЗД-22	шт.	1
	1-6	Блок ручного управления. Входной и выходной сигнал импульсный – 24 В постоянного тока. ПО «Электроприбор» г. Чебоксары.	БРУ-32	шт.	1
Инв. № дубл	1-7	Пускатель бесконтактный реверсивный. Входной сигнал импульсный– 24 В постоянного тока. ПО «Электроприбор» г. Чебоксары.	ПБР-2М	шт.	1
	1-8	Механизм электрический однооборотный. Напряжение питания 220 В, 50 Гц. ПО «Промприбор» г. Чебоксары.	МЭО16/10-025	шт.	1
Взам. инв. №		Регулирующий клапан. Ду – 40 мм. Температура рабочей среды - 40 - + 200 °С. Конотопский арматурный завод.	15с920нж1	шт.	1
Инв. № подл	Изм	№ докум.	Подп.	Дата	Заказная спецификация оборудования
	Разраб.				
	Прав.				
	Н.конт.				
	Утв.				
КП. "Дисциплина". "№ группы". "№ варианта".					Стандия
					Лист
					Листов
					ТП
					1
					N
					СПбГТИ (ТУ)
					Гр.

Рисунок 11.11 - Пример заполнения заказной спецификации (первый лист)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор СПбГТИ (ТУ)
по учебной работе, профессор

_____ Масленников И.Г.

_____ 2008 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ
Для студентов всех химико-технологических специальностей

Факультет информатики и управления
Кафедра автоматизации процессов химической промышленности

Курс – 4
Семестр – 7
Лекции – 6 ч
Лабораторный практикум - 4 ч.
Практические занятия – 4ч.

Экзамен: Семестр 7

Всего – 140 ч

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

Автоматизации процессов химической промышленности,
протокол от ____ г. № ____.

Заведующий
кафедрой _____ Г.А. Соколов

Одобрено учебно-методической комиссией факультета информатики и управления, протокол от _____ г. № ____

Председатель _____ В.Л. Рукин

Программу составил

К.т.н., доц.

К.т.н., доц.

О.А. Ремизова

И.В. Рудакова

1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Целью преподавания данной дисциплины является подготовка специалистов, способных квалифицированно и на современном научно-техническом уровне решать задачи проектирования, разработки и эксплуатации современных систем контроля и управления.

Задачей курса "Системы управления химико-технологическими процессами" является изучение основ, принципов и методов управления химико-технологическими процессами, а также ознакомление будущих инженеров – технологов с современной структурой управления химическим производством, современными средствами автоматизации и проблемой их выбора, а также типовыми системами автоматизации химико-технологических процессов.

2 ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

- В результате изучения дисциплины студент должен знать: цель и критерии управления технологическим процессом;
- основные принципы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП);
- классификацию, состав и структуру АСУ ТП, виды обеспечений АСУ ТП;
- первичные и нормирующие преобразователи технологических параметров;
- регуляторы, контроллеры и программно-технические комплексы в структуре АСУ ТП;
- основы проектирования и типовые схемы автоматизации химико-технологических процессов.

В результате изучения дисциплины студент должен уметь:

- выбрать технические средства автоматизации, в том числе первичные преобразователи, регуляторы, контроллеры, рабочие станции и др. компоненты для проектирования системы управления;
- выполнить схему автоматизации рабочего проекта автоматизации химико-технологического процесса.

3 ВИДЫ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ И ИХ ОБЪЕМ

ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ	Всего часов	Семестры
		7
Общая трудоемкость дисциплины	140	140
Аудиторные занятия	14	14
Лекции	6	6
Лабораторные работы (ЛР)	4	4
Практическое занятие	4	4
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет, экзамен	зачет, экзамен

4 ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

2 УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

дисциплины " Системы управления химико-технологическими процессами"

№ п/п	Наименование темы	Всего часов
1.	Введение. Основные определения и понятия	1
2.	Иерархическая структура управления предприятием	
3.	Теоретические аспекты построения систем регулирования	1
4.	Свойства объектов регулирования	1
5.	Типовые законы регулирования	
6.	Синтез АСР	1
7.	Основные положения разработки систем регулирования	1
8.	Измерение технологических параметров	
9.	Нормирующие и измерительные преобразователи	1
10.	Исполнительные механизмы и регулирующие органы	
11.	Автоматические регуляторы	6
	Итого	

4.1. Темы и содержание разделов учебной дисциплины

ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

1 ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

- 1.1 Автоматизированная система управления предприятием
- 1.2 Автоматизированная система управления производством
- 1.3 Автоматизированная систему управления технологическим процессом
 - 1.3.1 Функции АСУТП
 - 1.3.2 Классификация АСУТП
 - 1.3.3 Компоненты АСУТП
 - 1.3.4 Локальные системы автоматизации технологических процессов

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ЛСА ПРИВЕДЕНА НА РИСУНКЕ 1.5.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

- 2.1 Динамическое звено. Передаточная функция
- 2.2 Временные динамические характеристики звеньев
- 2.3 Типовые динамические звенья
- 2.4 Структурные схемы и их преобразование
- 2.5 Основные понятия о устойчивости АСР
- 2.6 Оценки качества регулирования

3 СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

- 3.1 Нагрузка. Емкость
- 3.2 Самовыравнивание
- 3.3 Запаздывание
- 3.4 Методы определения свойств объекта

4 ТИПОВЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

- 4.1 Позиционный регулятор
- 4.2 Пропорциональный регулятор
- 4.3 Интегральный регулятор
- 4.4 Пропорционально-интегральный регулятор
- 4.5 Дифференциальный регулятор

5 СИНТЕЗ АСР

- 5.1 Метод синтеза АСР

- 5.2 Одноконтурная АСР
- 5.3 Многоконтурные системы. Каскадная АСР
- 5.4 Многоконтурные системы. Комбинированная АСР
- 5.5 Системы регулирования уровня
- 5.6 Системы регулирования расхода
- 5.7 Системы регулирования температуры
- 5.8 Системы регулирования давления

6 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

- 6.1 Выбор регулируемых параметров и каналов внесения регулирующих воздействий
- 6.2 Выбор контролируемых параметров
- 6.3 Выбор сигнализируемых параметров
- 6.4 Выбор параметров и способов защиты (блокировки)
- 6.5 Измерительная цепь
- 6.6 Иерархическая структура технических средств и принципы построения ГСП
- 6.7 Понятие об измерении

7 ИЗМЕРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

- 7.1 Измерение температуры
 - 7.1.1 Термометры расширения
 - 7.1.2 Манометрические термометры
 - 7.1.3 Термоэлектрический термометр
 - 7.1.4 Термопреобразователи сопротивления
 - 7.1.5 Пирометры излучения
- 7.2 Средства измерения давления
- 7.3 Измерение уровня
 - 7.3.1 Поплавковый уровнемер
 - 7.3.2 Буйковый уровнемер
 - 7.3.3 Гидростатический уровнемер
 - 7.3.4 Емкостной уровнемер
 - 7.3.5 Акустический и ультразвуковой уровнемер
 - 7.3.6 Радиоизотопный уровнемер
- 7.4 Расходомеры
 - 7.4.1 Расходомеры переменного перепада давлений
 - 7.4.2 Расходомеры постоянного перепада давлений
 - 7.4.3 Расходомер переменного уровня
 - 7.4.4 Электромагнитный расходомер
 - 7.4.5 Тепловой расходомер
 - 7.4.6 Ультразвуковой расходомер

8 НОРМИРУЮЩИЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

- 8.1 Элементарные измерительные преобразователи
 - 8.1.1 Механические элементарные преобразователи
 - 8.1.2 Пневматические элементарные преобразователи
 - 8.1.3 Электрические элементарные преобразователи
- 8.2 Промежуточные (вторичные, нормирующие) преобразователи
- 8.2 Измерительные приборы

9 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ

- 9.1 Исполнительные механизмы
- 9.2 Регулирующие органы

10 АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ

- 10.1 Пневматические регуляторы
- 10.2 Гидравлические регуляторы
- 10.3 Электрические регуляторы

4.2 Темы практических занятий – 4 ч

1. Нахождение характеристик объекта по переходной характеристике
2. Структурные схемы САР и их преобразование
3. Выбор регулятора и его настройка
4. Разработка схемы автоматизации, выбор средств измерения технологических параметров
5. Разработка схемы автоматизации, выбор средств регулирования и воздействия на процесс

4.3 Лабораторный практикум – 4 ч

1. АСУ ТП нагрева установок на базе промышленного компьютера MIC-2000 фирмы Advantech (Тайвань) .

Разработка схемы автоматизации лабораторной установки с программно-техническим комплексом, снятие характеристик переходных процессов при разной нагрузке, настройка операторского окна SCADA-системы, отчет

2. Автоматическая система программного регулирования температуры на базе контроллера FP1 фирмы Matsushita (Япония)

Разработка схемы автоматизации лабораторной установки с программно-техническим комплексом, снятие характеристик переходных процессов в режиме программного, позиционного и ПИД-регулирования, отчет

3. АСР уровня жидкости на базе микропроцессорного комплекса УТК-5

Разработка схемы автоматизации лабораторной установки с микропроцессорным комплексом, снятие характеристик переходных процессов, расчет показателей качества переходного процесса, отчет

4. АСР теплового объекта на базе микропроцессорного регулятора типа МИНИТЕРМ 300 (МЗТА, Москва)

Разработка схемы автоматизации лабораторной установки с микропроцессорным регулятором, определение параметров ПИД-регулятора в режиме автонастройки, снятие характеристик переходных процессов, расчет показателей качества переходного процесса, отчет

5. АСР расхода воздуха на базе пневматических приборов системы СТАРТ

Разработка схемы автоматизации лабораторной установки, снятие номинальных статических характеристик регулирующих клапанов, снятие характеристик переходных процессов, отчет

5 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Основная литература

1. Дудников Е.Г. и др. Автоматическое управление в химической промышленности. – М.: Химия, 1987. – 224 с.
2. Стефани Е.П. Основы построения АСУТП. М.: Энергия. 1982., 352 с.
3. Родинов В.Д., Терехов В.А., Яковлев В.Б. Технические средства АСУ ТП. М. Высшая школа, 1989., 264 с.
4. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. – М.: Химия, 1982. – 295 с.
5. Шувалов В.В., Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1991. – 480 с.
6. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. – М.: Машиностроение, 1983. – 424 с.

Дополнительная литература 7. Шенброт И.М., Андропов М.В., Давиденко К.Я. Распределенные АСУ ТП. М.: Энергоатомиздат, 1985., 240 с. 8. Промышленные приборы и средства автоматизации/ Справочник под ред. В.В. Черенкова. – Л.: Машиностроение, 1987. – 847 с.

9. Автоматическое управление электротермическими установками/ Под ред. А.Д. Свенчанского. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.

10. Автоматизация технологических процессов и системы управления микробиологической промышленности. ЦБНТИ. М.: Минмедбиопром, 1987

11. Гинзбург И.Б., Смолянский А.Б. Автоматизация цементного производства: справоч. пособие. Л.: Стройиздат, 1986.- 138 с

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Основные понятия. Общие структуры замкнутой и разомкнутой систем. Понятия автоматической и автоматизированной систем. Классификация АСР по характеру сигналов задания.
2. Иерархический принцип управления химическими предприятиями. АСУ предприятия и АСУ производства: цели, входы и выходы АСУ, функции.
3. АСУ ТП: определение, функции и классификация.
4. Компоненты АСУ ТП.
5. Описание динамических звеньев и их характеристики. Понятие передаточная функция. Динамические характеристики звеньев (переходная характеристика, функция веса).
6. Понятие типового динамического звена. Позиционные звенья (уравнение динамики, передаточная функция, переходная характеристика).
7. Типовые интегрирующие и дифференцирующие звенья (уравнение динамики, передаточная функция, переходная характеристика).
8. Свойства объектов регулирования. Нагрузка и самовыравнивание.
9. Свойства объектов регулирования. Емкость и запаздывание.
10. Методы определения свойств объекта (аналитический и экспериментальный).
11. Вывод уравнения автоматической системы регулирования. Вывод передаточной функции замкнутой и разомкнутой систем.
12. Типовые законы регулирования. Позиционный закон: описание, математическая формулировка, статическая характеристика, анализ работы регулятора с объектами разных свойств.
13. Пропорциональный и интегральный законы регулирования: описание, математическая формулировка, статическая и динамическая характеристики.
14. ПИ закон регулирования (структурные схемы регуляторов с зависимыми и независимыми настройками): описание, математическая формулировка, динамические характеристики регулятора.
15. Дифференциальные законы регулирования (ПД и ПИД законы): описание, математическая формулировка, динамические характеристики регуляторов.
16. Понятие устойчивости автоматической системы регулирования.
17. Оценки качества регулирования. Прямые оценки качества.
18. Методы синтеза АСР. Одноконтурные АСР: структурная схема, передаточная функция системы.
19. Многоконтурные системы. Каскадная АСР: описание, пример объекта с нанесением контура регулирования, структурная схема, методика расчета.

20. Многоконтурные системы. Комбинированная АСР: описание, пример построения АСР с подключением компенсатора на вход регулятора, структурная схема, условия реализуемости компенсатора.
21. Системы регулирования соотношения расходов.
22. Разработка системы управления, задачи системы управления. Выбор регулируемых и контролируемых параметров.
23. Выбор параметров сигнализации и способов защиты. Понятие аварии и диагностики нарушения работы технологического процесса.
24. Измерительная цепь. Элементы измерительной цепи.
25. ГСП. Принципы построения ГСП. Понятие об измерении.
26. Измерение технологических параметров. Первичные преобразователи температуры. Термометры расширения и термоэлектрические термометры.
27. Измерение технологических параметров. Первичные преобразователи температуры. Манометрические термометры и термопреобразователи сопротивления.
28. Измерение технологических параметров. Первичные преобразователи расхода. Расходомеры переменного перепада давления и расходомеры переменного уровня.
29. Измерение технологических параметров. Первичные преобразователи расхода. Ротаметры, электромагнитные и тепловые расходомеры.
30. Измерение технологических параметров. Первичные преобразователи уровня. Буйковый и поплавковый уровнемеры, гидростатические уровнемеры.
31. Измерение технологических параметров. Первичные преобразователи уровня. Емкостные, акустические и ультразвуковые уровнемеры.
32. Измерение технологических параметров. Первичные преобразователи давления. Разделительные сосуды.
33. Элементарные преобразователи. Классификация. Механические преобразователи.
34. Элементарные преобразователи. Классификация. Пневматические преобразователи.
35. Элементарные преобразователи. Классификация. Электрические преобразователи.
36. Назначение промежуточных преобразователей. Компенсационная схема. Преобразователь силы в давление сжатого воздуха.
37. Измерительные приборы. Классификация измерительных приборов. Измерительный прибор для записи пневматического сигнала.
38. Классификация регулирующих устройств. Пневматические, электрические и гидравлические регуляторы.
39. Исполнительные механизмы. Классификация. Примеры исполнения.
40. Регулирующие органы. Общие требования. Исполнение. Характеристики.

ТЕМЫ И ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Для вопросов №1 из контрольных работ 2 и 3 варианты заданий:

1-я буква фамилии	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	Н
№ вопр	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.

1-я буква фамилии	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х, Ц	Ч	Ш, Щ	Э	Ю	Я
№ вопр	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТЫ №1

Тема «Автоматизированные системы управления. Основные принципы построения»

Задание 1.

41. Понятие управление и регулирование. Примеры и отличия.
42. Иерархический принцип управления химическими предприятиями. Особенности предприятия, как объекта управления.
43. Иерархический принцип управления химическими предприятиями. Особенности производства, как объекта управления.
44. Функции АСУТП. Место АСУ ТП в иерархической структуре управления предприятием.
45. Отличия структур АСУТП с вычислительным комплексом в режиме советчика оператора, супервизорного управления и непосредственного цифрового управления.
46. Структура взаимосвязи различных компонентов АСУТП. Состав и структура технического обеспечения.
47. Структура взаимосвязи различных компонентов АСУТП. Состав программного обеспечения.
48. Структура взаимосвязи различных компонентов АСУТП. Особенности подготовки информационного обеспечения.
49. Цели и функции локальной системы автоматизации.
50. Состав и отличия разомкнутой и замкнутой структур АСР.
51. Понятия динамического звена и типовых динамических звеньев. Статические и динамические характеристики звеньев. Описание позиционных звеньев.
52. Понятия динамического звена и типовых динамических звеньев. Статические и динамические характеристики звеньев. Описание идеального интегрирующего звена и звена чистого запаздывания.
53. Специальные формы записи дифференциальных уравнений, описывающих динамику звеньев. Понятие передаточной функции. Вывод передаточной функции апериодического звена первого порядка.
54. Временные характеристики звеньев. Связь переходной характеристики и функции веса.
55. Представление системы дифференциальных уравнений, описывающих АСР в виде структурной схемы. Вывод передаточной функции АСР по каналу задания.

56. Представление системы дифференциальных уравнений, описывающих АСР в виде структурной схемы. Вывод передаточной функции АСР по каналу управления.
57. Оценка устойчивости АСР по анализу корней характеристического уравнения.
58. Прямые оценки качества регулирования. Отличие апериодических процессов от колебательных. Поредение времени регулирования.
59. Прямые оценки качества регулирования. Отличие монотонных процессов от апериодических. Определение перерегулирования.
60. Прямые оценки качества регулирования. Понятие статической ошибки. Определение колебательности и затухания.
61. Свойства объектов регулирования. Понятие нагрузки. Вывод передаточной функции объекта с самовыравниванием.
62. Свойства объектов регулирования. Понятие нагрузки. Вывод передаточной функции объекта без самовыравнивания.
63. Свойства объектов регулирования. Понятие емкость (инерционность) объекта. Определение чистого запаздывания.
64. Свойства объектов регулирования. Понятие емкость (инерционность) объекта. Определение переходного запаздывания.
65. Аналитические методы определения свойств объекта.
66. Экспериментальные методы определения свойств объекта. Пример графической интерпретации.

Задание 2

Используя математическое описание технологического процесса (из табл. №1 в соответствии с вариантом задания). Сделать вывод передаточной функции. Определить основные свойства объекта (постоянную времени, коэффициент передачи, время запаздывания). Составить информационную схему объекта.

Таблица №1

№ вар.	Математическое описание	Условные обозначения	Параметры для расчета	метод
ПРОЦЕСС ВЫПАРИВАНИЯ				
$\rho_k * V_k * (dC_k/dt) = G_p * C_p - G_k * C_k - G_n * C_n$		θ_p ; θ_k ; θ_n ; $\theta_{T(вх)}$; $\theta_{T(вых)}$ - температуры исходного, концентрированного растворов, пара и теплоносителя на входе и выходе из аппарата. G_k ; G_p ; G_n ; $G_T=6700$ - расходы; ρ_k , h_k – плотность и уровень концентрированного раствора; C_{pp} ; C_{pt} , C_{pn} ; C_{pk} - удельные теплоемкости. C_p ; C_k ; C_n - концентрации потоков. V_k , V_n - объемы; S -площадь, q - удельная теплота испарения влаги; P_n – давление пара. R – универсальная газовая постоянная	$\theta_p=17^0C$; $\theta_k=27^0C$; $\theta_n=87^0C$; $\theta_{T(вх)}=137^0C$; $\theta_{T(вых)}=27^0C$ $G_k=27000$ кг/ч; $G_p=38000$ кг/ч; $G_n=18000$ кг/ч $G_T=6700$ кг/ч $\rho_k= 1450$ кг/м ³ , $h_k= 0,5$ м; $C_{pp}=2,23$ к Дж/кг*град $C_{pt}=3,27$ к Дж/кг*град, $C_{pn}= 2,14$ к Дж/кг*град; $C_{pk}= 2,22$ к Дж/кг*град; $C_p=0,84$ кг/м ³ ; $C_k=1,5$ кг/м ³ ; $C_n=0,11$ кг/м ³ $V_k= 50$ дм ³ , $V_n=50$ дм ³ $S=0,1$ м ² $q_n= 283,42$ КДж/кг $P_n=0,1$ МПа $MВп=20$ $R=8,31$ Дж/(кг*К)	Размерных переменных
А	Канал управления: $G_p - C_k$			Безразмерных переменных
Б	Канал управления: $G_n - C_k$			
$\rho_k * S_{app} * dh_k/dt = G_p - G_k - G_n$,				
В	Канал управления: $G_p - h_k$		Безразмерных переменных	
Г	Канал управления: $G_k - h_k$			
$(MВn * V_n / R * \theta_n) * (dP_n/dt) = G_p - G_k - G_n$				
Д	Канал управления: $G_k - P_n$		Размерных переменных	
Е	Канал управления: $G_n - P_n$			
$\rho_k * V_k * C_{pk} * (d\theta/dt) = G_p * C_{pp} * \theta_p + G_m * C_{pt} * \theta_{T(вх)} - G_m * C_{pt} * \theta_{T(вых)} - G_n * r_n - G_n * C_{pn} * \theta_n - G_k * C_{pk} * \theta$				
Ж	Канал управления: $G_m - \theta$		Размерных переменных	
З	Канал управления: $G_n - \theta$			
И	Канал управления: $G_k - \theta$			
К	Канал управления: $G_p - \theta$			

№ вар.	Математическое описание	Условные обозначения	Параметры для расчета	метод
ПРОЦЕСС СУШКИ				
	$\rho_{см} * V_{см} * d\omega_{см}/dt = G_{вм} * \omega_{вм} - G_{см} * \omega_{см} - W_{м-са}$	$G_{са}^{ВЫХ}, G_{са}^{ВХ}, G_{см}, G_{вм}, G_{пв}, G_{вв}, G_T$ - расходы сушильного агента на входе и выходе, сухого и влажного материалов, первичного и вторичного воздуха, теплоносителя; $\theta_{са}^{ВЫХ}, \theta_{са}^{ВХ}, \theta_{см}$ - температуры потоков. $\rho_{са}, \rho_{см}$ - плотности сушильного агента и сухого материала; $C_{рса}, C_{рсм}$ - удельные теплоемкости, $V_{са}, V_{см}$ - объемы; $\omega_{см}, \omega_{вм}$ - влажность сухого и влажного материалов; r - удельная теплота испарения влаги; P - давление; $W_{м}^{са}$ - масса влаги, перераспределяемой из материала в сушильный агент в единицу времени $МВ_{са}$ - молекулярный вес сушильного агента; q_T - теплотворная способность топлива;	$G_{са}^{ВЫХ}=2200\text{кг/ч};$ $G_{са}^{ВХ}=800\text{кг/ч};$ $G_{см}=2400\text{кг/ч};$ $G_{вм}=4000\text{ кг/ч};$ $G_{пв}=200\text{кг/ч};$ $G_{вв}=50\text{кг/ч}$ $G_T=2700\text{кг/ч}$ $\theta_{са}^{ВЫХ}=27^\circ\text{C};$ $\theta_{са}^{ВХ}=137^\circ\text{C};$ $\theta_{см}=65^\circ\text{C}$ $\rho_{са}=1,3\text{кг/м}^3;$ $\rho_{см}=0,8*10^3\text{ кг/м}^3$ $\rho_{м}=125\text{ кг/м}^3$ $C_{рса}=1,01*10^3\text{ Дж/кг*град};$ $C_{рсм}=0,11*10^3\text{ Дж/кг*град}$ $C_{рТ}=0,78*10^3\text{ Дж/кг*град}$ $V_{са}=150\text{м}^3/\text{ч};$ $V_{см}=5\text{м}^3/\text{ч}$ $\omega_{см}=25\%;$ $\omega_{вм}=60\%$ $r=483,42\text{ Кал/г*град}$ $P=1\text{МПа}$ $W_{м}^{са}=1600\text{ кг/ч}$ $МВ_{са}=62,3*10^{-3}\text{ Кг/моль}$ $S_{апп}=0,5\text{м}^2$ $h_{м}=0,3\text{м}$	Размерных переменных
Л	Канал управления: $G_{вм} - \omega_{см}$			Размерных переменных
М	Канал управления: $G_{см} - \omega_{см}$			
	$\rho_{са} * V_{са} * C_{рса} * d\theta_{са}(вх)/dt = G_{т} * q_{т} + G_{т} * C_{рт} * \theta_{т}(вх) + G_{пв} * C_{рпв} * \theta_{пв} + G_{вв} * C_{рвв} * \theta_{вв} - G_{са}(вх) * C_{рса} * \theta_{са}(вх)$			
Н	Канал управления: $G_{вв} - \theta_{са}(вх)$			
О	Канал управления: $G_{пв} - \theta_{са}(вх)$			
П	Канал управления: $G_{са} - \theta_{са}(вх)$			
Р	Канал управления: $G_{т} - \theta_{са}$			
	$\rho_{м} * S_{апп} * \frac{dh_{м}}{dt} = G_{вм} - G_{см} - W_{м}^{са}$			Безразмерных переменных
С	Канал управления: $G_{вм} - h_{м}$			
Т	Канал управления: $G_{см} - h_{м}$			Безразмерных переменных
	$(V_{са} * МВ_{са} / R * \theta_{са}) * (dP_{б}/dt) = G_{са}(вх) - G_{са}(вых) + W_{м}^{са}$			
У	Канал управления: $G_{са}(вх) - P_{б}$			
Ф	Канал управления: $G_{са}(вых) - P_{б}$			

№ вар.	Математическое описание	Условные обозначения	Параметры для расчета	метод
ПРОЦЕСС АБСОРБЦИИ				
	$\rho_{на} * V_{на} * (dC_{на}/dt) = G_a * C_a + M_{г-ж} - G_{на} * C_{на},$	$C_{на}; C_a; C_{г}; C_{ог}$- концентрации потоков: насыщенного абсорбента; абсорбента; газовой и обедненной газовой смесей; $G_a; G_{на}; G_{г}; G_{ог}$- расходы, $\rho_{на}; \rho_{ог}$ - плотности, $M_{г-ж}$ - масса целевого компонента, переходящая из газовой фазы в жидкую; $S_{app}; H_{app}$ – площадь и высота аппарата; $M_{Вог}$- молекулярный вес обедненной газовой смеси ; $V_{на}; V_{ог}$- объемы; $h_{на}$ – уровень насыщенного абсорбента; $P_{ог}; \Theta_{ог}$ – давление и температура обедненной газовой смеси	$C_{на}=2,6 \text{ Кг/м}^3;$ $C_a=1,4 \text{ Кг/м}^3;$ $C_{г}=0,5 \text{ Кг/м}^3;$ $C_{ог}=0,9 \text{ Кг/м}^3$ $G_a=2800 \text{ Кг/ч};$ $G_{на}= 3900 \text{ Кг/ч};$ $G_{г}= 2400 \text{ Кг/ч};$ $G_{ог}=1300 \text{ Кг/ч}$ $\rho_{на} = 24,5 \text{ Кг/м}^3;$ $\rho_{ог}=113 \text{ Кг/м}^3$ $M_{г-ж}= 110 \text{ Кг/ч}$ $S_{app}=0,5 \text{ м}^2;$ $H_{app}=2 \text{ м}$ $M_{Вог} = 27 * 10^{-3}$ $V_{на}=150 \text{ м}^3/\text{ч};$ $V_{ог}=50 \text{ м}^3/\text{ч}$ $h_{на}=0,1 \text{ м}$ $P_{ог} = 0,9 * 10^5 \text{ Па};$ $\Theta_{ог}=373 \text{ К}$	Размерных переменных
X	Канал управления: $G_a - C_{на}$			Размерных переменных
Ц	Канал управления: $G_{на} - C_{на}$			
	$\rho_{ог} * V_{ог} * (dC_{ог}/dt) = G_{г} * C_{г} - G_{ог} * C_{ог} - M_{г-ж}$			
Ч	Канал управления: $G_{г} - C_{ог}$			Безразмерных переменных
Ш	Канал управления: $G_{ог} - C_{ог}$			
	$\rho_{на} * S_{app} * dh_{на}/dt = G_a + M_{г-ж} - G_{на},$			
Щ	Канал управления: $G_a - h_{на}$			Безразмерных переменных
Э	Канал управления: $G_{на} - h_{на}$			
	$(M_{Вог} * V_{ог} / R * \Theta_{ог}) * (dP_{ог}/dt) = G_{г} - G_{ог} - M_{г-ж}$			
Ю	Канал управления: $G_{ог} - P_{ог}$			Безразмерных переменных
Я	Канал управления: $G_{г} - P_{ог}$			

Таблица №1

№ вар.	Математическое описание	Условные обозначения	Параметры для расчета	метод
ПРОЦЕСС ВЫПАРИВАНИЯ				
	$\rho_k * V_k * (dC_k/dt) = G_p * C_p - G_k * C_k - G_n * C_n$	θ_p ; θ_k ; θ_n ; $\theta_{T(вх)}$; $\theta_{T(вых)}$ - температуры исходного, концентрированного растворов, пара и теплоносителя на входе и выходе из аппарата. G_k ; G_p ; G_n ; $G_T=6700$ - расходы; ρ_k , h_k – плотность и уровень концентрированного раствора; C_{pp} ; C_{pt} ; C_{pn} ; C_{pk} - удельные теплоемкости. C_p ; C_k ; C_n - концентрации потоков. V_k , V_n - объемы; S - площадь; g_p - удельная теплота испарения влаги; P_n - давление пара. R – универсальная газовая постоянная	$\theta_p=17^0C$; $\theta_k=27^0C$; $\theta_n=87^0C$; $\theta_{T(вх)}=137^0C$; $\theta_{T(вых)}=27^0C$ $G_k=27000$ кг/ч; $G_p=38000$ кг/ч; $G_n=18000$ кг/ч $G_T=6700$ кг/ч $\rho_k=1450$ кг/м ³ , $h_k=0,5$ м; $C_{pp}=2,23$ к Дж/кг*град $C_{pt}=3,27$ к Дж/кг*град, $C_{pn}=2,14$ к Дж/кг*град; $C_{pk}=2,22$ к Дж/кг*град; $C_p=0,84$ кг/м ³ ; $C_k=1,5$ кг/м ³ ; $C_n=0,11$ кг/м ³ $V_k=50$ дм ³ , $V_n=50$ дм ³ $S=0,1$ м ² $g_p=283,42$ КДж/кг $P_n=0,1$ МПа $MВп=20$ $R=8,31$ Дж/(кг*К)	Размерных переменных
А	Канал управления: $G_p - C_k$			Безразмерных переменных
Б	Канал управления: $G_n - C_k$			
	$\rho_k * S_{ann} * dh_k/dt = G_p - G_k - G_n$,			
В	Канал управления: $G_p - h_k$			Безразмерных переменных
Г	Канал управления: $G_k - h_k$			
	$(MВ_n * V_n / R * \theta_n) * (dP_n/dt) = G_p - G_k - G_n$			
Д	Канал управления: $G_k - P_n$			Размерных переменных
Е	Канал управления: $G_n - P_n$			
	$\rho_k * V_k * C_{pk} * (d\theta/dt) = G_p * C_{pp} * \theta_p + G_m * C_{pm} * \theta_{m(вх)} - G_m * C_{pm} * \theta_{m(вых)} - G_n * r_n - G_n * C_{pn} * \theta_n - G_k * C_{pk} * \theta$			
Ж	Канал управления: $G_m - \theta$			
З	Канал управления: $G_n - \theta$			
И	Канал управления: $G_k - \theta$			
К	Канал управления: $G_p - \theta$			

Продолжение таблицы №1

№ вар.	Математическое описание	Условные обозначения	Параметры для расчета	метод
ПРОЦЕСС СУШКИ				
	$\rho_{см} * V_{см} * d\omega_{см}/dt = G_{вм} * \omega_{вм} - G_{см} * \omega_{см} - W_{м-са}$	$G_{са}^{ВЫХ}, G_{са}^{ВХ}, G_{см}, G_{вм}, G_{пв}, G_{вв}, G_T$ - расходы сушильного агента на входе и выходе, сухого и влажного материалов, первичного и вторичного воздуха, теплоносителя; $\theta_{са}^{ВЫХ}, \theta_{са}^{ВХ}, \theta_{см}$ - температуры потоков. $\rho_{са}, \rho_{см}$ - плотности сушильного агента и сухого материала; $С_{рса}, С_{рсм}$ - удельные теплоемкости, $V_{са}, V_{см}$ - объемы; $\omega_{см}, \omega_{вм}$ - влажность сухого и влажного материалов; r - удельная теплота испарения влаги; P - давление; $W_{м}^{са}$ - масса влаги, перераспределяемой из материала в сушильный агент в единицу времени $МВ_{са}$ - молекулярный вес сушильного агента; q_T - теплотворная способность топлива;	$G_{са}^{ВЫХ}=2200\text{кг/ч};$ $G_{са}^{ВХ}=800\text{кг/ч};$ $G_{см}=2400\text{кг/ч};$ $G_{вм}=4000\text{ кг/ч};$ $G_{пв}=200\text{кг/ч};$ $G_{вв}=50\text{кг/ч}$ $G_T=2700\text{кг/ч}$ $\theta_{са}^{ВЫХ}=27^\circ\text{C};$ $\theta_{са}^{ВХ}=137^\circ\text{C};$ $\theta_{см}=65^\circ\text{C}$ $\rho_{са}=1,3\text{кг/м}^3;$ $\rho_{см}=0,8*10^3\text{ кг/м}^3$ $\rho_{м}=125\text{ кг/м}^3$ $С_{рса}=1,01*10^3\text{ Дж/кг*град};$ $С_{рсм}=0,11*10^3\text{ Дж/кг*град}$ $С_{рТ}=0,78*10^3\text{ Дж/кг*град}$ $V_{са}=150\text{м}^3/\text{ч};$ $V_{см}=5\text{м}^3/\text{ч}$ $\omega_{см}=25\%;$ $\omega_{вм}=60\%$ $r=483,42\text{ Кал/г*град}$ $P=1\text{МПа}$ $W_{м}^{са}=1600\text{ кг/ч}$ $МВ_{са}=62,3*10^{-3}\text{ Кг/моль}$ $S_{апп}=0,5\text{м}^2$ $h_{м}=0,3\text{м}$	Размерных переменных
Л	Канал управления: $G_{вм} - \omega_{см}$			Размерных переменных
М	Канал управления: $G_{см} - \omega_{см}$			
	$\rho_{са} * V_{са} * C_{рса} * d\theta_{са}(вх)/dt = G_m * q_m + G_m * C_{рм} * \theta_m(вх) + G_{пв} * C_{рпв} * \theta_{пв} + G_{вв} * C_{рвв} * \theta_{вв} - G_{са}(вх) * C_{рса} * \theta_{са}(вх)$			Размерных переменных
Н	Канал управления: $G_{вв} - \theta_{са}(вх)$			
О	Канал управления: $G_{пв} - \theta_{са}(вх)$			Безразмерных переменных
П	Канал управления: $G_{са} - \theta_{са}(вх)$			
Р	Канал управления: $G_m - \theta_{са}$			Безразмерных переменных
	$\rho_m * S_{апп} * \frac{dh_m}{dt} = G_{вм} - G_{см} - W_m^{са}$			
С	Канал управления: $G_{вм} - h_m$			Безразмерных переменных
Т	Канал управления: $G_{см} - h_m$			
	$(V_{са} * МВ_{са} / R * \theta_{са}) * (dP_б/dt) = G_{са}(вх) - G_{са}(вых) + W_m^{са}$			Безразмерных переменных
У	Канал управления: $G_{са}(вх) - P_б$			
Ф	Канал управления: $G_{са}(вых) - P_б$			

№ вар.	Математическое описание	Условные обозначения	Параметры для расчета	метод	
ПРОЦЕСС АБСОРБЦИИ					
$\rho_{на} * V_{на} * (dC_{на}/dt) = G_a * C_a + M_{г-ж} - G_{на} * C_{на},$		С _{на} ; С _а ; С _г ; С _{ог} - концентрации потоков: насыщенного абсорбента; абсорбента; газовой и обедненной газовой смесей; G _а ; G _{на} ; G _г ; G _{ог} - расходы, ρ _{на} ; ρ _{ог} - плотности, M _{г-ж} - масса целевого компонента, переходящая из газовой фазы в жидкую; S _{апп} ; H _{апп} – площадь и высота аппарата; M _{Вог} - молекулярный вес обедненной газовой смеси ; V _{на} ; V _{ог} - объемы; h _{на} – уровень насыщенного абсорбента; P _{ог} ; Θ _{ог} – давление и температура обедненной газовой смеси	С _{на} =2,6 Кг/м ³ ; С _а =1,4 Кг/м ³ ; С _г =0,5 Кг/м ³ ; С _{ог} =0,9 Кг/м ³ G _а =2800 Кг/ч ; G _{на} = 3900 Кг/ч; G _г = 2400 Кг/ч; G _{ог} =1300 Кг/ч ρ _{на} = 24,5 Кг/м ³ ; ρ _{ог} =113 Кг/м ³ M _{г-ж} = 110 Кг/ч S _{апп} =0,5м ² ; H _{апп} =2м M _{Вог} =27 *10 ⁻³ V _{на} =150 м ³ /ч; V _{ог} =50 м ³ /ч h _{на} =0,1м P _{ог} = 0,9*10 ⁵ Па; Θ _{ог} =373К	Размерных переменных	
X	Канал управления: G _а - C _{на}				
Ц	Канал управления: G _{на} - C _{на}				
$\rho_{ог} * V_{ог} * (dC_{ог}/dt) = G_g * C_g - G_{ог} * C_{ог} - M_{г-ж}$					Размерных переменных
Ч	Канал управления: G _г - C _{ог}				
Ш	Канал управления: G _{ог} - C _{ог}				
$\rho_{на} * S_{апп} * dh_{на}/dt = G_a + M_{г-ж} - G_{на},$					
Щ	Канал управления: G _а - h _{на}				
Э	Канал управления: G _{на} - h _{на}				Безразмерных переменных
$(M_{Вог} * V_{ог} / R * \theta_{ог}) * (dP_{ог}/dt) = G_g - G_{ог} - M_{г-ж}$					
Ю	Канал управления: G _{ог} - P _{ог}				
Я	Канал управления: G _г - P _{ог}				Безразмерных переменных

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТЫ №2

Задание 1.

1. Позиционный закон регулирования: описание, математическая формулировка регулятора с положительной зоной регулирования и анализ работы регулятора с объектами разных свойств.
2. Позиционный закон регулирования: описание, математическая формулировка регулятора с отрицательной зоной регулирования и анализ работы регулятора с объектами разных свойств.
3. Пропорциональный законы регулирования: описание, математическая формулировка, статическая и динамическая характеристики.
4. Интегральный законы регулирования: описание, математическая формулировка, статическая и динамическая характеристики.
5. ПИ закон регулирования: описание, математическая формулировка, динамические характеристики регулятора.
6. ПИД закон регулирования: описание, математическая формулировка, динамические характеристики регуляторов.
7. ПД закон регулирования: описание, математическая формулировка, динамические характеристики регуляторов.
8. Методы синтеза АСР. Методы поиска настроек регулятора.
9. Методы синтеза АСР. Исследование влияние характеристик астатического объекта и настроек П-регулятора на свойства АСР.
10. Методы синтеза АСР. Исследование влияние характеристик астатического объекта и настроек ПИ-регулятора на свойства АСР.
11. Многоконтурные системы. Описание каскадная АСР, пример объекта с параметрами разной физической природы.
12. Многоконтурные системы. Описание комбинированной АСР, принцип инвариантности и условия физической реализуемости компенсаторов.
13. Многоконтурные системы. Описание комбинированной АСР, пример построения АСР с подключением компенсатора на вход регулятора.
14. Многоконтурные системы. Описание комбинированной АСР, пример построения АСР с подключением компенсатора на вход объекта.
15. Типовые схемы регулирования уровня.
16. Типовые схемы регулирования расхода.
17. Системы регулирования соотношения расходов.
18. Типовые схемы регулирования температуры.
19. Типовые схемы регулирования давления.
20. Особенности выбора регулируемых параметров и регулирующих воздействий.
21. Выбор параметров сигнализации и способов защиты. Понятие аварии и диагностики нарушения работы технологического процесса.
22. Понятие измерительной цепи, элементы измерительной цепи.
23. Иерархическая структура технических средств в системе ГСП
24. Принципы построения ГСП, принцип унификации.
25. Принципы построения ГСП, принципы агрегатирования, взаимосвязи и блочно-модульной структуры.
26. Класс точности приборов: описание, способы назначения.

Задание 2.

Выполнить расчет передаточной функции АСР и сделать анализ возможных типов переходных процессов:

- параметры объекта, полученные в контрольной работе №1,
- регулятор и входное воздействие в соответствии с заданием из таблицы №2,
- расчет настроек регулятора по методу ВТИ

Таблица № 2.

1-я буква фамилии	А П	Б Р	В С	Г Т	Д У	Е Ф	Ж Х, Ц	З Ч	И Ш, Щ	К Э	Л Ю	М Я	Н О
регулятор	ПИ	ПИД	ПИД	ПИ	ПИ	ПИ	ПИ	ПИД	ПИД	ПИ	ПИ	ПИД	ПИД
Входное воздействие	задания	задания	управления	задания	управления	задания	управления	задания	управления	задания	управления	задания	управления

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТЫ №3.

Задание 1

1. Классификация средств измерения температуры. Принцип действия термометров расширения. Отличия dilatометрических и биметаллических термометров
2. Принцип действия, условия применения, особенности эксплуатации манометрических термометров.
3. Принцип действия, условия применения, особенности эксплуатации термоэлектрических преобразователей температуры. Особенности градуировки.
4. Принцип действия, условия применения, особенности эксплуатации термометров сопротивления с металлическим чувствительным элементом.
5. Принцип действия, условия применения, особенности эксплуатации термометров сопротивления с полупроводниковым чувствительным элементом.
6. Классификация средств измерения давления. Принцип действия деформационных датчиков давления.
7. Классификация средств измерения уровня. Принцип действия, условия применения, особенности эксплуатации поплавковых и буйковых уровнемеров.
8. Классификация средств измерения уровня. Принцип действия, условия применения, особенности эксплуатации гидростатического и емкостного уровнемеров.
9. Классификация средств измерения уровня. Принцип действия, условия применения, особенности эксплуатации ультразвукового и радиоизотопного уровнемеров.
10. Отличия расходомеров постоянного и переменного перепада давлений. Принцип действия, вид статической характеристики.
11. Классификация бесконтактных расходомеров. Принцип действия, условия применения, особенности эксплуатации электромагнитного расходомера.
12. Классификация бесконтактных расходомеров. Принцип действия, условия применения, особенности эксплуатации теплового и ультразвукового расходомеров.

13. Классификация механических и пневматических элементарных преобразователей. Использование элементарных преобразователей в схеме пневмосилового преобразователя.
14. Классификация электрических элементарных преобразователей. Использование элементарных преобразователей в схеме преобразователя электрического сопротивления в ток.
15. Назначение промежуточных (нормирующих) преобразователей. Структура автоматического компенсатора. Пример использования схемы автоматического компенсатора.
16. Классификация измерительных приборов по метрологическому признаку. Схема измерительного прибора для записи пневматических сигналов.
17. Классификация измерительных приборов по виду выходного сигнала. Схема прибора для записи электрического сигнала – напряжения постоянного тока.
18. Классификация измерительных приборов по виду входного сигнала. Схема прибора для записи унифицированного токового сигнала.
19. Отличие исполнительного механизма (ИМ) от исполнительного устройства. Классификация ИМ. Требования, предъявляемые к ИМ.
20. Принцип действия, особенности эксплуатации, статическая характеристика мембранно-пружинного ИМ.
21. Отличие электромагнитных ИМ от электродвигательных с позиции реализации управляющего воздействия.
22. Отличие дросселирующих регулирующих органов (РО) от дозирующих РО. Дроссельные и шланговые РО. Требования, предъявляемые к РО.
23. Отличие дросселирующих регулирующих органов (РО) от дозирующих РО. РО заслоночного типа и диафрагмовые РО. Характеристики РО.
24. Классификация автоматических регуляторов по виду настройки и по виду задающего воздействия. Отличительные особенности аналоговых и цифровых электрических регуляторов.
25. Классификация автоматических регуляторов в зависимости от источника энергии и по конструктивному признаку. Особенности построения АСР на элементах пневмоавтоматики.
26. Классификация автоматических регуляторов по виду используемой энергии. Отличительные особенности в подходах, достоинства и недостатки.

Задание 2.

Тема: «Разработка функциональной схемы автоматизации процесса»

Цель: разработка схемы автоматизации согласно заданию с использованием ГОСТ 21.404 – 85

1-я буква фамилии	А П	Б Р	В С	Г Т	Д У	Е Ф	Ж Х, Ц	З Ч	И Ш, Щ	К Э	Л Ю	М Я	Н О
№ вопр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Литература. *Описание процесса:* Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: Учеб. для техникумов. – М.: Химия, 1985г. (или 1991г). *Описание ГОСТа:* методические указания № 450.

Выбор приборов: Промышленные приборы и средства автоматизации: Справочник/ Под ред. В.В. Черенкова. – Л.: 1987г. Методические указания № 387, 571.

ВАРИАНТ № 1

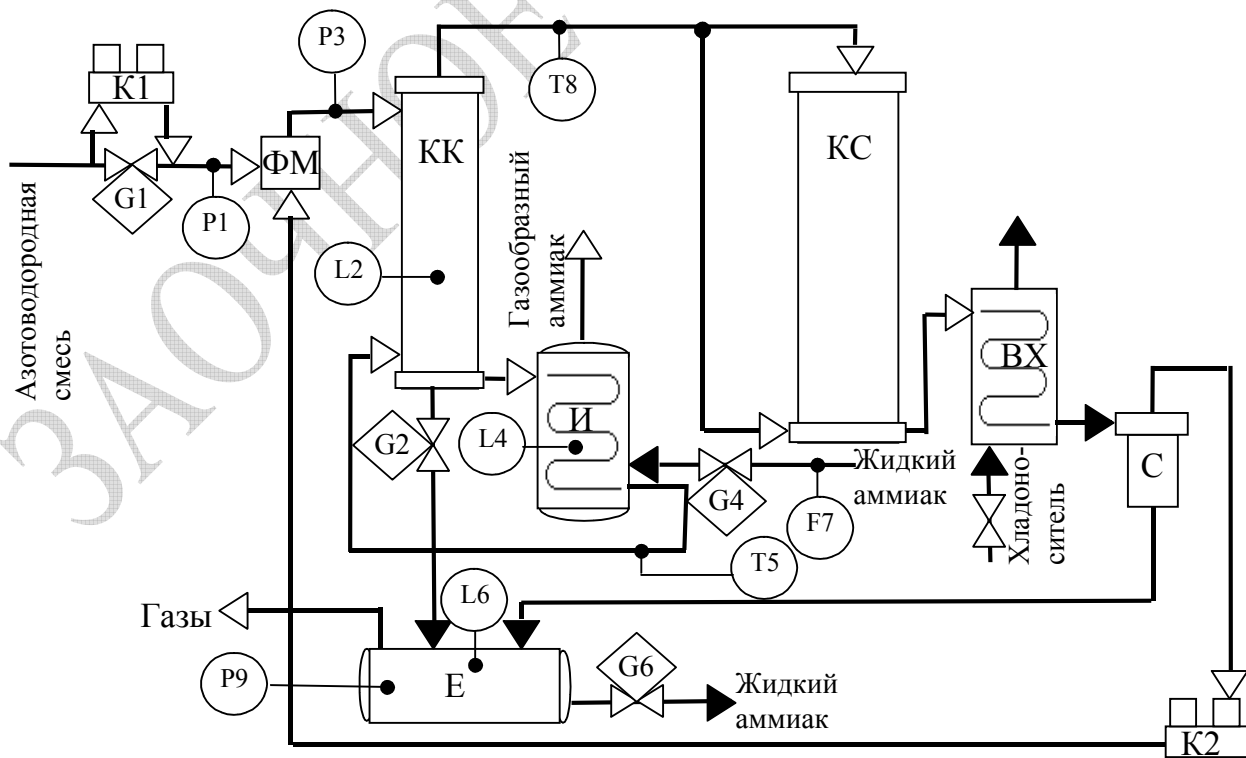
Описание процесса

Азотоводородная смесь нагнетается поршневым компрессором К1 до давления 25МПа и подается в масляный фильтр ФМ, который служит для очистки сжатого газа от смазочного масла. Там же производится очистка непрореагировавшей азотоводородной смеси из компрессора К2. После фильтра ФМ смесь подается в межтрубное пространство конденсационной колонны КК. Охлаждение и конденсация части аммиака, содержащегося в смеси, осуществляется встречным потоком холодного газа из аммиачного испарителя И. Сконденсировавшийся аммиак собирается в емкости Е, а азотоводородная смесь поступает на синтез в колонну КС. Синтез протекает в присутствии катализатора. Реакция образования аммиака обратима и идет с выделением тепла. Обычно реакцию проводят при температуре 380-450°C. Выход аммиака в этом случае составляет 12-18%.

Колонна синтеза КС состоит из катализаторной коробки и трубчатого теплообменника. Исходная азотоводородная смесь перед катализаторной коробкой нагревается в трубчатом теплообменнике (до температуры, необходимой для начала реакции) за счет тепла, выделившегося при синтезе смеси предыдущей порции. Часть исходной смеси может подаваться в нижнюю часть колонны минуя теплообменник, что позволяет осуществлять регулирование температуры.

Контактный газ после колонны синтеза КС поступает в водяной холодильник ВХ, где охлаждается до 30-35°C. При этом аммиак, содержащийся в газе, конденсируется. В сепараторе С производится отделение жидкого аммиака от непрореагировавшей азотоводородной смеси, которая направляется в линию всасывания циркуляционного компрессора К2, обеспечивающего компенсацию потерь давления в аппаратах КС, ВХ, С (25МПа) и возможность возврата смеси в ФМ. Жидкий аммиак отводится в емкость Е, где из него выделяются растворенные газы.

Технологическая схема



Состав технологической схемы: К1 и К2 – многоступенчатые поршневые компрессоры; ФМ – масляный фильтр; КК – конденсационная колонна; И – аммиачный ис-

паритель; КС – колонна синтеза; ВХ – водяной холодильник; С – сепаратор; Е – емкость.

Задание на разработку схемы автоматизации:

Схему выполнить по ГОСТ 21.404-85 в развернутом виде. Состав курсового проекта: чертеж, выполненный на формате А2 или А3, пояснительная записка и заказная спецификация (формат А4) на выбранные средства автоматизации указанного контура. Разработать схему в щитовом исполнении и с использованием микропроцессорной техники. Учесть, что станция управления и площадка установки синтеза разнесены более чем на 700 м.

1. Разработать контур стабилизации давления в линии нагнетания азотоводородной смеси компрессором К1, управляя давлением через изменение проходного сечения в байпасной линии компрессора ($G1 \Rightarrow P1$).
2. Разработать контур регулирования уровня в кубе колонны КК с коррекцией по давлению в линии подачи азотоводородной смеси в межтрубное пространство. В качестве регулирующего воздействия принять изменение расхода в линии слива сконденсировавшегося аммиака в емкость Е ($G2 \Rightarrow L2 \Leftarrow P3$). Корректор подключить на вход регулятора: $\Delta L2 = L2_{зд} - L2 - \Delta L2_{кор}(f(P3))$. В качестве корректора использовать пропорциональное звено ($\Delta L2_{кор} = K \cdot P3$). Для измерения уровня принять емкостной уровнемер.
3. Разработать контур каскадного регулирования температуры на выходе испарителя И с промежуточной координатой – уровень в испарителе И. В качестве регулирующего воздействия принять изменение расхода жидкого аммиака на входе в испаритель И ($G4 \Rightarrow L4 \Rightarrow T5$). $L4_{зд} = f(\Delta T5) = f(T5_{зд} - T5)$. Для измерения уровня использовать гидростатический уровнемер, а для измерения температуры – термосопротивление.
4. Разработать контур стабилизации уровня в емкости Е, регулируя уровень изменением расхода в линии слива жидкого аммиака ($G6 \Rightarrow L6$). Для измерения уровня принять акустический уровнемер.
5. Обеспечить контроль всех регулируемых параметров, а также:
 - ✓ расхода жидкого аммиака на входе в испаритель И (F7) с использованием в качестве датчика ультразвуковой расходомер;
 - ✓ температуры азотоводородной смеси на выходе из колонны КК (T8) с использованием в качестве датчика термосопротивления;
 - ✓ давления в емкости Е (P9) .
6. Предусмотреть световую сигнализацию отклонения следующих параметров:
 - ✓ падение давления в линии подачи азотоводородной смеси ($P1 < P1_{мин}$);
 - ✓ рост температуры на выходе испарителя И ($T5 > T5_{макс}$)/
7. Продублировать разработанную на локальных средствах автоматизации систему управлением с микропроцессорного контроллера (МПК) и рабочей станции.
8. Выполнить подбор приборов для реализации контура стабилизации давления на компрессоре К1 ($G1 \Rightarrow P1$) с учетом следующих условий: давление в линии должно составлять 25 МПа, параметры трубопровода $D_y = 50$ мм, $T = 35^\circ\text{C}$, среда неагрессивная.

ВАРИАНТ № 2 ПРОИЗВОДСТВО АММИАКА

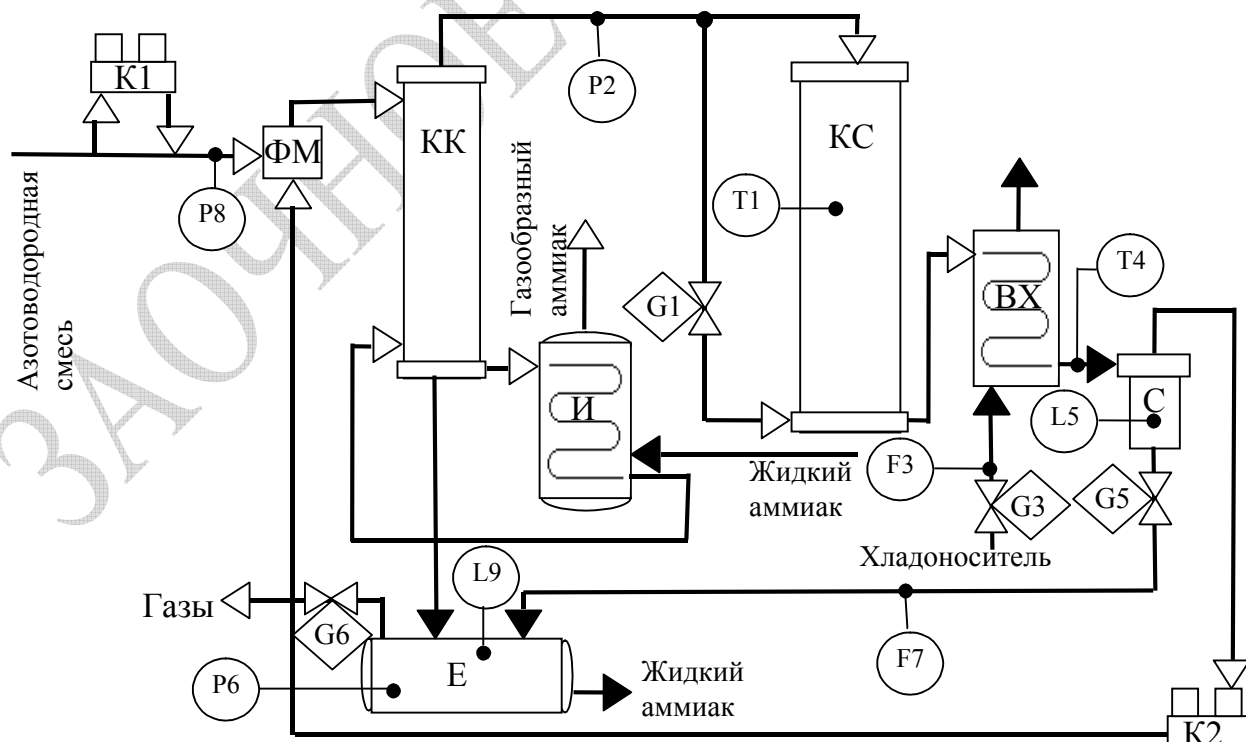
Описание процесса

Азотоводородная смесь нагнетается поршневым компрессором К1 до давления 25МПа и подается в масляный фильтр ФМ, который служит для очистки сжатого газа от смазочного масла. Там же производится очистка непрореагировавшей азотоводородной смеси из компрессора К2. После фильтра ФМ смесь подается в межтрубное пространство конденсационной колонны КК. Охлаждение и конденсация части аммиака, содержащегося в смеси, осуществляется встречным потоком холодного газа из аммиачного испарителя И. Сконденсировавшийся аммиак собирается в емкости Е, а азотоводородная смесь поступает на синтез в колонну КС. Синтез протекает в присутствии катализатора. Реакция образования аммиака обратима и идет с выделением тепла. Обычно реакцию проводят при температуре 380-450°C. Выход аммиака в этом случае составляет 12-18%.

Колонна синтеза КС состоит из катализаторной коробки и трубчатого теплообменника. Исходная азотоводородная смесь перед катализаторной коробкой нагревается в трубчатом теплообменнике (до температуры, необходимой для начала реакции) за счет тепла, выделившегося при синтезе смеси предыдущей порции. Часть исходной смеси может подаваться в нижнюю часть колонны минуя теплообменник, что позволяет осуществлять регулирование температуры.

Контактный газ после колонны синтеза КС поступает в водяной холодильник ВХ, где охлаждается до 30-35°C. При этом аммиак, содержащийся в газе, конденсируется. В сепараторе С производится отделение жидкого аммиака от непрореагировавшей азотоводородной смеси, которая направляется в линию всасывания циркуляционного компрессора К2, обеспечивающего компенсацию потерь давления в аппаратах КС, ВХ, С (25МПа) и возможность возврата смеси в ФМ. Жидкий аммиак отводится в емкость Е, где из него выделяются растворенные газы.

Технологическая схема



Состав технологической схемы: К1 и К2 – многоступенчатые поршневые компрессоры; ФМ – масляный фильтр; КК – конденсационная колонна; И – аммиачный испаритель.

паритель; КС – колонна синтеза; ВХ – водяной холодильник; С – сепаратор; Е – емкость.

Задание на разработку схемы автоматизации:

Схему выполнить по ГОСТ 21.404-85 в развернутом виде. Состав курсового проекта: чертеж, выполненный на формате А2 или А3, пояснительная записка и заказная спецификация (формат А4) на выбранные средства автоматизации указанного контура. Разработать схему в щитовом исполнении и с использованием микропроцессорной техники. Учесть, что станция управления и площадка установки синтеза разнесены более чем на 700 м.

1. Разработать контур регулирования температуры в колонне синтеза КС с коррекцией по давлению в линии подачи азотоводородной смеси в колонну синтеза КС. В качестве регулирующего воздействия принять изменение расхода подачи азотоводородной смеси в нижнюю часть колонны ($G1 \Rightarrow T1 \Leftarrow P2$). Корректор подключить на вход регулятора: $\Delta T1 = T1_{зд} - T1 - \Delta T1_{кор}(f(P2))$.
2. Разработать контур каскадного регулирования температуры (30-35°C) на выходе холодильника ВХ, с промежуточной координатой – расход хладагента. В качестве регулирующего воздействия принять изменение расхода хладагента ($G3 \Rightarrow F3 \Rightarrow T4$). $F3_{зд} = f(\Delta T4) = f(T4_{зд} - T4)$. Для измерения расхода использовать расходомер использовать датчик переменного перепада давлений.
3. Разработать контур стабилизации уровня в сепараторе С, регулируя уровень изменением расхода в линии слива аммиака в емкость Е ($G5 \Rightarrow L5$). Для измерения уровня использовать емкостной уровнемер.
4. Разработать контур стабилизации давления в емкости Е, регулируя его изменением расхода выделенных газов ($G6 \Rightarrow P6$).
5. Обеспечить контроль всех регулируемых параметров, а также:
 - ✓ расхода жидкого аммиака, поступающего в емкость Е из сепаратора С ($F7$) с использованием в качестве датчика расходомер ультразвуковой расходомер;
 - ✓ давления на линии подачи азотоводородной смеси в колонну КС ($P8$);
 - ✓ уровня в емкости Е ($L9$) с использованием в качестве датчика акустического уровнемера;
6. Предусмотреть световую сигнализацию отклонения следующих параметров:
 - ✓ падение давления в линии подачи азотоводородной смеси ($P8 < P8_{мин}$);
 - ✓ рост температуры в колонне КС ($T1 > T1_{макс}$);
 - ✓ выход из заданного диапазона значения уровня в сепараторе С ($L9_{мин} < L9 < L9_{макс}$).
7. Продублировать разработанную на локальных средствах автоматизации систему управлением с микропроцессорного контроллера (МПК) и рабочей станции.
8. Выполнить подбор приборов для реализации системы регулирования температуры с корректором ($G1 \Rightarrow T1 \Leftarrow P2$). В качестве корректора использовать пропорциональное звено ($\Delta T1_{кор} = K \cdot P2$). Учесть следующие условия: температура в точке измерения – 380-450°C, давление $P_y = 20$ МПа, параметры трубопровода, где устанавливается клапан: $D_y = 50$ мм, $T = 50^\circ\text{C}$; среда неагрессивная.

ВАРИАНТ № 3
ПРОИЗВОДСТВО ДИНИТРОНАФТАЛИНА

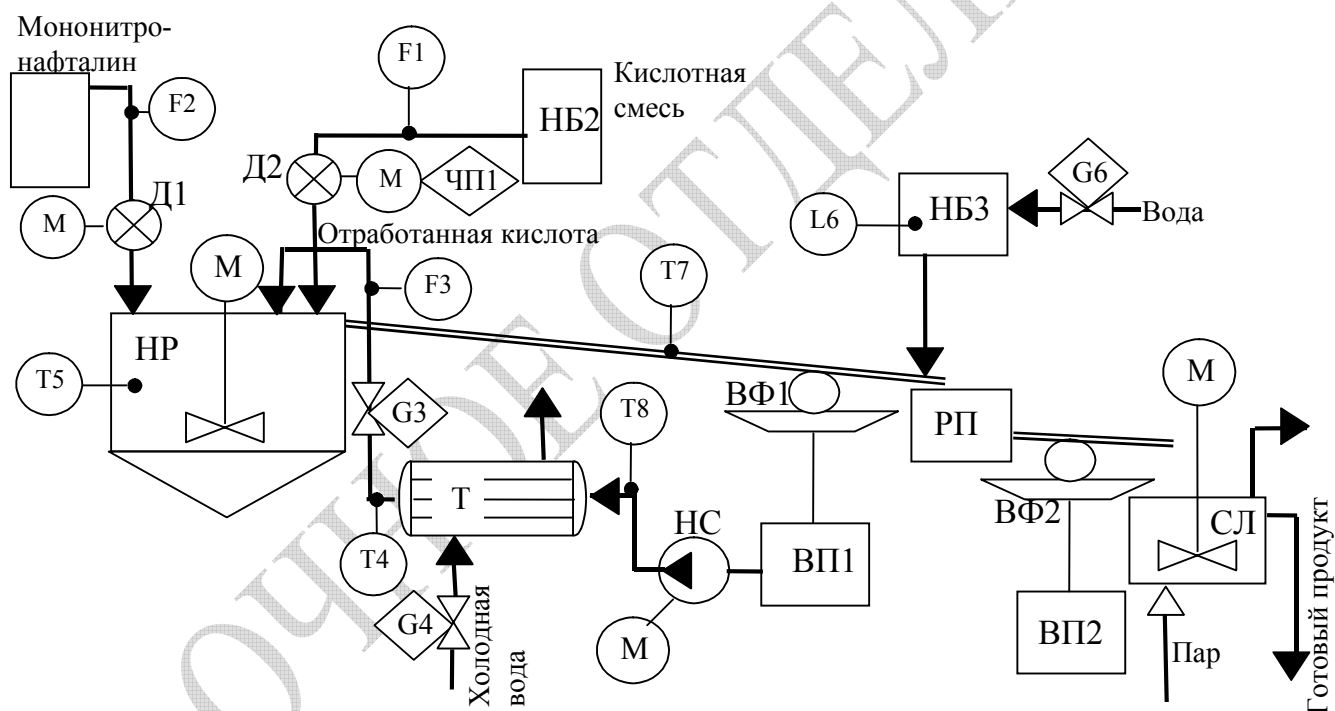
Описание процесса

В нитратор НР из напорных баков НБ1 и НБ2 непрерывно через диафрагмовые дозаторы подается моонитронафталин и кислотная смесь.

В нитраторе НР поддерживается температура 40°C. Охлаждение производится подачей в нитратор с помощью насоса НС предварительно охлажденной в теплообменнике Т отработанной кислоты. Из нитратора НР реакционная масса непрерывно поступает на барабанный вакуум-фильтр ВФ1, где производится отжим отработанной кислоты. Последняя поступает в вакуум-приемник отработанной кислоты ВП1. Продукт (динитронафталин) в вакуум-фильтре ВФ1 срезается ножом и попадает в репульпатор РП, где смешивается в водой, подаваемой из напорного бака НБ3.

Продукт в смеси с водой подается на вакуум-фильтр ВФ2. На нем производится отжим кислой воды, которая подается в приемник ВП2 и далее на регенерацию. Динитронафталин поступает в сушилку СЛ, где осуществляется его высушивание подачей пара.

Технологическая схема



Состав технологической схемы: НБ1, НБ2 и НБ3 – напорные баки; НР – нитратор; Т – теплообменник; НС – насос; ВФ1 и ВФ2 – вакуум-фильтры; ВП1 и ВП2 – вакуум-приемники; РП – репульпатор; СЛ – сушилка.

Задание на разработку схемы автоматизации:

Схему выполнить по ГОСТ 21.404-85 в развернутом виде. Состав курсового проекта: чертеж, выполненный на формате А2 или А3, пояснительная записка и заказная спецификация (формат А4) на выбранные средства автоматизации указанного контура. Разработать схему в щитовом исполнении и с использованием микропроцессорной техники. Учесть, что станция управления и площадка установки синтеза разнесены более чем на 800 м.

1. Разработать контур регулирования соотношения расходов моонитронафталина (890 кг/ч) и кислотной смеси (2900 кг/ч), подаваемых в нитратор НР, (15 м³/ч) путем изменения расхода кислотной смеси ($G1 \Rightarrow F1 \Leftarrow F2$). $F1 = \gamma F2$, где γ - коэффициент соотношения. Для измерения расхода моонитронафталина принять весовой расходомер, а для расхода кислотной смеси – электромагнитный расходомер. Изменение расхода кислотной смеси осуществляется дозатором с частотным приводом, имеющим следующие возможности: алгоритм плавно менять скорость вращения вала двигателя, средства ручного управления двигателем по месту установки привода, цифровая индикация текущих значений скорости, частоты вращения.
2. Разработать контур стабилизации расхода отработанной кислоты (20 кг/ч) в линии подачи в нитратор НР ($G3 \Rightarrow F3$). Для измерения расхода использовать электромагнитный расходомер.
3. Разработать контур каскадного регулирования температуры (40°C) в нитраторе НР, с промежуточной координатой – температура отработанной кислоты (20°C) на входе в нитратор НР. В качестве регулирующего воздействия принять изменение расхода хладагента (вода) ($G4 \Rightarrow T4 \Rightarrow T5$). $T4_{зд} = f(\Delta T5) = f(T5_{зд} - T5)$.
4. Разработать систему стабилизации уровня в баке НБЗ, путем измерения состояния электромагнитного клапана ($G6 \Rightarrow L6$). Использовать позиционный закон регулирования. Для измерения уровня принять буйковый уровнемер.
5. Обеспечить контроль всех регулируемых параметров, а также:
 - ✓ температуры динитронафталина (Т7), температура составляет 70°C;
 - ✓ температуры отработанной кислоты до теплообменника Т (Т8), температура составляет 45°C.
6. Предусмотреть световую сигнализацию отклонения следующих параметров:
 - a. рост температуры динитронафталина ($T7 > T7_{MAX}$);
 - b. выход из заданного диапазона значений расходов веществ, подаваемых в нитратор НР, ($F1_{MIN} < F1 < F1_{MAX}$, аналогично для F2 и F3).
7. Разработать схемы запуска/останова двигателей мешалок и насоса НС оператором, как по месту, так и со щита управления или с рабочей станции.
8. Продублировать разработанную на локальных средствах автоматизации систему управлением с микропроцессорного контроллера (МПК) и рабочей станции.
9. Выполнить подбор приборов для реализации контура каскадного регулирования температур ($G4 \Rightarrow T4 \Rightarrow T5$) с учетом следующих условий: заданные значения температур 20-40°C, параметры трубопровода: диаметр трубопровода $D_y = 25$ мм, давление $P_y = 0,1$ МПа.

ВАРИАНТ № 4

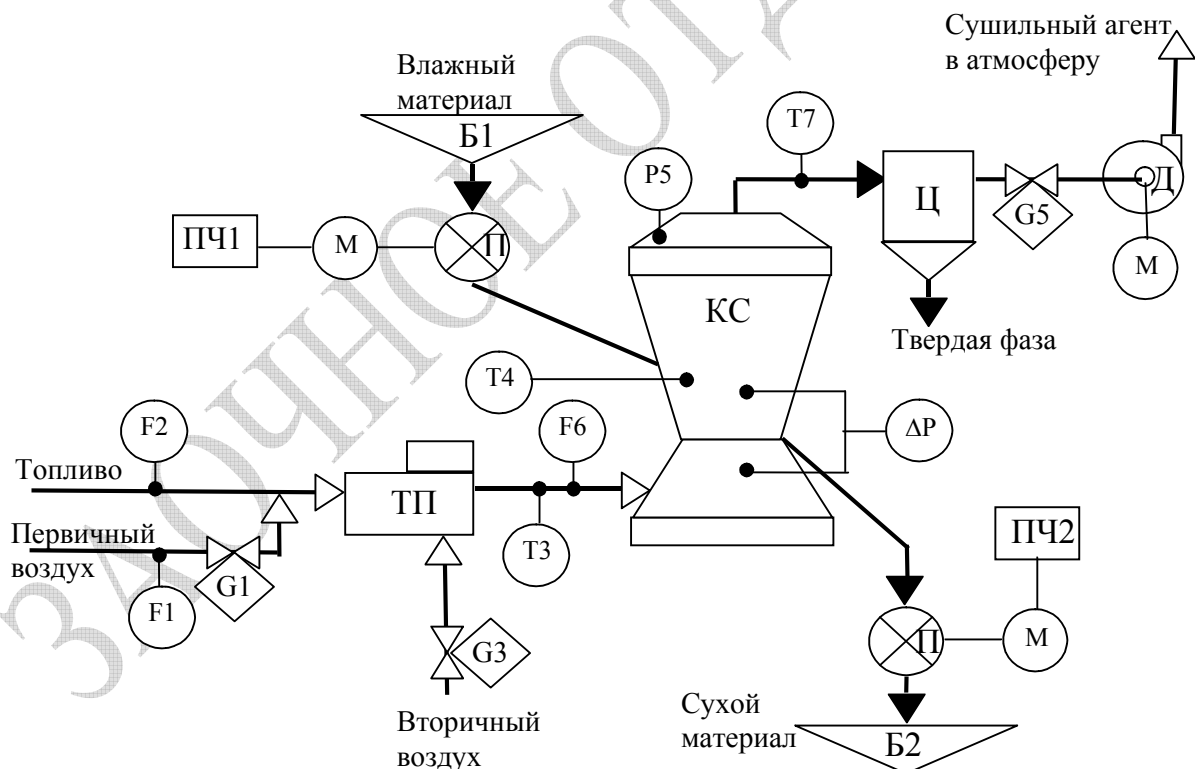
СУШКА В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Описание процесса

Сушильный агрегат состоит из двухкамерной сушилки кипящего слоя (КС), в нижнюю часть которой подается из топки ТП сушильный агент (топочный газ). Влажный материал поступает из промежуточного бункера Б1 в верхнюю половину сушилки КС и после сушки в псевдосжиженном состоянии поступает в бункер Б2. Отработанный сушильный агент из верхней части сушилки поступает в циклон Ц и после отделения твердой фазы сбрасывается дымососом Д в атмосферу. При автоматизации сушки в кипящем слое основным показателем процесса является температура кипящего слоя. Регулирующим воздействием при стабилизации температуры может быть изменение расхода влажного материала или сушильного агента или изменение температуры последнего. Более предпочтителен первый вариант, т.к. изменение параметров сушильного агента можно производить только в определенном, довольно узком диапазоне температур из-за терморазложения материала.

Нормальная работа сушилок КС возможна только при определенной высоте кипящего слоя. С целью поддержания заданного значения этого параметра стабилизируется гидродинамическое сопротивление слоя, т.е. перепад давлений до и после решетки посредством изменения скорости через преобразователь частоты (ПЧ) электродвигателя питателя сухого материала П. Кроме этих регуляторов предусматриваются типовые узлы регулирования начальной температуры сушильного агента, его расхода, соотношения расходов топлива и первичного воздуха.

Технологическая схема:



Состав технологической схемы: КС – сушилка кипящего слоя; Б1 и Б2 – бункеры влажного и сухого материалов соответственно; ТП – топка; ПЧ1 и ПЧ2 – частотные преобразователи; П – питатель; Ц – циклон; Д – дымосос.

Задание на разработку схемы автоматизации:

Схему выполнить по ГОСТ 21.404-85 в развернутом виде. Состав курсового проекта: чертеж, выполненный на формате A2 или A3, пояснительная записка и заказная спецификация (формат A4) на выбранные средства автоматизации указанного контура. Разработать схему в щитовом исполнении и с использованием микропроцессорной техники. Учесть, что станция управления и площадка установки синтеза разнесены более чем на 800 м.

1. Разработать контур регулирования соотношения расходов топлива ($5 \text{ м}^3/\text{ч}$) и первичного воздуха ($15 \text{ м}^3/\text{ч}$) путем изменения подачи расхода первичного воздуха ($G1 \Rightarrow F1 \Leftarrow F2$). $F1 = \gamma F2$, где γ - коэффициент соотношения.
2. Разработать контур стабилизации температуры (170°C) сушильного агента, путем изменения расхода вторичного воздуха ($20 \text{ м}^3/\text{ч}$, $D_y = 150 \text{ мм}$) ($G3 \Rightarrow T3$).
3. Разработать контур стабилизации температуры (90°C) в кипящем слое путем изменения расхода влажного материала. Подача материала осуществляется питателем, скорость вращения которого изменяется посредством частотного преобразователя, воспринимающего унифицированный аналоговый электрический сигнал ($ПЧ1 \Rightarrow T4$).
4. Разработать контур стабилизации перепада давлений ($0,05 \text{ МПа}$) на решетке сушилки путем изменения расхода сухого материала. Аналогично подаче влажного материала здесь также используется питатель с возможностью дистанционного изменения скорости вращения ($ПЧ2 \Rightarrow \Delta P$).
5. Обеспечить требуемое разряжение ($-0,1 \text{ МПа}$) в верхней части сушилки, перекрывая линию дымососа ($G5 \Rightarrow P5$).
6. Обеспечить контроль всех регулируемых параметров, а также:
 - ✓ расхода сушильного агента ($F6 = 22 \text{ м}^3/\text{ч}$) с использованием в качестве датчика расходомер переменного перепада давлений;
 - ✓ температуры отработанного сушильного агента ($T7 = 15^\circ\text{C}$).
7. Предусмотреть световую сигнализацию отклонения следующих параметров:
 - ✓ выход из заданного диапазона значения температуры кипящего слоя ($T4_{\text{MIN}} < T4 < T4_{\text{MAX}}$);
 - ✓ рост перепада давлений на решетке сушилки ($\Delta P > \Delta P_{\text{MAX}}$).
8. Разработать схему запуска/останова двигателя дымососа Д оператором, как по месту, так и со щита управления или с рабочей станции.
9. Продублировать разработанную на локальных средствах автоматизации систему управлением с микропроцессорного контроллера (МПК) и рабочей станции.
10. Выполнить подбор приборов для реализации контура регулирования соотношения расходов ($G1 \Rightarrow F1 \Leftarrow F2$) с учетом следующих условий: расход топлива $5 \text{ м}^3/\text{ч}$, расход первичного воздуха $15 \text{ м}^3/\text{ч}$, параметры трубопровода линии подачи первичного воздуха $D_y = 100 \text{ мм}$, $T = 18^\circ\text{C}$, $P_y = 0,7 \text{ МПа}$; среда неагрессивная.

Описание процесса

В результате реакции полимеризации получается полипропилен. Основным показателем качества продукта является средняя молекулярная масса, определяющая механические и физические свойства получаемого продукта. Молекулярная масса полимера определяется расходом специальной добавки – регулятора молекулярной массы (водород). Для отвода теплоты реакции в рубашку реактора подают хладоноситель.

Полученная суспензия полимера с непрореагировавшим мономером через подогреватель Т поступает в испарительную камеру ИК. В последней происходит выделение из жидкости растворенного мономера и испарение части растворителя. Суспензия полимера отводится из нижней части ИК и подается на выделение растворителя, а парогазовая смесь охлаждается в холодильнике Х и поступает в сепаратор С. Конденсат растворителя из сепаратора С возвращается в испарительную камеру ИК, а газовая фаза, состоящая в основном из мономера, направляется на очистку. В дальнейшем мономер вновь возвращается в реактор РП.

The diagram illustrates a polymerization process with a recirculation loop. The main components and flow are as follows:

- Inputs:** Водород (Hydrogen), Катализатор (Catalyst), Растворитель (Solvent), and Мономер (Monomer) enter the reactor (РП) from the left.
- Reactor (РП):** A vertical cylindrical reactor with an internal stirrer (M) and a dashed line indicating a central zone. It has pressure (P5) and temperature (T7) measurement points.
- Intermediate Unit (Т):** A vertical cylindrical unit receiving output from the reactor. It has a steam (Пар) input (G1) and a feed (F1). It has a temperature measurement point (T2).
- Heat Exchanger (ИК):** A vertical cylindrical unit receiving output from unit Т. It has a temperature measurement point (T6) and a liquid level measurement point (L3).
- Heat Recovery Loop:**
 - Output from the ИК unit goes through valve G3 to the "Суспензия полимер" (Polymer suspension) outlet.
 - The suspension is pumped back to the ИК unit through valve G4.
 - The ИК unit also feeds into a heat exchanger (Х).
 - The heat exchanger (Х) has a temperature measurement point (F8) and a "Хладоноситель" (Coolant) input (G6).
 - Output from the heat exchanger (Х) goes through valve G9 back to the reactor (РП).
- Control and Monitoring:** Various points are labeled with circles: P5, M, T7, T2, L3, P4, T6, and F8.

Мономер на регенерацию и возврат в рецикл

Состав технологической схемы: РП – реактор-полимеризатор; Т – подогреватель; ИК – испарительная камера; Х – холодильник; С – сепаратор.

Задание на разработку схемы автоматизации:

Схему выполнить по ГОСТ 21.404-85 в развернутом виде. Состав курсового проекта: чертеж, выполненный на формате А2 или А3, пояснительная записка и заказная спецификация (формат А4) на выбранные средства автоматизации указанного контура. Разработать схему в щитовом исполнении и с использованием микропроцессорной техники. Учесть, что станция управления и площадка установки синтеза разнесены более чем на 900 м, процесс – взрывопожароопасный.

1. Разработать контур каскадного регулирования температуры после подогревателя Т, с промежуточной координатой – расход пара. В качестве регулирующего воздействия принять расход пара ($G1 \Rightarrow F1 \Rightarrow T2$). $F1_{зд} = f(\Delta T2) = f(T2_{зд} - T2)$. Для измерения температуры использовать термосопротивление.
2. Разработать контур стабилизации уровня в испарительной камере ИК путем изменения количества отбираемого полимера ($G3 \Rightarrow L3$). В качестве датчика уровня использовать емкостной уровнемер.
3. Разработать контур регулирования давления в испарительной камере ИК с коррекцией по давлению в реакторе РП ($G4 \Rightarrow P4 \Leftarrow P5$). Регулирующее воздействие – расход выведенной парогазовой фазы. Корректор подключить на вход регулятора: $\Delta P4 = P4_{зд} - P4 - \Delta P4_{КОР}(f(P5))$. В качестве корректора использовать пропорциональное звено ($\Delta P4_{КОР} = K \cdot P5$).
4. Разработать контур стабилизации температуры после холодильника Х путем изменения подачи хладагента ($G6 \Rightarrow T6$). В качестве датчика температуры использовать термосопротивление.
5. Обеспечить контроль всех регулируемых параметров, а также:
 - ✓ температуры в реакторе РП (Т7) с использованием в качестве датчика температуры термопары;
 - ✓ расхода непрореагировавшего мономера на выходе из сепаратора С (F8) с использованием расходомера переменного перепада давлений.
6. Предусмотреть световую сигнализацию отклонения следующих параметров:
 - ✓ выход из заданного диапазона значения температуры в реакторе РП ($T7_{MIN} < T7 < T7_{MAX}$);
 - ✓ превышение давления в реакторе ($P5 > P5_{MAX}$) порогового значения;
 - ✓ превышение уровня в кубе ИК ($L3 > L3_{MAX}$) порогового значения.
7. Разработать схему защиты для нештатной ситуации - рост температуры (Т7) в реакторе РП выше критического значения. В этом случае необходимо открыть запорный клапан на линии подачи хладагента в рубашку реактора (G9).
8. Разработать схему запуска/останова двигателя мешалки реактора РП оператором, как по месту, так и со щита управления или с рабочей станции.
9. Продублировать разработанную на локальных средствах автоматизации систему управлением с микропроцессорного контроллера (МПК) и рабочей станции.
10. Выполнить подбор приборов для реализации контура регулирования давления в испарительной камере ИК с коррекцией по давлению в реакторе ($G4 \Rightarrow P4 \Leftarrow P5$) с учетом следующих условий: давление в камере - 2,5 МПа, давление в реакторе – 12 МПа, параметры трубопровода $D_y = 50$ мм, $P_y = 0,2$ МПа.

ВАРИАНТ № 6

ПЕРЕРАБОТКА СЕРОВОДОРОДА В СЕРУ

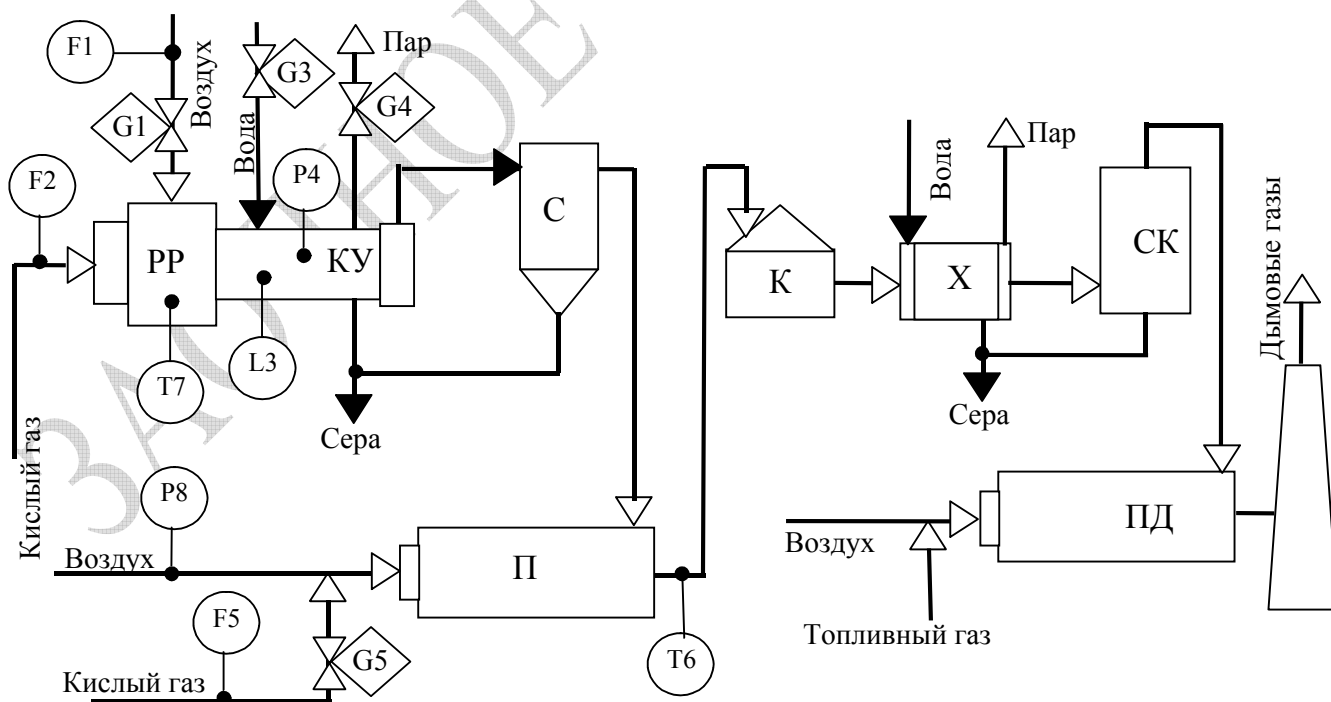
Описание процесса

Газ, полученный в процессе моноэтанольной очистки газов от сероводорода и содержащий до 95% сероводорода (кислый газ), подается на переработку с целью получения элементарной серы. Переработка производится в несколько этапов. Первоначально кислый газ (примерно 87% от общего количества) в смеси с атмосферным воздухом подают в топку реактора-регенератора РР на высокотемпературное пламенное сжигание (1500°C).

Большая часть сероводорода (примерно 65%) превращается в реакторе РР в серу, которая выводится из газового потока в результате охлаждения его до 155°C и конденсации образовавшихся паров в котле-утилизаторе КУ. В сепараторе С происходит сепарация капель серы, унесенных газовым потоком. После котла-утилизатора КУ газы вновь нагреваются до 265°C в подогревателе П при смешении их с продуктами сжигания кислого газа, образовавшегося в топке подогревателя П. Нагретые газы поступают в конвертор К, где в присутствии катализатора проводится конверсия сероводорода и диоксида серы в серу. В холодильнике Х газы охлаждаются, при этом конденсируются пары серы. В сепараторе СК происходит сепарация капель серы, унесенных газовым потоком. После сепаратора СК газы направляются в печь дожигания ПД, где при температуре 600°C происходит дожигание остатков сероводорода и серы в избытке кислорода воздуха до сернистого ангидрида. После печи ПД газы через дымовую трубу ДТ сбрасываются в атмосферу.

После каталитической конверсии газ направляется в сероулавливающую башню, представляющую собой скруббер СК со слоем насадки из керамических колец, где происходит отделение от газа захваченных капель серы. После скруббера СК в газе остаются непрореагировавшие сернистые соединения, а также же не уловленные частицы серы, поэтому он направляется в печь дожигания ПД. Здесь при температуре 600°C происходит дожигание остатков сероводорода и серы в избытке кислорода воздуха до сернистого ангидрида. После печи ПД газы через дымовую трубу ДТ сбрасываются в атмосферу.

Технологическая схема



Состав технологической схемы: РР – реактор-регенератор; КУ – котел-утилизатор; С – сепаратор; П – подогреватель; ПД – печь дожигания; К – конвертор; Х – холодильник; СК – скруббер; ДТ – дымовая труба.

Задание на разработку схемы автоматизации:

Схему выполнить по ГОСТ 21.404-85 в развернутом виде. Состав курсового проекта: чертеж, выполненный на формате А2 или А3, пояснительная записка и заказная спецификация (формат А4) на выбранные средства автоматизации указанного контура.

Разработать схему в щитовом исполнении и с использованием микропроцессорной техники. Учесть, что станция управления и площадка установки синтеза разнесены более чем на 900 м, процесс – взрывопожароопасный.

1. Разработать контур регулирования соотношения расходов воздуха и кислого газа, поступающих в реактор-регенератор РР путем изменения подачи расхода воздуха ($G1 \Rightarrow F1 \Leftarrow F2$). $F1 = \gamma F2$, где γ - коэффициент соотношения.
2. Разработать контур стабилизации уровня в котле утилизаторе КУ путем изменения расхода воды, подаваемой в котел-утилизатор КУ ($G3 \Rightarrow L3$). В качестве датчика уровня использовать емкостной уровнемер.
3. Разработать контур стабилизации давления в котле утилизаторе КУ путем изменения расхода пара из КУ ($G4 \Rightarrow P4$).
4. Разработать контур каскадного регулирования температуры газа (265°C) после подогревателя П, с промежуточной координатой – расход кислого газа. В качестве регулирующего воздействия принять расход кислого газа ($G5 \Rightarrow F5 \Rightarrow T6$). $F5_{\text{зд}} = f(\Delta T6) = f(T6_{\text{зд}} - T6)$. Для измерения расхода принять расходомер переменного перепада давлений.
5. Обеспечить контроль всех регулируемых параметров, а также:
 - ✓ температуры в реакторе-регенераторе РР ($T7 = 1500^\circ\text{C}$);
 - ✓ давления воздуха на входе в подогреватель П ($P8$).
6. Предусмотреть световую сигнализацию отклонения следующих параметров:
 - ✓ превышение давления в КУ ($P4 > P4_{\text{MAX}}$);
 - ✓ снижение температуры газа после подогревателя П ($T6 < T6_{\text{MIN}}$);
 - ✓ снижение температуры в реакторе РР ($T7 < T7_{\text{MIN}}$).
7. Продублировать разработанную на локальных средствах автоматизации систему управлением с микропроцессорного контроллера (МПК) и рабочей станции.
8. Выполнить подбор приборов для реализации контура регулирования соотношения расходов ($G1 \Rightarrow F1 \Leftarrow F2$) с учетом следующих условий: расход воздуха $5 \text{ м}^3/\text{ч}$, расход кислого газ $15 \text{ м}^3/\text{ч}$, параметры трубопровода линии подачи первичного воздуха $D_y = 100 \text{ мм}$, $T = 20^\circ\text{C}$, $P_y = 0,6 \text{ МПа}$, среда неагрессивная.

ВАРИАНТ № 7

ПЕРЕРАБОТКА СЕРОВОДОРОДА В СЕРУ

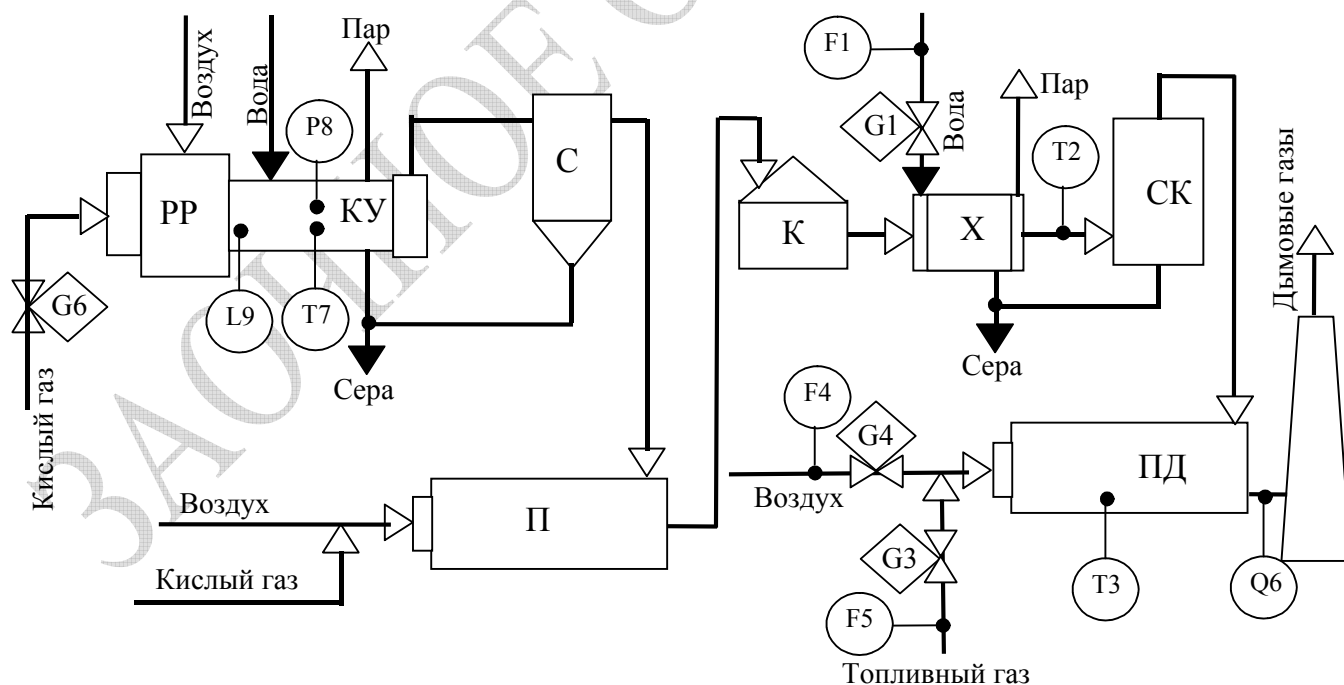
Описание процесса

Газ, полученный в процессе моноэтанольной очистки газов от сероводорода и содержащий до 95% сероводорода (кислый газ), подается на переработку с целью получения элементарной серы. Переработка производится в несколько этапов. Первоначально кислый газ (примерно 87% от общего количества) в смеси с атмосферным воздухом подают в топку реактора-регенератора РР на высокотемпературное пламенное сжигание (1500°C).

Большая часть сероводорода (примерно 65%) превращается в реакторе РР в серу, которая выводится из газового потока в результате охлаждения его до 155°C и конденсации образовавшихся паров в котле-утилизаторе КУ. В сепараторе С происходит сепарация капель серы, унесенных газовым потоком. После котла-утилизатора КУ газы вновь нагреваются до 265°C в подогревателе П при смешении их с продуктами сжигания кислого газа, образовавшегося в топке подогревателя П. Нагретые газы поступают в конвертор К, где в присутствии катализатора проводится конверсия сероводорода и диоксида серы в серу. В холодильнике Х газы охлаждаются, при этом конденсируются пары серы.

После каталитической конверсии газ направляется в сероулавливающую башню, представляющую собой скруббер СК со слоем насадки из керамических колец, где происходит отделение от газа захваченных капель серы. После скруббера СК в газе остаются непрореагировавшие сернистые соединения, а также же не уловленные частицы серы, поэтому он направляется в печь дожигания ПД. Здесь при температуре 600°C происходит дожигание остатков сероводорода и серы в избытке кислорода воздуха до сернистого ангидрида. После печи ПД газы через дымовую трубу ДТ сбрасываются в атмосферу.

Технологическая схема



Состав технологической схемы: РР – реактор-регенератор; КУ – котел-утилизатор; С – сепаратор; П – подогреватель; ПД – печь дожигания; К – конвертор; Х – холодильник; СК – скруббер; ДТ – дымовая труба.

Задание на разработку схемы автоматизации:

Схему выполнить по ГОСТ 21.404-85 в развернутом виде. Состав курсового проекта: чертеж, выполненный на формате А2 или А3, пояснительная записка и заказная спецификация (формат А4) на выбранные средства автоматизации указанного контура. Разработать схему в щитовом исполнении и с использованием микропроцессорной техники. Учесть, что станция управления и площадка установки синтеза разнесены более чем на 800 м, процесс – взрывопожароопасный.

1. Разработать контур каскадного регулирования температуры газа после холодильника Х (80°C), с промежуточной координатой – расход воды. В качестве регулирующего воздействия принять расход воды ($G1 \Rightarrow F1 \Rightarrow T2$). $F1_{\text{зд}} = f(\Delta T2) = f(T2_{\text{зд}} - T2)$. Для измерения расхода принять расходомер переменного перепада давлений.
2. Разработать контур стабилизации температуры в печи дожигания ПД (600°C) путем изменения расхода топливного газа ($G3 \Rightarrow T3$).
3. Разработать контур регулирования соотношения расходов воздуха и топливного газа, подаваемых в печь дожигания ПД путем изменения подачи расхода воздуха ($G4 \Rightarrow F4 \Leftarrow F5$). $F4 = \gamma F5$, где γ - коэффициент соотношения.
4. Разработать контур регулирования концентрации оксида серы SO_2 (1,7%) после печи дожигания ПД с коррекцией по температуре в котле-утилизаторе КУ ($G6 \Rightarrow Q6 \Leftarrow T7$). Регулирующее воздействие – расход кислого газа, подаваемого в реактор-регенератор РР. Корректор подключить на вход объекта: $\Delta G6 = f_{\text{рег}}(Q6_{\text{зд}} - Q6) + f_{\text{кор}}(T7)$. В качестве корректора использовать пропорциональное звено ($f_{\text{кор}}(T7) = K \cdot T7$). Для измерения рекомендуется использовать термокондуктометрического газоанализатора с электрическим унифицированным выходным сигналом.
5. Обеспечить контроль всех регулируемых параметров, а также:
 - ✓ давления в котле-утилизаторе КУ ($P8 = \text{МПа}$);
 - ✓ уровня в КУ ($L9$) с использованием в качестве датчика уровня емкостного уровнемера.
6. Предусмотреть световую сигнализацию отклонения следующих параметров:
 - ✓ превышения температуры в ПД ($T3 > T3_{\text{MAX}}$);
 - ✓ превышение давления в КУ ($P8 > P8_{\text{MAX}}$);
 - ✓ превышение уровня в КУ ($L9 > L9_{\text{MAX}}$).
7. Продублировать разработанную на локальных средствах автоматизации систему управлением с микропроцессорного контроллера (МПК) и рабочей станции.
8. Выполнить подбор приборов для реализации контура регулирования соотношения расходов ($G4 \Rightarrow F4 \Leftarrow F5$) с учетом следующих условий: расход воздуха $5 \text{ м}^3/\text{ч}$, расход кислого газ $15 \text{ м}^3/\text{ч}$, параметры трубопровода линии подачи первичного воздуха $D_y = 100 \text{ мм}$, $T = 20^{\circ}\text{C}$, $P_y = 0,65 \text{ МПа}$, среда неагрессивная.

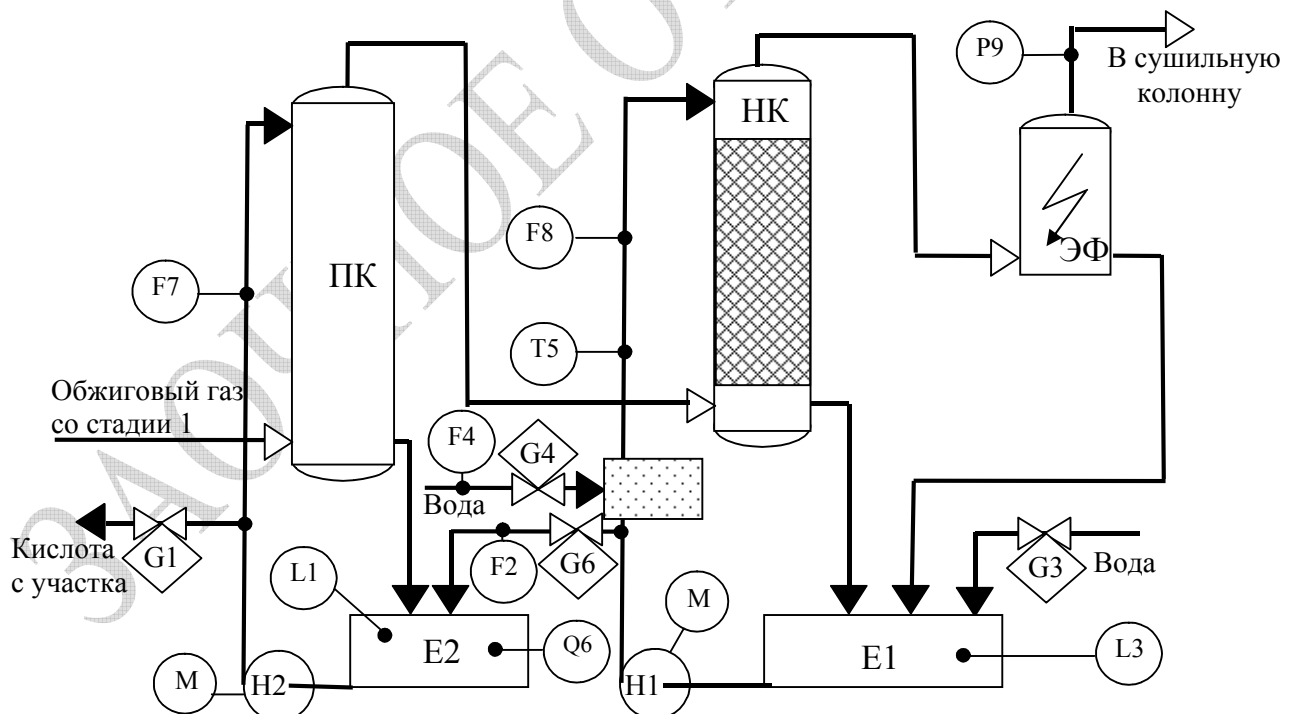
ВАРИАНТ № 8
ПРОИЗВОДСТВО СЕРНОЙ КИСЛОТЫ (СТАДИЯ 2)

Описание процесса

В промывном отделении обжиговый газ подвергается тонкой очистке от примесей, являющихся ядами для катализатора, и от оставшейся в газе огарковой пыли.

Первоначально обжиговой газ промывается и охлаждается серной кислотой концентрацией 40-50% в промывной колонне ПК распылительного типа. Затем промывка осуществляется в насадочной колонне НК кислотой меньшей концентрации (5-20%), отбираемой из емкости E1 и охлажденной в холодильнике X. Обе абсорбционные колонны работают в замкнутом цикле по кислоте, поэтому концентрация кислоты постепенно повышается за счет испарения части воды и частичного улавливания сернистого ангидрида. Для поддержания постоянной концентрации кислоты в емкости E2 в нее подается менее концентрированная кислота и емкости E1, а в последнюю поступает вода. Пропорционально вновь вводимой воде из системы выводится кислота, которая после доведения ее концентрации до 93% отправляется потребителям как товарный продукт. Вместе с кислотой из промывной системы выводятся примеси. При охлаждении газа в колоннах ПК и НК содержащийся в обжиговом газе серный ангидрид, соединения мышьяка и селена частично переходят в туманообразное состояние. Появившийся туман улавливается в мокром электрофилтре ЭФ.

Технологическая схема



Состав технологической схемы: ПК – промывная колонна; НК – насадочная колонна; E1 и E2 – емкости; ЭФ – электрофилтр; H1 и H2 – насосы.

Задание на разработку схемы автоматизации:

Схему выполнить по ГОСТ 21.404-85 в развернутом виде. Состав курсового проекта: чертеж, выполненный на формате А2 или А3, пояснительная записка и заказная спецификация (формат А4) на выбранные средства автоматизации указанного контура.

Разработать схему в щитовом исполнении и с использованием микропроцессорной техники. Учесть, что станция управления и площадка установки синтеза разнесены более чем на 800 м.

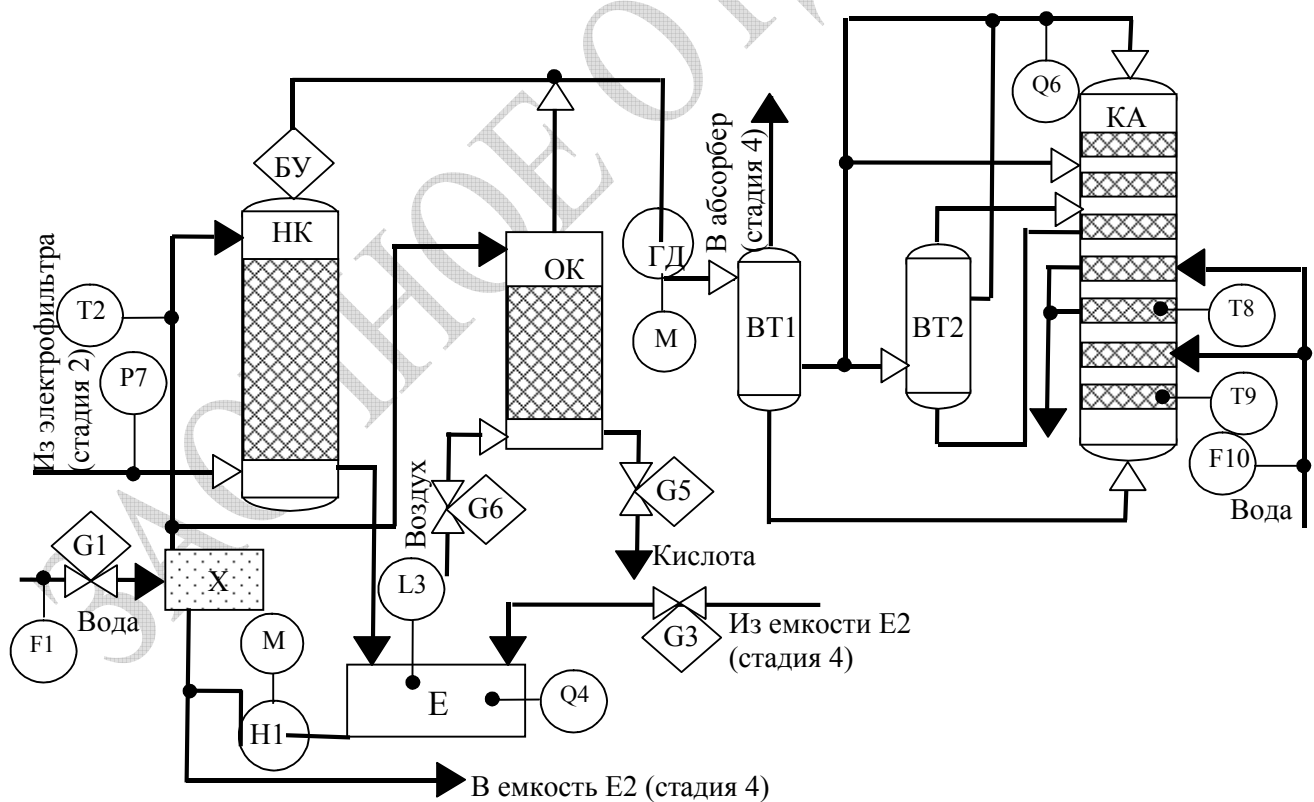
1. Разработать контур регулирования уровня в емкости Е2 с коррекцией по расходу кислоты из емкости Е1 ($G1 \Rightarrow L1 \Leftarrow F2$). Регулирующее воздействие – расход выводимой из схемы кислоты. Корректор подключить на вход регулятора: $\Delta L1 = L1_{зд} - L1 - \Delta L1_{кор}(f(F2))$. В качестве корректора использовать пропорциональное звено ($\Delta L1_{кор} = K * F2$). Для измерения уровня использовать акустический уровнемер, а для расход – электромагнитный расходомер.
2. Разработать контур стабилизации уровня (2м) в емкости Е1 путем изменения расхода подаваемой воды ($G3 \Rightarrow L3$).
3. Разработать контур каскадного регулирования температуры в трубопроводе подачи смеси в верхнюю часть колонны НК, с промежуточной координатой – расход воды. В качестве регулирующего воздействия принять расход воды ($G4 \Rightarrow F4 \Rightarrow T5$). $F4_{зд} = f(\Delta T5) = f(T5_{зд} - T5)$. Для измерения расхода принять расходомер переменного перепада давлений, а для температуры – термосопротивление.
4. Разработать контур регулирования концентрации серной кислоты (80%) в емкости Е2 путем изменения количества подаваемого в нее кислоты из емкости Е1 ($G6 \Rightarrow Q6$). Для измерения концентрации использовать рН-метр.
5. Обеспечить контроль всех регулируемых параметров, а также:
 - ✓ расходов в линиях подачи смеси в ПК и НК колонны (F7 и F8) с использованием электромагнитных расходомеров;
 - ✓ давления газа после ЭФ (P9).
6. Предусмотреть световую сигнализацию отклонения следующих параметров:
 - ✓ снижение концентрации в емкости Е2 ($Q6 < Q6_{MIN}$);
 - ✓ повышение температуры на входе в колонну НК ($T5 > T5_{MAX}$).
7. Разработать схемы запуска/останова двигателей насосов Н1 и Н2 оператором, как по месту, так и со щита управления или с рабочей станции.
8. Продублировать разработанную на локальных средствах автоматизации систему управлением с микропроцессорного контроллера (МПК) и рабочей станции.
9. Выполнить подбор приборов для реализации контура регулирования уровня в емкости Е1 ($G2 \Rightarrow L2$) с учетом следующих условий: уровень 2 м, параметры трубопровода $D_y = 50$ мм, $T = 25^\circ\text{C}$, $P_y = 0,5\text{МПа}$.

ВАРИАНТ № 9
ПРОИЗВОДСТВО СЕРНОЙ КИСЛОТЫ (СТАДИЯ 3)

Описание процесса

Газ с примесями поступает из электрофилтра стадии 2. Пары воды, содержащейся в газе, улавливаются в сушильной насадочной колонне НК, орошаемой циркулирующей концентрированной серной кислотой (93-95%). Кислота отбирается из емкости Е, охлаждается в холодильнике Х и распыляется в верхней части колонны. Из куба колонны кислота, разбавленная поглощенными парами воды, возвращается в емкость Е. Для поддержания постоянства концентрации часть разбавленной кислоты заменяется более концентрированной, отбираемой из емкости Е2 (стадия 4). Материальный баланс при этом поддерживается путем пропорционального отбора кислоты с участка в виде конечного продукта. В верхней части сушильной колонны устанавливается брызгоуловитель БУ для сепарации капель жидкости, унесенных газовым потоком. Из сушильной колонны газ, разбавленный до определенной концентрации сернистого ангидрида ($7,5 \pm 0,2\%$) в отдувочной колонне ОК, отбирается газодувкой ГД и подается на участок окисления сернистого ангидрида в серный. Окисление проводится на пяти слоях катализатора в контактном аппарате КА при различных температурах слоев. Между слоями катализатора устанавливают теплообменники для отвода теплоты реакции и охлаждения газа до оптимальной температуры. Для нагревания газа перед первым слоем применяют выносные теплообменники ВТ1 и ВТ2, теплоносителем в которых являются газы окисления после второго и последнего слоев катализатора. Концентрация сернистого ангидрида после контактного аппарата не должна превышать 0,15-0,17%, что соответствует максимальной степени концентрирования $98 \pm 0,2\%$.

Технологическая схема



Состав технологической схемы: НК – насадочная колонна; БУ – брызгоуловитель; Е – емкость; ОК – отдувочная колонна; ВТ1 и ВТ2 – выносные теплообменники; Н – насос; КА – контактный аппарат; ГД – газодувка.

Задание на разработку схемы автоматизации:

Схему выполнить по ГОСТ 21.404-85 в развернутом виде. Состав курсового проекта: чертеж, выполненный на формате А2 или А3, пояснительная записка и заказная спецификация (формат А4) на выбранные средства автоматизации указанного контура. Разработать схему в щитовом исполнении и с использованием микропроцессорной техники. Учесть, что станция управления и площадка установки синтеза разнесены более чем на 800 м.

1. Разработать контур каскадного регулирования температуры (20°C) в трубопроводе подачи циркулирующей кислоты в верхнюю часть НК, с промежуточной координатой – расход воды. В качестве регулирующего воздействия принять расход воды ($G1 \Rightarrow F1 \Rightarrow T2$). $F1_{зд} = f(\Delta T2) = f(T2_{зд} - T2)$.
2. Разработать контур регулирования уровня в емкости Е с коррекцией по концентрации серной кислоты (94%) ($G3 \Rightarrow L3 \Leftarrow Q4$). Регулирующее воздействие – расход потока из емкости Е2 (стадия 4). Корректор подключить на вход регулятора: $\Delta L3 = L3_{зд} - L3 - \Delta L3_{кор}(f(Q4))$. В качестве корректора использовать пропорциональное звено ($\Delta L3_{кор} = K \cdot Q4$). Для измерения уровня использовать акустический уровнемер, а для концентрации – рН-метр.
3. Разработать систему вывода из схемы лишнего количества кислоты. Для этого устанавливается верхняя граница уровня в емкости Е и отбор кислоты осуществляется при измерения состояния электромагнитного клапана ($G5 \Rightarrow L3$). Использовать 3-х позиционный закон регулирования.
4. Разработать контур регулирования концентрации сернистого ангидрида (7%) в линии подачи подготовленного газа на первую ступень окисления аппарата КА посредством изменения количества подаваемого в ОК воздуха ($G6 \Rightarrow Q6$). Для измерения концентрации использовать газовый хроматограф.
5. Обеспечить контроль всех регулируемых параметров, а также:
 - ✓ давления газа в трубопроводе подачи в НК (P7);
 - ✓ температур на 4 и 5 ступенях окисления в КА ($T8 = 432^{\circ}\text{C}$ и $T9 = 428^{\circ}\text{C}$);
 - ✓ расхода в линии подачи воды в КА (F10).
6. Предусмотреть световую сигнализацию отклонения следующих параметров:
 - ✓ отклонение от нормального диапазона температур зон КА ($T8_{\min} < T8 < T8_{\max}$, $T9_{\min} < T9 < T9_{\max}$).
7. Разработать схемы запуска/останова двигателей насоса Н и газодувки ГД оператором, как по месту, так и со щита управления или с рабочей станции.
8. Продублировать разработанную на локальных средствах автоматизации систему управлением с микропроцессорного контроллера (МПК) и рабочей станции.
9. Выполнить подбор приборов для реализации контура каскадного регулирования температуры в верхней части НК ($G1 \Rightarrow F1 \Rightarrow T2$) с учетом следующих условий: температура - 20°C , расход воды $30 \text{ м}^3/\text{ч}$, параметры трубопровода $D_y = 60 \text{ мм}$, $T = 18^{\circ}\text{C}$, $P_y = 0,4 \text{ МПа}$.

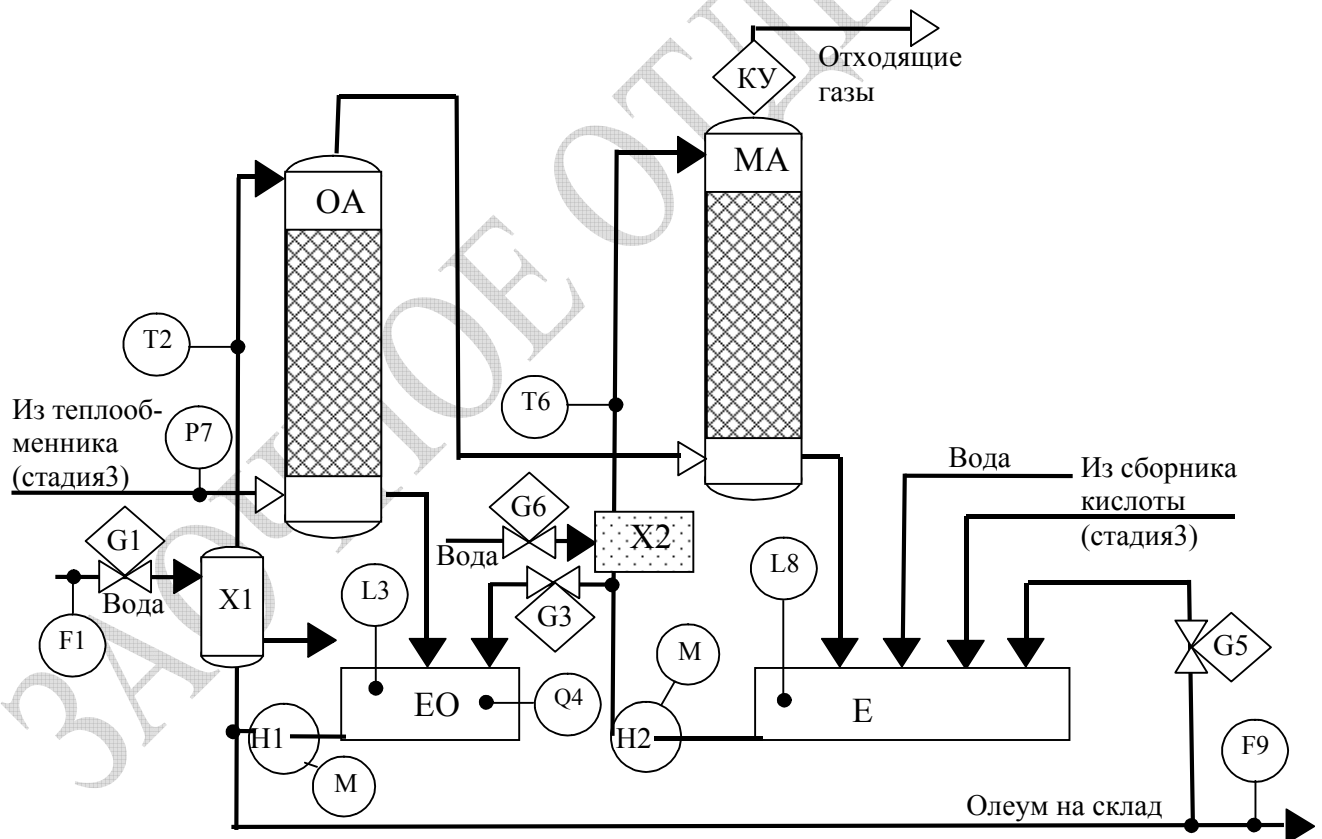
ВАРИАНТ № 10
ПРОИЗВОДСТВО СЕРНОЙ КИСЛОТЫ (СТАДИЯ 4)

Описание процесса

Газ после контактного аппарата (стадия 3) подается на абсорбцию SO_3 , в процессе которой получают конечный продукт производства – серную кислоту. Первоначально абсорбция осуществляется в олеумном абсорбере ОА, в котором абсорбентом служит олеум с содержанием свободного серного ангидрида, равным 19%. Затем газ подается в моногидратный абсорбер МА (моногидрат – кислота концентрацией $98,3 \pm 0,5\%$). При поглощении серного ангидрида концентрация орошающей кислоты, собираемой в емкости Е, повышается; для поддержания постоянства концентраций циркулирующих абсорбентов в емкость олеума ЕО подается кислота из промежуточной емкости Е1 (стадия 3), а в последнюю подается олеум, вода и разбавленная кислота из емкости Е2 (стадия 3). При поглощении серного ангидрида в абсорберах выделяется тепло. Для отвода теплоты реакции установлены холодильники Х1 и Х2.

Таким образом, на контактных сернокислотных заводах получают «промывную» техническую кислоту (после очистки и укрепления концентрация ее доводится до 93% или 75%), «сушильную» кислоту концентрацией 93-95%, олеум с содержанием свободного серного ангидрида 19%.

Технологическая схема



Состав технологической схемы: ОА – олеумная абсорбционная колонна; МА – моногидратная абсорбционная колонна; КУ – каплеуловитель; Х1 и Х2 – холодильники; ЕО – емкость олеума; Е – емкость; Н1 и Н2 – насосы.

Задание на разработку схемы автоматизации:

Схему выполнить по ГОСТ 21.404-85 в развернутом виде. Состав курсового проекта: чертеж, выполненный на формате А2 или А3, пояснительная записка и заказная спецификация (формат А4) на выбранные средства автоматизации указанного контура. Разработать схему в щитовом исполнении и с использованием микропроцессорной техники. Учесть, что станция управления и площадка установки синтеза разнесены более чем на 800 м.

1. Разработать контур каскадного регулирования температуры (20°C) в линии подачи абсорбента (олеума) в верхнюю часть колонны ОА, с промежуточной координатой – расход воды. В качестве регулирующего воздействия принять расход воды ($G1 \Rightarrow F1 \Rightarrow T2$). $F1_{зд} = f(\Delta T2) = f(T2_{зд} - T2)$.
2. Разработать контур регулирования уровня в емкости ЕО с коррекцией по концентрации серной кислоты ($G3 \Rightarrow L3 \Leftarrow Q4$). Регулирующее воздействие – расход подаваемого в нее кислоты из емкости Е. Корректор подключить на вход объекта: $G3 = f_{\text{рег}}(L3_{зд} - L3) + f_{\text{кор}}(Q4)$. В качестве корректора использовать пропорциональное звено ($f_{\text{кор}}(Q4) = K \cdot Q4$). Для измерения уровня использовать акустический уровнемер, а для концентрации – рН-метр.
3. Разработать систему пополнения схемы кислотой из линии отвода олеума на склад. Для этого устанавливается нижняя граница уровня в емкости ЕО и забор кислоты в емкость Е осуществляется при измерения состояния электромагнитного клапана ($G5 \Rightarrow L3$). Использовать 3-х позиционный закон регулирования.
4. Разработать контур регулирования температуры в трубопроводе подачи смеси в верхнюю часть колонны МА путем изменения подачи расхода хладагента (воды) в холодильник Х2 ($G6 \Rightarrow T6$). В качестве датчика температуры принять термосопротивление.
5. Обеспечить контроль всех регулируемых параметров, а также:
 - ✓ давления в линии подачи газа в колонну ОА ($P7$);
 - ✓ уровня в емкости Е ($L8$) с использованием в качестве датчика ультразвуковой уровнемер.
 - ✓ расхода олеума, подаваемого на склад ($F9$) с использованием электромагнитного расходомера.
6. Предусмотреть световую сигнализацию отклонения следующих параметров:
 - ✓ снижение концентрации в емкости ЕО ($Q4 < Q4_{\text{MIN}}$);
 - ✓ повышение температур на входе в колонны ОА и МА ($T2 > T2_{\text{MAX}}$; $T6 > T6_{\text{MAX}}$).
7. Разработать схемы запуска/останова двигателей насосов Н1 и Н2 оператором, как по месту, так и со щита управления или с рабочей станции.
8. Продублировать разработанную на локальных средствах автоматизации систему управлением с микропроцессорного контроллера (МПК) и рабочей станции.
9. Выполнить подбор приборов для реализации контура каскадного регулирования температуры в трубопроводе подачи газа в колонну ОА ($G1 \Rightarrow F1 \Rightarrow T2$) с учетом следующих условий: температура 20°C , расход воды $15 \text{ м}^3/\text{ч}$, параметры трубопровода $D_y = 50 \text{ мм}$, $T = 18^{\circ}\text{C}$, $P_y = 0,5 \text{ МПа}$.

ВАРИАНТ № 11

ПРОИЗВОДСТВО АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ (СТАДИЯ 1)

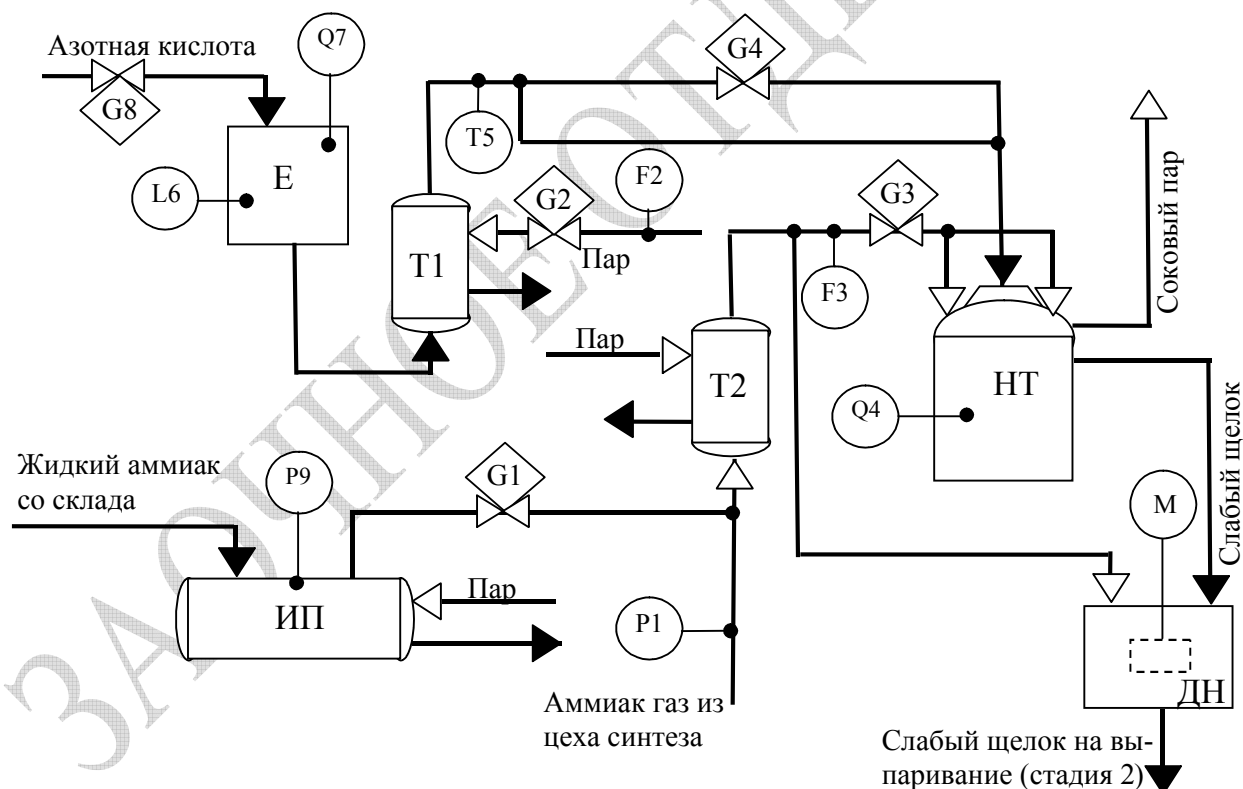
Описание процесса

Аммиачная селитра – одно из наиболее распространенных азотных удобрений. Получают ее нейтрализацией разбавленной азотной кислоты (40-50%) газообразным аммиаком.

Азотная кислота из приемной емкости Е проходит через теплообменник Т1 и поступает в нейтрализатор НТ. Туда же подается предварительно нагретый в теплообменнике Т2 газообразный аммиак. Основное количество аммиака поступает в газообразном состоянии из цеха синтеза аммиака. Дополнительно со склада подается жидкий аммиак, который испаряется в испарителе ИП.

В нейтрализаторе НТ при атмосферном давлении и определенной температуре протекает процесс нейтрализации, параллельно с ним происходит частичное упаривание раствора за счет теплоты нейтрализации. Частично упаренный слабокислый раствор аммиачной селитры концентрацией 60-80% (щелок) поступает в бак с мешалкой - дeneйтрализатор ДН, где окончательно нейтрализуется аммиаком. Пар, образующийся при выпаривании раствора (соковый пар), выводится из верхней части нейтрализатора НР. При неправильном ведении процесса из нейтрализатора с соковым паром может уноситься часть аммиака и азотной кислоты.

Технологическая схема



Состав технологической схемы: Е – емкость; Т1 и Т2 – теплообменники; ИП – испаритель; НТ – нейтрализатор; ДН – дeneйтрализатор.

Задание на разработку схемы автоматизации:

Схему выполнить по ГОСТ 21.404-85 в развернутом виде. Состав курсового проекта: чертеж, выполненный на формате А2 или А3, пояснительная записка и заказная спецификация (формат А4) на выбранные средства автоматизации указанного контура. Разработать схему в щитовом исполнении и с использованием микропроцессорной техники. Учесть, что станция управления и площадка установки синтеза разнесены на 250 м.

1. Разработать контур регулирования давления в трубопроводе подачи газообразного аммиака в теплообменник Т2 с коррекцией по давлению в испарителе ИП ($G1 \Rightarrow P1 \Leftarrow P9$). Регулирующее воздействие – расход газа, поступающего из испарителя ИП. Корректор подключить на вход объекта: $G1 = f_{\text{РЕГ}}(P1_{\text{ЗД}} - 1) + f_{\text{КОР}}(P9)$. В качестве корректора использовать пропорциональное звено ($f_{\text{КОР}}(P9) = K \cdot P9$).
2. Разработать контур каскадного регулирования температуры (80°C) после теплообменника Т1, с промежуточной координатой – расход пара. В качестве регулирующего воздействия принять расход пара ($G2 \Rightarrow F2 \Rightarrow T5$). $F2_{\text{ЗД}} = f(\Delta T5) = f(T5_{\text{ЗД}} - T5)$.
3. Разработать контур стабилизации расхода в линии подачи газообразного аммиака в нейтрализатор НТ ($G3 \Rightarrow F3$). В качестве датчика рекомендуется использовать расходомер переменного перепада давлений.
4. Разработать контур стабилизации концентрации кислоты в нейтрализаторе НТ через изменение расхода кислоты, подаваемой в НТ ($G4 \Rightarrow Q4$). В качестве датчика принять рН-метр.
5. Обеспечить контроль всех регулируемых параметров, а также:
 - ✓ уровня в емкости Е (L6) с использованием в качестве датчика ультразвукового уровнемера;
 - ✓ концентрации кислоты в емкости Е (Q7).
6. Предусмотреть световую сигнализацию отклонения следующих параметров:
 - ✓ отклонение от нормального диапазона уровня в емкости Е ($L6_{\text{MIN}} < L6 < L6_{\text{MAX}}$) и управление (открытие/закрытие) в зависимости от уровня запорным клапаном на линии подачи кислоты (G8);
 - ✓ отклонение от нормального диапазона уровня рН в нейтрализаторе НТ ($Q4_{\text{MIN}} < Q4 < Q4_{\text{MAX}}$).
7. Разработать схему запуска/останова двигателя мешалки М оператором, как по месту, так и со щита управления или с рабочей станции.
8. Продублировать разработанную на локальных средствах автоматизации систему управления с микропроцессорного контроллера (МПК) и рабочей станции.
9. Выполнить подбор приборов для реализации контура каскадного регулирования температуры в трубопроводе после теплообменника Т1 ($G2 \Rightarrow F2 \Rightarrow T5$) с учетом следующих условий: температура 80°C, расход пара 50 м³/ч, параметры трубопровода $D_y = 100$ мм, $P_y = 4$ МПа.

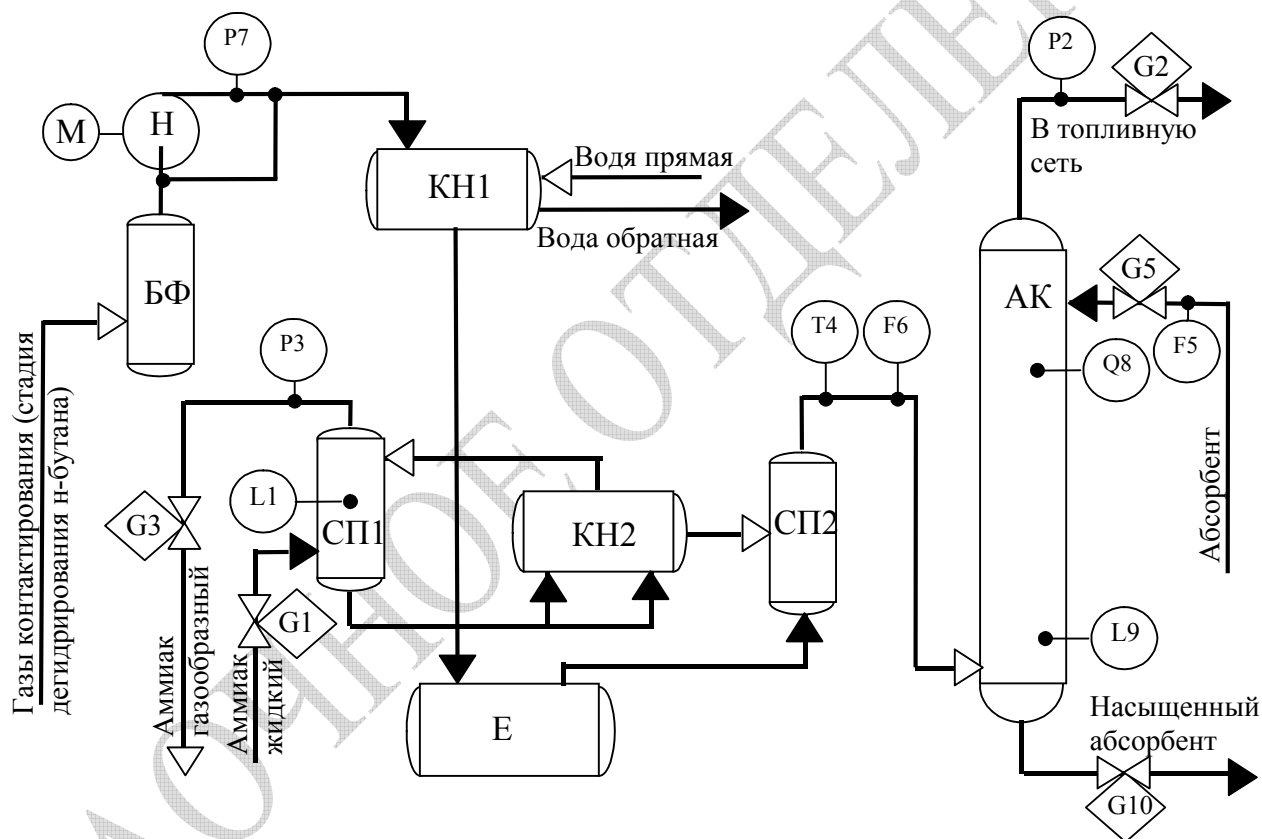
ВАРИАНТ № 12
ПРОИЗВОДСТВО БУТАДИЕНА-1,3 ИЗ Н-БУТАНА
(УЧАСТОК ВЫДЕЛЕНИЯ БУТАН-БУТИЛЕНОВОЙ ФРАКЦИИ)

Описание процесса

Из буфера БФ, куда газы поступают из реактора (стадия дегидрирования н-бутана в н-бутен) контактный газ забирается компрессором и подается последовательно в конденсаторы КН1 и КН2. Конденсация в аппарате КН1 осуществляется за счет холодной воды, а конденсация и охлаждение в аппарате КН2 – в результате испарения жидкого аммиака, поступающего из сепаратора СП1. Конденсат, образующийся в конденсаторах КН1 и КН2, собирается в емкости Е. Несконденсировавшийся газ после сепаратора СП2 направляется в абсорбционную колонну АК.

Несорбированная часть газа (метан, водород) выбрасывается в топливную сеть. Насыщенный углеводородами абсорбент из нижней части колонны АК направляется в десорбционную колонну (на схеме не показана).

Технологическая схема



Состав технологической схемы: БФ – буфер; КН1 и КН2 – конденсаторы; СП1 и СП2 – сепараторы; Е – емкость; АК – абсорбционная колонна.

Задание на разработку схемы автоматизации:

Схему выполнить по ГОСТ 21.404-85 в развернутом виде. Состав курсового проекта: чертеж, выполненный на формате А2 или А3, пояснительная записка и заказная спецификация (формат А4) на выбранные средства автоматизации указанного контура. Разработать схему в щитовом исполнении и с использованием микропроцессорной техники. Учесть, что станция управления и площадка установки синтеза разнесены более чем на 500 м.

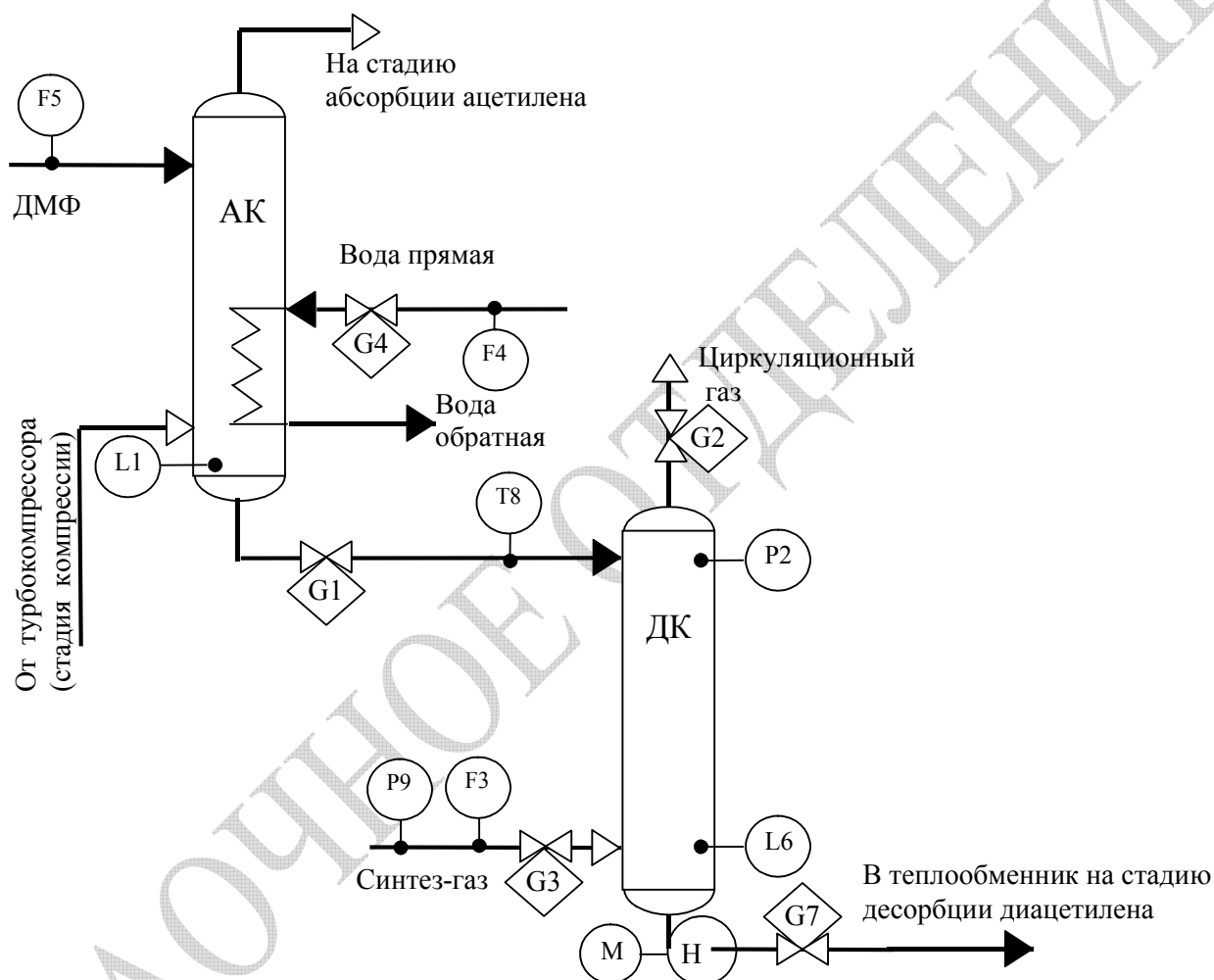
1. Разработать контур регулирования уровня в сепараторе СП1 путем изменения расхода жидкого аммиака ($G1 \Rightarrow L1$).
2. Разработать контур регулирования давления в линии вывода газовой смеси в топливную сеть путем изменения расхода в этой линии ($G2 \Rightarrow P2$).
3. Разработать контур каскадного регулирования температуры после сепаратора СП2 с промежуточной координатой – стабилизацией давления в линии отвода жидкого аммиака после сепаратора СП1. ($T4 \Rightarrow P3 \Rightarrow G3$). $P3_{зд} = f(\Delta T) = f(T4_{зд} - T4)$. Для измерения давления принять манометр, а для температуры – термосопротивление.
4. Разработать контур регулирования соотношения расходов газов на абсорбцию и абсорбента на входе в колонну АК путем изменения расхода абсорбента ($G5 \Rightarrow F5 \Leftarrow F6$). $F5 = \gamma F6$, где γ - коэффициент соотношения. В качестве датчиков расхода принять расходомеры переменного перепада давлений.
5. Обеспечить контроль всех регулируемых параметров, а также:
 - ✓ давления на входе в конденсатор КН1 (P7);
 - ✓ концентрации метана в колонне АК (Q8) с использованием в качестве датчика оптико-абсорбционного газоанализатора;
 - ✓ уровня в кубе абсорбционной колонны АК (L9) с использованием в качестве датчика гидростатического уровнемера.
6. Предусмотреть световую сигнализацию отклонения следующих параметров:
 - ✓ снижение концентрации метана в колонне АК ($Q8_{\min} < Q8$);
 - ✓ отклонение от нормального диапазона уровня в колонне АК ($L9_{\min} < L9 < L9_{\max}$) и управление (открытие/закрытие) в зависимости от уровня запорным клапаном на линии отбора насыщенного абсорбента (G10);
7. Разработать схему запуска/останова двигателя насоса Н оператором, как по месту, так и со щита управления или с рабочей станции.
8. Продублировать разработанную на локальных средствах автоматизации систему управлением с микропроцессорного контроллера (МПК) и рабочей станции.
9. Выполнить подбор приборов для реализации контура регулирования уровня в сепараторе СП1 ($G1 \Rightarrow L1$) с учетом следующих условий: уровень 1 м, расход аммиака $25 \text{ м}^3/\text{ч}$, параметры трубопровода $D_y = 40 \text{ мм}$.

ВАРИАНТ № 13
ПРОИЗВОДСТВО АЦЕТИЛЕНА (СТАДИИ АБСОРБЦИИ ДИАЦЕТИЛЕНА, ДЕ-
СОРБЦИИ АЦЕТИЛЕНА)

Описание процесса

Сжатый газ пиролиза из турбокомпрессора (отделение компрессии газа пиролиза) поступает в абсорбционную колонну АК, орошаемую диметилформамидом. В колонне растворитель поглощает весь диацетилен и небольшое количество ацетилена. Насыщенный абсорбент подается в десорбционную колонну ДК, где в результате снижения давления и отдувки синтез-газом выделяется растворенный ацетилен. Выделившийся газ (циркуляционный) направляется во всасывающую линию.

Технологическая схема



Состав технологической схемы: АК – абсорбционная колонна; ДК – десорбционная колонна; Н – насос.

Задание на разработку схемы автоматизации:

Схему выполнить по ГОСТ 21.404-85 в развернутом виде. Состав курсового проекта: чертеж, выполненный на формате А2 или А3, пояснительная записка и заказная спецификация (формат А4) на выбранные средства автоматизации указанного контура. Разработать схему в щитовом исполнении и с использованием микропроцессорной техники. Учесть, что станция управления и площадка установки синтеза разнесены более чем на 500 м.

1. Разработать контур стабилизации уровня в кубе абсорбционной колонны АК посредством изменения расхода выходного потока жидкой фазы ($G1 \Rightarrow L1$).
2. Разработать контур регулирования давления в верхней части десорбционной колонны ДК с коррекцией по давлению в линии синтез-газа ($G2 \Rightarrow P2 \Leftarrow P9$). Регулирующее воздействие – расход циркуляционного газа. Корректоры подключить на вход регулятора: $\Delta P2 = P2_{зд} - P2 - \Delta P2_{кор}(f(P9))$. В качестве корректора использовать пропорциональное звено ($\Delta P2_{кор} = K \cdot P9$).
3. Разработать контур стабилизации расхода синтез-газа на входе в десорбционную колонну ДК ($G3 \Rightarrow F3$). В качестве датчика рекомендуется использовать расходомер переменного перепада давлений.
4. Разработать контур каскадного регулирования температуры на выходе из колонны АК с промежуточной координатой – расход прямой воды. В качестве регулирующего воздействия принять расход прямой воды ($G4 \Rightarrow F4 \Rightarrow T8$). $F4_{зд} = f(\Delta T8) = f(T8_{зд} - T8)$. Для измерения расхода принять расходомер переменного перепада давлений, а для температуры – термосопротивление.
5. Обеспечить контроль всех регулируемых параметров, а также:
 - ✓ расхода ДМФ на входе в абсорбционную колонну АК ($F5$) с использованием в качестве датчика ультразвукового расходомера;
 - ✓ уровня в кубе десорбционной колонны ДК ($L6$) с использованием в качестве датчика гидростатического уровнемера.
6. Предусмотреть световую сигнализацию отклонения следующих параметров:
 - ✓ повышение уровня в кубе колонны АК ($L1 > L1_{MAX}$);
 - ✓ повышение давления в верхней части колонны ДК ($P2 > P2_{MAX}$);
 - ✓ отклонение от нормального диапазона уровня в десорбционной колонне ДК ($L6_{MIN} < L6 < L6_{MAX}$) и управление (открытие/закрытие) в зависимости от уровня запорным клапаном на линии слива жидкой фазы ($G7$).
7. Разработать схему запуска/останова двигателя насоса Н оператором, как по месту, так и со щита управления или с рабочей станции.
8. Продублировать разработанную на локальных средствах автоматизации систему управлением с микропроцессорного контроллера (МПК) и рабочей станции.
9. Выполнить подбор приборов для реализации контура регулирования уровня в кубе колонны АК ($G1 \Rightarrow L1$) с учетом следующих условий: уровень 1,5 м, параметры трубопровода $D_y = 40$ мм, $T = 50^\circ\text{C}$, $P_y = 3$ МПа.

Кафедра автоматизации процессов химической промышленности

Учебное пособие

Системы управления химико-технологическими процессами

Ольга Александровна Ремизова

Ирина Викторовна Рудакова

Отпечатано с оригинал-макета. Формат 60×90 1/16

Печ. л. 11. Тираж 100 экз. Заказ № от 24.11.2008

Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(Технический университет), ИК «Синтез»

190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26