

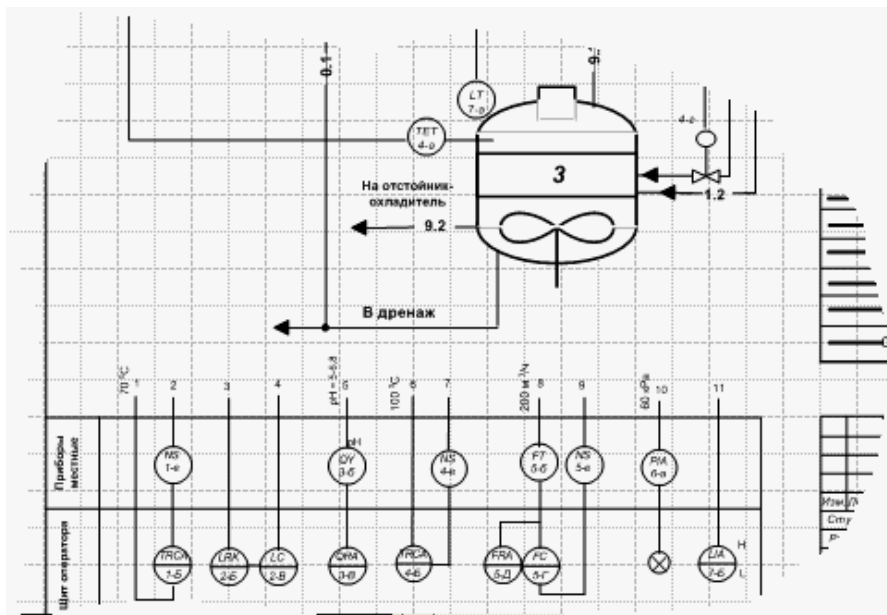
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова

В.Г.Макаренко

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

*Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию
для направления подготовки
«Автоматизация технологических процессов и производств»*



Новочеркасск
ЮРГПУ (НПИ)
2017

УДК 66.012:62 (076.5)

Рецензент - доктор технических наук, профессор **М.Э. Шошиашвили**

Макаренко В.Г.

Автоматизация технологических процессов и производств: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию для направления подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств» / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. - Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2017. – 56с.

В пособии представлены указания к курсовым проектам по дисциплинам «Методы и средства формирования информации о технологическом объекте управления», «Автоматизация типовых технологических процессов», «Технологические объекты и системы управления автоматизированных технологий» для студентов, обучающихся по программе бакалавриата направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств и курсовому проекту по дисциплине «Технологические процессы и производства как объекты управления и автоматизации» для студентов, обучающихся по программе магистратуры направления подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств. Проекты объединены единой целью и содержат системную последовательность выполнения при создании системы автоматизации.

УДК 66.012:62 (076.5)

©Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)	5
2 КУРСОВОЙ ПРОЕКТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ УПРАВЛЕНИЯ» Программа прикладного бакалавриата направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств.	19
3 КУРСОВОЙ ПРОЕКТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ» Программа прикладного бакалавриата направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств.	28
4 КУРСОВОЙ ПРОЕКТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ». Программа прикладного бакалавриата направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств.	39
5 КУРСОВАЯ РАБОТА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПРОИЗВОДСТВА КАК ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ». Программа прикладной магистратуры направления подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств.	45
ПРИЛОЖЕНИЯ	48

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация и управление - область науки и техники, включающая в себя совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, направленных на создание и применение алгоритмического, аппаратного и программного обеспечения систем в средств контроля и управления технологическими процессами, освобождающих человека от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов и информации.

Объектами профессиональной деятельности бакалавров по направлению "Автоматизация технологических процессов и производств" являются автоматические и автоматизированные системы и средства контроля и управления, их математическое, информационное, техническое и программное обеспечение; способы и методы их проектирования, отладки, производства и эксплуатации в различных отраслях хозяйственной деятельности. Объектами автоматизации и управления являются: технологические и производственные процессы; техническое диагностирование, научные исследования и производственные испытания.

Выпускник должен уметь решать задачи, соответствующие его квалификационной характеристике государственного образовательного стандарта.

Выполнение курсовых проектов позволит студентам получить системные знания в области разработки автоматизированных технологий, подготовиться к написанию ВКР.

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

1.1. Содержание разделов курсового проекта (работы)

Титульный лист (стандартный общепринятый в университете бланк) заполняется шрифтом 3,5 или 5 по ГОСТ 2.304-81.

Задание на курсовой проект является вторым листом пояснительной записки и выполняется на стандартном бланке, принятом в университете.

Аннотация. Должна содержать краткое изложение цели и важнейших результатов проектирования автоматической системы контроля, практическое применение и ожидаемые технико-экономические результаты.

Содержание должно включать введение, номера и наименования всех разделов и подразделов с указанием номеров страниц, на которых размещается начало материала, список литературы, приложения. Слово "СОДЕРЖАНИЕ" записывают в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами. Наименования, включенные в содержание, записывают строчными буквами, начиная с прописной.

Ведомость курсового проекта выполняется на листе формата А4 с рамкой и основной надписью и содержит перечень документов и изделий, вошедших в содержание проекта.

Введение. Кратко описывается значение автоматического контроля для рассматриваемого технологического процесса. Рассматриваются актуальность темы, ее новизна кратко характеризуется состояние решаемой проблемы основные положения и документы, лежащие в основе разрабатываемого проекта. Формируются цель и задачи курсового проекта, способы их достижения и результаты проектирования.

Основная часть проекта - выполняется в соответствии с выданным заданием.

Заключение. Должно содержать окончательные выводы по курсовому проекту и не превышать 0,5 стр.

Список используемых источников. В конце пояснительной записки перед приложениями приводится список литературы, использованной при проектировании. В перечень включают все использованные учебные пособия, справочники, каталоги, ценники,

прейскуранты, нормали, ОСТы, ГОСТы, инструкции и т.д. в порядке появления ссылок в тексте, заключая порядковый номер в скобки, например: [1], [4,5]. Приводятся только те литературные источники, которые были использованы при выполнении курсового проекта

1.2. Текстовая часть проекта

Оформление пояснительной записки должно соответствовать требованиям ГОСТ 2.105-95 и методических указаний по оформлению текстовых документов в учебном процессе.

Пояснительная записка должна быть выполнена рукописным способом или с помощью печатающих или графических устройств на одной или двух сторонах листа бумаги формата А4 без рамки, основной надписи и дополнительных граф к ней с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм. По краям листа рекомендуется оставлять поля: слева - 30 мм, справа - не менее 10 мм, сверху и снизу - не менее 20 мм. Расстояние между строками должно быть равным 8-10 мм. Абзацы в тексте начинаются отступом от края левого поля 25-17 мм. Цифры, указывающие номера разделов, подразделов, пунктов, подпунктов, также проставляют с отступом.

Нумерация страниц пояснительной записки должна быть сквозной: первой страницей является титульный лист. Номер страницы проставляют в верхнем наружном углу. На титульном листе и листе задания номер не ставят.

Каждый раздел записки рекомендуется начинать с новой страницы. Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь порядковые номера в пределах каждого раздела. Номера подразделов состоят из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Заголовки разделов следует писать прописными буквами, а подразделов - с прописной без точки в конце. Переносы слов в заголовках не допускаются. Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 15 мм (3,4 интервала машинописного текста). Расстояние между заголовком раздела и подраздела 8-10мм (2 интервала машинописного текста).

При оформлении пояснительной записки с помощью персонального компьютера рекомендуется использовать следующие

атрибуты текстовых редакторов: Шрифт-таймс обычный, размер 14; абзац-отступ первой строки 1.25-1.5; интервал междустрочный 1.25-1.5, выравнивание - по ширине.

1.3. Графическая часть проекта

1.3.1. Функциональная схема

В проекте разрабатывается функциональная схема, являющаяся основой схемы автоматизации производства. Функциональной схемой автоматизации называют схему, отображающую функциональные связи между управляемым технологическим процессом и средствами автоматики. Схемы автоматизации строятся на базе технологических схем, отображающих движение материальных потоков, энергетических ресурсов и используемое оборудование.

Функциональная схема предназначена для отображения технических решений по автоматизации, является одним из основных проектных документов и средством общения технологов со специалистами по механизации и автоматизации технологического процесса или производства.

При разработке функциональной схемы автоматизации определяют: основные принципы измерения параметров технологического процесса; методы контроля по каждому из параметров технологического процесса; технические средства автоматизации (ТСА); места установки датчиков и исполнительных механизмов на технологическом оборудовании; функциональные связи ТСА; виды энергии для передачи информации между приборами и промежуточными преобразователями; размещение ТСА; средства предупредительной и аварийной сигнализации и т. п.

Обозначения элементов автоматики в рамках функциональных схем (схем автоматизации) определены ГОСТ 21.208—2013 «СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах».

Функциональную схему в проекте выполняют развернутым способом (приложение А, рисунок А.1), при этом на схеме показывают:

- технологическое оборудование или упрощенное изображение аппаратов и коммуникаций (в верхней части схемы);
- комплексы технических средств, включающие в себя датчики, преобразователи, первичные и вторичные приборы контроля,

сигнализации и пр.;

- линии связи датчиков, преобразователей и других элементов схемы;
- прямоугольники, отражающие установку приборов и других технических средств автоматического контроля по месту, на щитах, пультах и т.п. (в нижней части схемы);
- необходимые пояснения к схеме.

1.3.2. Изображение технологического оборудования

Технологическая схема должна давать ясное представление о протекающих процессах и взаимодействии аппаратов со средствами автоматического контроля.

У изображения технологических аппаратов и другого оборудования, или отдельных его элементов, приводятся соответствующие поясняющие надписи (наименование оборудования, их позиции и пр.). Наименование может быть вписано внутри условного графического изображения аппарата или вынесено на полки линий выносок. В случае использования буквенно-цифрового обозначения на свободном поле чертежа должна быть приведена таблица с перечнем оборудования. Допускается перечень давать самостоятельным документом.

Отдельные агрегаты и установки технологического оборудования могут быть изображены, оторвано друг от друга, но при этом всегда приводятся необходимые указания на их взаимосвязь.

1.3.3. Изображение коммуникаций

Технологические трубопроводы изображают на чертежах в соответствии со схемой, принятой в технологической рабочей документации.

Условное обозначение трубопровода состоит из условного графического обозначения или упрощенного изображения трубопровода и цифрового или буквенно-цифрового обозначения транспортируемой среды, характеризующего ее вид, назначение и параметры.

В зависимости от протекающих в них сред технологические трубопроводы изображают условными цифровыми обозначениями в соответствии с ГОСТ 14202-69 (приложение Б, таблица Б.1)

Обозначения указывают (рисунок 1,а) в разрывах линий трубопроводов, над линией трубопровода или на полках линий выносок.

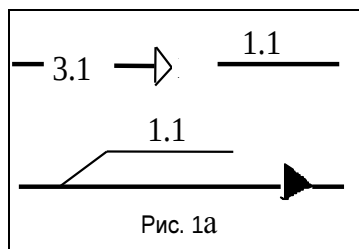


Рис. 1а

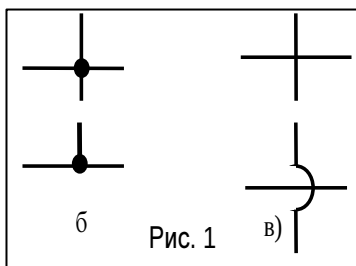


Рис. 1

Буквой или первой цифрой обозначают вид транспортируемой среды, последующими цифрами - назначение и/или параметры транспортируемой среды. В случае необходимости каждая из подгрупп может быть распределена на десять более мелких подразделений, обозначаемых третьим знаком цифрового обозначения (например, в укрупненной группе 4 «Газы горючие» в составе подгруппы 6 «Углеводороды и их производные» этилен может быть выделен третьим знаком - 4.61).

Рисунок 1 - Условное обозначение технологических трубопроводов: а - протекающих сред; б - соединение; в - пересечение

Для жидкостей и газов, обозначения которых не предусмотрены стандартами, могут быть использованы и другие цифры с необходимыми пояснениями этих новых условных обозначений. Для обозначения трубопроводов на схемах автоматизации могут быть применены и условные обозначения, принятые в технологических схемах. На технологических трубопроводах не рекомендуется показывать детали вспомогательного назначения (фильтры, отстойники и т.п.), которые не имеют принципиального значения для чтения схемы автоматизации.

На линиях трубопроводов, наряду с цифрами, должны проставляться стрелки в виде равностороннего треугольника с размерами сторон 5 мм, показывающие направление потока вещества. Для жидкостей и твердых веществ треугольники зачерняются (рисунок 1,а). Соединение (рисунок 1,б) и пересечение (рисунок 1,в) технологических трубопроводов изображают условными обозначениями.

Трубопроводы, идущие к начальным или от конечных аппаратов, в которых нет приборов и средств автоматизации, на схеме обрывают. В месте обрыва ставят стрелку и дают пояснение.

Например: «От насоса поз.79», «В атмосферу», «На электрофильтры, поз.5.1 - 5.3» и т.п..

1.3.4. Изображение комплекса технических средств

Технические средства автоматизации показывают на схеме условными графическими и буквенными обозначениями по ГОСТ 21.208-2013 в соответствии с выполняемыми ими функциональными признаками. Условные графические обозначения технических средств автоматизации выполняют в виде окружности диаметром 10 мм или овала с большой осью 15 мм в зависимости от объема вписываемых в него буквенных обозначений. Аналогичное обозначение, но разделенное горизонтальной чертой на две половины, соответствует средствам, устанавливаемым на щитах, пультах, стойках и пр.

Условные графические обозначения приборов на схемах выполняют сплошной толстой основной линией, а горизонтальную разделительную черту внутри графического обозначения и линию связи - сплошными тонкими линиями по ГОСТ 2.303-68.

Отборные устройства для всех постоянно подключенных приборов изображают сплошной тонкой линией, соединяющей технологический трубопровод или аппарат с прибором (рисунок 2,а,б).

Измерительные средства, встраиваемые в технологические коммуникации, показывают в разрыве линий, изображающих трубопроводы (рисунок 2,в).

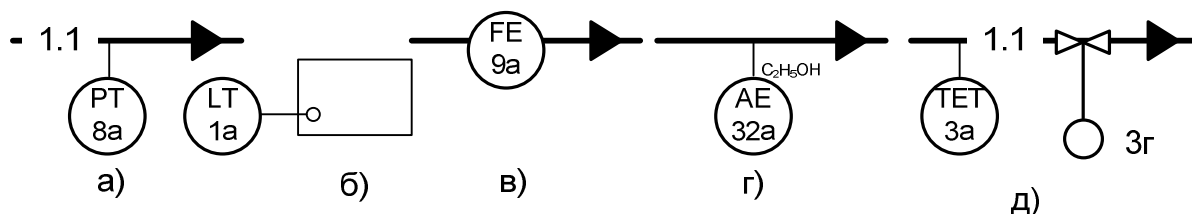


Рисунок 2 - Примеры выполнения датчиков и первичных приборов

К таким средствам относятся: сужающие измерительные устройства, ротаметры, газовые и жидкостные счетчики, датчики индукционных расходомеров, проточные ячейки анализаторов, регулирующие и запорные органы и т.п.

При необходимости указания конкретного места расположения точки измерения или отборного устройства в аппарате, его изображают окружностью диаметром 2 мм и вносят внутрь контура технологического аппарата (рисунок 2,г), с соответствующим пояснением.

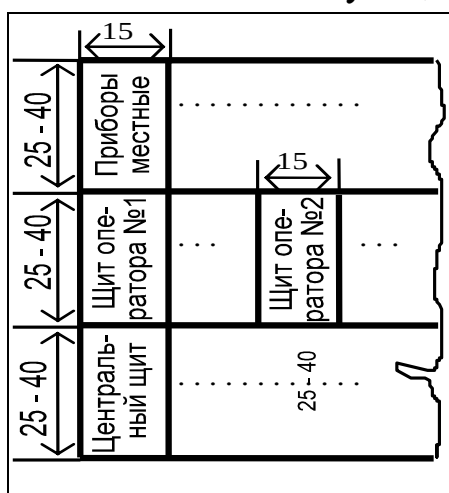
Измерительные устройства, устанавливаемые на технологическом

оборудовании и трубопроводах с помощью закладных устройств (штуцеров, бобышек, гильз и т.п.), изображают на схеме в непосредственной близости к соответствующему оборудованию и коммуникациям. К таким средствам относятся: термометры расширения, преобразователи термоэлектрические и термопреобразователи сопротивления, термобаллоны манометрических термометров, датчики пирометров, плотномеров и т.п.

Приемные устройства, по своей конструкции и принципу действия не требующие непосредственного контактирования с измеряемой средой (радиоактивные устройства, излучатели, фотоприемники и т.п.), изображаются на схемах в непосредственной близости от объекта контроля.

Приборы и средства автоматизации, расположенные на щитах, пультах, стойках и др., показывают в прямоугольниках (рисунок 3), изображающих щиты, пульта, стойки и пр., размеры которых определяются местом, необходимым для изображения в них условных графических обозначений приборов и других технических средств, устанавливаемых на них.

Прямоугольники располагают в нижней части поля схемы автоматизации в одном или нескольких горизонтальных рядах и в такой последовательности, при которой достигается наибольшая простота и ясность чтения схемы. В каждом прямоугольнике с левой стороны указывают соответствующий заголовок.



а)

Шкаф первичных преобразователей		
Шкаф нормирующих и/р преобразователей		
Шкаф управления	ПЛК160	Модуль ввода аналоговых сигналов
		Модуль вывода аналоговых сигналов
		Модуль ввода-вывода дискретных сигналов
Пульт диспетчера	АРМ диспетчера	Регистрация
		Управление
		Сигнализация
		Визуализация

б)

Рисунок 3 - Пример изображения организации управления на схемах автоматизации

Приборы и средства автоматизации, которые расположены вне щитов и конструктивно не связаны непосредственно с технологическим оборудованием и коммуникациями (например, манометр), условно показывают в прямоугольнике, имеющем надпись «Приборы местные». Этот прямоугольник на схемах располагают над прямоугольниками, изображающими щиты.

Рекомендуемые размеры прямоугольников представлены на рисунке 3а.

1.3.5. Построение условных буквенных обозначений

Для получения полного обозначения прибора или средства автоматизации в его условное графическое обозначение в виде круга или овала вписывают условное буквенное обозначение, которое и определяет его назначение, выполняемые им функции, характеристики работы. Для обозначения измеряемых величин (таблица 1) и функциональных признаков (таблицы 2,3) приборов приняты прописные печатные буквы латинского алфавита.

Для уточнения измеряемого параметра предусмотрено четыре дополнительных буквенных обозначения: D(d) - разность, перепад; F(f) - соотношение, доля; J - автоматическое переключение, обегание, Q(q) – интегрирование, суммирование по времени.

Таблица 1 -Условные буквенные обозначения измеряемых величин

Обозначение	Основное значение первой буквы	Обозначение	Основное значение первой буквы
D	Плотность	P	Давление, вакуум
E	Любая электрическая величина	A	Величина, характеризующая качество: состав, концентрация и т.п.
F	Расход	R	Радиоактивность
G	Размер, положение, перемещение	S	Скорость, частота
H	Ручное воздействие	T	Температура
K	Время, временная программа	U	Несколько разнородных измеряемых величин
L	Уровень	V	Вязкость
M	Влажность	W	Масса

Таблица 2 – Условные буквенные обозначения выполняемых функций

Обозначение	Основное значение первой буквы	Обозначение	Основное значение первой буквы
D (d)	Разность, перепад	F (f)	Соотношение, доля, дробь
J	Автоматическое переключение, обегание	Q (q)	Интегрирование, суммирование по времени

Таблица 3 – Дополнительные буквенные обозначения функциональных признаков приборов

Обозначение	Функциональный признак	Назначение
Е	Чувствительный элемент	Устройства, выполняющие первичное преобразование: преобразователи термоэлектрические, термопреобразователи сопротивления, сужающие устройства расходомеров и т.п.
Т	Дистанционная передача	Преобразователи с дистанционной передачей сигнала.
К	Станция управления	Приборы, имеющие переключатель для выбора вида управления и устройство для дистанционного управления.
У	Преобразование, вычислительные функции	Для построения обозначений преобразователей сигналов и вычислительных устройств.

Основное буквенное обозначение измеряемой величины и функционального признака прибора, определяющего его назначение согласно ГОСТ 21.208-2013, наносят в верхней части графического обозначения.

Порядок расположения букв в буквенном обозначении принимают следующим:

- основное обозначение измеряемой величины (таблица 1);
- уточнение измеряемой величины (D, F, I, A);
- дополнительное обозначение (Е, Т, К, У) измеряемой величины (при необходимости);
- обозначение функционального признака прибора (таблица 2).

Порядок расположения буквенных обозначений функциональных признаков приборов принимают с соблюдением последовательности обозначений I, R, C, S, A. При использовании прибором одновременно

функций измерения (I) и регистрации (R) букву I в условном обозначении можно не писать.

Принцип построения условного обозначения прибора приведен на рисунке 4.

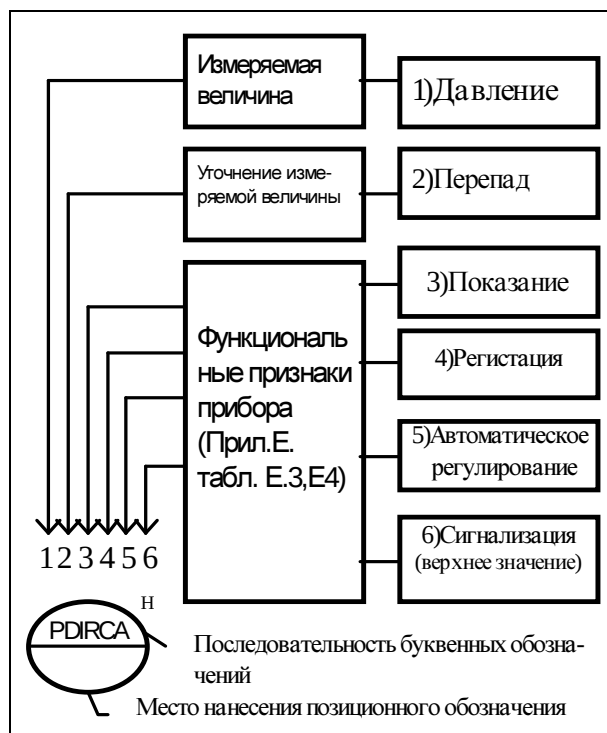


Рисунок 4-Порядок занесения буквенных обозначений

Сначала записывают буквенное обозначение основной измеряемой величины и ее уточнение, если это требуется. Затем указывают функциональные признаки прибора.

Порядок расположения буквенных обозначений функциональных признаков приборов принимают с соблюдением последовательности обозначений I, R, C, S, A. При использовании прибором одновременно функций измерения (I) и регистрации (R) букву I в условном обозначении можно не писать.

Букву А применяют для обозначения функции “сигнализация” независимо от того, вынесена сигнальная аппаратура на какой-либо щит или для сигнализации используются лампы, встроенные в сам прибор.

Букву S применяют для обозначения контактного устройства прибора, используемого только для включения, отключения, переключения, блокировки. При применении контактного устройства прибора для включения, отключения и одновременно для сигнализации в обозначении прибора используют обе буквы: S и A. Для обозначения

функции регулирования букву S в обозначение прибора или средства автоматизации не вводят.

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

L, C - регулирование уровня;

L, S - включение (отключение) оборудования по уровню;

L, A - сигнализация (местная или дистанционная) уровня;

L, S, A, - включение (отключение), сигнализация уровня

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

Шрифт буквенных обозначений по ГОСТ 2.304-81 равен 2,5 мм. При выполнении документов автоматизированным способом, допускается применять шрифты, используемые средствами вычислительной техники. Изменение №2 к ГОСТ 2.304-81. Буквенные обозначения устройств, выполненных в виде отдельных блоков и предназначенных для ручных операций, независимо от того, в состав какого комплекта они входят, должны начинаться с буквы Н.

В комплекте, предназначенном для измерения нескольких разнородных величин, первичные измерительные преобразователи обозначают буквой, характеризующей измеряемый данным датчиком параметр.

При необходимости в условном обозначении прибора передать объем информации больший, чем закодирован в буквенном обозначении, вписанном в графическое обозначение, ее записывают справа от графического обозначения (окружности или овала). *Например*, рН (прибор для измерения кислотности), O₂ (газоанализатор на кислород) и т.д.

Предельные значение измеряемых величин (max или min), по которым осуществляется, например, включение, отключение, блокировка, сигнализация, допускается конкретизировать добавлением букв Н и L. Эти буквы наносят справа от графического обозначения (приложение В, таблица В.1).

Букву А применяют для обозначения функции «сигнализация»

независимо от того, вынесена сигнальная аппаратура на какой-либо щит или для сигнализации используются лампы, встроенные в сам прибор. Использование дополнительных буквенных обозначений для построения преобразователей сигналов и вычислительных устройств представлено в таблице В.1 приложения В.

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

1.3.6. Условные обозначения линий связи

Линии связи между приборами и техническими средствами на схеме изображают однолинейно тонкими сплошными линиями независимо от вида сигналов и фактического количества проложенных проводов или труб. Подвод линий связи к символу прибора допускается изображать в любой точке (сверху, снизу, сбоку) окружности (овала).

Линии связи должны изображаться по возможно кратчайшему расстоянию с минимальным числом изгибов и пересечений. Допускается пересечение линиями связи изображений аппаратов и коммуникаций. Пересечение линиями связи обозначений приборов и средств автоматизации не допускается. Линии связи должны четко отображать функциональные связи элементов системы от начала прохождения сигнала (воздействия) до конца. При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи допускается наносить стрелки.

Для сложных объектов с большим количеством применяемых приборов и средств автоматизации, когда изображение непрерывных линий связи затрудняет чтение схемы, допускается их разрывать и нумеровать разрыв линий связи (оба конца) одной и той же арабской цифрой в порядке возрастания номеров. Нумерация разрыва линий связи выносится на основные базовые линии (вверх или вниз от технологического оборудования), обеспечивающие минимальное пересечение линиями связи изображений технологического оборудования и коммуникаций. При этом нумерация разрывов линий связи со стороны щитов приборов дается в порядке возрастания номеров (рисунок А.1, приложения А).

На участках линий связи со стороны приборов, изображенных в

прямоугольниках щитов или прямоугольнике «Приборы местные», слева, непосредственно у подхода к их первому прямоугольнику, указывают предельные (максимальные или минимальные) рабочие значения измеряемых или регулируемых величин. Эти величины указывают в единицах шкалы выбираемого прибора или в международной системе единиц ГОСТ 8.417-2002.

Для обозначения разрежения (вакуума) ставится знак "минус".

Для приборов, встраиваемых непосредственно в технологическое оборудование или трубопроводы (например, термометры расширения) и не имеющих линий связи с другими приборами, предельные значения величин указывают рядом с обозначением приборов.

1.3.7. Позиционное обозначение приборов

Все приборы и устройства, показанные на схеме, должны иметь цифровое (позиционное) обозначение (рисунок 5).

Позиции присваивают по спецификации оборудования и составляют из двух частей: цифрового обозначения, присваиваемого контуру, и буквенных индексов - прописных букв русского алфавита, присваиваемых отдельным средствам автоматизации, входящим в контур регулирования (функциональную группу).

Отдельным приборам, не входящим в контуры контроля, например показывающим термометрам, манометрам и т.п., присваивают позиции, состоящие только из порядкового номера.

Буквенные обозначения присваивают каждому элементу комплекта в порядке алфавита в зависимости от последовательности прохождения сигнала.

Присвоение позиции контурам, а также отдельным приборам и средствам автоматизации производится при записи их в спецификации по параметрическим группам в следующей последовательности:

- для измерения температуры;
- измерения давления и разрежения;
- измерения расхода и количества вещества;
- измерения уровня;
- измерения состава и качества вещества;
- прочие приборы, комплектные устройства.

Комплектам, состоящим из нескольких датчиков и одного

вторичного прибора, присваивают позиции, содержащие общий цифровой и несколько буквенных индексов. При этом одинаковым датчикам следует присваивать одинаковые буквенные индексы, разным – разные.

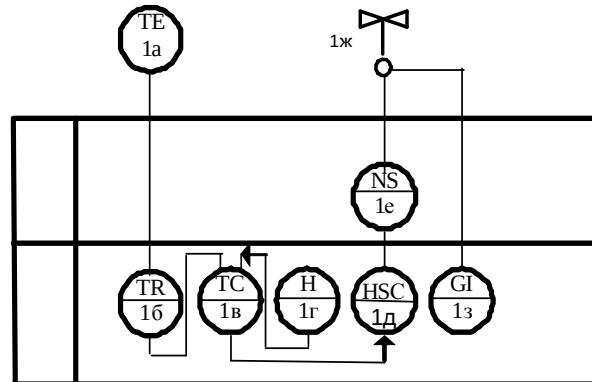


Рисунок 5 - Примеры выполнения приборов с различным функциональным назначением:

а - датчик температуры, например, термопреобразователь сопротивления; б - прибор регистрирующий температуру, например, потенциометр; в - регулятор; г – ручной задатчик; д – указатель положения.

Вторичному прибору присваивают последующий буквенный индекс. Одинаковым по типам и характеристикам местным приборам допускается присваивать одинаковые позиции независимо от места их установки.

Одинаковым контурам и их элементам, установленным на однотипном оборудовании, присваивают одинаковые позиции, а на разнотипном оборудовании - разные позиции.

Позиции приборов и средств автоматизации и позиционное обозначение электроаппаратуры (ламп, табло, гудков, звонков, сирен, кнопок и т.п.), изображенных на схемах по стандартам ЕСКД (ГОСТ 2.722, ГОСТ 2.732, ГОСТ 2.741), применяют такие же, как приняты на принципиальных электрических схемах в соответствии с требованиями ГОСТ 2.710-81, проставляя их в нижней части условного графического обозначения прибора.

1.4. Выполнение схем автоматизации

Основная надпись на чертеже выполняется в соответствии с требованиями для схем автоматизации, которую располагают в правом нижнем углу документа. Над основной надписью (приложение Г, рисунок Г.1), по ее ширине, сверху вниз располагают таблицу

(приложение Д, рисунки Д.1, Д.2) условных обозначений, которую изображают над перечнем оборудования с отступом на 2 мм. В отдельных случаях таблицы могут быть выполнены на отдельных листах формата А4. Заполнение таблицы рекомендуется производить в следующем порядке:

1. Условные обозначения технологических трубопроводов.
2. Условные обозначения приборов и средств автоматизации, которые не предусмотрены действующими стандартами.
3. Резервные буквенные обозначения контролируемых величин или функциональных признаков приборов, примененные для обозначения пусковой аппаратуры по ГОСТ 21.208-2013.

Рекомендуется использовать на схеме линии следующей толщины:

- контуры технологического оборудования - 0,6 - 1,5 мм;
- трубопроводные коммуникации - 0,6 - 1,5 мм;
- обозначений приборов и средств автоматизации - 0,5 - 0,6 мм;
- линии связи - 0,2 - 0,3 мм;
- прямоугольники, изображающие щиты, пульты и т.п. - 0,6 - 1,5 мм;
- линии-выноски - 0,2 - 0,3 мм.

Примечание: при одинаковой толщине линий различного назначения их рекомендуется вычерчивать (для выделения) в противоположных по толщине (больших или меньших) пределах.

Размеры цифр и букв для позиций, позиционных обозначений и надписей выбирают на основании следующих рекомендаций:

- для позиций - цифры - 3,5 мм; буквы (строчные) - 2,5 мм;
- для позиционных обозначений - буквы и цифры - 3,5 мм;
- для пояснительного текста и надписей - 3,5 - 5 мм.

В надписях и текстах не допускаются сокращения слов за исключением общепринятых.

Библиографический список

1. ГОСТ 21.208-2013 СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. М.: Стандартинформ, 2014

2. Макаренко В.Г. Схемы автоматизации: Учеб.-метод, пособие к курсовому и дипломному проектированию/ Юж.-Рос.гос.техн.ун-т. Новочеркасск: ЮРГТУ; 1999.-47с.

2. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ УПРАВЛЕНИЯ». Программа прикладного бакалавриата направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств.

Задачей курсового проектирования является приобретение практических навыков анализа технологического процесса, выбора средств автоматического контроля, расчета измерительных схем приборов и средств контроля. Студент должен научиться самостоятельно решать инженерно-технические задачи построения схем автоматического контроля различных параметров. В проекте могут быть решены вопросы разработки систем автоматического контроля технологических параметров всего производства или технологического участка.

Основанием для выполнения курсового проекта являются материалы дисциплин «Технологические процессы автоматизированных производств» и «Современные технологии производственных процессов и производств».

Курсовой проект состоит из пояснительной записки объемом 20-25 стр. и двух листов графического материала формата А1.

1. Примерное содержание и оформление пояснительной записки

Аннотация.

Содержание.

Введение.

1. Анализ технологического процесса.

1.1. Физико-химические основы процесса.

1.2. Описание технологического процесса, производства.

1.3. Основное оборудование производства.

1.4. Выбор и обоснование параметров нормального технологического режима.

2. Выбор методов и средств измерения технологических параметров и их сравнительная характеристика.

2.1. Сравнительная характеристика и выбор методов и средств теплотехнических измерений

2.1.1. Измерение температуры.

- 2.1.2. Измерение давления.
- 2.1.3.
- 2.2. Сравнительная характеристика и выбор методов и средств физико-химических измерений.
- 2.2.1. Измерение концентрации.
- 2.2.2.
- 3. Описание схемы автоматического контроля технологических параметров.
- 4. Расчет измерительного устройства и определение основных его характеристик.
- 5. Монтаж системы контроля на объекте измерения.
- Заключение.
- Список литературы.
- Приложение А. Спецификация, технических средств.
- Приложение Б.

В графической части проекта на листе формата А1 разрабатывается функциональная схема автоматического контроля технологических параметров. На втором листе форматов А2 или А3 (по согласованию с преподавателем) графической части проекта представлены принципиальные схемы, рассчитанных устройств контроля, а также схема установки первичного преобразователя на объекте контроля.

2. Методика выполнения курсового проекта

2.1. Анализ технологического процесса

Технологический процесс представляет совокупность способов получения и переработки сырья, материалов или изделий, обеспечивающих качественное их изменение. Каждый технологический процесс, включаясь в общий производственный процесс, осуществляется на определенном оборудовании.

В данном разделе необходимо кратко охарактеризовать существующие способы получения целевого продукта, и на основе их сопоставления выбрать рациональный. Технология и аппаратура должны рассматриваться с точки зрения внедрения новых методов производства, использования современного оборудования, широкого внедрения комплексной автоматизации производственных процессов. Здесь же характеризуют производство, исходя из его особых условий:

класса, взрыво- и пожароопасности помещений, наличия агрессивности исходных и получаемых продуктов, характера окружающей среды и т.д., на основании чего определяют технические средства автоматизации и систему передачи сигнала на расстояние (электрическая или пневматическая).

2.1.1. Физико-химические процессы

Излагаются протекающие реакции и физико-механические процессы, особенности их существования, влияние различных параметров на скорость и направление реакций. Дается характеристика исходных и конечных продуктов, а также отражаются характерные особенности производства и особенности технологического режима, обуславливающие специфику разрабатываемой системы автоматического контроля.

2.1.2. Описание технологического процесса, производства

Выбор схемы должен основываться на новейших достижениях в данной области, высоких экономических показателях производства, обеспечить безопасные условия труда, защиту воздушного бассейна и очистку сточных вод. Разрабатывается схема с учетом внедрения комплексной автоматизации. Излагаются протекающие процессы и особенности технологического режима. Рассматривается принципиальная технологическая схема производства (участка). Описывается принципиальная схема (технологическая), разрабатываемая с учетом внедрения приборов контроля. Рассматриваются общие принципы составления схемы с целью решения вопросов автоматизации производства, её особенности с точки зрения непрерывности, направления потоков, кратности обработки материалов, возможности использования побочных веществ и отходов.

2.1.3. Основное оборудование технологического производства

Описывается назначение и принцип действия основных технологических аппаратов. Описание сопровождается их принципиальными схемами.

Рассматриваются особенности конструкции, факторы их определяющие. Выясняются приемы, исключаящие протекание побочных реакций, обеспечивающие повышение мощности и коэффициента полезного действия. Излагаются протекающие в аппарате процессы и особенности, технологического режима, условия работы

оборудования, приводятся характеристики оборудования: тип, производительность и др. данные.

Определяются возможные места размещения на оборудовании измерительных и отборных устройств.

2.1.4. Выбор и обоснование параметров нормального технологического режима

Область измерительной техники, объединяющую измерительные устройства и методы измерений, используемые в технологических процессах, принято определять понятием технологические измерения, которые включают в себя теплотехнические, физико-химические и электрические измерения.

Во всяком технологическом процессе имеются величины, характеризующие этот процесс, так называемые параметры процесса. Наблюдают за этими параметрами обычно с помощью автоматических измерительных приборов местного или дистанционного действия.

Совокупность значений всех параметров процесса называют технологическим режимом, а совокупность значений параметров, обеспечивающих решение целевой задачи - нормальным технологическим режимом.

Нормальный технологический режим задают и оформляют в виде технологической карты (таблицы). В ней приводят перечень параметров, значение которых необходимо поддерживать на определённом уровне, а также указывают диапазоны значений, в которых изменение параметров не приводит к серьёзным нарушениям технологического режима.

В проекте рассматриваются параметры, обеспечивающие нормальное протекание технологического режима (процесса). Определяются основные технологические параметры, которые необходимо контролировать при ведении процесса, периодичность и точность контроля, а также допустимый их диапазон изменения. Рассматриваются параметры, подлежащие контролю и сигнализации с подробным обоснованием их влияния на качество выпускаемого продукта или безопасность ведения процесса. При этом указываются их номинальные значения и диапазон отклонения от них. Особое внимание необходимо уделить требуемой точности при контроле технологических параметров.

Задача контроля - своевременное обнаружение отклонений от установленного режима, что позволяет быстро устранить их и предотвратить нарушение режима на других стадиях процесса. При автоматических методах контроля измерения производятся в основном непрерывно. При этом ведется не только отсчет, но и регистрация, подкрепляемая в отдельных случаях системой сигнализации.

Подлежащие контролю параметры технологического процесса, определяющие нормальный режим протекания процесса, заносят в таблицу (приложение Е, таблица Е.1).

Параметры рекомендуется заносить в таблицу в следующей последовательности: температура, давление, (разряжение), расход (количество), уровень, влажность, плотность, вязкость, концентрация и т.д.

2.2. Выбор методов измерения технологических параметров и их сравнительная характеристика

Перед выбором технических средств измерения (контроля) необходимо определить возможные методы измерения выбранных в предыдущем разделе технологических параметров.

Метод измерения - совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Принцип измерений - физическое явление или совокупность физических явлений, положенных в основу измерений.

Типы и характеристики измерительных приборов во многом зависят от применяемых принципов измерений контролируемых параметров.

Измерение какого-либо параметра характеризуется рядом показателей, из которых основными являются точность, чувствительность и инерционность. При выборе необходимой точности измерений следует учитывать требования технологического производственного процесса. Не следует завышать точность, так как достижение высокой точности иногда приводит к неоправданному усложнению методов и средств контроля.

Выбор методов начинают производить с анализа теплотехнических измерений: давления, температуры, расхода и уровня. Затем производят сравнительную характеристику методов физико-химических измерений: измерение состава и физико-химических

свойств веществ. При необходимости рассматривают измерение электрических величин, если они характеризуют технологические показатели процесса.

Нельзя допускать разнообразия методов измерения одного и того же параметра; это приведет к расширению номенклатуры приборов, что, в свою очередь, затруднит организацию их ремонта и создание резерва.

Например, было бы неправильно на одной технологической установке для измерения температуры наряду с комплектом термоэлектрический преобразователь — потенциометр использовать комплект термопреобразователь сопротивления — мост и т. д., если для этого нет оснований.

Сравнительную характеристику методов измерения заносят в таблицу (приложение Е, таблица Е.2).

2.2.1. Выбор технических средств измерения технологических параметров и их сравнительная характеристика

Нормальное функционирование любого технологического процесса невозможно без контроля его параметров. В системах автоматизации для этих целей используются датчики, работающие в комплекте с вторичными приборами.

Системы автоматического контроля служат для получения информации о ходе какого-либо процесса. Эта информация реализуется в показания приборов, сигнализацию, запись значений измеряемой величины на диаграммной бумаге или обрабатывается соответствующими средствами вычислительной и микропроцессорной техники. В случае необходимости применяется передача информации на расстояние.

В соответствии с технологической схемой, категоричностью производства и выбранными параметрами контроля по литературным данным, каталогам, справочникам и на основании практических знаний (при прохождении практики) производится выбор технических средств контроля: датчиков, преобразователей, первичных и вторичных приборов, аппаратуры сигнализации и т.п. При создании систем автоматического контроля необходимо обратить внимание на точность измерения технологических параметров. При этом приборы и вспомогательные устройства, входящие в состав систем, должны обладать минимальной стоимостью.

Измерительные средства должны выбираться по возможности в рамках Государственной Системы Приборов (ГСП) с учетом сложности технологического объекта и его пожаро- и взрывоопасности (например, принять приборы с пневматической системой дистанционной передачи, электрические приборы в искробезопасном исполнении и т.д.), агрессивности и токсичности окружающей среды, вида измеряемого технологического параметра и физико-химических свойств среды, дальности передачи сигналов от датчиков до пунктов управления, требуемой точности и быстродействия, допустимой погрешности измерительных систем, места установки устройства, требований правил установки электрооборудования. Приборы должны выбираться из числа серийно выпускаемых приборостроительной промышленностью, т.е. согласно действующим номенклатурным каталогам и справочникам.

Использовать те или иные измерительные системы - электрические, пневматические, механические - следует с учетом конкретных условий процесса измерения, необходимой точности и экономической эффективности.

Канал технологического контроля имеет первичное измерительное устройство, контролирующее технологический параметр и преобразующее его в удобного для дистанционной передачи форму линии связи (передачи сигнала), и вторичный показывающий, сигнализирующий или записывающий прибор или устройство.

Показывающие приборы дают возможность визуально судить о том или другом значении параметра по положению стрелки на шкале прибора. Самопишущими приборами ведется автоматическая непрерывная запись изменения той или другой величины. Суммирующие приборы (счетчики) автоматически суммируют значения этой величины за какой-либо промежуток времени. Приборами с сигнализирующим устройством, при достижении контролируемой величиной заданного значения, подаются дежурному персоналу световые или звуковые сигналы. Имеются приборы, которые выполняют одновременно несколько перечисленных функций.

При выборе первичных преобразователей (датчиков) технологических параметров и вторичных приборов, следует учитывать ряд определенных факторов:

— допустимую для соблюдения нормального технологического

режима погрешность, определяющего класс точности датчика;

- инерционность датчика, характеризующую его постоянную времени;

- пределы измерения устройства с гарантированной точностью;

- предельные значения измеряемой величины и других параметров среды;

- влияние физических параметров контролируемой и окружающей среды (температуры, давления, влажности и т.д.) на нормальную работу датчика;

- разрушающее влияние на датчик контролируемой и окружающей среды вследствие химического воздействия, её абразивных свойств и т.п.;

- возможность применения датчика с точки зрения пожаро-взрывобезопасности;

- расстояние, на которое может быть передана информация, выданная датчиком (измерительным преобразователем);

- возможность получения унифицированного выходного сигнала для дальнейшей его обработки или хранения.

По техническим характеристикам приборы и другие средства автоматизации должны выбираться с учетом условий эксплуатации: давления, температуры, физико-химических свойств контролируемой среды. Например, при измерении расхода и давления пара, а также расхода жидкостей, с температурой выше 70°C в комплект расходомеров переменного перепада давления должны входить уравнительные (конденсационные) сосуды, а манометры должны подключаться к отборным устройствам через кольцевые или U-образные сифонные трубки. При измерении тех же параметров агрессивных жидкостей должны использоваться разделительные сосуды. Все эти и другие вспомогательные устройства должны быть внесены в проект автоматизации. Необходимо также обратить внимание на выбор широко распространенных термопреобразователей, материалы защитных чехлов, которых должны выдерживать температуры, давления и действия агрессивных сред.

Датчики выбирают в два этапа. На первом этапе задаётся разновидность датчика, характеризующая принцип измерения

технологического параметра. На втором этапе определяется типоразмер (тип и модель или модификация) выбранного устройства. Например, измерительный преобразователь (давления, разряжения, перепада давления и т.п.), имеющий различные пределы измерения и класса точности с унифицированным токовым выходным сигналом типа МЕТРАН 55. Прибор МЕТРАН 55- ДИ модели 2234 предназначен для измерения избыточного давления величиной до 1,6 МПа класс точности преобразователя 0,25.

Разнообразие выходных параметров датчиков требует иногда применение преобразователей, обеспечивающих формирование унифицированных выходных сигналов, поэтому в комплект к измерительным устройствам должны выбираться соответствующие вторичные приборы.

Выбор вторичных приборов во многом определяется используемым датчиком или системой передачи сигнала на расстояние, а также требуемыми от прибора функциями, его габаритами, стоимостью и пр. Выбранные технические средства заносят в таблицу средств измерения технологических параметров (приложение Е, таблица Е.1).

2.2.2. Описание схемы автоматического контроля технологических параметров

Работа всех систем в технологическом процессе должна быть описана так, чтобы можно было четко представить функции, выполняемые отдельными элементами. После упоминания какого-либо из устройств автоматики необходимо делать ссылку на позицию данного устройства, соответствующую его расположению на функциональной схеме, например: «термопреобразователь термоэлектрический хромель-копелевый ТХК-0515 (поз,2а)».

2.2.3. Расчет измерительного устройства и определение основных его характеристик

В соответствии с заданием в этом разделе производится (по согласованию с руководителем проекта) расчет первичного измерительного преобразователя, вторичного прибора или измерительного комплекта, например, датчика температуры, датчика уровня, сужающего устройства, термоэлектрического термометра, термомагнитного газоанализатора и т.п. Принципиальные и (или)

расчетные схемы, а также полученные характеристики измерительного устройства могут быть приведены в графической части проекта.

2.2.4. Монтаж системы контроля на объекте измерения

В этом разделе рассматриваются возможные способы установки измерительного комплекта. Выбирается наиболее рациональный способ и производится его подробное описание, используя нормативно-справочные материалы. Необходимые чертежи приводятся в графической части проекта.

Библиографический список

1. Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Азим-заде А.Ю. Технологические измерения и приборы. - М.: Высш. шк. 1989. - 465с.
2. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. - М.: Машиностроение, 1983. - 462с.
3. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы -М.: Энергия, 1978. - 704с,
4. Лапшенков Г.И., Полоцкий Л.М. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. - М.: Химия. 1988. - 288с.
5. Приборы контроля окружающей среды /Под ред. В.Е. Манойлова, -М.: Атомиздат, 1980. - 462с.
6. Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Сборник задач и вопросов по теплотехническим измерениям. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 328с.

3. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ». Программа прикладного бакалавриата направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств.

Задачей курсового проектирования является приобретение практических навыков анализа технологического процесса, выбора средств автоматического измерения и регулирования, анализе и выборе схем автоматизации типовых технологических процессов. Студент должен научиться самостоятельно решать инженерно-технические задачи построения схем автоматического регулирования различных типовых технологических процессов. В проекте могут быть решены вопросы разработки систем автоматизации технологических участков и производств.

Основанием для выполнения курсового проекта являются материалы дисциплин «Технологические процессы автоматизированных производств», «Современные технологии производственных процессов и производств», а так же курсового проекта по дисциплине «Методы и средства формирования, передачи и хранения информации о технологическом объекте управления.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки объёмом 20-25 стр. и двух листов графического материала форматов А2 и А1..

Курсовой проект выполняется на основе курсового проекта по дисциплине «Методы и средства формирования информации о технологическом процессе».

Схема автоматизации выполняется на листе формата А1 в соответствии с ГОСТ 21.801-2013.(Одна в упрощенном вид, при выборе и обосновании каналов управления, другая в развернутом виде).

Автоматизация осуществляется на локальных средствах

В графической части проекта на листе формата А2 разрабатывается функциональная схема автоматизации типового технологического процесса (упрощенная). На листе формата А1 разрабатывается функциональная схема автоматизации типового технологического процесса (развернутая).

3.1 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Введение. (0,5 стр)

1.Исследование технологического процесса как ОУ (6-8стр).

1.1. Физико-химические основы получения продукта.

1.2. Описание схемы производства.

1.3. Описание основного технологического оборудования.

2. Выбор и обоснование параметров контроля и управления (8-10) стр.

2.1. Выбор и обоснование параметров контроля.

2.2. Выбор и обоснование параметров управления и каналов воздействия.

2.2.1. Управление (например: давлением в колонне ректификации).

2.2.2. Управление температурой

2.2.3. Управление уровнем.....

2.2.4. Управление pH.....

2.2.5.

3. Сравнительная характеристика, выбор и описание схем регулирования (12-14) стр.

3.1. АСР (например: давления в колонне ректификации).

3.2. АСР температуры.....

3.3. АСР уровня.....

3.4. АСР pH.....

3.5.

Примечание: Описываются схемы АСР в соответствие со схемой автоматизации.

4. Описание схемы автоматизации технологического процесса получения.....(заданный продукт) (2-3стр).

Заключение (0,5стр).

Список литературы.

Приложение А. Спецификация приборов и средств автоматизации (Формат А3)

3.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Мониторинг технологических параметров, объектов и процессов одна из основных задач, решаемых в процессе автоматизации ТП, и заключается в сборе значений переменных процесса (параметров, координат и т.п.), их хранении, накоплении, обработке, оценке и отображении в подходящей для человека-оператора форме. В процессе мониторинга решается и задача контроля протекания ТП- своевременное обнаружение отклонений от установленного режима, что позволяет быстро устранить их и предотвратить нарушение режима на других стадиях процесса.

Система мониторинга в общем случае включает в себя

первичные измерительные преобразователи (ПИП) технологических параметров (иначе называемые датчики), устройства преобразования-согласования сигналов измеряемых величин в системный сигнал, например, в цифровую форму (иначе называемые устройствами ввода - УВ), которые, совместно с физическим каналом связи (КС), образуют среду передачи сигналов мониторинга от ПИП к рабочей станции диспетчера (РСД). Датчики осуществляют преобразование физической величины, представляющей технологический параметр ТО, в выходную величину (измерительный сигнал), несущую информацию о количественном значении измеряемой величины. В ряде случаев система мониторинга может быть выполнена на основе индивидуального отображения технологических параметров вторичными приборами (ВП) показывающими, регистрирующими или сигнализирующими без РСД. Таким образом, системы мониторинга получаемую информацию о ходе какого-либо процесса реализуют в показания ВП (в том числе, запись значений измеряемой величины на диаграммной бумаге), сигнализацию, представление на экранах мониторов (проекционных экранах) после обработки РСД. В случае необходимости применяется передача данных на расстояние специальными сетевыми средами передачи.

Выбор средств для системы мониторинга сопряжен с оценкой целого ряда характеристик, отражающих важные с точки зрения обеспечения управления аспекты. Прежде всего, это информационные, метрологические и динамические характеристики, а также параметры, учитывающие влияние окружающей среды, среды передачи сигналов, значения величин и характер нагрузок.

Выбор ТС мониторинга необходимо начинать с определения возможных методов и принципов измерения технологических параметров, выбранных в предыдущем разделе. *Выбор методов* начинают производить с анализа измерений теплотехнических параметров: давления, температуры, расхода и уровня. Затем производят сравнительную характеристику методов физико-химических измерений: измерение состава и физико-химических свойств веществ и пр. Нельзя допускать разнообразия методов измерения одного и того же параметра, так как это приведет к расширению номенклатуры приборов, что, в свою очередь, затруднит организацию их ремонта и создание

резерва,

Большое значение для обеспечения безопасности ТП имеет контроль воздушной среды производственных помещений. Горючие газы и пары легковоспламеняющихся жидкостей могут проникать в воздух помещений как в результате возникших неполадок в работе оборудования, так в отдельных случаях и при нормальном ходе процессов. Для контроля воздушной среды взрывоопасных помещений используют газоанализаторы-сигнализаторы до взрывоопасных концентраций. Пробоотборные устройства и датчики сигнализаторов устанавливают в самом взрывоопасном помещении, причем отборные устройства должны быть размещены в местах, где появление горючих газов или паров наиболее вероятно.

Далее в соответствии с технологической схемой, категоричностью производства и выбранными параметрами контроля и методами измерения по литературным данным, каталогам, справочникам и на основании практических знаний производится выбор датчиков и вторичных приборов, устройств ввода, каналов связи, исполнительных механизмов, аппаратуры сигнализации и т.п.

При выборе первичных измерительных преобразователей - ПИП (датчиков) технологических параметров и вторичных приборов (ВП), следует учитывать ряд определенных факторов: допустимую для соблюдения нормального технологического режима погрешность, определяющую класс точности прибора; инерционность датчика, характеризующую его постоянную времени; пределы измерения датчика с гарантированной точностью; предельные значения измеряемой величины и других параметров среды; влияние физических параметров контролируемой и окружающей среды (температуры, давления, влажности и т.д.) на нормальную работу датчика; разрушающее влияние на датчик контролируемой и окружающей среды вследствие химического воздействия, её абразивных свойств и т.п.; возможность применения ИП с точки зрения пожаро-взрывобезопасности; возможность получения унифицированного выходного сигнала для дальнейшей его обработки или хранения; расстояние, на которое может быть передана информация, выданная датчиком (измерительным преобразователем);

В процессе выбора датчиков и ВП учитываются также

особенности производственного процесса и помещения, влияние окружающей среды, наличие вибраций, электрических и магнитных полей и т.п. Измерительные средства должны выбираться по возможности в рамках Государственной системы приборов (ГСП) с учетом сложности технологического объекта и его пожаро- и взрывоопасное *in* (например, принять приборы с пневматической системой дистанционной передачи, электрические приборы в искробезопасном исполнении и т.д.), агрессивности и токсичности окружающей среды, вида измеряемого технологического параметра и физико-химических свойств среды, дальности передачи сигналов датчиков до пунктов управления, требуемой точности и быстродействия, допустимой погрешности измерительных систем, места установки устройства, требований правил установки электрооборудования. Приборы должны выбираться из числа серийно выпускаемых приборостроительной промышленностью, т.е. согласно действующим номенклатурным каталогам и справочникам. Использовать те или иные измерительные системы - электрические, пневматические, механические следует с учетом конкретных условий процесса измерения, необходимой точности и экономической эффективности.

Необходимо также обратить внимание на выбор широко распространенных термопреобразователей, материалы защитных чехлов которых должны выдерживать температуры, давления и действия агрессивных сред. Все эти и другие вспомогательные устройства должны быть внесены в проект автоматизации.

Кроме отмеченного выбор ВП во многом определяется используемым датчиком или системой передачи сигнала на расстояние, а также требуемыми от прибора функциями, его габаритами, стоимостью и пр.

Исполнительными механизмами (ИМ), перемещающими регулирующие органы (задвижки, заслонки, клапаны, шиберы, краны и др.) систем автоматизации, осуществляется реализация управляющих воздействий. Выбор ИМ производится на основе требований технологического оборудования, эксплуатационных, конструктивных и экономических характеристик.

С точки зрения соответствия требованиям технологического

оборудования, наиболее важными характеристиками являются номинальный момент, время полного срабатывания и перемещение (ход) штока.

В аварийных ситуациях защита технологического оборудования осуществляется перекрытием трубопроводов специальными отсечными клапанами, установленными последовательно с регулирующими исполнительными органами. При нормальном ходе процесса они полностью открыты и срабатывают одновременно с аварийной сигнализацией. Специальная конструкция затвора клапана и более мощный исполнительный орган обеспечивают надежное перекрытие трубопровода.

3.3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА

3.3.1. *В основу автоматизация ТП на базе средств локальной автоматики* положен принцип создания так называемых подсистем локального управления, являющихся функционально выделенной системой, реализующей самостоятельно (в автоматическом режиме) алгоритм управления и обеспечивающей достижение цели управления конкретным подобъектом управления или его технологическим параметром. Цели, параметры, а иногда и сами законы управления подсистема может получать в виде заданий от других систем, например автоматизированной системы управления ТП (АСУТП) или смежных систем, с которыми обеспечивается взаимодействие. Различают автоматические системы регулирования (АСР) и системы автоматического управления (САУ).

Автоматическая система регулирования является функционально завершенной технической системой, обеспечивающей достижение цели управления, заключающейся в обеспечении близости текущего значения координаты ТП к его заданному значению. В любом случае процесс регулирования (стабилизация, программное или следящее) представляет собой изменение регулируемой величины DO времени под действием как возмущающих, так и задающих воздействий.

Система автоматического управления, аналогично АСР, осуществляет в автоматическом режиме управление технологическим объектом (ТО), установкой или агрегатом, при этом наряду с регулированием реализует (в том числе, и одновременно) и другие виды управления (*координацию, управление состоянием, оптимальное*

управление), в соответствии с целью управления, заключающейся в обеспечении эффективного функционирования ТО. Соответственно критериями качества управления являются значения обобщающих технических характеристик ТО (производительность, точность, соотношение и т.п.). Количество контролируемых координат ТО может достигать нескольких десятков.

При автоматизации конкретного ТО особое внимание необходимо уделить выбору рациональной структуры АСР или САУ, которая определяется в результате применения прогрессивных принципов управления с использованием дополнительных показателей хода ТП, таких как возмущающие воздействия, промежуточные регулируемые величины и др. С задачей синтеза рациональной структуры одновременно решается также и задача выбора закона регулирования и его коэффициентов. При этом учитываются характеристики и других ТСА, входящих в систему, которые также влияют на показатели качества процессов регулирования.

3.3.2. *Системообразующей частью АСР является объект управления (ОУ) или регулирования (ОР).* Характер протекающего в нем процесса, конструктивные особенности оборудования, требования к качеству производимого продукта или энергии, а также требования по надежности и условиям эксплуатации предопределяют принцип регулирования, а также структуру АСР и аппаратуру для ее реализации. При этом под регулируемой величиной (координатой ОУ) понимают технологический параметр ОУ (температуру, давление, уровень и т.п.).

Синтез рациональной структуры АСР сводится к разработке схемы взаимодействия регулятора или регуляторов с объектом регулирования (ОР). Синтез рациональной структуры АСР не всегда может быть сведен к формальной процедуре. Этот процесс в значительной мере является творческим. Для успешного решения задачи синтеза рациональной структуры АСР необходимо досконально изучить ОР, условия его эксплуатации и требования к качеству регулирования.

При построении АСР в качестве регулируемых координат выбирают технологические параметры, изменение которых свидетельствует о нарушении материального и теплового балансов в ОР. К ним относятся: уровень жидкости - показатель баланса по жидкой

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

3.3.3. *Окончательные решения по автоматизации на основе локальных средств и систем* принимаются после анализа существующих схем автоматизации, известных из отечественной и зарубежной литературы. Рабочий вариант схемы автоматизации должен обеспечить достижение наиболее высоких технико-экономических показателей работы системы, не только соответствовать существующим технологическим требованиям, но и учитывать также перспективы совершенствования ТП, особенности развития технических средств автоматизации. Это позволяет совершенствовать систему автоматизации без существенных затрат. Оптимальный объем (уровень) автоматизации ТП определяется поставленными задачами с учетом технико-экономического обоснования целесообразности автоматизации на базе принятого комплекса технических средств.

На основе анализа ТП как совокупности ОР проектируют систему автоматизации, обеспечивающую решение поставленных задач регулирования. Начинают с проектирования одноконтурных АСР: они наиболее просты в наладке и надежны в работе, поэтому широко используются при автоматизации ТО. При неблагоприятных динамических характеристиках каналов регулирования анализируют возможность построения многоконтурных АСР, в которых качество регулирования можно повысить, усложняя схемы автоматизации, т.е. применяя каскадные, комбинированные, взаимосвязанные АСР и др. Среди методов повышения качества регулирования за счет усложнения структуры систем регулирования наиболее распространены следующие: *введение импульса по возмущению (комбинированные АСР); введение динамической компенсации в системах связанного регулирования; использование каскадных (многоконтурных) АСР; введение в систему информации по значению промежуточной координаты.*

Разработанная (или выбранная типовая) структура, должна быть всесторонне проанализирована с точки зрения ее рационального использования для конкретного объекта. При этом следует иметь в виду, что слишком упрощенная структура может не обеспечить требуемого качества регулирования, а усложненная может оказаться

ненадежной и сложной в эксплуатации.

3.3.4. *Выбор технических средств автоматизации (ТСА)* целесообразно проводить в такой последовательности:

1. Составляют упрощенную технологическую схему объекта регулирования (ОР), выделяя ее из технологической схемы производства,

2. Выбирают основную регулируемую величину, исходя из использования одноконтурной АСР, и формулируют цель регулирования. Оценивают связи между переменными в статическом режиме и выясняют возможность создания системы регулирования. Устанавливают число независимых статических регулируемых параметров. При нескольких регулируемых величинах в одном объекте необходимо, чтобы их взаимные связи через процесс были минимальными.

3. Выбирают регулирующее воздействие, определяя, таким образом, канал воздействия. Выбранная в качестве регулирующей входная величина должна отвечать следующим требованиям: степень ее влияния по величине коэффициента передачи и ширине рабочей области достаточна для получения необходимой точности регулирования; статические характеристики ОР линейны или несущественно нелинейные; запаздывание в передаче управляющего сигнала минимально.

4. Составляют структурную схему АСР, связывающую основные элементы замкнутой системы (ОР, измерительное устройство, преобразующие устройства, устройство регулирования, исполнительное устройство и пр.).

5. Выбирают измерительный и промежуточный преобразователи (при необходимости), исполнительное устройство. При выборе исполнительных механизмов учитываются конструктивные, эксплуатационные, экономических факторы и требования технологического процесса. Основными техническими характеристиками исполнительных механизмов являются: быстродействие, точность, номинальная нагрузка (момент), зона нечувствительности, КПД и т.д.

6. Оценивают динамические свойства ОР. Для этой цели могут быть применены как экспериментальные, так и аналитические или

экспериментально-аналитические методы.

7. Определяют характер и значение основных возмущающих воздействий (помех), имеющих самый разнообразный характер и интенсивность, однако их сводят к трем наиболее распространенным видам: скачкообразно длительному, пиковому, монотонно нарастающему.

8. Предварительно выбирают характер выходного сигнала регулятора (тип регулирующего воздействия (непрерывный, релейный или импульсный)).

Причем импульсные или релейно-импульсные (цифровые) регуляторы применяют, когда информация о состоянии регулируемого объекта поступает непрерывно, а регулирующее воздействие осуществляется только в дискретные моменты времени.

9. Устанавливают требуемые (заданные) показатели качества процесса регулирования, используя, прежде всего данные технологического регламента.

10. Проверяют пригодность выбранного типа регулирующего воздействия и оценивают качество регулирования для различных законов в одноконтурных системах, если выбранный тип регулирующего воздействия можно реализовать с помощью нескольких законов регулирования. Рекомендуется использовать наиболее простой закон, обеспечивающий требуемое качество.

11. Анализируют возможность улучшения динамических свойств объекта регулирования, если даже самый сложный из законов не обеспечивает требуемого качества регулирования. Такое улучшение, прежде всего, возможно за счет применения менее инерционных измерительных преобразователей, других регулирующих воздействий, а также изменения места установки датчиков или РО.

12. Анализируют возможность и способ улучшения качества регулирования систем другой структуры (многоконтурных, комбинированных, с переменной структурой и пр.), если мероприятия по улучшению динамических свойств ОР не приносят желаемого результата.

13. Осуществляют аппаратную реализацию АСР или системы автоматизации ТП в целом. Современные АСР в своем значительном большинстве реализуются на базе агрегатных средств иди

программируемых контроллеров, позволяющих организовывать локальные (автономные) контуры автоматического управления в ТП. Из ряда контроллеров, предлагаемых той или иной фирмой, выбираются наиболее подходящие с точки зрения решения конкретной задачи управления. При необходимости осуществляется программирование контроллера, задается вид управления, тип закона регулирования, значения настроечных коэффициентов и т.д. Функционально АСР в этом случае может быть реализована частично аппаратно, частично программно. Независимо от этого АСР представляется как система, в которой все элементы виртуальной структуры существуют реально в виде отдельных модулей (алгоритмов), а вместе реализуют функцию регулирования заданного параметра.

Выбранные технические средства автоматизации заносят в спецификацию оборудования, изделий и материалов (приложение Е, таблица Е.3).

Таким образом, выбор систем проводят, начиная с одноконтурной АСР и простейшего закона регулирования, усложняя его, пока не достигнут требуемого качества регулирования. Если требуемое качество не достигается в одноконтурной системе, то анализируют возможность использования более сложных структур систем. Кроме того, при разработке принимают во внимание сравнительную оценку систем с энергоносителем разного вида.

3.3.5. В результате инженерного анализа ТП, принципиальных схем построения систем мониторинга, регулирования и управления, формирования комплекса технических средств (КТС) разрабатывается *функциональная схема автоматизации (ФСА)*, определяющая виде» измеряемых физических величин, капаны управления, размещение средств автоматизации, в том числе, средств визуализации информации для оператора ТП. ФСА определяет функции и объем автоматизации ТП.

При описании ФСА должны быть отражены вопросы выбора параметров контроля и управления, построения структуры управления, организации пунктов контроля и управления, блокировки механизмов, наличия защиты и сигнализации, технических средств, с помощью которых реализуется тот или иной функциональный узел контроля, автоматического регулирования и управления.

Работа всех систем контроля, регулирования и управления должна быть описана так, чтобы можно было четко представить функции, выполняемые отдельными системами и их элементами. После упоминания какого-либо из устройств необходимо делать ссылку на позицию данного устройства, соответствующую его расположению на функциональной схеме.

Например:

Для регулирования расхода спирта этилового-сырца перед подогревателем (поз.7) и съема спирта с ректификационной колонны (поз. 3) применяются вихревые расходомеры ЭВ-200ЕхС с верхним пределом измерений $2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, классом точности 1,0, с унифицированным выходным сигналом 4-20мА (поз. 28, 29а). вариант исполнения - взрывозащищенное «искробезопасная электрическая цепь» (ExibllC(T1-T5)X), изготовитель НПО «Элемер» г.Зеленоград. Для преобразования выходного электрического сигнала 4...20 мА с управляющих модулей МВУ8 в пневматический унифицированный сигнал 20...100 кПа и подачи этого сигнала на исполнительные механизмы применяются преобразователи электропневматические Samson типа 6111 (поз. 28б, 29б). В качестве исполнительного механизма применяется регулирующий клапан с мембранным исполнительным механизмом Samson типа 3347-1(поз. 28в, 29в).

Библиографический список

1. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП [Текст] : Методическое пособие в 2-х томах. СПб: Издательство ДЕАН, 2010. - 552 с.
2. Автоматическое управление в химической промышленности: Под ред. Е.Г.Дудникова.-М.:Химия.1987.-368 с.
- 3.Шувалов В.В., Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. - М.:Химия.1991.-480 с.
- 4.Макаренко В.Г. Схемы автоматизации: Учеб.-метод. пособие к курсовому и дипломному проектированию/ Юж.-Рос.гос.техн.ун-т. Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999.-47с.
- 5.ГОСТ 21.208-2013 СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. М.: Стандартиформ, 2014

4. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ». Программа прикладного бакалавриата направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств.

Задачей курсового проектирования является приобретение практических навыков анализа технологического процесса, выбора средств автоматического измерения и управления, разработки схем АСУ ТП. Студент должен научиться самостоятельно решать инженерно-технические задачи построения АСУ различных технологических процессов. В проекте могут быть решены вопросы разработки систем автоматизации технологических участков и производств.

Основанием для выполнения курсового проекта являются материалы курсового проекта, выполняемого по дисциплине «Автоматизация типовых технологических процессов»

Курсовой проект состоит из пояснительной записки объёмом 20-25 стр. и одного листа графического материала. Схема автоматизации выполняется на листе формата А1.

Автоматизации технологического процесса осуществляется на ПЛК различных производителей.

В графической части проекта на листе формата А1 разрабатывается функциональная схема автоматизированной системы управления технологического процесса (развернутая).

4.1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Введение (0,5стр).

1.Структурно-параметрический анализ ТОО (8-10)стр.

1.1 Анализ структуры технологического комплекса.

1.2. Характеристики и режимы работы технологического оборудования

1.3. Постановка задачи исследования ТОО. Формулирование критериев управления.

1.4. Параметрический анализ технологического процесса.

2. Формирование требований для проектирования автоматизированной системы управления (8-10) стр.

2.1. Оценка степени влияния возмущающих воздействий на показатели качества, формируемые в объекте.

2.2. Выбор и обоснование параметров управления и каналов воздействия.

2.3. Выбор каналов управления технологическим комплексом.

2.4. Формирование таблицы сигналов ввода/вывода.

3. Выбор технических средств для реализации автоматизированной системы управления (8-10) стр.

3.1. Выбор первичных измерительных преобразователей.

3.2. Выбор промежуточных и вторичных преобразователей.

3.3. Выбор ПЛК и вспомогательного оборудования контроллера.

3.4. Выбор исполнительных устройств.

3.5. Выбор технических средств и программного обеспечения уровня диспетчерского управления.

4. Техническая реализация системы автоматического управления ТОУ (4-6) стр.

Вывод (0,5стр)

Список литературы

Приложение А. Спецификация технических средств автоматизации

Приложение Б. Таблицы ввода-вывода

4.2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА

4.2.1. *АСУТП являются наиболее распространенным видом систем управления в технологических производствах и характеризуются наличием самостоятельных целей и перечнем функций, а также соответствующей целям и функциям архитектурой.*

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

свои подзадачи управления, подчиненные общей задаче управления процессом в целом.

Задачи управления отдельными стадиями обычно направлены на оптимизацию (в частном случае, стабилизацию) технологического параметра или критерия, легко вычисляемого по измеренным режимным параметрам (производительность, концентрация продукта, расход энергии). На основании задачи оптимального управления отдельными стадиями процесса формулируют задачи автоматического регулирования технологических параметров для отдельных аппаратов.

4.2.2. *Цели функционирования* вместе с величинами критериев качества и значениями некоторых координат задаются вышестоящей СУ. Важнейшей функцией АСУТП является стабилизация координат (параметров), а в пределе - нахождение оптимальных управлений состоянием ТП. Кроме того, в функции управления на этом уровне входит выявление и устранение ненормальных (аварийных) режимов, переключение оборудования в технологических схемах, вычисление технико-экономических параметров процесса и т.п.

Необходимость реализации АСУТП функций непосредственного управления процессами в режиме реального времени и организации взаимодействия с оператором, принимающим решения по выработке управляющих воздействий, однозначно формирует архитектуру АСУТП как иерархическую (минимально двухуровневую). В зависимости от целей управления ТП преобладающую роль могут играть контуры автоматической реализации алгоритмов управления или автоматизированного управления, когда управляющие решения формируются с участием оператора (операторов). Специфика ОУ, его состав, сложность протекающих процессов, пространственная распределенность технологического оборудования, степень взаимосвязи между отдельными агрегатами или процессами и т.п. - все это, в совокупности, является определяющим фактором при выборе конфигурации и средств управляющей сети, как основы архитектуры АСУТП. Наконец, уровень требований к качеству функционирования ТП инициирует постановку и решение задач оптимального или адаптивного управления. Таким образом, *проект должен содержать подробный функционально - целевой анализ задач автоматизации и управления.*

4.2.3. В обобщенном виде *архитектура АСУТП может быть представлена управляющей сетью*, в узлах которой размещены станции автоматического или автоматизированного управления, которые связаны необходимыми коммуникациями. Использование вычислительных сетей для реализации функций управления формирует *класс управляющих вычислительных сетей*. В зависимости от обслуживаемых объектов сети располагают в следующей иерархии:

- *специализированные промышленные сети типа fieldbus*, осуществляющие полностью цифровую двунаправленную многоточечную связь интеллектуальных устройств и контроллеров (модулей контроллеров) на объектах с операторскими компьютерами;

- *локальные вычислительные сети (ЛВС)*, охватывающие ограниченное пространство (обычно в пределах удаленности станций не более чем на несколько сотен метров друг от друга, реже на 1...2 км) и реализующие распределенные вычисления и обработку данных; локальные сети обозначают LAN (Local Area Network);

- *корпоративные сети (масштаба предприятия)* - совокупность связанных между собой ЛВС и (или) промышленных сетей типа fieldbus, предназначенных для решения общих задач автоматизации на предприятии или учреждении; их называют Enterprise Network;

- *территориальные сети*, охватывающие значительное географическое пространство; среди территориальных сетей можно выделить сети региональные и глобальные, например, называемые WAN (Wide Area Network) или Internet, имеющие соответственно региональные или глобальные масштабы; в Internet существует понятие *интрасетей* (Intranet) - корпоративных сетей в рамках Internet.

SCADA - системы обеспечивают системную декомпозицию с учетом согласованного и координированного решения задач автоматизации, опираясь при этом на самые современные сетевые технологии. SCADA - системы позволяют строить интегрированные иерархические системы на основе временной и уровневой иерархии за счет разделения общей задачи автоматизированного управления по фазам планирования, регулирования, учета, анализа, а также временной иерархии задач внутри каждой фазы. Второй важнейший

интеграционный момент связан с принципиальным объединением в единый программный комплекс инструментальной и исполнительной систем. SCADA - системы наиболее наглядно демонстрируют достоинства интеграции СА и СУ, обеспечивая координацию процессов исследования хода производства, оперативного и стратегического планирования, адаптации системы и управлений за счет изменения состава и взаимосвязей между задачами, характера взаимодействия между ее компонентами, а также параметрической оптимизации в процессе управления.

4.2.4. *Устройства ввода* в соответствии с функциональным назначением подразделяются на устройства ввода аналоговых сигналов, ввода дискретных сигналов, счетчики (таймеры), специализированные измерители, нормализаторы, коммутационные устройства, сетевые контроллеры и интегрированные (использующие различные комбинации указанных групп). Перечень УВ для промышленного применения огромен, кроме того, устройства, идентичные по функциональным характеристикам, имеют несколько конструктивных модификаций в зависимости от условий эксплуатации. Поэтому задача выбора УВ представляется совсем не однозначной, и ее решение зависит от множества факторов.

Прежде всего, оцениваются условия эксплуатации и удаленность по отношению к ТО. Эти требования относятся ко всей системе, однако именно УВ в значительной степени определяют характеристики. Поэтому уже на первом этапе анализа можно исключить из рассмотрения большое количество УВ, не отвечающих, например, климатическим требованиям или не имеющих гальванической развязки по входу или выходу. Далее рассматривается количество и номенклатура сигналов датчиков и особенности преобразования этих сигналов, определяемые, например, алгоритмом управления объектом. В частности, информация от датчиков поступает непрерывно, а обрабатывается периодически (циклически) с временем $T_{ц}$. В соответствии с выбранным принципом организации циклов всю информацию, поступающую от датчиков, подразделяют на постоянную (периодичность опроса датчиков не более $T_{ц}$), периодическую (периодичность опроса датчиков до $10T_{ц}$), эпизодическую (периодичность опроса датчиков свыше $10T_{ц}$). Первый поток

информации учитывается во всех циклах управления ТО, а второй и третий - только в соответствии с потребностью алгоритма управления.

4.2.5. В проекте должны быть *обоснован выбор и описана среда передачи* сигналов от датчиков к ВП, РСМ, УВ, программируемым контроллерам и исполнительным механизмам. В настоящее время все чаще для ее организации используется *интерфейс последовательного обмена*, он является неотъемлемой частью любого управляющего контроллера, устройств считывания штриховых кодов, интеллектуальных датчиков и других устройств. Наиболее часто используют интерфейс RS-422 и RS-485, как стандарт для связи измерительных и промежуточных преобразователей с компьютерами и контроллерами. *В этом случае в проекте должно, быть представлена схема, позволяющая проследить сетевую организацию измерительных и управляющих каналов системы.*

4.2.6. Формирование комплекса технических средств (КТС) является завершающим этапом автоматизации. В состав КТС автоматизации наряду со средствами регулирования входят: подсистемы мониторинга технологических параметров; исполнительные механизмы (командоаппараты, исполнительные и регулирующие органы, преобразователи командных сигналов и т.п.); программируемые контроллеры; устройства человеко-машинного интерфейса оператора (индикаторы, сигнализаторы, щиты и мнемосхемы комплексного контроля, пульта управления, мониторы и экраны). Для выбора контроллера рекомендуется предварительно составить таблицу «Ввода-вывода» сигналов (см. таблицу Ж.1, приложения Ж).

4.2.6. Технические средства автоматизации на функциональной схеме рекомендуется заносить в таблицу организационной структуры располагаемой в нижней части чертежа представленную на рисунке 3.б.

Библиографический список

1. Стегаличев Ю.Г. и др. Технологические процессы пищевых производств. Структурно параметрический анализ объектов управления. Ростов-на-Дону-Санкт-Петербург. «Феникс». 2006г

2. Федоров Ю.Н. Порядок создания, модернизации и

сопровождения АСУТП [Текст] : Методическое пособие - М: Инфра - Инженерия, 2011. - 576 с.

3. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП [Текст] : Методическое пособие в 2-х томах. СПб: Издательство ДЕАН, 2010. - 552 с.

4. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП [Текст] : Учебно-практическое пособие - М: Инфра - Инженерия, 2008. - 928 с.

5. Автоматическое управление в химической промышленности: Под ред. Е.Г.Дудникова.-М.:Химия.1987.-368 с.

6. Шувалов В.В., Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. - М.:Химия.1991.-480 с.

7. Макаренко В.Г. Схемы автоматизации: Учеб.-метод. пособие к курсовому и дипломному проектированию/ Юж.-Рос.гос.техн.ун-т. Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999.-47с.

8. ГОСТ 21.208-2013 СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. М.: Стандартинформ. 2014

**5 КУРСОВОЙ РАБОТА ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПРОИЗВОДСТВА КАК
ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ». Программа
прикладной магистратуры направления подготовки 15.04.04
Автоматизация технологических процессов и производств.**

Основным назначением АСУТП является оптимизация технологических процессов в соответствии с заданным критерием эффективности (обычно экономическим). При этом предполагается, что применение АСУТП приведет к повышению эффективности производственного процесса, и в первую очередь технологического. Для эффективной работы АСУТП, заключающейся в оптимизации функционирования технологического процесса – технологического объекта управления (ТОУ), необходимо обеспечить: стабилизацию параметров технологического процесса при различных возмущениях; программное управление технологическим циклом; оптимизацию технологического.

Технологический процесс (ТП) составляет основу любого производственного процесса, является важнейшей его частью, связанной с переработкой сырья и превращением его в готовую продукцию. ТП включает в себя ряд стадий. Время протекания процесса зависит от времени каждой стадии. В свою очередь, стадии расчленяются на операции, как законченную часть технологического процесса, выполняемую на рабочем месте и характеризующую постоянством предмета и орудий труда, характером воздействия на предмет труда.

Практически любой конкретный технологический процесс можно рассматривать как часть более сложного процесса и совокупность менее сложных технологических процессов. В соответствии с этим технологическая операция может служить элементарным технологическим процессом. Элементарный технологический процесс – это простейший процесс, дальнейшее упрощение которого приводит к потере характерных признаков технологического процесса. Поэтому наиболее наглядную структуру технологического процесса можно представить на примере простой операции, обладающей одним рабочим ходом и комплексом вспомогательных ходов и пере: ходов, обеспечивающих ее протекание.

Алгоритм управления – предписание, последовательность шагов

при реализации процесса на различных этапах его протекания, точно определенный порядок выработки решений, обмена информацией в процессе управления. Он отражает порядок выработки решений от начала процесса до его завершения. Тщательная отработка алгоритма управления – необходимый этап проектирования любой АСУТП.

5.1 Примерное содержание курсовой работы

Введение	
1. Исследование технологического процесса как объекта управления....	
2. Параметрический анализ технологического процесса производства.....	
3. Разработка алгоритмов контроля и управления технологическим процессом производства.....	
Заключение	
Список использованных источников	
Объем пояснительной записки 28-32 с.	

5.2. Методика выполнения курсовой работы

1 раздел. Выбор схемы и изучение технологической системы (процесса) конкретного технологического производства.

Технологическая система (ТС) многоассортиментного производства - это упорядоченная последовательность технологических процессов производства одного или нескольких целевых или промежуточных продуктов и множество технологических аппаратов с системой материальных и энергетических связей между ними, необходимое и достаточное для производства этого продукта.

По режиму функционирования различают ТС периодического действия, непрерывного действия, а также смешанного типа, когда в пределах одной ТС содержатся аппараты периодического и непрерывного или периодического и полунепрерывного действия.

В данном разделе описывается технологический процесс, с указанием характеристик оборудования и его режимов работы. Разрабатывается структура технологического процесса. Объем данного раздела составляет 8-10 с.

2 раздел. Параметрический анализ технологического процесса (конкретного производства), как объекта управления

Разработка комплексной системы управления многозвенным,

многофакторным объектом включает в себя этап структурно-параметрического анализа объекта.

Параметрический анализ объекта управления выполняется с целью определения всех параметров, подлежащих контролю или управлению по ходу реализации технологического процесса. Структурный анализ объекта проводится для определения внутренних связей между элементами технологического комплекса. На основании структурной схемы технологического процесса производится декомпозиция ТП на технологические операции, определяется номенклатура показателей качества основного и побочных продуктов, возмущающих воздействий, подлежащих контролю при управлении ТП, устанавливаются их номинальные значения и диапазоны их варьирования.

Объем данного раздела составляет 12-16 с.

3 раздел. Разработка алгоритмов контроля и управления технологическим процессом.

Решение технологических задач реализуются алгоритмами управления. Алгоритмы управления определяют порядок подачи управляющих воздействий на исполнительные устройства АСУТП. Они должны обеспечивать программирование работы АСУТП в соответствии с заданным критерием оптимальности (целевой функцией) функционирования ТОУ. В зависимости от характера функционирования ТО и его составных частей алгоритмы управления АСУТП делятся на три группы:

1. Алгоритмы стабилизации значений управляющих параметров на уровнях, обеспечивающих оптимальный ход техпроцесса;
2. Алгоритмы оптимального программно-следящего управления в рамках технологического цикла;
3. Алгоритмы автоматической оптимизации техпроцесса в процессе его реализации.

Последние применяются в тех случаях, когда оптимальные параметры техпроцесса не могут быть определены и заданы заранее.

На основании параметрического анализа технологического процесса осуществляется привязка к реальному времени операций контроля и управления. Разрабатываются циклограммы и алгоритмы

реализации операций контроля и управления заданным технологическим процессом и отдельными его стадиями.

Объем данного раздела составляет 8-10 с.

Библиографический список

1. Стегаличев Ю.Г. и др. Технологические процессы пищевых производств. Структурно параметрический анализ объектов управления. Ростов-на-дону-Санкт-Петербург. «Феникс», 2006г

2. Автоматическое управление в химической промышленности: под ред. Е.Г.Дудникова. - М.: Химия, 1987.368 с.

3. Шувалов В.В., Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. - М.: Химия, 1991.480 с..

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)
ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАЗВЕРНУТЫМ СПОСОБОМ

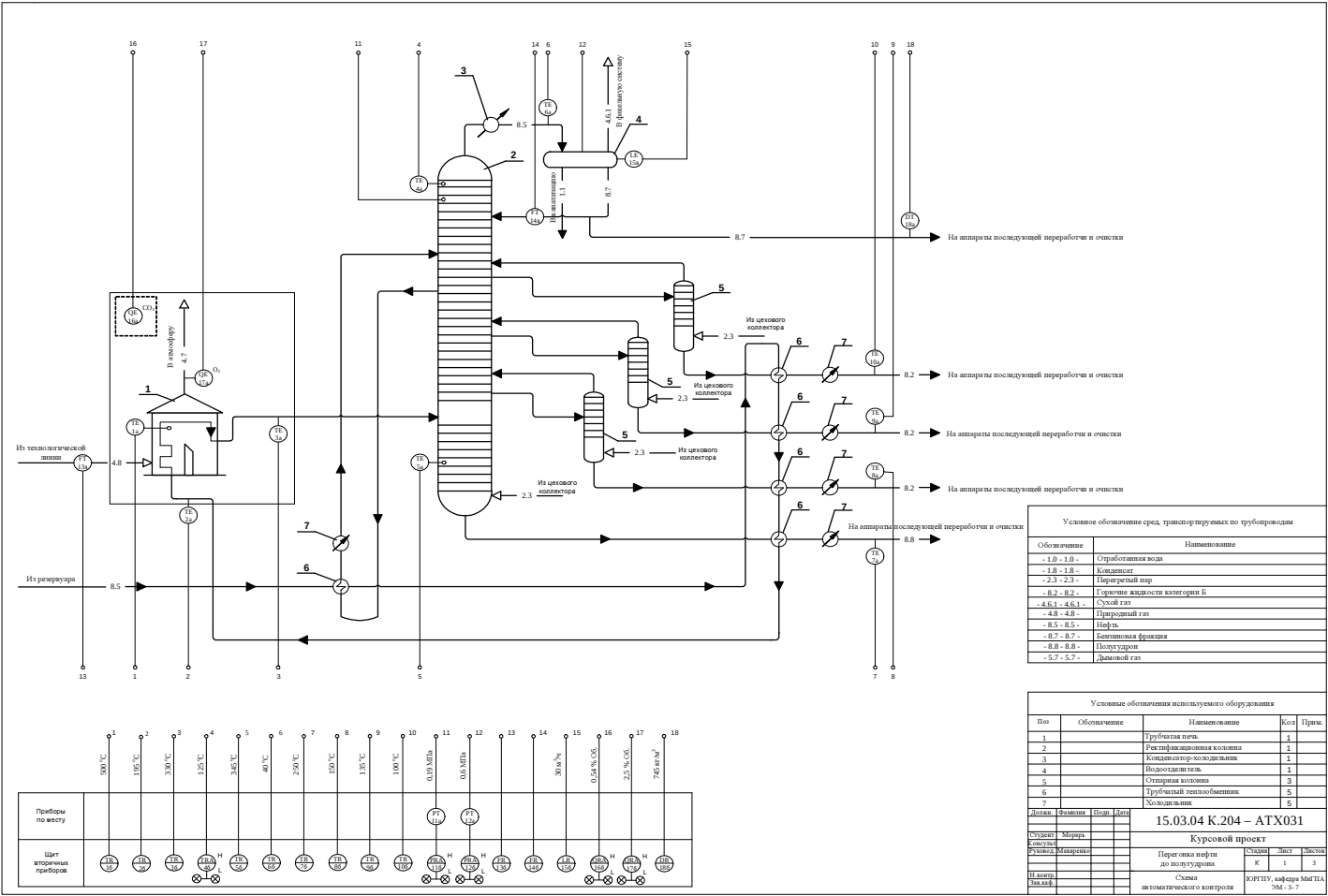


Рисунок А.1

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

УСЛОВНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ, ГАЗОВ И МАТЕРИАЛОВ, ТРАНСПОРТИРУЕМЫХ ПО ТРУБОПРОВОДАМ, ПО ГОСТ 14202-69.

Таблица Б.1.

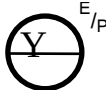
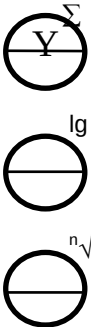
Цифровые обозначения	Наименование транспортируемой среды	Цифровые обозначения	Наименование транспортируемой среды
1. ВОДА		3.6	Пневмотранспорта
1.1	Питьевая	3.7	Кислород
1.2	Техническая	3.8	Вакуум
1.3	Горячая (водоснабжение)	3.9	Прочие виды
1.4	Горячая (отопление)	3.0	Отработанный
1.5	Питательная	4. ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ	
1.6	Резерв	4.1	Светильный
1.7	Резерв	4.2	Генераторный
1.8	Конденсат	4.3	Ацетилен
1.9	Прочие виды	4.4	Аммиак
1.0	Отработанная, сточная	4.5	Водород и газы, его содержащие
2. ПАР		4.6	Углероды и их производные
2.1	Низкого давления (до 0,2 МПа)	4.7	Окись углерода и газы, его содержащие
2.2	Насыщенный	4.8	Резерв
2.3	Перегретый	4.9	Прочие виды
2.4	Отопление	4.0	Отработанные
2.5	Влажный (соковый)	5. НЕГОРЮЧИЕ ГАЗЫ	
2.6	Отборный	5.1	Азот и газы, его содержащие
2.7	Резерв	5.2	Резерв
2.8	Вакуумный	5.3	Хлор и газы, его содержащие
2.9	Прочие виды	5.4	Углекислый газ и газы, его содержащие
2.0	Отработанный		
3. ВОЗДУХ		5.5	Инертные газы
3.1	Атмосферный	5.6	Сернистый газ и газы, его содержащие
3.2	Кондиционированный	5.7	Резерв
3.3	Циркуляционный	5.8	Резерв
3.4	Горячий	5.9	Прочие виды
3.5	Сжатый	5.0	Отработанные

Продолжение таблицы Б.1

Цифровые обозначения	Наименование транспортируемой среды	Цифровые обозначения	Наименование транспортируемой среды
6. КИСЛОТЫ		8.6	Взрывоопасные жидкости
6.1	Серная	8.7	Резерв
6.2	Соляная	8.8	Резерв
6.3	Азотная	8.9	Прочие горючие жидкости
6.4	Резерв	8.0	Горючие стоки
6.5	Неорганические кислоты и их растворы	9. НЕГОРЮЧИЕ ЖИДКОСТИ	
6.6	Органические кислоты и их растворы	9.1	Жидкие пищевкусовые продукты
6.7	Расворы кислых солей	9.2	Водные растворы (нейтральные)
6.8	Резерв	9.3	Прочие растворы (нейтральные)
6.9	Прочие жидкости кислотной реакции	9.4	Водные суспензии
6.0	Отработанные кислоты и кислые стоки (при pH<6,5)	9.5	Прочие суспензии
7. ЩЕЛОЧИ		9.6	Эмульсии
7.1	Натриевые	9.7	Резерв
7.2	Калийные	9.8	Резерв
7.3	Известковые	9.9	Прочие негорючие жидкости
7.4	Известковая вода	9.0	Негорючие стоки (нейтральные)
7.5	Неорганические щелочи и их растворы		
7.6	Органические щелочи и их растворы	0. ПРОЧИЕ ВЕЩЕСТВА	
7.7	Резерв	0.1	Порошкообразные материалы
7.8	Резерв	0.2	Сыпучие материалы зернистые
7.9	Прочие жидкости щелочной реакции	0.3	Смеси твердых материалов с воздухом
7.0	Отработанные щелочи и щелочные стоки (pH>8,5)	0.4	Гели
8. ГОРЮЧИЕ ЖИДКОСТИ		0.5	Пульпы водяные
8.1	Жидкости категории А (t _{в.п.} < 28°C)	0.6	Пульпы прочих жидкостей
8.2	Жидкости категории Б(28°C < t _{в.п.} < 120°C)	0.7	Резерв
8.3	Жидкости категории В(t _{в.п.} > 120°C)	0.8	Резерв
8.4	Смазочные масла	0.9	Резерв
8.5	Прочие органические горючие жидкости	0.0	Отработанные твердые материалы

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ПРИ
ПОСТРОЕНИИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИГНАЛОВ И
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Таблица В.1

Наименование	Обозначение	Пример выполнения
1 Род энергии сигнала: * электрический * пневматический * гидравлический <u>Пример: преобразователь электрического сигнала в</u>	E P G	
2 Виды форм сигнала: * аналоговый * дискретный	A D	
3 Операции, выполняемые вычислительным устройством: * суммирование * умножение сигнала на постоянный коэффициент <i>k</i> * перемножение двух и более сигналов друг на друга * деление сигналов друг на друга * возведение величины сигнала <i>f</i> в степень <i>n</i> * извлечение из величины сигнала корня степени <i>n</i> * логарифмирование * дифференцирование * интегрирование	Σ K X : f^n $\sqrt[n]{}$ lg dx/dt $\int$	
4 Связь с вычислительным комплексом: * передача сигнала на ЭВМ	B _i B _o	
5. Измерение нескольких разнородных величин <u>Пример: регистрируемая величина является функцией расхода и давления</u>	$U=f(F,P)$	
6. Измерение величин характеризующих качество <u>Пример: преобразователь pH</u>	A	

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(справочное)

ФОРМА И ПРИМЕР ЗАПОЛНЕНИЯ ОСНОВНОЙ НАДПИСИ ДЛЯ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

185									
17		23		15		10			
Должность	Фамилия	Подп.	Дата	15.03.04 K17.031-АТХ-033					
Студент	Высочина ЕФ.			Курсовой проект					
Консульт.									
Руковод.	Макаренко ВГ			Производство этилового спирта. Отделение ректификации.			Стадия	Лист	Листов
							К	1	1
Н. контр.				Схема автоматизации. Функциональная.			ЮРГПУ (НПИ) кафедра МиГПА, АТПГ-5		
Зав. каф.	Шошиашвили МЗ								
							15	20	15

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(справочное)

ФОРМА И ПРИМЕР ЗАПОЛНЕНИЯ ТАБЛИЦЫ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, НЕ ПРЕДУСМОТРЕННЫХ СТАНДАРТАМИ

185	
12	Условное обозначение сред, транспортируемых по трубопроводам
12	Обозначение Наименование
10	2.1 Пар
10	8.31 Спирт сырец
10	8.32 Эпюратор

185	
12	Перечень оборудования
12	Обозначение Наименование
10	1 Эпюрационная колонна
10	2 Пастеризующая колонна

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(справочное)

ФОРМА И ПРИМЕР ЗАПОЛНЕНИЯ ТАБЛИЦЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Таблица Е.1

№	Технологический параметр	Значение контролируемой величины	Место замера	Метод измерения параметра	Вид контроля и управления				
					Контроль	Регистрация	Регулирование	Сигнализация	Блокировка
ЭПОРАЦИОННАЯ КОЛОННА поз. 1									
1	Температура верха колонны	75...78°C	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-	-	-
2	Температура куба колонны	86...88°C	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-	max 90°C	-
3	Температура отработанной воды после дефлегматора	50...60°C	Трубопровод	Электрическое сопротивление	+	+	-	-	-
4	Давление верха колонны	1...8 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+	min 0,5 кПа	-
5	Давление низа колонны	12...32 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+	-	-
6	Расход эфиральдегидной фракции на колонну	3,0 м³/ч	Трубопровод	Вихреакустический	+	+	+	-	-
ПАСТЕРИЗУЮЩАЯ КОЛОННА поз. 2									
7	Температура верха колонны	87...88°C	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-	-	-
8	Температура питательной тарелки	84...92°C	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	+	-	+
9	Температура куба колонны	105...107°C	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-	max 110°C	-
10	Температура отработанной воды после дефлегматора	50...60°C	Трубопровод	Электрическое сопротивление	+	+	-	-	-
11	Давление верха колонны	1...8 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+	-	-
12	Давление низа колонны	14...30 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+	min 5 кПа	-
РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА поз. 3									
13	Температура верха колонны	86...88°C	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-	max 90°C	-
14	Температура 4 тарелки	88...90°C	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-	-	-
15	Температура 8 тарелки	95...102°C	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	+	-	-
16	Температура 12 тарелки	86...88°C	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	+	-	-
17	Температура куба колонны	105...107°C	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-	max 110°C	-
18	Температура отработанной воды после дефлегматора	50...60°C	Трубопровод	Электрическое сопротивление	+	+	-	-	-
19	Давление верха колонны	1...8 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+	max 10 кПа	-
20	Давление низа колонны	22...35 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+	-	-
КОЛОННА ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ поз. 4									
21	Температура верха колонны	75...79°C	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-	-	-
22	Температура куба колонны	82...83°C	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-	max 85°C	-
23	Температура отработанной воды после дефлегматора	50...60°C	Трубопровод	Электрическое сопротивление	+	+	-	-	-
24	Давление верха колонны	1...8 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+	-	-
25	Давление низа колонны	4...12 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+	max 15 кПа	-
26	Расход непастеризованного спирта на колонну	2,0 м³/ч	Трубопровод	Вихреакустический	+	+	+	-	-
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПОМЕЩЕНИЕ									
27	Анализ воздушной среды	1000 мг/м³	Производственное	Термохимический	+	+	-	>1000 мг/м³	-

ФОРМА И ПРИМЕР ЗАПОЛНЕНИЯ ТАБЛИЦЫ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Таблица Е.2

Параметр контроля	Возможные принципы измерения	Основные характеристики			Технические средства, реализующие принцип	Основные характеристики	
		Диапазон контроля	Погрешность метода	Возможность автоматизации		Диапазон	Погрешность
Уровень	Механические	0 – 20 м	± 0,6 – 2 %	+	Буйковый	0 – 25 м	± 1,5 %
		0 – 20 м	1,5	+	Поплавковый	0 – 20 м	1,5
	Электрический	0 – 20 м	± 0,5 – 2,5 %	+	Емкостные	0 – 25 м	± 1,5 %
		0 – 20 м	± 1 – 1,5 %	+	Омические	0 – 30 м	± 1 %
	Акустические	0 – 3 м	± 2,5 %	+	Акустический	0 – 4 м	± 2 %
		0 – 3 м	± 1 – 2,5 %	+	Ультразвуковой	0 – 3 м	± 1,5 %

ФОРМА И ПРИМЕР ЗАПОЛНЕНИЯ ТАБЛИЦЫ (СПЕЦИФИКАЦИИ) СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Таблица Е.3

Позиция	Наименование и техническая характеристика оборудования и материалов. Завод - изготовитель (для импортного оборудования – страна, фирма)	Тип, марка оборудования. Обозначение документа и № опросного листа	Ед. измерения	Цена ед., руб.	Количество
1	2	3	4	5	6
	Регулирование температуры				
1а	Термопреобразователь сопротивления платиновый НСХ 100П, диапазон измерения -50...250°С, класс допуска В, длина монтажной части 600мм. ОВЕН г. Москва	ДТС 045-100П.В3.1000.Ех.Т4	Шт.	1000	1
1б	и/р преобразователь в корпусе из алюминиевого литья под давлением. Входной сигнал 4-20мА. Выходной сигнал 20-100кПа. Питание 0,14МПа. Степень защиты IP65 в специальнм исполнении.. Степень взрывозащиты Ex ia IIC Т6. Температура окружающей среды -25....+700С. Поставщик ООО «Самсон Контролс» г. Москва.	Samson 6116	Шт.	1600	1
1в	Пневматический регулирующий клапан для асептического применения. Характеристика – равнопроцентная, линейная. Максимальное давление 1,0 МПа. Рабочая температура -10...+1300С. Ду=50. Поставщик ООО «Самсон Контролс» г. Москва.	Samson 3249-7	Шт.	21000	1
2а	Термопреобразователь сопротивления платиновый НСХ 100П, диапазон измерения -50...250°С, класс допуска В, длина монтажной части 600мм. ОВЕН г. Москва	ДТС 045-100П.В3.1000.Ех.Т4	Шт.	1000	1
2б	и/р преобразователь в корпусе из алюминиевого литья под давлением. Входной сигнал 4-20мА. Выходной сигнал 20-100кПа. Питание 0,14МПа. Степень защиты IP65 в специальнм исполнении.. Степень взрывозащиты Ex ia IIC Т6. Температура окружающей среды -25....+700С. Поставщик ООО «Самсон Контролс» г. Москва.	Samson 6116	Шт.	1600	1
2в	Пневматический регулирующий клапан для асептического применения. Характеристика – равнопроцентная, линейная. Максимальное давление 1,0 МПа. Рабочая температура -10...+1300С. Ду=50. Поставщик ООО «Самсон Контролс» г. Москва.	Samson 3249-7	Шт.	21000	1

					15.03.04ДП17.031-АТХ-СО				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Автоматизация ТП производства этилового спирта		Стадия	Лист	Листов
Студент	Высирнина Е.Ф.						Д	1	9
Руковод	Макаренко В.Г.				Спецификация приборов и средств автоматизации		ЮРГПУ (НПИ) Каф.МиГПА		
Н.контр									
Зав.каф.	Щошняшвили М.Э.								

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(справочное)

ФОРМА И ПРИМЕР ЗАПОЛНЕНИЯ ТАБЛИЦЫ СИГНАЛОВ ВХОДА-ВЫХОДА АСУТП

Таблица Ж.1

№ позиции	Переменная	Значения переменной			Шкалы датчика		Единица измерения	Тип сигнала		Функции системы управления					Примечание
		Блокировка	Сигнализация	Номин. значение	Диапазон измерения	Тип		Аналоговый	Дискретный	Контроллер		PCO			
										Тип клапана	Тип регулятора	Индикация	Сигнализация	Дист. управление	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1a	Температура	-	-	190 ⁰ С	0÷200 ⁰ С	100П	⁰ С	4-20мА	-	-	-	+	-	+	-
6a	Давление	-	-	27,6 МПа	0,04÷600 МПа	ЭКМ	МПа	-	24В	-	-	+	-	-	-
10a	Расход	-	-	0,3 м ³ /ч	-	DN25	м ³ /ч	4-20мА	-	-	-	+	-	-	-
10б	РасходF	-	-	-	-	A100	-	4-20мА	-	-	-	+	-	-	-
12a	Уровень	-	min 2,4 м max 2,7 м	2,65 м	-	НТНР	м	4-20мА	-	-	-	+	+	-	-
14б	Уровень	-	-	-	-	A100	-	4-20мА	-	-	-	+	+	-	-
15a	Концентрация	-	-	9,42 моль/м ³	-	ДАХ	моль/м ³	4-20мА	-	-	-	+	-	-	-
15б	Концентрация	-	-		-	A100		4-20мА	-	-	-	+	-	-	-

Учебно-методическое издание

Макаренко Виктор Григорьевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
И ПРОИЗВОДСТВ**

Учебно-методическое пособие по курсовому
проектированию для направления подготовки
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Редактор *Н.А.Юшко*

Подписано в печать 27.07.2017г.

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл.печ.л. 3,25, Уч.изд.л. 3,5. Тираж 50 экз. Заказ _____

Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова
Редакционно-издательский отдел ЮРГПУ(НПИ)
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Отпечатано в ИД Политехник
346428, г. Новочеркасск, ул. Первомайская, 166.
mdp-npi@mail.ru

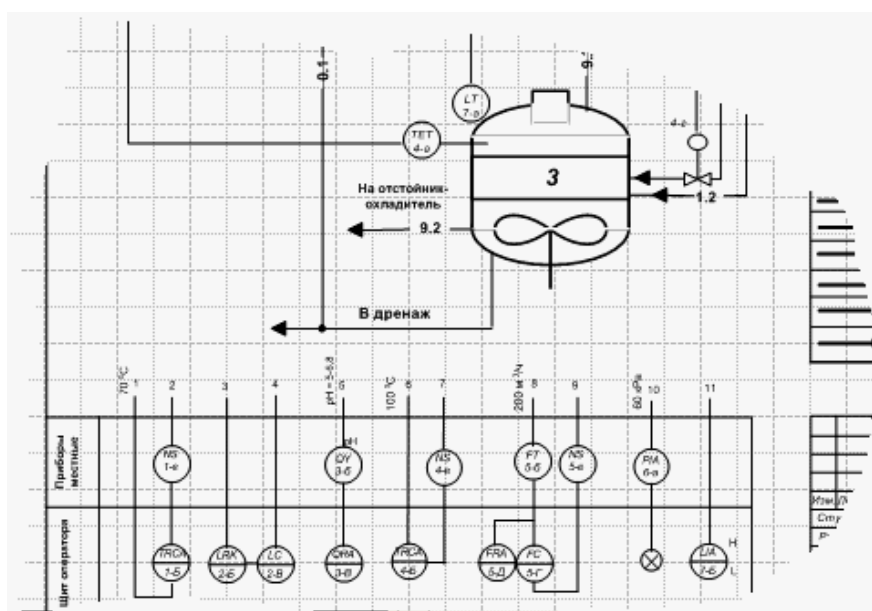
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М. И. Платова

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ, ПЕРЕДАЧИ И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ УПРАВЛЕНИЯ

В.Г.Макаренко

Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам, практическим занятиям
и самостоятельной работе студентов



Новочеркасск
ЮРГПУ (НПИ)
2016

УДК 681.2 (076.5)

Рецензент – канд. техн. наук, доцент **А.А. Пустобаев**

Макаренко В.Г.

Методы и средства формирования, передачи и хранения информации о технологическом объекте управления: учебно-методическое пособие к лабораторным работам, практическим занятиям и самостоятельной работе студентов / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2016. – 68 с.

Пособие предназначено для студентов прикладного бакалавриата направления подготовки: 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств. В учебно-методическом пособии приводятся указания к лабораторным работам, общие рекомендации по проведению и подготовке к практическим занятиям, структура и содержание практических занятий, задачи и примеры их решения, методические указания к самостоятельной работе.

УДК 681.2(076.5)

©Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, 2016

СОДЕРЖАНИЕ:

	стр.
1 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	4
2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ	27
3 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ	60
4 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	67

1. Общие методические рекомендации по планированию, организации и проведению лабораторных работ и практических занятий

Лабораторные работы проводятся в специализированных лабораториях и кабинетах. Продолжительность занятия – не менее 2 академических часов.

Основными структурными элементами лабораторной работы являются:

- вводная часть — преподаватель излагает тему, цели и задачи работы;
- проверка знаний студентов по теме занятия;
- рекомендации преподавателя по оптимизации выполнения работы;
- самостоятельная работа студентов по выполнению программы лабораторной работы или практического занятия;
- подведение итогов занятия, анализ полученных результатов.

При проведении лабораторной работы необходимо использовать настоящие методические рекомендации, учебную литературу, стандарты, наглядные пособия, справочную литературу, вычислительную технику.

Студент должен заранее подготовить формы отчета.

Отчет должен содержать:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Оборудование, инструменты, материалы.
4. Порядок выполнения работы.
5. Выводы.
6. Литературу.

К лабораторным работам допускаются студенты прошедшие инструктаж по технике безопасности и имеющие соответствующую отметку в журнале инструктажа.

Каждый студент получает допуск к выполнению работы после проверки теоретических знаний (путем фронтального опроса или тестового контроля) и наличия форм отчета.

Работа выполняется бригадами по 2 - 3 человека, но отчеты

пишутся каждым студентом самостоятельно.

Отчеты по лабораторным работам и практическим занятиям оформляются на листах формата А4 по ГОСТ 2.1 05-95.

После оформления отчет предьявляется преподавателю для проверки и защиты. Все зачтенные отчеты брошюруются с оформлением титульного листа и предьявляются преподавателю на экзамене.

За выполненную работу студент получает оценку или зачет.

Пропущенные работы выполняются студентом во внеурочное время и по согласованию с преподавателем.

При наличии незачтенных лабораторных или практических работ студент не допускается к экзамену, как не выполнивший весь объем дисциплины.

Лабораторные работы, их наименование и объем в часах

Наименование тем занятий	Количество часов	Форма контроля
1. Поверка приборов давления	4	Отчет
2. Определение погрешности измерения уровня гидростатическим уровнемером	2	Отчет
3. Градуировка и поверка термопары.	4	Отчет
4. Изучение принципа действия и поверка логометра и милливольтметра	4	Отчет
5. Изучение принципа действия и поверка вторичных пневматических приборов	2	Отчет
6. Поверка промышленного рН- метра	2	Отчет

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ПОВЕРКА ПРИБОРОВ ДАВЛЕНИЯ- 4 часа

Лабораторная работа 1.1 ПОВЕРКА ПРУЖИННЫХ ПРИБОРОВ ДАВЛЕНИЯ - 2 часа

1. Цель работы

1.1. Ознакомиться с принципом действия и конструкцией комплекта для измерения давления.

1.2. Изучить возможные схемы поверки приборов для измерения давления.

1.3. Приобрести навыки в определении давления при помощи измерительных преобразователей давления в комплекте с цифровым прибором.

2.Оборудование, инструменты, материалы

2.1 Измерительный преобразователь избыточного давления.

2.2 Образцовый манометр.

2.3 Грузопоршневая установка.

2.5 Цифровой вторичный прибор.

3. Краткие теоретические сведения

3.1. Принцип действия и устройство измерителя давления

Преобразователи избыточного давления предназначены для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами. Они обеспечивают непрерывное преобразование измеряемого параметра (избыточного и абсолютного давления, разрежения, разности давлений нейтральных и агрессивных сред) в унифицированный электрический выходной сигнал дистанционной передачи.

Преобразователи применяют для работы со вторичной регистрирующей и показывающей аппаратурой позволяющей представлять результат измерения в цифровой форме.

Преобразователь состоит из измерительного блока и электронного устройства.

Измерительные преобразователи обеспечивают непрерывное преобразование давления в унифицированный электрический выходной сигнал дистанционной передачи.

Каждый преобразователь имеет регулировку диапазона измерений и может быть настроен на любой верхний предел измерений, указанный для данной модели.

3.2. Описание установки

Для выполнения работы используется установка, схема которой показана на рисунке 1.

На вход установки 1, в которой измеряется давление измерительным комплектом, подается измеряемое давление создаваемое вращением

маховика 1 и контролируемое образцовым манометром 3 и комплектом преобразователя давления 4 и цифрового прибора 5. Электрическое питание преобразователя осуществляется от источника постоянного тока.

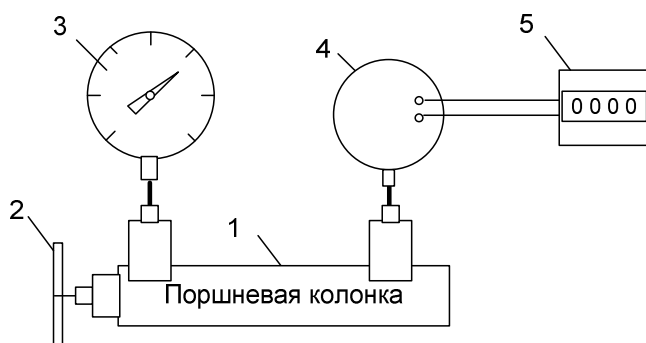


Рисунок 1.1 - Принципиальная схема измерения давления в установке

1- поршневая колонка; 2 – маховик; 3-образцовый манометр; 4 – измерительный преобразователь; 5- цифровой измерительный прибор.

4. Программа работы

1. Изучить принцип действия и устройство преобразователя. Определить его технические характеристики.

2. Изучить принцип действия и устройство вторичного цифрового прибора.

3. Произвести измерение давления в установке

3. Получить опытные данные и занести в протокол.

4. Сделать выводы.

5. Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию измерительного преобразователя "Интор" и определить его характеристики;

2. Получить у преподавателя значения поверяемых точек выходной характеристики преобразователя;

3. В соответствии с заданием рассчитать значения поверяемых точек выходной характеристики преобразователя и занести их в табл. 1;

4. Рассчитать давление, подаваемое на вход преобразователя, соответствующее заданным поверяемым точкам его выходной характеристики;

5. Определить основную погрешность, сравнивая действительные значения выходного сигнала с расчетными. Для этого установить по образцовому манометру на входе преобразователя измеряемый параметр, равный номинальному, а по цифровому прибору снять показания.

6. Провести измерение давления во всех заданных точках при прямом и обратном ходе;

7. Перед измерением при обратном ходе преобразователь выдержать в течение 5 мин под воздействием верхнего предельного значения измеряемого параметра, соответствующего верхнему значению выходного сигнала;

8. Рассчитать значение абсолютной и приведенной погрешностей;
9. Рассчитать значение вариации;
10. Подготовить отчет о работе.

ПРОТОКОЛ

Результаты измерения давления комплектом _____

Тип.

Модель

Пределы измерения _____

Класс точности _____

Заданное давление, МПа (кгс/см ²)	Расчетное значение выходного сигнала	Действительное значение выходного сигнала		Абсолютная погрешность	Приведенная погрешность, %	Вариация, %
		при прямом ходе	при обратном ходе			

6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Оборудование, инструменты, материалы.
3. Выполнение работы.
4. Протокол работы.
5. Расчеты, графики.
6. Выводы.

7. Вопросы для самопроверки

1. Приведите классификацию приборов давления.
2. Что вы знаете о преобразователях давления?
3. Объясните принцип работы комплекта для измерения давления.

Лабораторная работа 1.2 ИЗУЧЕНИЕ СХЕМЫ И ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ УСТАНОВКИ - 2 часа

1. Цель работы.

- 1.1. Ознакомиться с принципом действия и конструкцией измерительных преобразователей давления "Метран".
- 1.2. Изучить возможные схемы измерения давления производственной установки преобразователем "Метран".
- 1.3. Приобрести навыки в определении давления при помощи измерительных преобразователей "Метран".

2. Оборудование, инструменты, материалы

- 2.1. Измерительный преобразователь давления «Метран ДИ».
- 2.2. Образцовый манометр.

2.3. Редуктор давления.

2.4. Источник питания постоянного тока.

2.5. Вольтметр цифровой.

3. Краткие теоретические сведения

3.1. Принцип действия и устройство измерителя давления

Измерительные преобразователи давления «Метран» предназначены для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами. Они обеспечивают непрерывное преобразование измеряемого параметра (избыточного и абсолютного давления, разрежения, разности давлений нейтральных и агрессивных сред) в унифицированный электрический выходной сигнал дистанционной передачи.

Принцип действия преобразователя «Метран» основан на использовании тензоэффекта в полупроводниковом материале. Под действием измеряемого параметра, преобразованного усилие, изменяется напряженное состояние тензорезисторов. Изменение сопротивления тензорезисторов, пропорционально изменению измеряемого параметра, преобразуется с помощью встроенного электронного устройства в электрический выходной сигнал первичного преобразователя.

Преобразователи применяют для работы с вторичной регистрирующей и показывающей аппаратурой, регуляторами и другими устройствами автоматики, работающими от стандартного входного сигнала 4—20 мА, или 0—5, 0—20 постоянного тока.

Преобразователь состоит из измерительного блока и электронного устройства. Измерительные блоки выполнены на основе тензомодулей двух типов: рычажно-мембранного и мембранного (в зависимости от пределов измерения).

Чувствительным элементом тензопреобразователя является пластина из монокристаллического сапфира с кремниевыми пленочными тензорезисторами, прочно соединенная с металлической мембраной.

Измерительные преобразователи «Метран» обеспечивают непрерывное преобразование давления в унифицированный электрический токовый выходной сигнал дистанционной передачи: избыточного давления — типа ДИ; абсолютного давления — типа ДА; разрежения — типа ДВ; давления-разрежения — типа ДИВ-; разности давлений — типа ДД; гидростатического давления -типа ДГ.

Каждый преобразователь имеет регулировку диапазона измерений и может быть настроен на любой верхний предел измерений, указанный для данной модели. После перенастройки преобразователя на любой верхний предел измерений, предусмотренный для данной модели, основная погрешность и вариация выходного сигнала не превышают значений, соответствующих хотя бы одному из значений Δ_d , предусмотренных для выбранных пределов измерений.

Для преобразователей с $\Delta_d = \pm 1,0\%$ основная погрешность и вариация выходного сигнала после перенастройки преобразователя на другой предел измерения не превышают $\pm 1,0\%$. Перенастройка на другой диапазон измерений, смещение "нуля" производится при помощи элементов ступенчатой и плавной настройки - переключек 9 и корректоров.

3.2. Описание установки

Для выполнения работы используется установка, схема которой показана на рисунке 1.2.

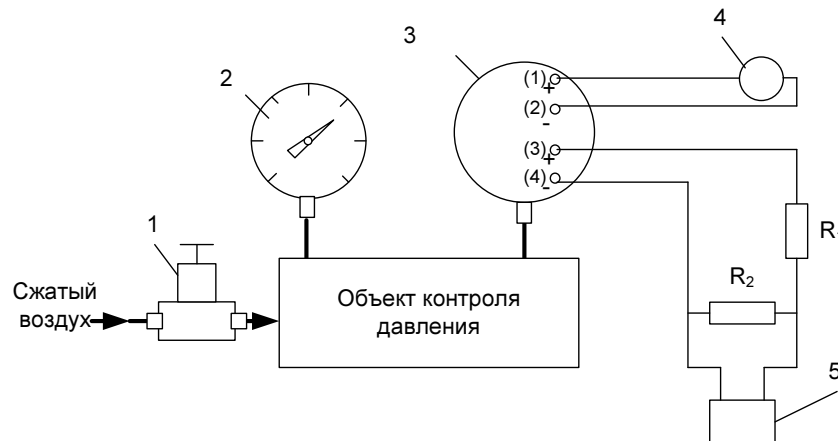


Рисунок 1.2 -. Принципиальная схема измерения давления в установке

1 – редуктор; 2 – образцовый манометр; 3 – измерительный преобразователь давления; 4 – источник питания постоянного тока; 5 – вольтметр цифровой; (1), (2), (3), (4) – клеммы.

На вход установки давление, в которой измеряется измерительным преобразователем давления 3 типа «Метран» через редуктор 1 подается измеряемое давление, контролируемое образцовым манометром 2. Электрическое питание преобразователя осуществляется от источника постоянного тока 4, например В5-8, 22ВП-36, напряжением $36 \pm 0,72$ В. Для измерения выходного сигнала (падения напряжения на образцовой катушке сопротивлений R2 типа P331) используется цифровой вольтметр 5 типа Ш1516 или потенциометр типа P363.

Поверка преобразователей «Метран» осуществляется по методическим указаниям МИ 333-83 и включает следующие операции: внешний осмотр, опробование, определение герметичности, определение основной погрешности и вариации выходного сигнала при измерении давления производственной установки.

4. Программа работы

1. Изучить принцип действия и устройство преобразователя. Определить его технические характеристики.
2. Произвести измерение давления в установке
3. Получить опытные данные и занести в протокол.

4. Сделать выводы.

5. Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию измерительного преобразователя «Метран» и определить его характеристики.

2. Получить у преподавателя значения поверяемых точек выходной характеристики преобразователя.

3. В соответствии с заданием рассчитать значения поверяемых точек выходной характеристики преобразователя и занести их в протокол.

4. Рассчитать давление, подаваемое на вход преобразователя, соответствующее заданным поверяемым точкам его выходной характеристики.

5. Определить основную погрешность, сравнивая действительные значения выходного сигнала с расчетными. Для этого установить по образцовому манометру на входе преобразователя измеряемый параметр, равный номинальному, а по образцовому вольтметру определить падение напряжения на образцовом сопротивлении R2;

6. Провести измерение давления во всех заданных точках при прямом и обратном ходе.

7. Перед измерением при обратном ходе преобразователь выдержать в течение 5 мин под воздействием верхнего предельного значения измеряемого параметра, соответствующего верхнему значению выходного сигнала.

8. Рассчитать значение абсолютной погрешности.

9. Рассчитать значение приведенной погрешности.

10. Рассчитать значение вариации.

11. Построить графики зависимости выходного сигнала от расчетного и действительного значений измеряемого параметра.

12. Подготовить отчет о работе.

ПРОТОКОЛ

Результаты измерения давления преобразователем _____

Тип, модель преобразователя

Пределы измерения _____

Класс точности _____

Заданное давление, МПа (кгс/см ²)	Расчетное значение выходного сигнала	Действительное значение выходного сигнала		Абсолютная погрешность	Приведенная погрешность, %	Вариация, %
		при прямом ходе	при обратном ходе			

6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Оборудование, инструменты, материалы.
3. Выполнение работы.
4. Протокол работы
5. Расчеты, графики.
6. Выводы.

7. Вопросы для самопроверки

1. Приведите классификацию приборов давления.
2. Что вы знаете о преобразователях давления?
3. Объясните принцип действия ИП «Метран».

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 **ГРАДУИРОВКА И ПОВЕРКА ТЕРМОПАРЫ- 4 часа.**

1. Цель работы

1. Изучить назначение, принцип действия и устройство термоэлектрического преобразователя.
2. Измерить температуру термоэлектрическим преобразователем.
3. Построить градуировочный график

2.Оборудование, инструменты, материалы

- 2.1. Печь.
- 2.2. Автотрансформатор.
- 2.3.Термоэлектрический термометр.
- 2.4. Переключатель.
- 2.5. Переносный потенциометр.

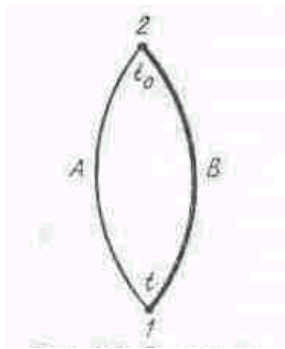
3. Краткие теоретические сведения**3.1. Принцип действия и устройство термоэлектрического преобразователя**

Принцип действия термоэлектрического преобразователя температуры (термопары) основан на термоэлектрическом эффекте: возникновении т.э.д.с. в замкнутой цепи, состоящей, из двух разнородных проводников, если места их спаев имеют различную температуру.

Термопара представляет собой цепь, состоящую из двух или нескольких соединенных между собой разнородных проводников. На рис. 3.1 представлена термоэлектрическая цепь, состоящая из двух проводников (термоэлектродов) А и В. Места соединений термоэлектродов 1 и 2 называют спаями.

Если температуры спаев Θ и Θ_0 не равны, то в замкнутой цепи будет протекать электрический ток. Направление этого тока, называемого термотоком, зависит от соотношения температур спаев, т. е. если $\Theta > \Theta_0$, то

ток протекает в одном направлении, а при $\Theta < \Theta_0$ — в другом. При размыкании такой цепи на ее концах может быть измерена так называемая т.э.д.с.



Возникновение термотока или т.э.д.с. в современной физике объясняется тем, что различные металлы обладают различной работой выхода электронов и поэтому при соприкосновении двух разнородных металлов возникает контактная разность потенциалов.

Рисунок 3.1 – Принципиальная схема термопары

3.2. Описание установки

В лабораторную установку (рисунок 3.2) входит электрическая печь 1, внутри которой помещен медный блок 2 для выравнивания неравномерности температурного поля. Напряжение на печь подается через автотрансформатор 3 (АТр). В блоке печи размещены образцовая 4 (ТПо) (платинородий-платиновая) и градуируемая 5 (ТПг) термопары, холодные спаи которых выведены на многоточечный переключатель 6 (ПТИ), расположенный на лицевой панели стенда. Выключатель 7 для подачи напряжения на печь, как и сигнальная лампа 8 находится также на лицевой панели стенда. К переключателю через клеммы, подключен лабораторный потенциометр 9 (ПП-63).

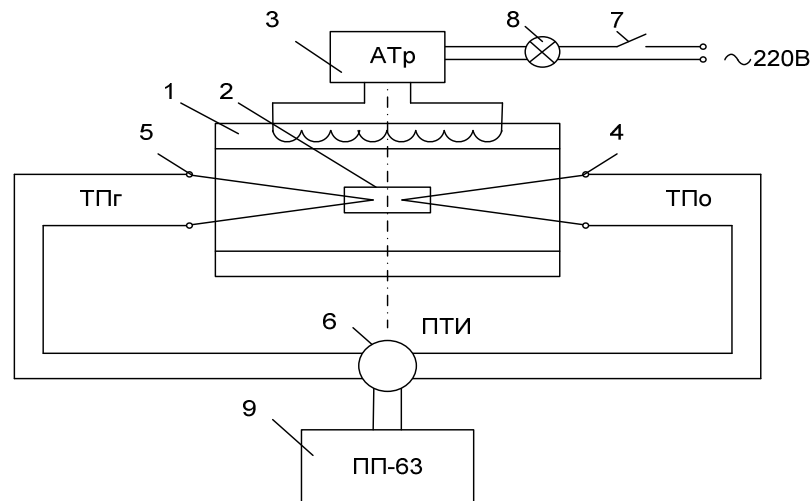


Рисунок 3.2- Принципиальная схема установки для градуировки термопары

С помощью установки можно произвести градуировку термопары по образцовой, подключая их через переключатель ПТИ (положение 5 и 4 соответственно) к лабораторному переносному потенциометру ПП-63, для измерения т.э.д.с.

4. Программа работы

1. Собрать установку.
2. Получить опытные данные и занести в протокол.
3. Построить экспериментальную статическую характеристику термоэлектрического преобразователя.
4. Построить табличную статическую характеристику термопреобразователя наиболее близко соответствующей экспериментальной.
5. Сделать выводы.

5. Порядок выполнения работы

Градуировка производится при температурах 50, 100, 150, 200, 250, 300°C.

Для градуировки термопреобразователя необходимо:

Выписать из градуировочной таблицы т.э.д.с. для образцовой термопары ТПо для заданных температур, при температуре холодных спаев, равной 0°C и записать в протокол.

2. Определив температуру окружающей среды (холодных спаев ТПо) сделать расчет т.э.д.с. с учетом поправки и занести полученные значения в протокол.

3. Подготовить переносной потенциометр ПП-63 к работе (включить и установить рабочий ток).

4. Установить на ПП-63 э.д.с. образцовой термопары, соответствующую первой градуировочной точке, при этом стрелка гальванометра на лабораторном потенциометре ПП-63 должна отклониться от нуля вправо.

5. Включить печь.

6. Момент достижения заданной температуры в печи определяется по достижении стрелкой гальванометра на ПП-63 нуля при к нему образцовой термопары.

7. Произвести измерения т.э.д.с. градуируемой термопары (переключатель ПТИ в положении 4) измерением напряжения при визуальном наблюдении за стрелкой гальванометра ПП-63.

8. Момент снятия показаний, определяется при установке стрелки гальванометра ПП-63 на ноль, при подключенной к нему термопары.

9. Полученное значение т.э.д.с. занести в протокол, учитывая, что температура холодных спаев при измерениях не равна 0°C.

10. Аналогично градуируют остальные точки.

11. Для определения типа градуируемого термоэлектрического термометра и расчета т.э.д.с. для построения градуировочного графика, необходимо учесть поправку на температуру окружающей среды, при которой производились измерения.

12. При определении поправки и пересчете т.э.д.с. градуируемой

термопары, требуется произвести сравнение значений т. э. д. с. для различных типов термопар (см. градуировочные таблицы) с табличными при температуре холодных спаев 0°C , для заданных при градуировке температурах.

13. По меньшему расхождению между рассчитанными и табличными значениями т.э.д.с. определяют тип градуируемой термопары и учетом поправки записывают полученные результаты в протокол.

14. Строят градуировочный график, по оси ординат которого значения т.э.д.с. градуируемой термопары, а по оси абсцисс - температуры в трубчатой печи

15. Оформить отчет, представив необходимые расчеты, написать вывод.

ПРОТОКОЛ

градуировки термоэлектрического
термометра _____

Тип, пределы измерения

Температура рабочего термопары, $^{\circ}\text{C}$	Т. э. д. с. термоэлектрического термометра			
	Образцового		Градуируемого	
	Температура холодных спаев		Температура холодных спаев	
	Равна 0°C , мВ	Не равна 0°C , мВ	Равна 0°C , мВ	Не равна 0°C , мВ
50				
100				
150				
200				
250				
300				

6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Оборудование, инструменты, материалы.
3. Выполнение работы.
4. Протокол работы
5. Расчеты, графики.
6. Выводы.

7. Вопросы для самопроверки

1. Приведите классификацию первичных преобразователей для измерения температуры.
2. Объясните принцип действия термоэлектрического термометра.
3. Расскажите конструкцию промышленной термопары.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ И ПОВЕРКА ЛОГОМЕТРА И МИЛИВОЛЬТМЕТРА - 4часа

Лабораторная работа № 4.1 ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ И ПОВЕРКА МИЛИВОЛЬТМЕТРА - 2часа

1. Цель работы

4. Ознакомление с устройством и работой милливольтметра.
5. Проведение поверки градуировки милливольтметра.

2. Оборудование, инструменты, материалы

- 2.1. Переносный потенциометр типа ПП или другого типа.
- 2.2. Магазин сопротивлений.
- 2.3. Соединительные медные провода.
- 2.4. Стандартные градуировочные таблицы термопар.

3. Краткие теоретические сведения

3.1. Принцип действия и устройство пирометрического милливольтметра

Пирометрические милливольтметры (рисунок 4.1) применяют для измерения э.д.с., развиваемой термопарой. Милливольтметры— приборы магнитоэлектрической системы.

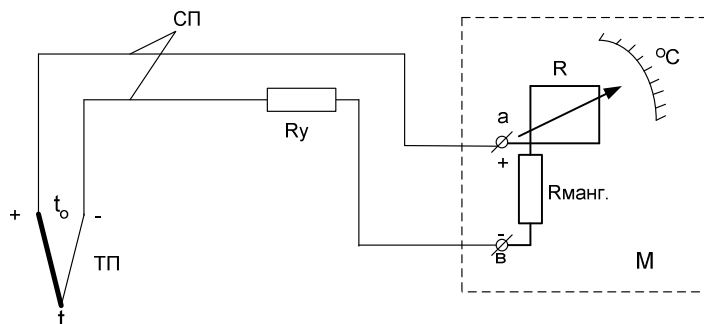


Рисунок 4.1-Принципиальная схема милливольтметра

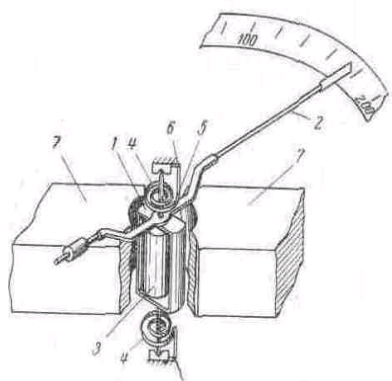
Принцип действия таких приборов основан на взаимодействии поля тока, протекающего по рамке, с магнитным полем постоянного магнита, в котором эта рамка помещена.

Рамка прибора 1 (рисунок 4.2) состоит из витков тонкой изолированной проволоки. С рамкой жестко связана стрелка 2, которая может вместе с рамкой поворачиваться вокруг сердечника 3. К рамке прикреплены две противодействующие спиральные пружины 4, которые служат токопроводами. Неподвижный конец 5 верхней пружины 4 прикреплен к рычагу корректора нуля 6, на нижней пружине

— к неподвижной стойке.

Рамка размещается между полюсами постоянного магнита 7 таким образом, чтобы ее витки, когда в них нет тока, были параллельны направлению магнитных линий. При протекании тока по рамке вследствие его взаимодействия с магнитным полем возникает сила, пропорциональная напряженности магнитного поля постоянного магнита и току в рамке.

Промышленностью выпускаются переносные милливольтметры и щитовые показывающие приборы двух типов: с профильной шкалой и с плоской шкалой. Кроме того, выпускаются милливольтметры для записи температуры на диаграммной ленте и регулирующий.



В зависимости от применяемых термопар милливольтметры имеют следующие номинальные статические характеристики:

ХК.—для хромель-копелевых термопар;

ХА—для хромель-алюмелевых термопар;

ПП — для платиновых-платиновых термопар.

Рисунок 4.2 - Конструкция милливольтметра.

Помимо этого, выпускаются милливольтметры с градуировками для радиационных пирометров и газоанализаторов.

Милливольтметры имеют арретир и корректор. Арретир служит для предохранения подвижной системы прибора от повреждений при транспортировке и переноске, а корректор—для установки стрелки в нулевое положение или на отметку шкалы в диапазоне возможных колебаний температуры свободных концов термопары.

3.2. Описание установки

Лабораторная установка, представленная на рис. 4.3, включает в себя поверяемый прибор - милливольтметр (МВ), подключаемый к образцовому переносному потенциометру ПП-63 через магазин сопротивлений имитирующий сопротивление соединительных проводов.

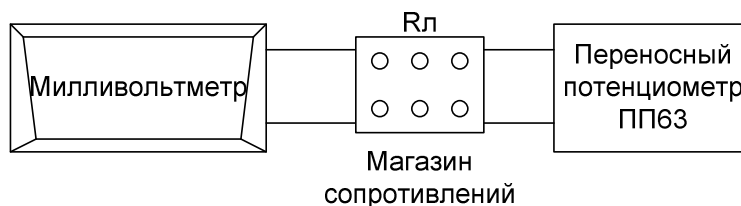


Рисунок 4.3 - Лабораторная установка

Магазин сопротивления состоит из шести декад: « $\times 100\Omega$ », « $\times 10\Omega$ », « $\times 1\Omega$ », « $\times 0,1\Omega$ », « $\times 0,01\Omega$ ».

4. Программа работы

1. Собрать установку.
2. Получить опытные данные и занести в протокол.
3. Определить погрешности прибора
4. Сделать выводы.

5. Порядок выполнения работы

1. Милливольтметр включают по схеме (рисунок 4.3).
2. Стрелку поверяемого прибора 1 корректором 2 устанавливают на нуль. В милливольтметрах, не имеющих устройства для компенсации отклонений температуры свободных концов термопары, стрелку устанавливают на отметку, соответствующую окружающей температуре.
3. На магазине сопротивлений 3 устанавливают величину $R_{вн}$, равную указанному на циферблате сопротивлению внешней цепи. При проверке шкалы прибора градуированных в милливольтах сопротивление $R_{вн}$ не включают.
4. После установки стрелки милливольтметра на нуль устанавливают рабочий ток переносного потенциометра. Для чего:
 - ставят переключатель «И-К» в положение «К» - контроль;
 - вращением ручки реостата устанавливают стрелку гальванометра на нуль
5. Включают потенциометр на измерение (переключатель в положение «И»-измерение).
6. Плавным вращением рукоятки реостата увеличивают подаваемое напряжение на зажимы милливольтметра и устанавливают стрелку на первой поверяемой отметке шкалы.
7. Производят отсчет и запись показаний потенциометра и поверяемого милливольтметра.
8. Аналогично устанавливают стрелку прибора на второй оцифрованной отметке шкалы, затем на третьей и т. д. до конца шкалы. При этом производят отсчет и запись показаний.
9. Затем отсчеты производят при установке стрелки на те же отметки шкалы при движении ее справа налево, т. е. обратным ходом.
10. Полученные результаты заносят в протокол работы.
11. Производят соответствующие расчеты и заносят рассчитанные значения в протокол.
12. Делают соответствующие выводы

ПРОТОКОЛ

Поверки _____
 Пределы измерения _____
 Первичный преобразователь _____
 Образцовые приборы: тип _____
 Верхний предел измерения _____

Тип _____
 класс точности _____
 НСХ _____
 № _____
 класс точности _____

Поверяемые значения измеряемой величины, или показания вторичного прибора		Показания образцового универсального прибора, мВ		Абсолютная погрешность поверяемого прибора, мВ		Приведенная погрешность поверяемого прибора, %		Вариация, %
		Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	
⁰ С	мВ							

Предел допустимой основной погрешности _____
 погрешности _____
 показаний _____

Наибольшая

Допустимая вариация, % _____
 вариация показаний _____

Наибольшая

6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Оборудование, инструменты, материалы.
3. Выполнение работы.
4. Протокол работы
5. Расчеты, графики.
6. Выводы.

7. Вопросы для самопроверки

1. Приведите классификацию вторичных приборов измерения температуры.
2. К каким приборам по принципу действия относится милливольтметр?
3. Объясните принцип действия милливольтметра.
4. Какое назначение арретира и корректора?
5. Какая разница в поверке шкал милливольтметра в милливольтках и градусах?
5. Какой порядок работы с потенциометром ПП63?

Лабораторная работа №4.2

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ И ПОВЕРКА ЛОГОМЕТРА - 2 часа.

1. Цель работы

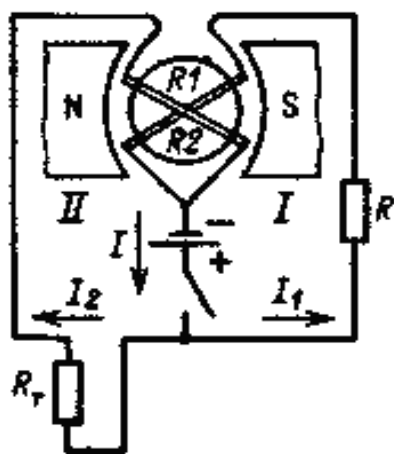
1. Ознакомиться с принципом действия, устройством и работой логометра.
2. Произвести стендовую поверку прибора.

2. Оборудование, инструменты, материалы

- 2.1. Логометр;
- 2.2. Универсальный прибор Р483З;
- 2.3. Вольтметр;
- 2.4. Реостат.

3. Краткие теоретические сведения

Магнитоэлектрический логометр используется в качестве вторичного прибора для работы в комплекте с термопреобразователями сопротивления. Магнитоэлектрический логометр имеет подвижную часть (рисунок 4.4), состоящую из двух жестко скрепленных под



небольшим углом рамок (обмоток) R_{P1} и R_{P2} с указательной стрелкой прибора. Рамки закреплены на стальном сердечнике, который помещен между полюсными наконечниками постоянного магнита. Измерительная цепь состоит из двух параллельных цепей I и II, питаемых от источника тока. В цепь I включен резистор R , а в цепь II — терморезистор R_r . Взаимодействие рамок с полем магнита создает вращающие моменты, действующие на рамки в противоположных направлениях.

Рисунок 4.4 - Принципиальная схема магнитоэлектрического логометра

Если сопротивления цепей I и II равны, то токи в рамках и соответственно вращающие моменты также равны. Стрелка прибора в этом случае остановится посередине шкалы. При изменении величины сопротивления терморезистора равенство токов в цепях I и II нарушается и стрелка прибора отклоняется в ту или другую сторону. Логометры широко применяются в промышленности. Они изготавливаются одноточечными и многоточечными.

4. Описание установки

Лабораторная установка, представленная на рисунке 4.5, включает

в себя поверяемый прибор - логометр (ЛГ), подключаемый к образцовому универсальному прибору Р4833. Последний состоит из магазина сопротивлений и источников регулируемого напряжения ИРН («mV») и ИРН («V»), Магазин сопротивлений состоит из пяти декад: «x100Ω», «x10Ω», «x1Ω», «x0,1Ω», «x0,01Ω».

Для получения плавно регулируемого напряжения, используемого для питания логометров, служит ИРН («V»).



Рисунок 4.5 - Лабораторная установка

На панель прибора Р4833 выведены кнопки: «Л» - поверка логометра, «Сеть» - для включения прибора от сети, световая индикация включения сети, зажимы «x2,5Ω», «x7,5Ω» - для имитации соединительных линий при поверке логометров и мостов, зажим «R» - для использования магазина сопротивлений и др.

5. Порядок выполнения работы

1. Собрать схему поверки, представленную на рисунке 4.5, подсоединив универсальный прибор к стенду в соответствии с обозначениями на нем.

2. Записать в протокол оцифрованные отметки шкалы логометра.

3. Определив на вторичном приборе (ЛГ) НСХ термопреобразователя сопротивления, найти по градуировочной таблице значения сопротивлений, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы прибора и записать в протокол, с учетом сопротивления линии ($R_{\text{л}}$ [Ом]).

4. Для включения универсального прибора нажать кнопку «СЕТЬ», а для подключения прибора кнопку «Л».

5. Выставить по шкале вольтметра напряжение питания, равное 4 В, при помощи ручек ИРН («V») «>» и «<».

6. Произвести плавно ручку поверяемого прибора к оцифрованной отметке шкалы логометра изменением сопротивления магазина универсального прибора с помощью декадных переключателей и записать их показания в протокол.

7. Аналогично произвести поверку прибора в остальных оцифрованных отметках при прямом и обратном ходе и записать показания в протокол.

8. Рассчитать погрешности, оформив протокол поверки,

произвести необходимые расчеты и написать вывод.

ПРОТОКОЛ

Поверки _____ Тип _____
 Пределы измерения _____ класс точности _____
 Первичный преобразователь _____ НСХ _____
 Образцовые приборы: тип _____ № _____
 Верхний предел измерения _____ класс
 точности _____

Поверяемые значения измеряемой величины, или показания вторичного прибора, °C	Показания образцового универсального прибора, Ом		Абсолютная погрешность поверяемого прибора, Ом		Приведенная погрешность поверяемого прибора, %		Вариация, %
	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	

Предел допустимой основной погрешности _____
 показаний _____
 Допустимая вариация, % _____
 показаний _____

Наибольшая

Наибольшая вариация

6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Оборудование, инструменты, материалы.
3. Выполнение работы.
4. Протокол работы
5. Расчеты, графики.
6. Выводы.

7. Вопросы для самопроверки

1. Приведите классификацию вторичных приборов измерения температуры.
2. К каким приборам по принципу действия относится логометр?
3. Объясните принцип действия логометра.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ И ПОВЕРКА ВТОРИЧНОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИБОРА - 2 часа.

1. Цель работы

- 1.1. Ознакомиться с назначением, принципом действия и работой вторичных пневматических приборов серии ПВ.
- 1.2. Провести поверку прибора типа ПВ4.2Э.

2. Оборудование, инструменты, материалы

- 2.1 Вторичный прибор;
- 2.2 Образцовый манометр;
- 2.3 Задатчик давления;

3. Краткие теоретические сведения

3.1. Принцип действия и устройство пневматических вторичных приборов

В качестве вторичных пневматических приборов широко применяют сильфонные самопишущие и показывающие манометры, в том числе различные модификации приборов типа ПВ, входящих в систему «СТАРТ». Измерительная схема, применяемая в них, показана на рисунке 5.1. Работа прибора основана на принципе компенсации сил. Пневмосигнал в диапазоне от 20 до 100 кПа от какого-либо датчика поступает в сильфон 1. Он создает на рычаге 2 момент силы, стремящийся повернуть его относительно точки *O* против часовой стрелки.

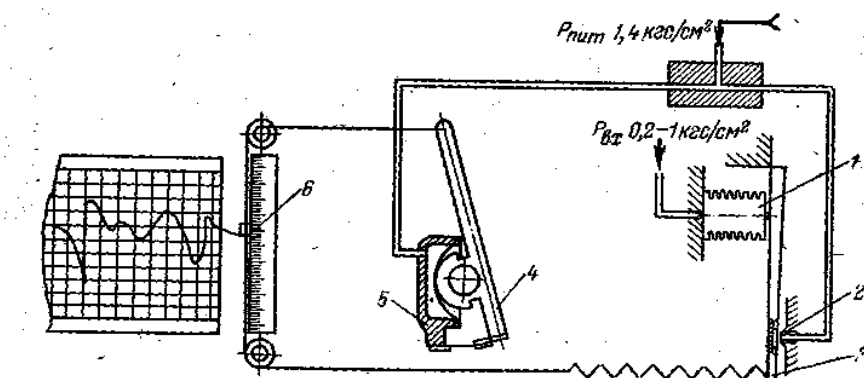


Рисунок 5.1 - Схема измерительного механизма вторичных пневматических приборов системы «СТАРТ»:

1 — сильфон; 2 — сопло; 3,4 — рычаги; 5 — силовой элемент; 6 — указатель.

Находящаяся на рычаге заслонка 3 приближается к соплу 4, к которому поступает сжатый воздух из линии питания через постоянный дроссель 5.

Давление в линии сопла повышается и воспринимается мембранным

силовым преобразователем 5. Его вытая мембрана опирается на сферическую поверхность толкателя силового рычага и при увеличении давления воздуха поворачивает рычаг по часовой стрелке относительно точки О. В самопишущих приборах одновременно перемещается и перо. Шкала прибора может быть проградуирована в единицах измеряемого параметра или в условных (процентах). В зависимости от модификации в приборах может находиться от одного до трех измерительных механизмов, а также устройства сигнализации. Привод лентопротяжного механизма – электрический или пневматический (в зависимости от условий применения прибора).

3.2. Описание установки

Схема поверки вторичного прибора представлена на рис.5.2. С помощью задатчика давления ЗД можно изменять давление в пределах, необходимых для поверки прибора типа ПВ4.2Э. О величине давления, подаваемого на поверяемый прибор, судят по показаниям образцового манометра типа МО. Вторичный пневматический прибор содержит показывающую стрелу и шкалу отградуированную в пределах 0-100% через 20%. При этом нижнему значению соответствует давление 20 кПа (0,2кгс/см²) а верхнему 100кПа (1,0кгс/см²).

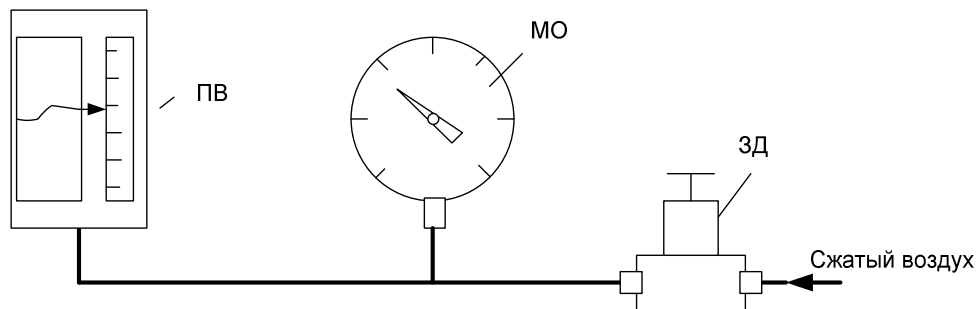


Рисунок 5.2 - Принципиальная схема поверки вторичного прибора

ПВ – вторичный прибор ПВ4.2Э; МО-манометр образцовый; ЗД- задатчик давления.

4. Программа работы

1. Собрать установку.
2. Подать давление сжатого воздуха
3. Произвести поверку вторичного прибора.
4. Сделать выводы.

5. Порядок выполнения работы

1. Записать в протокол поверки технические характеристики используемых при выполнении работы приборов ПВ и образцового манометра типа МО.
2. Определить цену деления образцового манометра МО.
3. В качестве поверяемых отметок выбрать оцифрованные значения давлений по шкале поверяемого прибора и записать их в протокол.
4. Произвести пересчет значений отметок шкалы из условных

единиц в давление унифицированного сигнала.

4. С помощью задатчика давления ЗД установить указательную стрелку на первую оцифрованную отметку.

5. Отсчет показания в единицах давления произвести по образцовому манометру МО и записать в протокол.

6. Плавнo увеличивая давление, с помощью задатчика давления ЗД, необходимо поверить вторичный прибор при прямом ходе на всех оцифрованных отметках шкалы.

7. Аналогично, проверяют манометр, на тех же отметках шкалы прибора при обратном ходе, постепенно уменьшая давление.

8. Все показания давлений, отсчитанные по шкале образцового прибора, полученные при прямом и обратном ходе, должны быть записаны в протокол.

9. Произвести обработку данных представленных в таблице.

10. Сделать выводы.

ПРОТОКОЛ

Поверки _____

Тип _____

Пределы измерения _____

класс точности _____

Образцовые приборы: тип _____

№ _____

Верхний предел измерения _____

класс точности _____

Поверяемые значения измеряемой величины,		Значение величины давления по шкале образцового прибора				Приведенная погрешность поверяемого манометра, %		Вариация, %
		Прямой ход		Обратный ход		Прямой ход	Обратный ход	
%	кгс/см ²	Усл. ед.	кгс/см ²	Усл. ед.	кгс/см ²			
20								
40								
60								
80								
100								

Предел допустимой основной погрешности _____

Наибольшая

погрешности _____

показаний _____

Допустимая вариация, % _____

Наибольшая

показаний _____

6. Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Оборудование, инструменты, материалы.

3. Выполнение работы.
4. Протокол работы
5. Расчеты, графики.
6. Выводы.

7. Вопросы для самопроверки

1. Приведите классификацию приборов ГСП
2. Что вы знаете о вторичных приборах?
3. Объясните назначение и принцип действия приборов системы «СТАРТ»

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практические занятия наряду с лекцией, лабораторной работой, относятся к основным видам учебных занятий.

Практические занятия - одна из форм учебного занятия, направленная на развитие самостоятельности учащихся и приобретение компетенций. Данные учебные занятия углубляют, расширяют, детализируют полученные на лекции знания. Практическое занятие предполагает выполнение студентами по заданию и под руководством преподавателей одной или нескольких практических работ. Для практических занятий основными задачами являются следующие:

- обучение студентов практическим приемам и методам анализа теоретических положений и концепций учебной дисциплины;
- приобретение студентами умений и навыков использования современных теоретических и научно-технических методов в решении конкретных практических задач;
- развитие творческого профессионального мышления, профессиональной и познавательной мотивации;
- использование профессиональных знаний в учебных условиях – овладение терминологией дисциплины «Методы и средства формирования, передачи и хранения информации о технологическом объекте управления»
- навыками оперирования формулировками, понятиями, определениями, умениями и навыками постановки и решения интеллектуальных проблем и задач;
- повторение и закрепление знаний;
- развитие научного мышления, речи, общения с аудиторией и т.д.;
- организации оперативной обратной связи руководителя занятия и студентов.

На практических занятиях проводятся последовательное решение задач или выполнение упражнений с применением ранее изученного теоретического материала.

Главным содержанием практического занятия является практическая работа каждого студента.

При подготовке к практическим занятиям необходимо опираться на те знания, которые получены на лекциях и в ходе проведения самостоятельных занятий. Если студенты обнаружат пробел в своих знаниях при подготовке либо проведении практических занятий, то они должны восполнить его путем повторного обращения к тексту

нормативных актов, конспектам лекций, литературе. Перед началом практического занятия преподаватель проверяет наличие у студентов конспектов лекций, письменных решений заданий предыдущих занятий. Студенты, не подготовившиеся к практическому занятию (в том числе и по уважительным причинам), а также отсутствующие на занятиях, отчитываются перед преподавателем о выполнении задания во внеурочное время.

На практических занятиях рекомендуется не менее 1 часа из двух (50% времени) отводить на самостоятельную работу студентов (решение практических типовых задач). При организации практического занятия целесообразно использовать следующий алгоритм:

1. Вступительное слово преподавателя (цели занятия, основные вопросы, которые должны быть рассмотрены).
2. Фронтальный опрос, позволяющий выявить готовность студентов к занятию.
3. Выполнение 1-2 заданий у доски (возможно коллективное обсуждение).
4. Самостоятельное выполнение заданий.
5. Обсуждение выполненных заданий (в конце текущего занятия или в начале следующего).

Таблица 3.1 -Практические занятия, их наименование и объем в часах.

Наименование тем занятий	Количество часов
1. Расчет метрологических характеристик средств измерений	4
2. Расчет измерительных схем температурного контроля. Термоэлектрические термометры	8
3. Расчет измерительных схем температурного контроля. Термометры сопротивления	6
4. Расчет измерительных схем контроля давления	4
5. Расчет измерительных схем контроля уровня	4
6. Расчет измерительных схем контроля расхода.	4
7. Сопряжения измерительных преобразователей с измерительными устройствами	4
8. Выбор параметров автоматического контроля технологических процессов	8
9. Выбор средств автоматического контроля технологических процессов	12

ТЕМА 1. РАСЧЕТ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешность измерения технологического параметра представляет собой три составляющие: погрешность первичного измерительного преобразователя измеряемого параметра, погрешность передачи сигнала (информации), погрешности средств измерений.

По способу выражения погрешности подразделяют на абсолютную, относительную и приведенную.

Абсолютная погрешность измерительного прибора — разность между показаниями измерительного прибора A и истинным значением измеряемой физической величины A_n :

$$\Delta = A - A_n. \quad (1.1)$$

Если истинное значение измеряемой величины неизвестно, вместо него используют *действительное значение* измеряемой величины A_d . Под *действительным значением* физической величины понимают ее значение, найденное экспериментально и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него. В этом случае абсолютная погрешность измерительного прибора определяется выражением:

$$\Delta = A - A_d. \quad (1.2)$$

Абсолютная погрешность измерительного прибора выражается в единицах измеряемой физической величины и имеет знак.

Относительная погрешность измерительного прибора выражается отношением абсолютной погрешности к истинному значению измеренной физической величины или, если оно неизвестно, к действительному значению измеренной физической величины:

$$\delta = \frac{\Delta}{A_n} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad \delta = \frac{\Delta}{A_d} \cdot 100\% . \quad (1.3)$$

Приведенная погрешность измерительного прибора — отношение абсолютной погрешности к *нормирующему значению* $A_{н0}$:

$$\delta_{\text{прив}} = \frac{\Delta}{A_{\text{норм}}} \cdot 100\% \quad (1.4)$$

П р и м е ч а н и е. Нормирующим значением называют условно принятое значение $A_{\text{норм}}$, постоянное во всем диапазоне измерений или в части диапазона. Для измерительных приборов, нижний предел измерения которых $A_{\min}$ выше нуля, нормирующее значение принимается равным верхнему пределу измерения $A_{\max}$; если же нижний предел измерения равен нулю или ниже нуля, то нормирующее значение принимается равным диапазону измерения ($A_{\max} - A_{\min}$). Приведенную погрешность обычно выражают в процентах.

В зависимости от условий, в которых проводились измерения, различают основную и дополнительную погрешности средства измерений.

Основная погрешность средства измерений — погрешность средства измерений, применяемого в нормальных условиях.

В процессе измерения возможны отклонения условий измерения и параметров окружающей среды от нормальных условий и тогда возникают *дополнительные погрешности* средства измерений за счет влияющих величин.

Влияющая физическая величина (например, температура окружающей среды, барометрическое давление и т.п.) — это физическая величина, не являющаяся измеряемой данным средством измерений, но оказывающая влияние на результаты измерений этим средством.

Дополнительная погрешность средства измерений — составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от ее нормального значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

В зависимости от характера изменения измеряемой величины во времени в процессе измерения различают статические и динамические погрешности средства измерений.

Статическая погрешность средства измерений — погрешность средства измерений, применяемого при измерении физической величины, принимаемой за неизменную.

Динамическая погрешность средства измерений возникает при измерении изменяющейся (в процессе измерений) физической величины и обусловлена запаздыванием изменений показаний.

Наиболее значительными бывают динамические погрешности восприятия измеряемого параметра первичным измерительным преобразователем, определяемые не только конструкцией измерительного преобразователя, но также условиями измерения и особенностями их установки, подключения и т.д. Например, при измерении температуры одним из основных факторов являются условия теплообмена между первичным измерительным преобразователем и измеряемой средой, а условия теплообмена, в свою очередь, зависят от рода измеряемой среды (газ, жидкость, пар), ее параметров (температуры, давления, скорости движения), расположения первичного измерительного преобразователя по отношению к потоку.

Класс точности — обобщенная характеристика средства измерений, определяемая пределами допускаемых основной и

дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средства измерений, влияющими на их точность.

Класс точности многих измерительных приборов обозначают числами, совпадающими со значением допускаемой основной приведенной погрешности

$$КТ = \frac{\Delta_{\max}}{A_{\text{ном}}} \cdot 100\%, \quad (1.5)$$

где КТ — число, обозначающее класс точности; $\Delta_{\max}$ — максимальная допускаемая основная абсолютная погрешность.

Примечание. Класс точности средств измерений конкретного типа устанавливают в стандартах, технических требованиях (условиях) или других нормативных документах.

Чувствительность средств измерений (измерительного прибора) S — отношение изменения сигнала на выходе средства измерений Δy , к вызвавшему его изменению измеряемой величины Δx :

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1.6)$$

Задача 1.1. Определить пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерительного прибора класса точности 0,5 с диапазоном измерений от 25 мВ до 50 мВ.

Решение. Число, обозначающее класс точности средства измерений, совпадает с максимальной допустимой основной *приведенной* погрешностью показаний (1.5), откуда следует

$$\Delta = \pm \frac{\delta_{\text{прив}} \cdot A_{\text{ном}}}{100}.$$

Нормирующее значение $A_{\text{ном}}$ для измерительного прибора с заданными пределами измерения принимается равным диапазону измерений ($A_{\max} - A_{\min}$).

Следовательно, пределы основной абсолютной погрешности измерений определяем по формуле

$$\Delta = \pm \frac{0,5 \cdot (50 - 25)}{100} = \pm 0,125 \text{ мВ}.$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1.2. Милливольтметр имеет равномерную шкалу, разделенную на 50 интервалов. Нижний предел измерения $U_{\text{н}} = -10 \text{ мВ}$, верхний $U_{\text{к}} = +10 \text{ мВ}$. Определить цену деления и чувствительность прибора.

Задача 1.3. Мановакуметр имеет равномерную шкалу, разделенную на 50 интервалов. Нижний предел измерений 0,01 МПа,

верхний – 0,09 МПа. Определить цену деления и чувствительность мановакуметра.

Задача 1.4. Определить относительную погрешность по входу и выходу преобразователя давления с пределами измерения 0-6,0 МПа, с токовым выходным сигналом 4-20мА, если при измерении давления 4 МПа выходной сигнал составил $I_d=3,0\text{мА}$.

Задача 1.5. При измерении давления величиной 0,35МПа манометром класса точности 1,5 была получена максимальная погрешность $\pm 0,03\text{МПа}$, а при измерении манометром класса точности 2,5 погрешность составила $\pm 0,015\text{МПа}$. Указать случаи, при которых это возможно.

Задача 1.6. Какую шкалу, и какой класс точности должен иметь манометр для того, чтобы при измерении давления 7,2 МПа погрешность измерения не превышала $\pm 0,15\text{МПа}$? В каких пределах может лежать истинное значение давления при выбранном вами классе точности манометра?

Задача 1.7. Манометр со шкалой от 0 до 250 КПа показывает давление 90КПа. Каков должен быть класс точности прибора, чтобы погрешность измерения давления не превышала $\pm 0,5\text{КПа}$? В каких пределах может лежать истинное давление при найденном классе точности.

Задача 1.8. При измерении давления 1МПа манометром класса точности 15 была получена максимальная погрешность $\pm 0,06\text{МПа}$, а при измерении манометром класса точности 2,5 погрешность равнялась $\pm 0,04\text{МПа}$. При каких условиях возможны такие результаты?

Задача 1.9. Имеется три манометра: класса точности 1,5 со шкалой 0-0,6МПа класса точности 1,5 со шкалой 0-1,0МПа и класса точности 1,0 со шкалой 0-1,6 МПа. Измеряемое давление 0,4 МПа. Определите относительную погрешность измерения каждым из трех манометров. Какой из манометров обеспечит наибольшую точность показаний?

ТЕМА 2. РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ (ТЕРМОПАРЫ)

Принцип действия основан на зависимости ТЭДС от температуры мест соединения двух разнородных проводников. Ошибки, возникающие при измерении ТЭДС для оценки действительного значения ТЭДС термоэлектрического преобразователя, вызваны неучетом некоторых свойств термоэлектрических цепей, а также неправильной оценкой температуры свободных концов или неучетом свойств термоэлектродных удлинительных проводов. К числу недостатков термоэлектрических преобразователей можно отнести необходимость применения специальных термоэлектродных проводов для подключения их к измерительному устройству, стабилизации или автоматического введения поправки на температуру свободных концов. Для удлинения термоэлектродов термоэлектрического преобразователя и переноса свободных концов в место, удобное для стабилизации их температуры или введения поправки на ее отличие от 0°C, применяют удлинительные термоэлектродные провода.

Задача 2.1. Термоэлектродвижущая сила E (ТЭДС) термопары типа К изменяется от 8,138 мВ до 12,209 мВ при изменении температуры горячего спая t от 200 °C до 300 °C и постоянной температуре холодного спая. Определите чувствительность термопары.

Решение. Чувствительность термопары равна

$$S = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{12,209 - 8,138}{300 - 200} = \frac{4,071}{100} = 0,04071 \text{ мВ} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача 2.2. Определите температуру рабочего конца («горячего спая») термопары типа R, если известно, что ТЭДС термопары равна 3,75 мВ, а температура ее свободных концов равна 32 °C.

Задача 2.3. Предлагаются два варианта измерения температуры поверхности медной пластины. Один вариант предполагает, что термоэлектроды термоэлектрического преобразователя сварены вместе и затем приварены к пластине, а во втором варианте измерения каждый из термоэлектродов приваривается к пластине отдельно и между термоэлектродами отсутствует непосредственный контакт. Учитывая большую теплопроводность медной пластины и полагая плохим ее теплообмен с окружающей средой, считаем, что температура поверхности медной пластины во всех точках подсоединения к ней термоэлектродов

одинакова.

Будет ли ТЭДС обоих термоэлектрических преобразователей одинакова при одной и той же температуре свободных концов?

Задача 2.4. При градуировке термоэлектрического термометра, состоящего из хромель-копелевой термопары и потенциометра, свободные концы термопары имели температуру $t_0 = 0^\circ\text{C}$. При измерении температура свободных концов термопары $t_0 = 50^\circ\text{C}$, а показания потенциометра $E(t, 50) = 32,3 \text{ мВ}$, что соответствует температуре $409,2^\circ\text{C}$.

Определить измеряемую температуру, рассчитав поправку на температуру свободных концов термопары:

Определить измеряемую температуру, рассчитав поправку на температуру свободных концов термопары:

Задача 2.5. Платинородий-платиновую термопару (типа R) подсоединили к измерительному прибору медными проводами. Температура рабочего конца термопары 700°C , а свободных концов 20°C .

Изменится ли ТЭДС, действующая в измерительной цепи, если температура в месте соединения медного провода с платинородиевым термоэлектродом увеличилась до 100°C , а температура в месте соединения медного провода с платиновым термоэлектродом осталась той же (20°C)?

Задача 2.6. Подключение термоэлектрического преобразователя к измерительному прибору (милливольтметру, потенциометру и др.) осуществляется, как правило, термоэлектродными удлинительными проводами.

Является ли обязательным требование равенства температур мест соединения t_1 и t_2 термопары с термоэлектродными удлинительными проводами (рис. 2.1)?

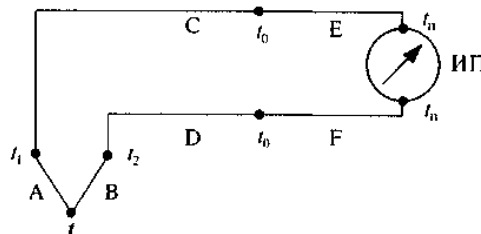


Рисунок 2.1 - Схема подключения термоэлектрического преобразователя к измерительному прибору (ИП):

A и B — провода термопары; C и D — термоэлектродные удлинительные провода; E и F — медные соединительные провода

Задача 2.7. На рис. 2.1 представлена измерительная схема для из-

мерения температуры. Известно, что термоэлектрическим преобразователем является хромель-алюмелевая термопара (термопара типа К) и что $t_1 = t_2 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_0 = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_n = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$. ТЭДС на выводах потенциометра равна $E = 23,52\text{ мВ}$.

Определите температуру рабочего конца термоэлектрического преобразователя.

ТЕМА 3 РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ. ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Принцип действия термопреобразователей сопротивления основан на свойстве проводника (или полупроводника) изменять свое сопротивление с изменением температуры. В задачах по термопреобразователям сопротивления необходимо обратить внимание на особенности, связанные с работой термопреобразователя и измерительных схем. Температура определяется по сопротивлению чувствительного элемента, поэтому появляются ошибки, связанные с определением этого сопротивления. Как правило, эти ошибки вызваны изменением сопротивления соединительных линий, связывающих термопреобразователь сопротивления с измерительным прибором.

Задача 3.1 Медный термометр сопротивления при 20°C имеет сопротивление $R_{20} = 1,75\text{ Ом}$. Температурный коэффициент $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Определить сопротивление медного термометра сопротивления при температуре 100°C и 150°C .

Решение. Сопротивление R_t медного термометра при температуре t определяется по формуле $R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha t)$, где температурный коэффициент $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Если известно сопротивление R_{t1} при температуре t_1 то для определения сопротивления R_{t2} при температуре t_2 необходимо предварительно найти R_0 , а затем по найденному R_0 найти R_{t2} по формуле $R_{t2} = R_0 \cdot (1 + \alpha t_2)$, где

$$R_0 = \frac{R_{t2}}{1 + \alpha t_1}.$$

Таким образом можно получить значения сопротивления медного термометра сопротивления при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $150\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$R_{100} = 2,30\text{ Ом}; \quad R_{150} = 2,65\text{ Ом}.$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача 3.2. Определить сопротивление платинового термометра сопротивления при температурах $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$, если известно, что при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ оно равно $7,45\text{ Ом}$.

Задача 3.3. Оценить значение дополнительной погрешности, возникающей из-за самонагревания термометра сопротивления, изготовленного в виде платиновой нити диаметром 0,05 мм и длиной 10 мм и измеряющего температуру воздушного потока. Коэффициент теплоотдачи от платиновой нити к воздуху $\alpha = 400 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Сила электрического тока, протекающего по платиновой нити, $I = 100 \text{ мА}$. Сопротивление термометра при рабочей температуре $R_t = 0,54 \text{ Ом}$.

Задача 3.4. Термометр сопротивления R_t подключили к уравновешенному мосту (рис. 4.3) с помощью соединительных проводов. Сопротивление $R_{\text{л}}$ каждого из этих соединительных проводов при градуировке равно 2,5 Ом.

Оцените изменение показаний уравновешенного моста, вызванное увеличением сопротивления каждого из соединительных проводов на 0,5 Ом, если термометр сопротивления подключили к уравновешенному мосту (рис. 4.3) по двухпроводной схеме. Сопротивления резисторов схемы имеют следующие значения:

$$R_1 = R_2 = 80 \text{ Ом}; \quad R_3 = R_p = 40 \text{ Ом}; \quad R_t = 15 \text{ Ом}.$$

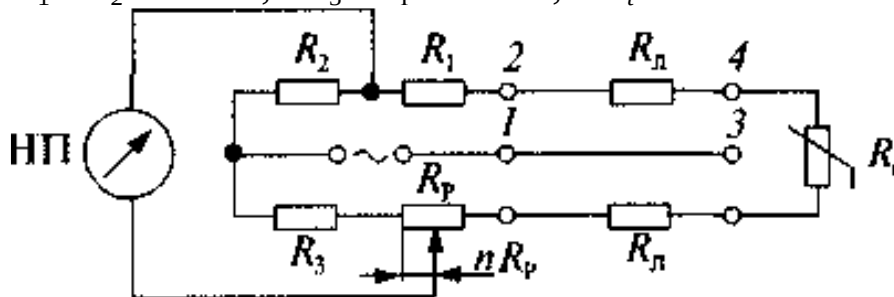


Рисунок 4.3 - Подключение термометра сопротивления к уравновешенному мосту по двухпроводной схеме (контакты 1 и 2 замкнуты) и трехпроводной схеме (контакты 3 и 4 замкнуты)

Задача 3.5. Термометр сопротивления R_t подключили к уравновешенному мосту (см. рисунок 4.3) с помощью соединительных проводов по трехпроводной схеме. Величины сопротивлений и их изменения остаются такими же, как в примере 4.13. Останется ли прежним изменение показаний моста?

ТЕМА 4. РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ

Для измерения давления применяются сравнительно простые и доступные *жидкостные и пружинные* (деформационные) приборы. Большое распространение получили приборы для измерения давления с унифицированным выходным сигналом, работающие по принципу компенсации усилий.

В *жидкостных* приборах измеряемое давление (разность давлений) уравнивается давлением столба жидкости (разностью давлений столбов жидкости). Давление жидкости определяется высотой столба, плотностью и ускорением силы тяжести, поэтому погрешности измерения давления жидкостными манометрами связаны с погрешностями измерения высоты столба жидкости, с точностью определения плотности (зависит от температуры) и ускорения силы тяжести (определяется географической широтой и высотой над уровнем моря).

Зависимость между измеряемым избыточным давлением (или перепадом давлений Δp), плотностью заполняющей жидкости ρ и разностью ее уровней h в обоих сосудах прибора устанавливается формулой

$$\Delta p = h\rho g. \quad (4.1)$$

Примечание. При решении задач следует внимательно следить за размерностью получающихся величин. Например, если в вышеприведенную формулу подставить h в м, ρ в кг/м^3 , g в м/с^2 , то Δp будет иметь размерность Па.

В *пружинных* (деформационных) приборах давление определяется по деформации упругих чувствительных элементов (или по развиваемой ими силе).

При проверке правильности установки средств измерений, входящих в каждую систему измерения давления, прежде всего, обращают внимание на монтаж импульсных трубных проводок, выполненных от мест отбора давлений к датчикам (преобразователям) и приборам.

Необходимо проконтролировать, чтобы все датчики давления были установлены в рабочем положении, предусмотренном техническими описаниями и инструкциями по эксплуатации для конкретного типа датчиков.

Запорные вентили, установленные в местах отбора давлений и непосредственно у датчиков должны быть закрыты.

Схема трубной проводки в установившемся режиме должна

обеспечивать равенство давлений в месте отбора и в чувствительном элементе датчика (прибора). Если это требование невыполнимо, то схема должна обеспечивать постоянство разности давлений в указанных местах.

Длина трубной проводки должна быть такой, чтобы температура вещества, поступающего в датчик, не отличалась от температуры окружающей среды и не должна превышать наибольшей допустимой длины, указанной в инструкциях по монтажу и эксплуатации приборов.

Схема трубной обвязки должна позволять производить оценку функционирования датчика (прибора), например можно установить вентиль для проверки показаний датчиков (приборов) при нулевом давлении или запорные вентили непосредственно перед датчиком, что особенно важно, когда нежелательно опорожнение трубной проводки после отключения ее от датчика.

Одним из основных требований, предъявляемых к трубной проводке, заполненной жидкостью, является обеспечение возможности удаления пузырьков воздуха (газа). При неправильной прокладке труб эти газы будут образовывать в верхних точках линий так называемые «воздушные мешки».

Поэтому импульсные трубные проводки, заполненные жидкостью, следует прокладывать с уклоном около 2%, обеспечивающим выход выделяющихся газов через место отбора давления.

Трубная проводка, заполненная газом, должна быть проложена так, чтобы образующийся конденсат не создавал «водяных пробок», которые искажают показания прибора.

Для исключения этого явления импульсные трубные проводки, заполненные газом, должны быть проложены с уклоном, обеспечивающим сток конденсата через место отбора давления.

При измерении давления жидкостей, имеющих температуру более высокую, чем температура окружающей среды, как правило, датчики давления (приборы) устанавливаются ниже места отбора давления. При этом отборы давления должны размещаться сбоку технологического трубопровода (оборудования). Тогда пузырьки воздуха, проходящие в технологическом трубопроводе в верхней части, не загазовывают трубную

проводку.

Рекомендуемая схема установки датчика давления (прибора) при измерении давления жидкостей и паров показана на рис. 4.1. Датчик давления расположен ниже отбора давления.

Контрольный трехходовой кран позволяет подключить контрольный прибор, проверить нуль и осуществить продувку трубной проводки.

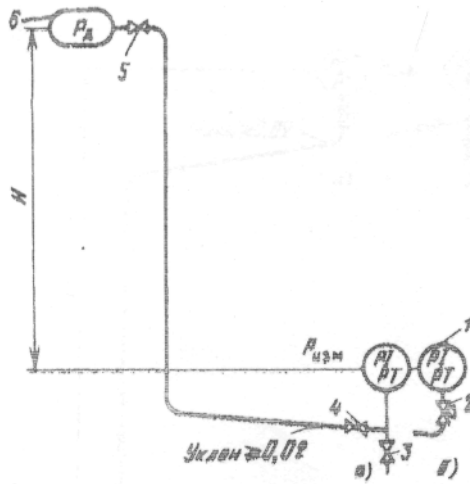


Рисунок 4.1 - Схема измерения давления жидкости или пара при расположении датчика ниже отбора давления:

а - без контрольного трехходового крана у прибора; б — с контрольным трехходовым краном; 1 — датчик; 2 - контрольный трехходовой кран; 3-запорный кран для продувки; 4 и 5 запорные краны; 6 — объект измерения.

Датчик давления (прибор) показывает давление не в месте отбора, а несколько большее за счет гидростатического столба жидкости:

$$P_{изм} = P_d + H \cdot \rho \cdot g, \quad (4.2)$$

где $P_{изм}$ — давление, измеряемое датчиком; P_d - давление действительное в месте отбора; H - высота столба жидкости между отбором давления и датчиком; ρ - плотность жидкости в трубной проводке при температуре окружающей среды; g - ускорение свободного падения.

Пример 4.1. *Определить действительное давление, если показание датчика давления, включенного по схеме на рис. 4.1. составляет 0,8 МПа; $H = 10$ м.*

Плотность конденсата при $t_{окр} = 20$ °С составляет $\rho = 998$ кг/м³ ≈ 1000 кг/м³.

Решение. Давление, создаваемое столбом конденсата,

$$H_{pg} = 10 \cdot 1000 \cdot 9,8 \approx 100000 \text{ Па} = 0,1 \text{ МПа};$$

$$P_d = P_{\text{изм}} - H_{pg} = 0,8 - 0,1 = 0,7 \text{ МПа}.$$

Рекомендуемая схема установки датчика давления выше места отбора приведена на рис. 4.2, а.

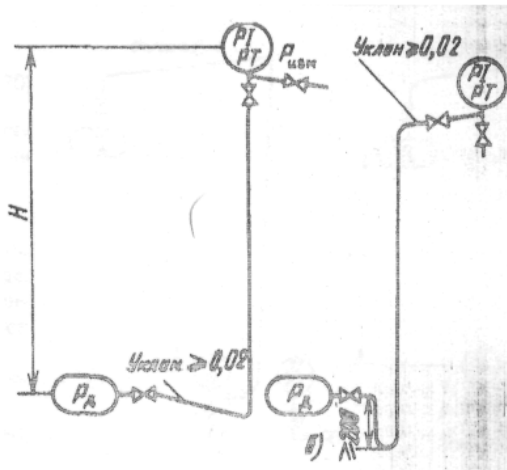


Рисунок 4.2 - Схема измерения давления жидкости или пара при расположении датчик выше отбора давления:

а — с углом импульсной линии от отбора давления; б- с петлей на импульсной линии.

Если уклон выполнить невозможно, то установку датчика следует выполнить по схеме на рис. 4.2,б.

Уклон трубной проводки, показанный на рис. 4.2, а, и спуск (равный или больше 200 мм) препятствуют возникновению конвекционного движения жидкости.

$$\text{Согласно рис. 4.2, а и б} \quad P_{\text{изм}} = P_d - H \cdot \rho \cdot g. \quad (4.3)$$

Отсюда следует, что датчик давления (прибор) дает показания выше нуля, если $P_{d.\text{мин}} > H \cdot \rho \cdot g$.

Пример 4.2. *Определить действительное значение давления масла в трубопроводе, если показание датчика давления, включенного по схеме на рис. 4.2, а, составляет 0,2 МПа; $H = 5 \text{ м}$.*

Плотность масла при $t_{\text{окр}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$.

Из (4.3) следует, что $P_d = P_{\text{изм}} + H \cdot \rho \cdot g$;

$$H \cdot \rho \cdot g = 5 \cdot 800 \cdot 9,8 \approx 40000 \text{ Па} = 0,04 \text{ МПа}.$$

Следовательно, $P_d = 0,2 + 0,04 = 0,24 \text{ МПа}$.

При измерении давления газа датчик давления (прибор), как правило,

устанавливают выше места отбора давления.

При этом отборы давления должны размещаться сверху или сбоку технологического трубопровода. В этом случае конденсат протекает в трубопроводе ниже места отбора давления.

Рекомендуемая схема выполнения трубной проводки при измерении давления влажного и сухого газов в случае, когда датчик давления (прибор) расположен выше отбора давления, показана на рис. 4.3, а и б.

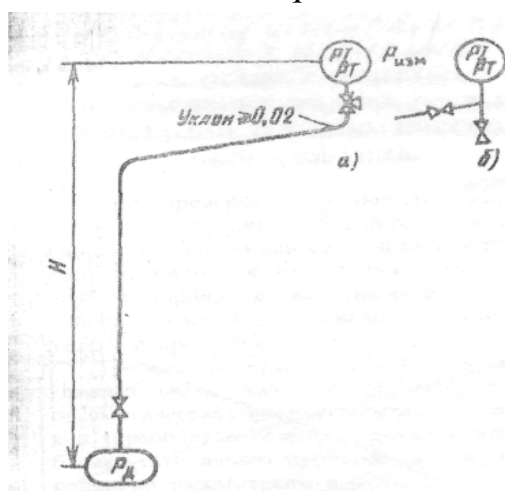


Рисунок 4.3 - Схемы измерения давления влажного или сухого газа при расположении датчика выше отбора давления:

а - с контрольным трехходовым краном; б - без контрольного трехходового крана.

Давлением столба газа в трубной проводке пренебрегают, так как эта величина по сравнению с измеряемым давлением весьма мала.

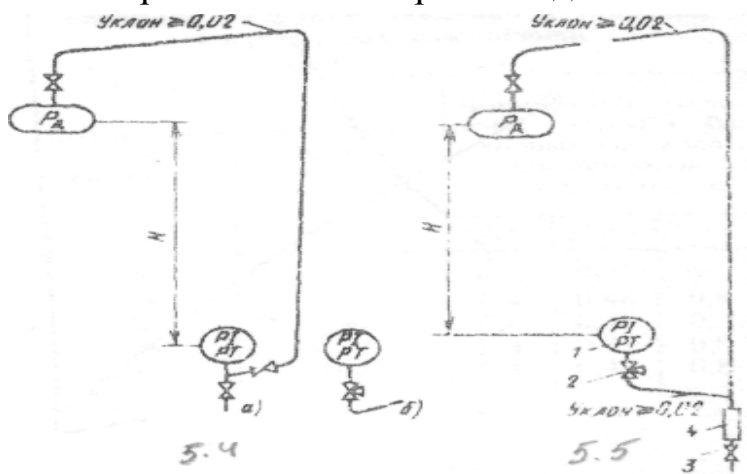


Рисунок 4.4 - Схемы измерения давления сухого газа при расположении датчика ниже отбора давления:

а — без контрольного трехходового крана; б — с контрольным

трехходовым краном

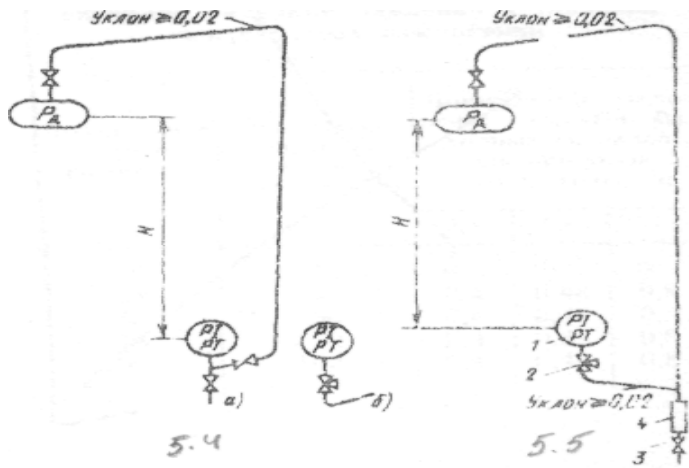


Рис. 5.5. Схема измерения давления влажного газа при расположении датчика ниже отбора давления:

1- датчик (прибор); 2 - контрольный трехходовой кран; 3- вентиль для продувки; 4- влагоотстойники.

Схема для измерения давления сухого газа показана на рис. 5.4, а влажного на рис. 5.5 для случаев, когда датчик давления расположен ниже отбора давления.

В случае попадания жидкости в вертикальный участок трубной проводки возникает погрешность измерения из-за гидростатического давления столба жидкости тем большая, чем больше высота этого столба.

Задача 4.1. Манометр с линейным токовым преобразователем измеряет давление в диапазоне от $p_{\min} = 0$ МПа до $p_{\max} = 4$ МПа, при этом выходной сигнал манометра изменяется в диапазоне от $I_{\min} = 0$ мА до $I_{\max} = 5$ мА. Определить погрешность манометра, если при измерении давления, действительная величина которого $p_d = 3,2$ МПа, выходной сигнал составил $I_{\text{изм}} = 3,93$ мА.

Решение. Уравнение, связывающее токовый выходной сигнал манометра с входным сигналом (измеряемым давлением), имеет вид:

$$I_d = I_{\min} + \frac{I_{\max} - I_{\min}}{p_{\max} - p_{\min}} \cdot (p_d - p_{\min}).$$

Определим значение выходного токового сигнала, которое должно быть при $p_d = 3,2$ МПа

$$I_d = 0 + \frac{5}{4} \cdot 3,2 = 4 \text{ мА}.$$

Определим абсолютную погрешность манометра по выходному

сигналу (по току):

$$\Delta I = I_{\text{изм}} - I_{\text{д}} = 3,93 - 4,00 = -0,07 \text{ мА.}$$

Определим приведенную погрешность манометра:

$$\delta_{\text{прив}} = \frac{\Delta I}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}} = \frac{-0,07}{5} = -0,014 \quad (\text{или } -1,4\%).$$

Определим абсолютную погрешность манометра по входному сигналу (по давлению):

$$\Delta p = \delta_{\text{прив}} (p_{\text{max}} - p_{\text{min}}) = -0,014 \cdot 4 = -5,056$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача 4.2. Определить погрешность манометра с пневматическим выходным сигналом ($p_{\text{вых.min}} = 20 \text{ кПа}$, $p_{\text{вых.max}} = 100 \text{ кПа}$) и диапазоном измерения от $p_{\text{min}} = 0 \text{ МПа}$ до $p_{\text{max}} = 6 \text{ МПа}$, если при измерении давления, действительное значение которого $p_{\text{д}} = 4,5 \text{ МПа}$, величина выходного сигнала составила $p_{\text{вых.изм}} = 84 \text{ кПа}$.

Задача 4.3. На трубопроводе с водой, движущейся под давлением 0,8 МПа, установили три манометра (рисунок 4.1).

Каковы будут их показания (собственными погрешностями манометров пренебрегаем)?

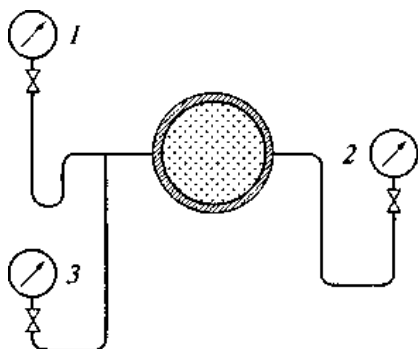


Рисунок 4.1 - Измерение давления жидкости в трубопроводе

Задача 4.4. Манометр, измеряющий давление пара, установили на 5м ниже точки отбора. Манометр показывает $P = 5 \text{ МПа}$. Среднее значение температуры конденсата в импульсной трубке $t = 60^\circ \text{C}$.

Каково действительное значение давления в паропроводе?

ТЕМА 5. РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ

Уровень жидкости измеряют *поплавковыми* и *буйковыми* уровнемерами, но их применение ограничено агрессивными средами и средами с выпадающими осадками. Для измерения уровня агрессивных сред применяется *пьезометрический* (пневмометрический) метод измерения уровня, основанный на измерении давления воздуха (инертного газа), уравнивающего гидростатическое давление столба жидкости. *Емкостные* уровнемеры применяются для измерения уровня как непроводящих, так и проводящих жидкостей (как агрессивных, так и не агрессивных) в широком диапазоне давлений и температур. Их показания зависят от диэлектрической проницаемости среды, изменяющейся с температурой.

Радиоактивные и *ультразвуковые* уровнемеры применяются в тех случаях, когда непосредственный контакт с измеряемой средой нежелателен (например, уровень жидкого хлора, уровень жидкого фосфогипса и т.д.). На показания радиоактивных уровнемеров изменение плотности измеряемой среды практически не влияет.

Задача 5.1. Уровень жидкости в открытом резервуаре $H_{\max}$ (рисунок 5.1) может достигать 3 м. Можно ли для измерения уровня гидростатическим методом применить мембранный дифманометр с предельным номинальным перепадом давления $\Delta p_n = 0,04$ МПа, если он будет расположен ниже минимального уровня на $h = 3$ м. Минусовая камера дифманометра соединена с атмосферой.

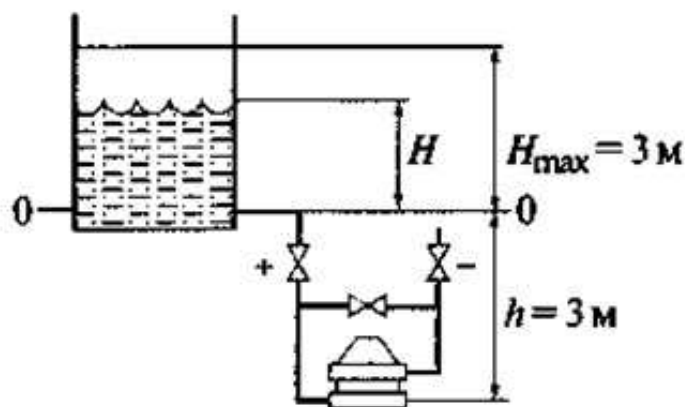


Рисунок 5.1 - Измерение уровня жидкости в открытом резервуаре с помощью дифманометра.

Решение. В такой схеме включения при $H = 0$ на дифманометр действует перепад давления $\Delta p = 0,3 \text{ кгс/см}^2$. При максимальном изменении уровня $H = H_{\max} = 3 \text{ м}$ перепад давления возрастает до $0,6 \text{ кгс/см}^2$, что превышает верхний предел измерения дифманометра $\Delta p_{\text{н}} = 0,04 \text{ МПа} = 0,4 \text{ кгс/см}^2$. Следовательно, в указанных условиях использовать дифманометр нельзя. Для использования этого дифманометра необходимо в минусовой камере создать давление, равное давлению в плюсовой камере при $H = 0$, а это можно сделать, подключив к минусовой камере импульсную трубку необходимой длины, заполненную водой.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 5.2. Пьезометрический уровнемер с пневмометрической трубкой измеряет уровень щелочи в выпарном аппарате (рисунок 5.2). Максимальная плотность раствора щелочи $\rho_{\text{щ}} = 1280 \text{ кг/м}^3$. Интервал изменения уровня от 0 мм до 400 мм , внутренний диаметр пневмометрической трубки $d = 6 \text{ мм}$, температура щелочи в выпарном аппарате 80°C , а абсолютное давление в выпарном аппарате 160 мм рт. ст.

Определите давление воздуха в источнике питания и примерный часовой расход воздуха при максимальном уровне.

Примечание. Для решения этой задачи удобно пользоваться внесистемными единицами.

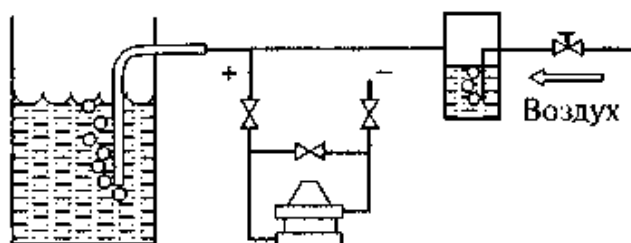


Рисунок 5.2 - Измерение уровня пьезометрическим уровнемером

Задача 5.3 Следует ли производить переградуировку радиоактивного уровнемера, если он был отградуирован на воде, а затем возникла необходимость измерить уровень жидкого хлора?

ТЕМА 6. РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ КОНТРОЛЯ РАСХОДА

1) Измерение расхода напорными трубками

Перепад давления Δp , образующийся в комбинированной напорной трубке, равен динамическому напору. Скорость, соответствующая этому перепаду давления, определяется по уравнению

$$v = k_T \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \quad (6.1)$$

где k_T — коэффициент комбинированной напорной трубки (для правильно изготовленных трубок k_T близок к единице).

2) Измерение расхода с помощью сужающих устройств

Взаимосвязь между объемным F_0 (или массовым F_M) расходом и перепадом давления Δp на сужающем устройстве определяется уравнением расхода:

$$F_0 = \alpha A_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)}; \quad (6.2)$$

$$F_M = \alpha A_0 \sqrt{2\rho (p_1 - p_2)}, \quad (6.3)$$

где A_0 — площадь отверстия сужающего устройства, м^2 ; ρ — плотность измеряемой среды перед сужающим устройством, кг/м^3 ; α — коэффициент расхода; ε — поправочный коэффициент на расширение измеряемой среды.

При измерении расхода промышленными дифманометрами коэффициент расхода определяют по формулам:

для диафрагм

$$\alpha = \alpha_n k_{ш} k_H; \quad (6.4)$$

для сопл и сопл Вентури

$$\alpha = \alpha_n k_{ш}, \quad (6.5)$$

где k_H — исходный коэффициент расхода ($Re > Re_{гр}$); $k_{ш}$ — поправочный коэффициент на шероховатость трубопровода для диафрагм, сопл и сопл Вентури, учитываемый при диаметрах трубопровода от 50 мм до 300 мм; k_H — поправочный коэффициент на неостроту входной кромки диафрагмы; $Re_{гр}$ — граничное значение числа Рейнольдса, начиная с которого коэффициент расхода не зависит от соотношения $m = d^2/D^2$, в котором d и D — диаметры отверстия сужающего устройства и трубопровода соответственно.

Практические рекомендации: измерение расхода по методу переменного перепада давления рекомендуется применять при $Re > Re_{гр}$.

При использовании этого метода измерения может иметь место погрешность, вызванная расхождением расчетных и действительных значений параметров в уравнениях расхода. Например, при отклонении температуры среды t от расчетной t_p изменяется плотность среды, что вызовет изменение показаний расходомера. В случае сухого газа новое значение плотности ρ определяется через плотность ρ_N при нормальных условиях по формуле

$$\rho = \rho_N \frac{p T_N}{p_N T k}, \quad (6.6)$$

где p и T —действительное давление и абсолютная температура измеряемой среды; p_N и T_N —давление и абсолютная температура измеряемой среды при нормальных условиях; k — коэффициент сжимаемости.

Для жидкости плотность ρ при температуре t рассчитывается по формуле

$$\rho = \rho_p [1 - \beta(t - t_p)], \quad (6.7)$$

где ρ_p — плотность жидкости при расчетной температуре t_p ; β — средний коэффициент объемного теплового расширения жидкости в интервале температур от t_p до t .

В технологии также применяются электромагнитные, тепловые и ультразвуковые расходомеры.

Тепловые расходомеры (термоанемометры, калориметрические расходомеры) основаны на зависимости теплообмена между нагреваемым элементом и потоком от скорости (или расхода) измеряемой среды.

Электромагнитные расходомеры применимы для измерения расхода только электропроводных жидкостей (поэтому не применяются для измерения расхода газов, нефтепродуктов, масел и т.д.). Конструкция измерительного преобразователя практически не изменяет форму и сечение трубопровода и позволяет измерять расход загрязненных жидкостей, суспензий и пульп и даже расходы жидких металлов.

Ультразвуковые расходомеры применяются в тех случаях, когда непосредственный контакт с измеряемой средой (жидкостью) нежелателен.

Задача 6.1. Определите перепад давления, создаваемый напорной трубкой, если поток воды движется со скоростью 0,1 м/с, плотность воды $\rho = 985 \text{ кг/м}^3$ коэффициент трубки $k_T = 0,97$.

Решение. Перепад давления, создаваемый напорными трубками, находим из выражения

$$\Delta p = k_T \frac{\rho v^2}{2} = 4,78 \text{ Па}.$$

Примечание. Рассчитанное значение перепада давления настолько мало, что в промышленных условиях его измерить затруднительно, поэтому напорные трубки для измерения столь малых скоростей жидкостей не применяются. Расчетами также легко установить, что измерение скорости воздуха и газов по перепаду давления на напорных трубках из-за их небольшой плотности практически возможно только для скоростей в несколько десятков метров в секунду и более.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 6.2. Определите расход дымовых газов через трубопровод диаметром $D = 200$ мм, если перепад давления на напорной трубке $\Delta p = 50$ кгс/м², коэффициент трубки $k_T = 0,97$. Трубка установлена на расстоянии 23,8 мм от стенки трубопровода. Плотность дымовых газов $\rho = 0,405$ кг/м³ Кинематическая вязкость дымовых газов $\nu = 93,6 \cdot 10^{-6}$ м²/с

Задача 6.3. При установке диафрагмы в трубопроводе предполагалось, что номинальное значение расхода среды составит 230 т/ч. Диафрагму рассчитали на максимальный расход $F_{max} = 250$ т/ч, а дифманометр — на $\Delta p_{max} = 400$ кгс/м². В процессе эксплуатации выяснилось, что расход среды будет равен 380 т/ч и сменить диафрагму не представляется возможным. Подберите дифманометр, чтобы измерить расход среды, равный 380 т/ч.

Задача 6.4. Через диафрагму, установленную в трубопроводе, протекает сернистый газ, расходные характеристики для которого были получены при нормальных условиях: $t_N = 20$ °С; $p_N = 101,3$ кПа и влажности $\phi_N = 0$. Однако в реальных условиях $t = 25$ °С, $p = 130$ кПа, $\phi = 30\%$.

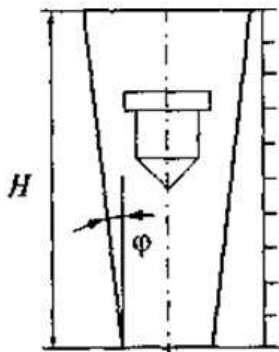
Определите поправочный коэффициент для пересчета показаний расходомера (дифманометра) на нормальные условия.

Задача 6.5. На трубопроводе диаметром $D = 200$ мм перед сужающим устройством с относительной площадью сужающего устройства $m = 0,6$ требуется установить регулирующий клапан.

Определите необходимую длину прямого участка, а также возможное уменьшение необходимой длины за счет уменьшения относительной площади сужающего устройства до $m = 0,45$.

Задача 6.6. Определите угол конусности ϕ трубки ротаметра (рисунок 6.1), применяемого для измерения расхода воды F в диапазоне от 10 л/ч до 500 л/ч. Расчетная плотность воды $\rho = 998,2$ кг/м³, длина шкалы $h = 160$ мм, площадь сечения поплавка $A_n = 78,6$ мм², объем поплавка $V_n = 600$ мм³, плотность материала поплавка $\rho_n = 7870$ кг/м³,

коэффициент расхода ротаметра α постоянен и равен 0,98.



Задача 6.7. Через один и тот же электромагнитный расходомер пропускали вначале раствор HCl проводимостью 80 См/м со средней скоростью 10 м/с, а затем пропускали раствор KOH проводимостью 40 См/м со средней скоростью 20 м/с.

Будет ли ЭДС, наводимая между электродами, в обоих случаях одинакова?

Рисунок 6.1 - Схема ротаметра

Задача 6.8.. Для измерения ЭДС, наводимой в электромагнитном расходомере, предлагается использовать милливольтметр со шкалой от 0 мВ до 20 мВ и входным сопротивлением $R_{\text{мв}} = 200 \text{ Ом}$. ЭДС электромагнитного расходомера 15 мВ, измеряемая среда — вода, сопротивление воды между электродами электромагнитного преобразователя $R = 10 \text{ МОм}$.

Определить погрешность измерения ЭДС, вызванную падением напряжения во внешней цепи милливольтметра. Основной погрешностью милливольтметра можно пренебречь.

Задача 6.9. Какой тип электромагнитного расходомера (с переменным или постоянным магнитным полем) необходимо применить для измерения расхода раствора щелочи?

Задача 6.10. В трубопроводе диаметром 100мм протекает вода, расход которой изменяется от 0 м³/ч до 300 м³/ч. Для измерения расхода установлены ультразвуковые излучатель и приемник. Расстояние между излучателем и приемником 300 мм.

Определите время прохождения ультразвуковых колебаний при распространении их «по потоку» и «против потока». Скорость распространения ультразвуковых колебаний в воде $v_{\text{уз}} = 1500 \text{ м/с}$.

Задача 6.11. Для условий примера 6.10 определите разность времени прохождения звука «по потоку» и «против потока» и разность фазовых углов ультразвуковых колебаний, вызванных разностью скоростей прохождения звука. Частота ультразвука 20 кГц.

Задача 6.12. Расход воды протекающей по трубопроводу диаметром $D=20\text{мм}$, составляет $G_m=100\text{т/ч}$, коэффициент сужающего устройства ($m=0,5$), давление воды – $P=10\text{МПа}$, температура $T=200^\circ\text{C}$ плотность $\rho=870,7 \text{ кг/м}^3$, коэффициент расхода $\alpha=0,6937$, коэффициент сжимаемости $\varepsilon=1$. Определите значение перепада давления на сужающем устройстве.

ТЕМА 7. СОПРЯЖЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Измерительно-информационная система (ИИС), как правило, состоит из множества отдельных частей: измерительного преобразователя, соединительных линий (кабелей), схемы сопряжения и т.д. Охарактеризовать каждую составную часть ИИС возможно коэффициентом шума и коэффициентом усиления по мощности сигнала.

Коэффициент шума $K_{ш}$ системы сопряжения с измерительным преобразователем, приведенной на рис. 7.1, рассчитывается по формуле

$$K_{ш} = K_{ш2} + \frac{K_{ш3}}{K_{п2}} + \frac{K_{ш4} - 1}{K_{п2} K_{п3}} + \frac{K_{ш5} - 1}{K_{п2} K_{п3} K_{п4}}, \quad (7.1)$$

где $K_{ш2}$, $K_{ш3}$, $K_{ш4}$, $K_{ш5}$ — коэффициенты шума отдельных частей ИИС (соединительных проводов между измерительным преобразователем и усилителем, усилителя, соединительных проводов между усилителем и измерительным устройством, измерительного устройства); $K_{п2}$, $K_{п3}$, $K_{п4}$ — коэффициенты усиления по мощности сигнала ИИС (соединительных проводов между измерительным преобразователем и усилителем, усилителя, соединительных проводов между усилителем и измерительным устройством).

Подобные вычисления легко выполняются для любого числа частей ИИС в том случае, если известны коэффициенты усиления по мощности сигнала и коэффициенты шума для них.

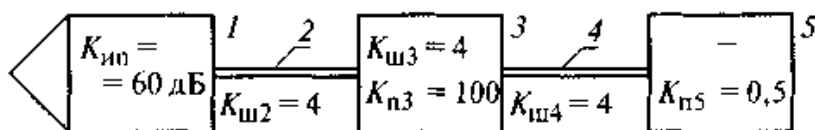
При этом предполагаем, что действительное значение коэффициента шума не зависит от температуры, диапазона частот, выходного сопротивления предыдущего каскада и т.д.

Примечания. Коэффициент усиления по мощности сигнала, как и коэффициент шума измерительного устройства — незначительны.

Коэффициент шума, представляющий собой отношение мощностей, выражается в децибелах.

Чем меньше коэффициент шума, тем лучше шумовые характеристики системы. Соединительные провода ослабляют сигнал.

Задача 7.1. На рисунке 7.1 представлена схема ИИС.



$$K_{п2} = 0,25$$

$$K_{п4} = 0,25$$

Рисунок 7.1 - Учет коэффициентов шумов составных частей ИИС:

1 — измерительный преобразователь; 2—соединительные провода; 3 —усилитель; 4 — соединительные провода; 5— измерительное устройство

Измерительный преобразователь имеет отношение сигнал/шум на выходе $K_{ш1} = 60$ дБ; соединительные провода $2K_{ш2} = 4$ и $K_{п2} = 0,25$; усилитель 3 имеет $K_{ш3} = 4$ и $K_{п3} = 100$ (самая активная часть данной ИИС); соединительные провода 4 имеют $K_{ш4} = 4$ и $K_{п4} = 0,25$; измерительное устройство 5 имеет $K_{ш5} = 2$ и $K_{п5} = 0,5$. Определить коэффициент шума приведенной ИИС.

Решение. Рассчитаем коэффициент шума $K_{ш}$ системы сопряжения с измерительным преобразователем по приведенной выше формуле

$$K_{ш} = 4 + \frac{4-1}{0,25} + \frac{4-1}{0,25 \cdot 100} + \frac{2-1}{0,25 \cdot 100 \cdot 0,25} = 16,13 \approx 12 \text{ дБ}.$$

Затем вычисляем общий коэффициент шума приведенной ИИС, как разность между коэффициентом шума измерительного преобразователя и коэффициентом шума системы сопряжения с измерительным преобразователем

$$(K_{ш})_{\text{общ}} = K_{ш1} - K_{ш} = 60 - 12 = 48 \text{ дБ}.$$

Задача 7.2. На рисунке 7.2 приведена та же самая ИИС с теми же составными частями, но между измерительным преобразователем 1 и усилителем 3 применен короткий соединительный кабель 2, причем настолько короткий, что в нем можно пренебречь и потерями мощности, и собственным коэффициентом шума (соответствует случаю, когда измерительный преобразователь совместно с интегральной схемой сопряжения применяется для контроля за измеряемой величиной).

Измерительный преобразователь 1 имеет отношение сигнал/шум на выходе $K_{ш1} = 60$ дБ; усилитель 3 имеет $K_{ш3} = 4$ и $K_{п3} = 100$ (самая активная часть данной ИИС); соединительные провода 4 имеют $K_{ш4} = 4$ и $K_{п4} = 0,25$; измерительное устройство 5 имеет $K_{ш5} = 2$ и $K_{п5} = 0,5$.

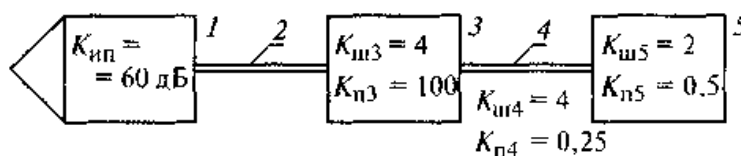


Рисунок 7.2 - Улучшение общего отношения сигнал/шум в ИИС за счет размещения усилителя вблизи измерительного преобразователя:

1—измерительный преобразователь; 2— соединительный кабель с

пренебрежимо малыми потерями мощности и коэффициентом шума; 3— усилитель; 4— соединительные провода; 5— измерительное устройство.

Определить коэффициент шума приведенной ИИС.

ТЕМА 8. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Каждый технологический процесс характеризуется определенными технологическими параметрами, которые могут изменяться во времени. В химической промышленности, как и в большинстве других производств (пищевой, теплоэнергетике и т.п.) такими параметрами являются расход материальных и энергетических потоков, химический состав, температура, давление, уровень вещества в технологических аппаратах и др.

Состояние объектов химической, пищевой и др. технологий характеризуется его информативными параметрами: значениями температуры, давления, уровня рабочих сред в технологических аппаратах, расхода транспортируемых продуктов, а также химическим составом веществ на различных стадиях производства.

Во всяком технологическом процессе имеются величины, характеризующие этот процесс, так называемые параметры процесса. Наблюдают за этими параметрами обычно с помощью автоматических измерительных приборов местного или дистанционного действия.

Совокупность технологических параметров, полностью характеризующих данный технологический процесс, называется технологическим режимом, а совокупность значений параметров, обеспечивающих решение целевой задачи - нормальным технологическим режимом.

При управлении сложными процессами количество совокупно измеряемых параметров на каждой технологической установке может исчисляться десятками, и для подобных объектов основными задачами при разработке автоматических систем контроля и управления являются выбор оптимальных параметров измерения и минимизация их числа.

Нормальный технологический режим задают и оформляют в виде технологической карты (таблицы). В ней приводят перечень параметров, значение которых необходимо поддерживать на определённом уровне, а также указывают диапазоны значений, в которых изменение параметров не приводит к серьёзным нарушениям технологического режима.

Эффективность работы системы автоматического контроля во многом определяет эффективность работы всей системы автоматизации

технологических процессов и производств.

Мониторинг технологических параметров, объектов и процессов одна из основных задач, решаемых в процессе автоматизации ТП, и заключается в сборе значений переменных процесса (параметров, координат и т.п.), их хранении, накоплении, обработке, оценке и отображении в подходящей для человека-оператора форме. В процессе мониторинга решается и задача контроля протекания ТП- своевременное обнаружение отклонений от установленного режима, что позволяет быстро устранить их и предотвратить нарушение режима на других стадиях процесса.

В схеме рассматриваются параметры, обеспечивающие нормальное протекание технологического режима (процесса). Определяются основные технологические параметры, которые необходимо контролировать при ведении процесса, периодичность и точность контроля, а также допустимый их диапазон изменения. Рассматриваются параметры, подлежащие контролю и сигнализации с подробным обоснованием их влияния на качество выпускаемого продукта или безопасность ведения процесса. При этом указываются их номинальные значения и диапазон отклонения от них. Особое внимание необходимо уделить требуемой точности при контроле технологических параметров.

Область измерительной техники, объединяющую измерительные устройства и методы измерений, используемые в технологических процессах, принято определять понятием технологические измерения, которые включают в себя теплотехнические, физико-химические и электрические измерения.

Задача контроля - своевременное обнаружение отклонений от установленного режима, что позволяет быстро устранить их и предотвратить нарушение режима на других стадиях процесса. При автоматических методах контроля измерения производятся в основном непрерывно. При этом ведется не только отсчет, но и регистрация, подкрепляемая в отдельных случаях системой сигнализации.

Примечание:

1. Для анализа схемы и выбора параметров используют схемы различных технологических процессов. Рекомендуется анализировать схемы, используемые в курсовом проекте.

2. Подлежащие контролю параметры технологического процесса, определяющие нормальный режим протекания процесса, заносят в таблицу А.1, приложения А.

Параметры рекомендуется заносить в таблицу в следующей

последовательности: температура, давление, (разряжение), расход (количество), уровень, влажность, плотность, вязкость, концентрация и т.д.

ТЕМА 9. ВЫБОР СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Нормальное функционирование любого технологического процесса невозможно без контроля его параметров. В системах автоматизации для этих целей используются первичные измерительные преобразователи (датчики), работающие в комплекте с вторичными приборами.

Большое количество разнообразных задач, решаемых автоматизированной системой, и их сложная иерархическая взаимосвязь требует большой номенклатуры технических средств.

Системы автоматического контроля (мониторинга) служат для получения информации о ходе какого-либо процесса. Эта информация реализуется в показания приборов, сигнализацию, запись значений измеряемой величины на диаграммной бумаге или обрабатывается соответствующими средствами вычислительной и микропроцессорной техники. В случае необходимости применяется передача информации на расстояние.

Выбор средств для системы мониторинга сопряжен с оценкой целого ряда характеристик, отражающих важные с точки зрения обеспечения управления аспекты. Прежде всего, это информационные, метрологические и динамические характеристики, а также параметры, учитывающие влияние окружающей среды, среды передачи сигналов, значения величин и характер нагрузок.

В соответствии с технологической схемой, категоричностью производства и выбранными параметрами контроля по литературным данным, каталогам, справочникам и на основании практических знаний (при прохождении практики) производится выбор технических средств контроля: датчиков, преобразователей, первичных и вторичных приборов, аппаратуры сигнализации и т.п. При создании систем автоматического контроля необходимо обратить внимание на точность измерения технологических параметров. При этом приборы и вспомогательные устройства, входящие в состав систем, должны обладать минимальной стоимостью.

Измерительные средства должны выбираться по возможности в рамках Государственной Системы Приборов (ГСП) с учетом сложности технологического объекта и его пожаро- и взрывоопасности (например,

принять приборы с пневматической системой дистанционной передачи, электрические приборы в искробезопасном исполнении и т.д.), агрессивности и токсичности окружающей среды, вида измеряемого технологического параметра и физико-химических свойств среды, дальности передачи сигналов от датчиков до пунктов управления, требуемой точности и быстродействия, допустимой погрешности измерительных систем, места установки устройства, требований правил установки электрооборудования. Приборы должны выбираться из числа серийно выпускаемых приборостроительной промышленностью, т.е. согласно действующим номенклатурным каталогам и справочникам.

Использовать те или иные измерительные системы - электрические, пневматические, механические - следует с учетом конкретных условий процесса измерения, необходимой точности и экономической эффективности.

Канал технологического контроля имеет первичное измерительное устройство, контролирующее технологический параметр и преобразующее его в удобную для дистанционной передачи форму линии связи (передачи сигнала), и вторичный показывающий, сигнализирующий или записывающий прибор или устройство.

Показывающие приборы дают возможность визуально судить о том или другом значении параметра по положению стрелки на шкале прибора. Самопишущими приборами ведется автоматическая непрерывная запись изменения той или другой величины. Суммирующие приборы (счетчики) автоматически суммируют значения этой величины за какой-либо промежуток времени. Приборами с сигнализирующим устройством, при достижении контролируемой величиной заданного значения, подаются дежурному персоналу световые или звуковые сигналы. Имеются приборы, которые выполняют одновременно несколько перечисленных функций.

При выборе первичных преобразователей (датчиков) технологических параметров и вторичных приборов, следует учитывать ряд определенных факторов:

- допустимую для соблюдения нормального технологического режима погрешность, определяющего класс точности датчика;
- инерционность датчика, характеризующую его постоянную времени;
- пределы измерения устройства с гарантированной точностью;
- предельные значения измеряемой величины и других параметров среды;
- влияние физических параметров контролируемой и окружающей

среды (температуры, давления, влажности и т.д.) на нормальную работу датчика;

- разрушающее влияние на датчик контролируемой и окружающей среды вследствие химического воздействия, её абразивных свойств и т.п.;

- возможность применения датчика с точки зрения пожаро-взрывобезопасности;

- расстояние, на которое может быть передана информация, выданная датчиком (измерительным преобразователем);

- возможность получения унифицированного выходного сигнала для дальнейшей его обработки или хранения.

По техническим характеристикам приборы и другие средства автоматизации должны выбираться с учетом условий эксплуатации: давления, температуры, физико-химических свойств контролируемой среды. Например, при измерении расхода и давления пара, а также расхода жидкостей, с температурой выше 70°C в комплект расходомеров переменного перепада давления должны входить уравнительные (конденсационные) сосуды, а манометры должны подключаться к отборным устройствам через кольцевые или U-образные сифонные трубки. При измерении тех же параметров агрессивных жидкостей должны использоваться разделительные сосуды. Все эти и другие вспомогательные устройства должны быть внесены в проект автоматизации. Необходимо также обратить внимание на выбор широко распространенных термопреобразователей, материалы защитных чехлов, которых должны выдерживать температуры, давления и действия агрессивных сред.

Датчики выбирают в два этапа. На первом этапе задаётся разновидность датчика, характеризующая принцип измерения технологического параметра. На втором этапе определяется типоразмер (тип и модель или модификация) выбранного устройства. Например, измерительный преобразователь (давления, разряжения, перепада давления и т.п.), имеющий различные пределы измерения и класса точности с унифицированным токовым выходным сигналом типа Метран 150. Прибор Метран 150- ДИ модели 2234 предназначен для измерения избыточного давления величиной до 1,6 МПа класс точности преобразователя 0,25.

Разнообразие выходных параметров датчиков требует иногда применение преобразователей, обеспечивающих формирование унифицированных выходных сигналов, поэтому в комплект к измерительным устройствам должны выбираться соответствующие

вторичные приборы.

Выбор вторичных приборов во многом определяется используемым датчиком или системой передачи сигнала на расстояние, а также требуемыми от прибора функциями, его габаритами, стоимостью и пр.

Выбранные технические средства заносят в таблицу средств измерения технологических параметров. (Приложение А, таблица А.2).

4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа наряду с аудиторной представляет собой одну из форм учебного процесса и является существенной его частью. Эффективность аудиторной работы всегда зависит от самоподготовки студентов.

Самостоятельная работа— это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа предназначена не только для овладения каждой дисциплиной, но и для формирования навыков самостоятельной работы вообще – в учебной, научной, профессиональной деятельности; для приобретения способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Методологическую основу самостоятельной работы студентов составляет деятельностный подход, который состоит в том, что цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, т. е. на реальные ситуации, где студентам надо проявить знание конкретной дисциплины.

Самостоятельная работа студентов в рамках изучаемой дисциплины предполагает самостоятельную работу по каждому разделу учебной темы дисциплины, включенной в рабочую программу дисциплины. Объем самостоятельной работы (в часах) определен рабочей программой (см.таблицу 4.1).

В процессе самостоятельной деятельности студент должен научиться выделять познавательные задачи, выбирать способы их решения, выполнять операции контроля за правильностью решения поставленной задачи, совершенствовать навыки реализации теоретических знаний.

В ходе самостоятельной работы студент должен:

- освоить теоретический материал по изучаемой дисциплине (отдельные темы, отдельные вопросы тем и т.д.);
- закрепить знания теоретического материала, используя

необходимый инструментарий, практическим путем (решение задач, выполнение контрольных работ, тестов для самопроверки);

— применить полученные знания и практические навыки для анализа ситуации и выработки правильного решения (подготовка к практическим занятиям, письменный анализ конкретной ситуации, разработка проектов и т. д.);

— использовать полученные знания и умения для формирования собственной позиции, теории, модели (разработки курсового проекта, написание выпускной квалификационной (дипломной) работы, выполнение научно-исследовательской работы).

В качестве контроля самостоятельной работы студентов могут использоваться следующие формы:

- индивидуальные беседы и консультации с преподавателем;
- проверка письменных отчетов;
- проверка знаний на промежуточном этапе;
- проведение групповых письменных контрольных;
- проверка конспектов источников, монографий;
- выборочная проверка заданий;
- разработка заданий, создание поисковых ситуаций;
- собеседование по проработанной литературе;

Таблица 4.1 Темы и разделы тем для самостоятельного изучения, в том числе конспектирование.

№	Наименование тем	Кол-во часов
1	Тема 1. «Типовая система сбора и передачи информации».	8
2.	Тема 2. Конспектирование разделов «Функции, структура, технические характеристики микропроцессорных (МП) систем, используемых в средствах и системах измерений. Интеллектуальные СИ. ИИС, структура и типовые функции. Построение ИИС из стандартных СИ»	8
3	Тема 3. Конспектирование разделов «Системы дистанционной передачи и устройства связи с объектом (УСО). Формы представления информации при измерениях. Гальваническая развязка измерительных цепей».	8

4.	Тема 4. Конспектирование разделов «Механизация и автоматизация технических измерений».	9,3
5.	Тема 5. Конспектирование разделов «Бесконтактные термометры»	8
6.	Тема 6. Конспектирование разделов «Емкостные, пьезоэлектрические и тензорезисторные измерительные преобразователи давления. Электрические средства измерения уровня. Особенности измерения уровня сыпучих материалов».	8
7.	Тема 7. Конспектирование разделов «Измерители расхода и количества сыпучих материалов».	8
8.	Тема 8. Конспектирование разделов «Приборы анализа многокомпонентных смесей. Газоадсорбционные и газораспределительные хроматографы».	8
9.	Тема 9. Конспектирование разделов «Методы и средства измерения влажности: психрометрический, влагомер основанный на методе измерения «точки росы», автоматический психрометр. Электрический влагомеры».	8

При проработке разделов рассматриваемых тем рекомендуется изучение и конспектирование предлагаемого вопроса проводить с составлением соответствующего рисунка или принципиальной схемы прибора, описанием его устройства, принципа действия и основных уравнений, положенных в работу изучаемых систем или приборов.

Описываются достоинства и недостатки методов и средств измерения рассматриваемых параметров, возможность их автоматизации, основные технические характеристики средств измерений (точность, линейность, условия применения и т.п.).

Рассматриваемые вопросы конспектируются в тетрадь для лекционных занятий.

По материалам каждого раздела студентам выдаются домашнее задание и на последнем практическом занятии по разделу подводятся итоги его изучения (самостоятельная или контрольную работа в целом по разделу или теме), обсуждаются оценки каждого студента, выдаются дополнительные задания и рекомендации по их выполнению тем студентам, которые хотят повысить оценку.

Другая форма контроля изученного самостоятельно материала может заключаться в самостоятельном изучении схем, программ и т.п., на практических занятиях которые преподаватель раздает студентам вместе с контрольными вопросами, на которые студент должен ответить в течение занятия.

4.2. Самостоятельная работа студентов по выполнению курсового проекта.

Задачей курсового проектирования является приобретение практических навыков анализа технологического процесса, выбора средств автоматического контроля, расчета измерительных схем приборов и средств контроля. Студент должен научиться самостоятельно решать инженерно-технические задачи построения схем автоматического контроля различных технологических параметров, пользоваться соответствующей литературой, нормативно технической документацией, каталогами и справочниками.

В проекте могут быть решены вопросы разработки систем автоматического контроля технологических параметров всего производства или технологического участка.

Тему курсового проекта рекомендуется выбирать по материалам производственной и технологической практик.

Основанием для выполнения курсового проекта являются материалы дисциплин «Технологические процессы автоматизированных производств» и «Современные технологии производственных процессов и производств».

Курсовой проект состоит из пояснительной записки объемом 20-25 стр. и двух листов графического материала формата А1.

Примерное содержание и оформление пояснительной записки.

Аннотация.

Содержание.

Введение.

1. Анализ технологического процесса.

1.1. Физико-химические основы процесса.

1.2. Описание технологического процесса, производства.

1.3. Основное оборудование производства.

1.4. Выбор и обоснование параметров нормального технологического режима.

2. Выбор методов и средств измерения технологических параметров и их сравнительная характеристика.

2.1. Сравнительная характеристика и выбор методов и средств теплотехнических измерений

2.1.1. Измерение температуры.

2.1.2. Измерение давления.

2.1.3. Измерение уровня.

2.1.4. Измерение расхода.

2.2. Сравнительная характеристика и выбор методов и средств физико-химических измерений.

2.2.1. Измерение концентрации.

2.2.2. Измерение вязкости.

2.2.3. Измерение плотности.

2.2.4. Измерение.....

3. Описание схемы автоматического контроля технологических параметров.

4. Расчет измерительного устройства и определение основных его характеристик.

5. Монтаж системы контроля на объекте измерения.

Заключение.

Список литературы.

Приложение А. Спецификация технических средств.

Приложение Б.

Подробно выполнение курсового проекта описано в методических указаниях по выполнению проекта.

ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное)

ФОРМА И ПРИМЕР ЗАПОЛНЕНИЯ ТАБЛИЦЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Таблица А.1

№	Технологический параметр	Значение контролируемой величины	Место замера	Метод измерения параметра	Вид контроля и управления		
					Контроль	Регистрация	Сигнализация
ЭПЮРАЦИОННАЯ КОЛОННА поз. 1							
1	Температура верха колонны	75...78°С	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-
2	Температура куба колонны	86...88°С	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	max 90°С
3	Температура отработанной воды после дефлегматора	50...60°С	Трубопровод	Электрическое сопротивление	+	+	-
4	Давление верха колонны	1...8 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	min 0,5 кПа
5	Давление низа колонны	12...32 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+
6	Расход эфирoальдегидной фракции на колонну	3,0 м³/ч	Трубопровод	Вихреакустический	+	+	+
ПАСТЕРИЗУЮЩАЯ КОЛОННА поз. 2							
7	Температура верха колонны	87...88°С	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-
8	Температура питательной тарелки	84...92°С	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	+
9	Температура куба колонны	105...107°С	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-
10	Температура отработанной воды после дефлегматора	50...60°С	Трубопровод	Электрическое сопротивление	+	+	-
11	Давление верха колонны	1...8 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+
12	Давление низа колонны	14...30 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	min 5 кПа
РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА поз. 3							
13	Температура верха колонны	86...88°С	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-
14	Температура 4 тарелки	88...90°С	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-
15	Температура 8 тарелки	95...102°С	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	+
16	Температура 12 тарелки	86...88°С	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	+
17	Температура куба колонны	105...107°С	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-
18	Температура отработанной воды после дефлегматора	50...60°С	Трубопровод	Электрическое сопротивление	+	+	-
19	Давление верха колонны	1...8 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+
20	Давление низа колонны	22...35 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+
КОЛОННА ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ поз. 4							
21	Температура верха колонны	75...79°С	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	
22	Температура куба колонны	82...83°С	Колонна	Электрическое сопротивление	+	+	-
23	Температура отработанной воды после дефлегматора	50...60°С	Трубопровод	Электрическое сопротивление	+	+	-
24	Давление верха колонны	1...8 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+
25	Давление низа колонны	4...12 кПа	Колонна	Тензoeлектрический	+	+	+
26	Расход непастеризованного спирта на колонну	2,0 м³/ч	Трубопровод	Вихреакустический	+	+	+

ФОРМА И ПРИМЕР ЗАПОЛНЕНИЯ ТАБЛИЦЫ (СПЕЦИФИКАЦИИ) СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Таблица А.2

Позиция	Наименование и техническая характеристика оборудования и материалов. Завод-изготовитель (для импортного оборудования - страна, фирма)	Тип, марка оборудования. Обозначение документа и № опросного листа	Кол-во
1	2	3	4
1а	Термопреобразователь ТПЛ094-00.32/2к. НСХ L(ХК). Выходной сигнал 4-20мА. Завод изг. Воронежское ОАО «Автоматика»	ТПЛ094-00.32/2к	шт.
1б	Показывающий, регистрирующий, регулирующий прибор. Входной сигнал 4-20мА. Питание 220В, 50 Гц. Завод изг. г. Смоленск «НИИ теплоприбор»	Диск250 - 2321, УХЛ4.2, 4-20мА, ТУ 25-0521.104-85	шт.
2а	Термопреобразователь сопротивления, НСХ-100М. Диапазон измерения температур -50-180°С. Выходной сигнал 4-20мА. Питание 220В, 50 Гц. ПГ «Метран» г. Челябинск.	ТСМ Метран 204 НСХ-100М-02-1000-С-2-1-Н10-УЗ-ГП	шт.
2б	Показывающий, регистрирующий, регулирующий прибор. Входной сигнал 4-20мА. Питание 220В, 50 Гц. ПГ «Метран» г. Челябинск.	Диск250 - 2321, УХЛ4.2, 4-20мА, ТУ 25-0521.104-85	шт.
3а	Термопреобразователь сопротивления с НСХ-100М. Диапазон измерения температур -50-180°С. Выходной сигнал 4-20мА. Питание 220В, 50 Гц. ПГ «Метран» г. Челябинск.	ТСМ Метран 204 НСХ-100М-02-1000-С-2-1-Н10-УЗ-ГП	шт.
3б	Показывающий, регистрирующий, регулирующий прибор. Входной сигнал 4-20мА. Питание 220В, 50 Гц. ПГ «Метран» г. Челябинск.	Диск250 - 2321, УХЛ4.2, 4-20мА, ТУ 25-0521.104-85	шт.
4а	Преобразователь избыточного давления Пределы измерения 0-1МПа. Выходной сигнал 4-20мА. Питание 220В, 50Гц. Завод изг. г. Смоленск «НИИ теплоприбор»	Сапфир 22-ДИ-Ех Модель 2160	шт.
4б	Вторичный прибор показывающий, регистрирующий. Входной сигнал 4-20мА. Питание 220В, 50Гц. Завод изг. ПГ «Метран» г. Челябинск.	МТМ-РЭ-160-02	шт.
5а	Преобразователь избыточного давления бесшкальный, выходной сигнал 4-20мА. Питание 220В, 50Гц. Завод изг. г. Смоленск «НИИ теплоприбор»	Сапфир 22-ДИ-Ех Модель 2160	шт. шт.
5б	Вторичный прибор показывающий, регистрирующий. Входной сигнал 4-20мА. Питание 220В, 50Гц. Завод изг. ПГ «Метран» г. Челябинск.	МТМ-РЭ-160-02	шт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств : учебник (Гриф) / М. В. Кулаков. - Гриф. - М. : Альянс, 2008. - 424с.
2. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. - М.: Машиностроение, 1983. - 462с.
3. Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Азим-заде А.Ю. Технологические измерения и приборы. - М.: Высш. шк. 1989. - 465с.
4. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы -М.: Энергия, 1978. - 704с.
5. Шишмарев В.Ю. Технические измерения и приборы : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / В.Ю. Шишмарев М. : Издательский центр «Академия», 2010. - 384 с.
6. Беспалов А. В. Задачник по системам управления химико-технологическими процессами [Текст]: учеб. пособие / Беспалов А. В. ; Харитонов Н. И. ; - М. : Академкнига, 2005. - 307 с.– Гриф (Мин-во Образования).
7. Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Сборник задач и вопросов по теплотехническим измерениям. – М. : Энергоатомиздат, 1985. - 328 с.
8. Фрайден Дж. Современные датчики [Текст] : Справочник : пер. с англ. / Фрайден Дж. ; . - М. : Техносфера, 2006. - 592 с.
9. Сажин, С.Г. Приборы контроля состава и качества технологических сред [Электронный ресурс]: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2012. – 440с.: доступ http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3552.
10. Клаассен К. Основы измерений. Датчики и электронные приборы [Текст] : [учеб. пособие для вузов] : пер с англ. / К. Клаассен. – 3-е изд. – Долгопрудный : Интеллект, 2008. – 352. : ил.
11. РМГ29-99. Рекомендации по межгосударственной стандартизации ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

Учебно-методическое издание

Макаренко Виктор Григорьевич

**Методы и средства формирования, передачи и хранения
информации о технологическом объекте управления**

Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам, практическим занятиям
и самостоятельной работе студентов

Редактор *Н.А.Юшко*

Подписано в печать 5.09.2016г.
Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл.печ.л. 3,59. Уч.изд.л. 4,0. Тираж 50 экз. Заказ _____

Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова
Редакционно-издательский отдел ЮРГПУ(НПИ)
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Отпечатано в ИД Политехник
346428, г. Новочеркасск, ул. Первомайская, 166.
idp-npi@mail.ru

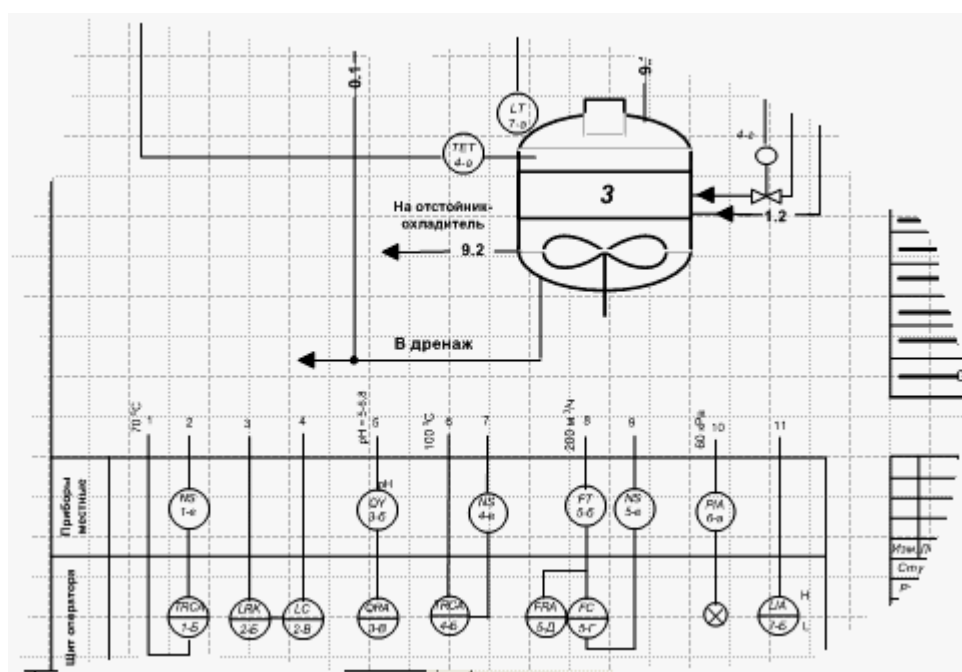
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова

В.Г.Макаренко

ПРОМЫШЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию



Новочеркасск
ЮРГПУ (НПИ)

2017

УДК 66.012:62 (076.5)

Рецензент - доктор технических наук, профессор **М.Э. Шошиашвили**

Макаренко В.Г.

Промышленные системы управления и регулирования: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. - Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2017. – 36с.

Пособие содержит основные этапы синтеза и анализа промышленных систем автоматического регулирования, содержание и требования к выполнению курсовой работы по дисциплине «Промышленные системы управления и регулирования», студентами, обучающимися по программе бакалавриата направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств. Пособие предназначено для студентов всех форм обучения.

УДК 66.012:62 (076.5)

©Южно-Российский
государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И.
Платова, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
1 ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ	4
2 ТРЕБОВАНИЯ К ПРОМЫШЛЕННЫМ АСР	6
3 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	25
4 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	28
5 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	32
ПРИЛОЖЕНИЯ	34

ВВЕДЕНИЕ

При построении замкнутых систем регулирования в качестве регулируемых координат выбирают технологические параметры, изменение которых свидетельствует о нарушении материального и теплового баланса в аппарате. К ним относятся: уровень жидкости – показатель баланса по жидкой фазе; давление – показатель баланса по газовой фазе; температура – показатель теплового баланса в аппарате; концентрация – показатель материального баланса по компоненту.

При автоматизации промышленного объекта регулирования особое внимание необходимо уделить выбору рациональной структуры автоматической системы регулирования (АСР), которая определяется в результате применения прогрессивных принципов управления с использованием дополнительных показателей хода технологического процесса (ТП), таких как возмущающие воздействия, промежуточные регулируемые величины и др. С задачей синтеза рациональной структуры АСР одновременно решается также и задача выбора типа регулятора (законов регулирования), а также параметров их настройки. При этом учитываются показатели качества переходных процессов регулирования, которые должны обеспечить выбранные технические средства автоматизации (ТСА).

Выпускник должен уметь решать задачи, соответствующие его квалификационной характеристике государственного образовательного стандарта.

Выполнение курсовой работы позволит студентам получить практические навыки расчета автоматических систем регулирования, подготовиться к написанию выпускной квалификационной работы.

1 ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Учебным планом по данной дисциплине предусмотрено выполнение курсовой работы. Курсовая работа посвящена проектированию автоматических систем регулирования одним из технологических параметров, объемом пояснительной записки 28-34 мпс. и графической части формата А3 с результатами расчетов АСР.

При разработке промышленных АСР проводят их анализ и синтез, который обычно содержит следующие этапы:

1. Изучение объекта регулирования, условий его работы и основных возмущений.
2. Формулировка требований, предъявляемых к АСР.
3. Выбор принципа регулирования и первоначальной схемы регулятора.
4. Выбор элементов регулятора с учетом требований, предъявляемых к их мощности и надежности, а также эксплуатационных требований.
5. Выбор и расчет элементов регулятора и их параметров на основе требований, предъявляемых к статическим и динамическим свойствам системы.
6. Экспериментальное исследование АСР и ее отдельных частей в лабораторных условиях и внесение нормативов в первоначальную схему регулятора.
7. Изготовление и монтаж АСР.
8. Наладка АСР в реальных условиях ее работы.
9. Опытная эксплуатация АСР.

Задачей курсового проектирования является приобретение практических навыков расчета автоматических систем регулирования. Студент должен научиться самостоятельно решать инженерно-технические задачи построения схем автоматического регулирования различных параметров, составления структурных схем промышленных систем регулирования, формулирования задач, целей и требования к качеству работы АСР, оценки качества их работы.

В проекте могут быть решены вопросы разработки системы автоматического регулирования различного технологического параметра из рассматриваемого производства или технологического участка.

Основанием для выполнения курсового проекта являются материалы дисциплины «Автоматизации типовых технологических процессов».

Курсовой проект состоит из пояснительной записки объёмом 20-25 стр. и двух листов графического материала формата А3.

1 раздел курсовой работы предполагает анализ существующих систем для конкретного промышленного технологического процесса, его подробное рассмотрение и выбор требуемой АСР.

Объем данного раздела составляет 8-10 мпс.

2 раздел курсовой работы предполагает выполнение синтеза выбранной автоматической системы регулирования.

Объем данного раздела составляет 12-14 мпс.

3 раздел курсовой работы предполагает выполнение анализа разработанной автоматической системы регулирования.

Объем данного раздела составляет 8-10 мпс.

ПРИМЕРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ.

Аннотация.

Ведомость курсовой работы.

Содержание.

Введение.

1. Исследование технологического процесса производства (конкретный продукт) как ОУ.

1.1 Физико-химические основы получения продукта.

1.2. Описание схемы производства.

1.3. Описание основного технологического оборудования.

2. Выбор и обоснование параметров контроля и управления.

2.1 Выбор и обоснование параметров контроля.

2.2. Выбор и обоснование параметров управления и каналов воздействия.

2.2.1 Управление (например: давлением в колонне ректификации)

2.2.2 Управление температурой

2.2.3 Управление уровнем.....

2.2.4 Управление рН.....

3. Расчет АСР (конкретный параметр) и определение качества ее работы.

3.1 Составление структурной схемы АСР.

3.2 Математическое моделирование неизменяемой части АСР.

3.2.1 Математическое описание объекта управления.

3.2.2 Математическое описание технических средств, входящих в систему.

3.3 Формулирование параметров (критериев) обеспечивающих качественную работу системы.

3.4 Синтез системы управления (определение закона регулирования и параметров настройки регулятора).

3.5 Моделирование системы и определение показателей качества ее работы.

4. Описание схемы автоматизации ТП получения (заданный продукт).

Заключение.

Список литературы

Приложение А. Спецификация приборов и средств автоматизации.

Приложение Б. Графический материал к расчету АСР.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОМЫШЛЕННЫМ АСР

2.1. Системы автоматического регулирования

Для обеспечения стабильности в работе технологического оборудования и качественного ведения процесса, соблюдения нормального поддержания технологических параметров необходимо поддерживать величины, характеризующие процесс, в большинстве случаев постоянными. Эта важнейшая задача возложена на промышленные системы автоматического регулирования технологических процессов, реализующих в большинстве случаев замкнутый принцип управления. Замкнутые системы называют часто системами управления по отклонению.

Если обозначить требуемый закон изменения управляемой величины через $y_0(t)$ (задание $u_z(t)$), то второй принцип автоматического управления построен на использовании для управления объектом величины

$\varepsilon(t) = y_0(t) - y(t)$, называемой ошибкой или рассогласованием системы.

Величина $\zeta(t)$, отличающаяся от $\varepsilon(t)$ только знаком: $\zeta(t) = y(t) - y_0(t)$

называется отклонением.

Принцип управления, основанный на использовании отклонения $\zeta(t)$ для формирования управляющего воздействия $u(t)$, носит название управление по **отклонению**.

Для его реализации необходимо измерить величину $y(t)$, сравнить ее с заданной величиной $y_3(t)$ и в зависимости от величины $\varepsilon(t)$ или $\zeta(t)$ осуществлять управляющее воздействие на объект, сводя величину отклонения к нулю, и тем самым обеспечить изменение управляемой величины по заданному закону. При $\varepsilon(t)=0$ управляемая величина имеет требуемое значение и величина управляющего воздействия $u(t)$ должна быть равной нулю.

В зависимости от назначения (характера изменения задающего воздействия во времени) беспойсковые замкнутые автоматические системы управления разделяются на три класса.

СТАБИЛИЗИРУЮЩАЯ автоматическая система управления (система стабилизации) - это система, алгоритм функционирования которой содержит предписание поддерживать значение управляемой величины на постоянном значении: $y(t) = y_0(t) = \text{const}$

Системы стабилизации предназначены для поддержания постоянного значения управляемой величины $y(t)$. В этих системах задающее воздействие $y(t)=y_0=\text{const}$.

В системах стабилизации особое внимание уделяется процессам, вызванным изменением возмущения, а в остальных системах важно как изменение задающего воздействия, так и возмущающего.

Алгоритм функционирования ПРОГРАММНОЙ автоматической системы содержит предписание изменять управляемую величину в соответствии с заранее заданной функцией f_p : $y(t) = y_0(t) = f_p$

Системы программного управления предназначены для изменения управляемой величины $y(t)$ по заранее заданной программе, называемой программой управления. В таких системах задающее воздействие является заранее известной функцией времени: $y=y_0(t)$,

СЛЕДЯЩАЯ автоматическая система управления предназначена для изменения управляемой величины в соответствии с изменением другой величины, которая действует на входе системы и закон изменения которой заранее неизвестен: $y(t) = y_3(t) = f_c(t)$,

где $f_c(t)$ - произвольная функция времени.

Следящие системы предназначены для изменения управляемой величины $y(t)$ по закону $y_3(t)$, который заранее неизвестен.

В стабилизирующих, программных и следящих системах цель управления заключается в обеспечении равенства или близости управляемой величины $y(t)$ к ее заданному значению $\{y_3(t)\}$. Такое управление, осуществляемое с целью поддержания $y(t) = y_3(t)$, называется регулированием.

Управляющее устройство, осуществляющее регулирование, называется регулятором, а сама система - системой регулирования.

Большинство промышленных систем выполняют функции стабилизации технологических параметров.

В системах стабилизации - сигнал заданной переменной (задания, уставки регулятора) остается постоянным в течение длительного времени работы. Другой, не менее важной задачей, является задача программного управления технологическим агрегатом, что обеспечивает переход на новые режимы работы. Решение этой проблемы осуществляется с помощью той же системы автоматической стабилизации, задание которой изменяется от программного задатчика.

Для большинства промышленных АСР необходима достаточно высокая точность их работы $\pm(1\div 1.5)\%$. Как правило, точность процесса регулирования определяется технологией проведения процесса. При этом главное назначение системы стабилизации - это компенсация внешних возмущающих воздействий, действующих на объект управления.

Структурной схемой называется схема, отражающая структуру взаимодействия элементов и устройств автоматики в процессе работы САУ.

Графическое изображение системы автоматического управления позволяет отвлечься от конкретной физической природы элементов реальной системы и дает наглядное представление об исследуемой системе.

Обобщенная структурная схема промышленной АСР с принципом регулирования по отклонению приведена на рисунке 1.

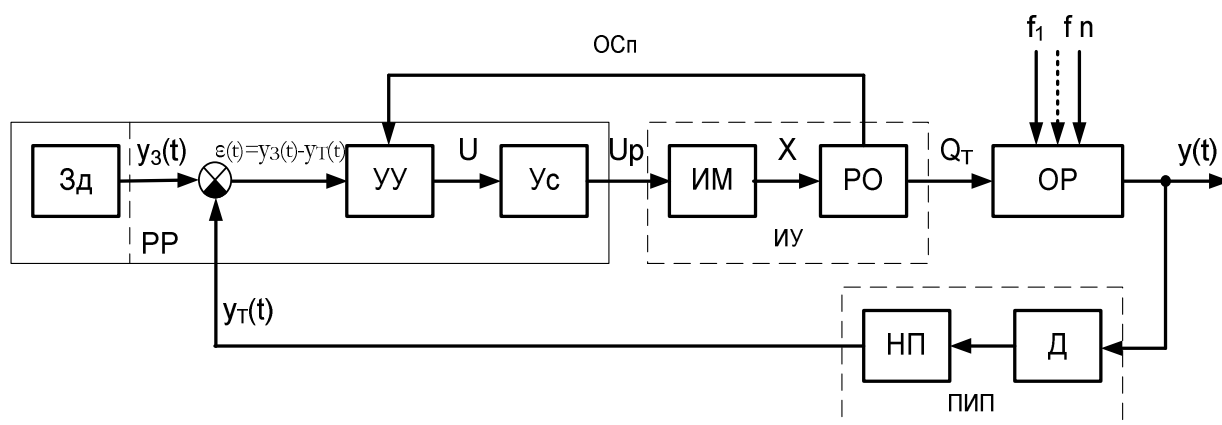


Рисунок 1 - Структурная схема одноконтурной АСР промышленным объектом управления

При этом под элементом, как правило, подразумевается конструктивно обособленная часть системы управления, выполняющая одну определенную функцию.

Все многообразие входящих в автоматическую систему регулирования элементов автоматики по их функциональному назначению в системе управления может быть разбито на несколько типов.

Основные элементы: **ЗД** – задатчик (обычно расположен в регуляторе), **ЭС** - элемент сравнения, **УУ** – управляющее устройство, **Ус**- усилитель мощности, **РР** - автоматический регулятор (современные регуляторы объединяют узлы ЗД, УУ, Ус, НП), **ИМ** - исполнительный механизм, **РО** - регулируемый орган, **ИУ** – исполнительное устройство, **ОСп** - обратная связь по положению регулирующего органа, **ОР** - объект управления, **Д** – датчик, **НП** - нормирующий преобразователь, **ПИП** - первичный измерительный преобразователь, (в современных микропроцессорных измерительных устройствах, является встроенным выходным устройством).

Обозначение переменных: $y(t)$ - задающий сигнал, $\varepsilon(t)$ - ошибка регулирования, U_p - выходной сигнал регулятора, X - перемещение регулирующего органа, Q_T - расход вещества или энергии, f_n - возмущающие воздействия, $y_1(t) = y(t)$ - регулируемый параметр, $y_1(t)$ сигнал обратной связи (унифицированный ток преобразователя или выходное напряжение).

Характерной особенностью промышленных схем является наличие нормирующего преобразователя **НП**, обеспечивающего работу автоматического регулятора со стандартными значениями тока (4-20мА,

0-20, 0-5) или напряжения (0-10 В). Нормирующий преобразователь НП выполняет следующие функции:

- 1) преобразует нестандартный входной сигнал (мВ, Ом) в стандартный выходной сигнал;
- 2) осуществляет фильтрацию входного сигнала;
- 3) осуществляет линеаризацию статической характеристики датчика;
- 4) применительно к термопаре, осуществляет температурную компенсацию холодного спая.

В современных промышленных регуляторах нормирующий преобразователь НП как правило является обязательной составной частью выходного устройства датчика или входного устройства регулятора АР (см. рис. 1).

1) Промышленная АСР должна обеспечивать устойчивое управление процессом во всем диапазоне нагрузок на ОУ.

2) Система должна обеспечивать в окрестности рабочей точки заданное качество процессов управления (время переходного процесса, перерегулирование и колебательность).

3) Система должна обеспечивать в установившемся режиме заданную точность регулирования. Желательно обеспечить нулевую статическую ошибку регулирования.

Все эти условия будут выполняться, если объект управления является стационарным, либо его вариации параметров достаточно малы и компенсируются запасами устойчивости системы.

Современные промышленные регуляторы обеспечивают устойчивый процесс регулирования подавляющего большинства промышленных объектов при условии, что правильно выбраны настройки регулятора.

Чем выше требования к качеству регулирования, тем более сложной и дорогой будет система. Поэтому *при создании АСР стремятся найти разумный компромисс* между качеством регулирования и затратами на автоматизацию ТП.

2.2. Основные задачи разработки и исследования автоматических систем регулирования

В теории автоматического управления исследуются две **основные задачи**:

- 1) анализ систем автоматического управления;
- 2) синтез систем автоматического управления.

Под анализом понимается исследование готовой АСР с целью определения ее свойств, удовлетворяющих поставленным требованиям, и путем их улучшения.

Задача анализа, состоит в исследовании процесса работы определенной системы автоматического управления с заданной структурой и элементами при различных параметрах элементов и различных видах воздействий на систему. В задачу анализа входит исследование устойчивости систем, исследование динамических и статических отклонений, происходящих при процессах управления.

Первой проблемой, которая решалась теорией автоматического регулирования, было обеспечение устойчивости автоматических систем. Позднее, центральной задачей стало достижение необходимого качества регулирования. Данная задача, (*синтез*), является более сложной и состоит в построении системы автоматического управления; в нее входит выбор схемы управляющего устройства, его элементов и их параметров.

Синтез системы - это выбор ее структуры и составных элементов, их физической природы, конструкции и параметров. При этом, свойства системы должны удовлетворять некоторым, заранее установленным, требованиям. Предъявляются, как общеинженерные требования, в отношении габаритов, веса, стоимости, надежности и т.д., так и требования специфические - к статическим и динамическим свойствам системы, к качеству регулирования.

Синтез - проектирование АСР, удовлетворяющих поставленным требованиям.

Задачу синтеза в большинстве случаев решают следующим образом. Сначала, исходя из условия работы системы, по каталогам серийного оборудования выбирают функционально необходимые элементы системы: первичные измерительные преобразователи, исполнительные механизмы, регулирующие органы и, при необходимости, другие технические средств. Затем на основании требований к статическим и динамическим свойствам АСР определяют ее изменяемую часть: регулирующее устройство и различные корректирующие устройства.

Как правило, при синтезе промышленных АСР, регулируемый объект, измерительное устройство, регулирующий орган, чаще всего не могут быть изменены. Физическая природа и технические данные объекта определяют как тип, так и характеристики исполнительного и измерительного элементов системы.

Следовательно, при решении задачи обеспечения необходимых статических и динамических свойств системы оказываются известными регулируемый объект - датчик, а также исполнительный механизм системы. Все они составляют неизменяемую часть (Н.Ч.) системы.

При синтезе АСР могут решаться задачи двух видов:

1) структура АСР задана (т.е. известен тип регулятора, с помощью которого предполагается осуществить регулирование), и требуется определить параметры регулятора и соответственно системы;

2) имеется полная свобода выбора, как структуры, так и параметров системы и требуется получить систему наилучшим образом, удовлетворяющую поставленным требованиям.

Наиболее сложной является задача синтеза (проектирования) САР.

Для решения задач анализа и синтеза применяются следующие математические модели:

- уравнения статики и динамики;
- передаточные функции;
- структурные схемы и направленные графы;
- статические и динамические характеристики.

Разработка и проектирование автоматических систем состоит из следующих, этапов:

- изучение управляемого объекта; определение его характеристик, параметров, условий работы и воздействий, которые он испытывает;
- формулирование требований предъявляемых к системе;
- выбор функциональной схемы;
- разработка принципиальной схемы автоматической системы;
- выбор и расчет ее элементов и параметров на основе требований, предъявляемых к статическим свойствам системы;
- составление структурной схемы, характеризующей динамику системы;
- исследование устойчивости системы;

- выбор параметров корректирующих устройств, на основе требований предъявляемых к динамическим свойствам системы (качество процесса управления);
- исследование системы в лабораторных условиях или на моделирующих установках и внесение соответствующих коррективов в схему;
- проектирование, изготовление и монтаж системы в целом; наладка системы в реальных условиях;
- опытная эксплуатация автоматической системы;
- обобщение результатов опытной эксплуатации и составление рекомендаций по совершенствованию системы.

Вопросы проектирования и исследования автоматической системы должен решаться в результате совместного рассмотрения статических и динамических режимов работы АСР. Известно, что многие существенные вопросы статики и динамики автоматических систем в любой области техники решаются одними и теми же математическими и экспериментальными методами.

Следует отметить, что инженерные задачи синтеза автоматических систем не имеют, как правило, однозначного решения и, сравнивая их, выбирают наилучший.

Обычно улучшение свойств системы регулирования достигается ценой усложнения схемы регулятора. В связи с этим проектирование АСР сводится к нахождению разумного компромисса между стремлением получить наиболее высокое качество работы и стремлением решить эту задачу наиболее простыми средствами.

Теорией автоматического регулирования предложено много методов синтеза линейных автоматических систем.

Однако следует иметь виду, что нельзя ожидать высокой точности результатов, полученных расчетным путем. Это объясняется, прежде всего, приближенностью используемого математического описания регулируемого объекта и исполнительного элемента.

Если они описываются линеаризованными уравнениями с постоянными коэффициентами, то это означает, что несущественные линейности и незначительные изменения параметров во времени не учитываются. Кроме того, содержат приближения и методы синтеза, поэтому заключительным этапом расчета должен быть анализ

синтезированной системы - определения показателей ее качества, устойчивости. А при физическом осуществлении системы нужна еще и настройка. В любом случае необходимо иметь математическое описание, как элементов, так и всей системы регулирования.

Следует отметить, что инженерные методы синтеза АСР не имеют, как правило, однозначного решения, поэтому в процессе проектирования рассчитывают АСР с использованием нескольких законов регулирования и, сравнивая их, выбирают наилучший. Следовательно, на заключительном этапе синтеза АСР является моделирование ее на ПЭВМ с целью окончательного определения закона регулирования для удовлетворяющего качества процесса регулирования. Это не отрицает предварительного оценки закона регулирования для рассматриваемой АСР. При физической реализации АСР производится уточнение параметров настройки регулятора.

2.3. Показатели работы АСР

2.3.1. Устойчивость систем управления

Важным показателем АСР, определяющим работоспособность системы, является устойчивость.

Основное назначение АСР заключается в поддержании заданного постоянного значения регулируемого параметра или изменение его по определенному закону.

При отклонении регулируемого параметра от заданной величины (например, под действием внешнего возмущения или изменения задания) регулятор воздействует на систему таким образом, чтобы ликвидировать это отклонение.

Если система в результате этого воздействия возвращается в исходное состояние или переходит в другое равновесное состояние, то такая **система называется устойчивой**.

Если же возникают колебания со все возрастающей амплитудой или происходит монотонное увеличение ошибки e , то **система называется неустойчивой**.

Для того, чтобы определить, устойчива система или нет, используются критерии устойчивости (в данной методике не рассматриваются): корневой критерий, критерий Найквиста, критерий Михайлова критерий Гурвица и др.

Устойчивость АСР, т. е. затухание переходных процессов в ней,

является необходимым, но далеко не достаточным условием практической пригодности системы. Существенное значение имеет еще качество процессов регулирования, т. е. сам характер протекания переходных процессов и прежде всего их длительность и колебательность.

2.3.2. Качество процесса регулирования

К АСР предъявляются требования не только устойчивости процессов регулирования. Для работоспособности системы не менее необходимо, чтобы процесс автоматического регулирования осуществлялся при обеспечении определенных показателей качества процесса управления.

Если исследуемая АСР является *устойчивой*, возникает вопрос о том, насколько качественно происходит регулирование в этой системе и удовлетворяет ли оно технологическим требованиям объекта управления.

Качество является одной из важнейших характеристик, определяющих эффективность автоматических систем регулирования. Чтобы управлять качеством сложных технических систем, необходимо установить уровень качества и уметь его измерять.

Однако получить такую характеристику качества системы в виде функциональной зависимости от множества ее структурных, технических, аппаратных и эксплуатационных характеристик весьма сложно. Поэтому о качестве АСР сложными технологическими процессами судят в первую очередь по их функциональным свойствам (устойчивость, статическая и динамическая точности и пр.).

На АСР воздействуют два типа внешних сигналов:

- 1) задающее воздействие $u_z(t)$;
- 2) возмущающие воздействия f_1 (внутреннее возмущение) и f_z (внешнее возмущение).

АСР должна **удовлетворять двум** основным требованиям:

- а) с максимальной точностью отрабатывать задающий сигнал, т. е. необходимо, чтобы $y(t) = u_z(t)$;
- б) по возможности не реагировать на возмущения $f_1(t)$ и $f_2(t)$, т. е. ошибка $\varepsilon(t)$, возникающая под действием возмущения, должна быть наименьшей и ее необходимо максимально быстро ликвидировать.

В зависимости от назначения системы существенным становится требование, сформулированное в пункте «а», либо оба эти требования

играют одинаковую роль. В системах стабилизации сигнал $y_3(t) = \text{const.}$, и для этих систем важно требование, сформулированное в пункте «б». В системах программного управления на первый план выступает требование максимальной приемистости в отработке сигнала задания. В следящих системах оба требования имеют одинаковое значение.

Качество регулирования численно может быть охарактеризовано прямыми показателями качества, которые можно определить непосредственно из кривых переходных процессов АСР (рисунок 2).

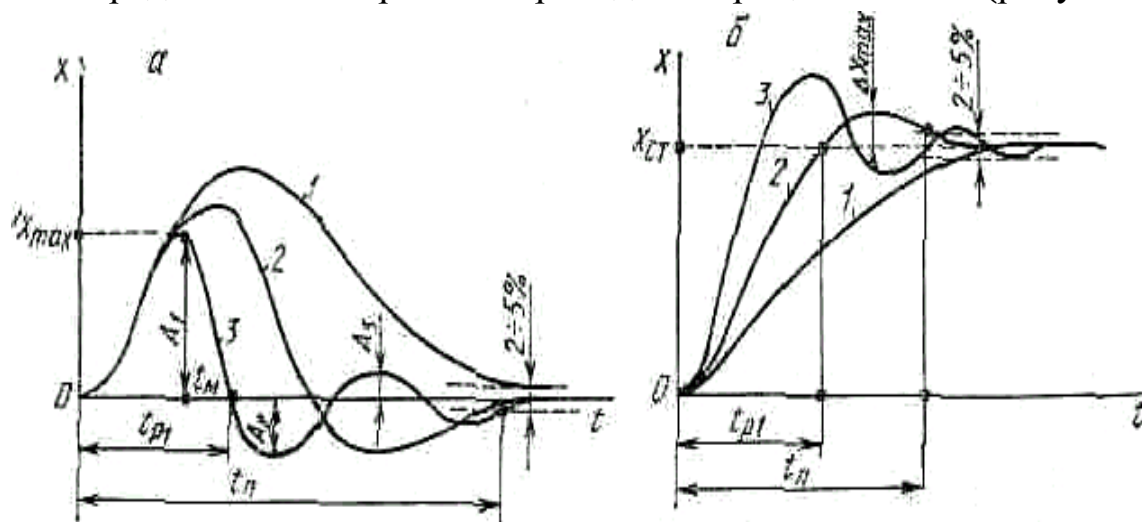


Рисунок 2 - Переходные характеристики АСР при отработке внутреннего возмущения (а) и скачкообразном изменении задания (б).

Показателями качества функционирования систем автоматического регулирования называют величины характеризующие поведение системы в переходном процессе при поступлении на ее вход единичного ступенчатого возмущения.

Для работоспособности системы важно, чтобы процесс автоматического регулирования осуществлялся при обеспечении определенных качественных показателей.

Требования к качеству процесса регулирования в каждом случае могут быть разнообразными, однако из всех качественных показателей можно выделить несколько наиболее существенных, с достаточной полнотой характеризующих работу почти всех систем автоматического регулирования.

Качество работы АСР принято оценивать по форме кривой переходного процесса.

Для систем автоматической стабилизации обычно анализируется переходный процесс в системе при скачкообразном изменении

внешнего воздействия. Для следящих систем и систем программного регулирования рассматривается переходный процесс, вызванный скачкообразным изменением заданного значения регулируемого параметра, т.к. этот вид возмущения является для них более характерным и особенно неблагоприятным. Переходные процессы в зависимости от типа объекта и регулятора могут быть апериодическими и затухающими колебательными.

Прямые показатели качества переходных процессов

Время переходного процесса или *полное время регулирования* t_m характеризует быстродействие системы и определяется как интервал времени от начала переходного процесса до момента, когда отклонение выходной величины от ее нового установившегося значения становится меньше определенной достаточно малой величины (определяется требованиями технологического процесса). Обычно в качестве последней берут 2—5 % максимального отклонения в переходный период. В промышленных АСР этот показатель определяется качеством или безопасностью проведения технологического процесса.

Статическая ошибка регулирования — отклонение регулируемой величины от заданного значения по окончании переходного процесса.

Динамическая ошибка регулирования — величина наибольшего отклонения регулируемого параметра от заданного значения (кроме начального отклонения).

Время первого достижения регулируемой величиной заданного значения t_{p1} служит одной из оценок качества регулирования АСР относительно задающего воздействия и определяется как интервал времени от начала переходного процесса до момента, когда регулируемая величина впервые достигает заданного значения.

Максимальное отклонение в переходный период для переходных процессов, вызванных возмущением (рисунок 2,а), определяется величиной Δ_1 , приходящейся на единицу возмущения $f_1(t) = 1(t)$. При отработке задающего воздействия (рисунок 2,б) максимальное отклонение, вычисленное относительно нового установившегося значения $Y_{ст}$, пропорционального или равного заданному воздействию $Y_{зд}$,

$$\sigma = \frac{\Delta Y_{\max} - Y_{\text{сс}}}{Y_{\text{сс}}} \cdot 100\%, \text{ называется перерегулированием.}$$

Время достижения регулируемой величиной максимального отклонения в переходный период $t_{\max}$ определяется как интервал времени от начала переходного процесса до момента, когда отклонение выходной величины достигает максимального значения.

Переходные характеристики (см. рис. 2) бывают монотонными (кривые 1) и колебательными (кривые 2 и 3). Особенностью колебательной переходной характеристики является наличие переходов через установившееся значение (перерегулирований). Если имеется одно перерегулирование, то характеристика называется малоколебательной.

Колебательность переходного процесса обычно определяется числом колебаний, равным числу минимумов кривой переходного процесса в интервале $[0, t_n]$ при ликвидации возмущения, или в случае отработки задания — числом перерегулирований за этот же интервал. Иногда колебательность переходного процесса оценивают отношением соседних максимумов A_2/A_1 . Эта величина называется колебательностью и выражается в процентах. Колебательность переходного процесса может характеризоваться величиной степени затухания ψ .

Степенью затухания называется отношение разности двух соседних положительных максимумов переходного процесса к первому из соседних максимумов: $\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = 1 - \frac{A_3}{A_1}$

Все промежуточные значения степени затухания будут находится в пределах $0 < \psi < 1$. При этом степень затухания $\psi = 1$ соответствует апериодической форме переходного процесса (см. рис. 2, кривая 1).

В большинстве случаев требуется, чтобы перерегулирование не превышало 10—30%. Иногда важно, чтобы перерегулирование отсутствовало и процесс был монотонным.

Переходный процесс обычно должен иметь одно-два колебания, но допускается до трех-четырех. Поэтому в настоящее время не существует единого взгляда на то, какая именно степень затухания является оптимальной. В большинстве случаев она находится в пределах 0,75—0,98. Более определенный выбор должен производиться

в зависимости от конкретных требований с учетом выбранного критерия качества.

Приведенные временные критерии качества переходных процессов будут прямыми в том смысле, что при их помощи оценивается непосредственно процесс регулирования, возникающий при том или ином (чаще ступенчатом) типовом воздействии.

На практике качество регулирования определяется визуально по графику переходной характеристики (рисунок 3). Это максимальное отклонение регулируемой величины – $Y_{\max}$; установившееся значение переменной величины – $Y_{\text{уст}}$; величины амплитуд A_1 , A_2 , A_3 ; отклонения установившейся величины – $E_{\text{ст}}$; статическая ошибка регулирования – Δ , время регулирования – t_p и т.п.

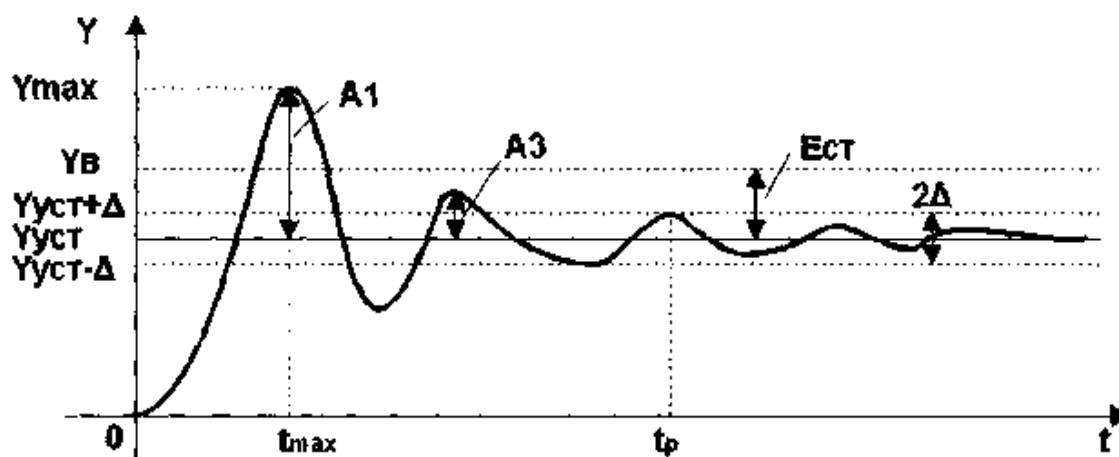


Рисунок 3 – Определение показателей качества по переходной характеристике.

Однако, имеются точные но более сложные математические методы, дающие конкретные числовые значения (которые не рассматриваются в данной методике).

Можно сформулировать ряд требований, которым должен удовлетворять оптимальный процесс регулирования:

1. Затухание переходного процесса должно быть интенсивным.
2. Максимальное отклонение регулируемой величины должно быть наименьшим.
3. Продолжительность переходного процесса должна быть минимальной.

2.3. Типовые законы регулирования и их основные характеристики

Обычно под выбором регулятора для АСР понимают выбор закона

регулирования и параметры настройки регулятора, обеспечивающие на данной объекте регулирования требуемое качество процесса регулирования. Хотя для промышленной системы регулирования необходима еще и техническая реализация его в системе и представление параметров настройки в соответствующей форме.

В зависимости от характера входного сигнала, т.е. от того, какой показатель хода технологического процесса используется регулирующим устройством, регулятор обрабатывает тот или иной вид выходного сигнала, используемого для регулирующего воздействия на объект.

Характер регулирующего воздействия принято называть **законом регулирования**, представляющим собой функциональную зависимость выходного сигнала (управляющего воздействия) регулятора от входного (ошибки регулирования): $U(t)=f(\varepsilon)$.

На практике с помощью аппроксимации динамических характеристик объектов типовыми зависимостями разнообразие требуемых алгоритмов регулирования можно свести к нескольким типовым законам (алгоритмам).

Формирование различных законов регулирования, обрабатываемых регуляторами, производится в регулирующих устройствах. Последние в зависимости от характера закона регулирования подразделяются на: линейные и нелинейные, дискретные и непрерывные законы регулирования.

Из нелинейных - **релейные** - обрабатывающие релейных (как правило, двухпозиционный реже трехпозиционный) закон регулирования.

Наибольшее применение имеют типовые линейные законы регулирования: пропорциональный (П), интегральный (И), пропорционально-интегральный (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД). Эти регуляторы, работающие по данным законам, называют П-, И-, ПИ-, ПИД-регуляторами. Коэффициенты и постоянные времени, входящие в законы, называют параметрами настройки (уставками), которые позволяют обеспечить необходимый характер переходного процесса регулирования для объектов с различными динамическими свойствами. Кроме органов настройки, непосредственно воздействующих на параметры, входящие в закон

регулирования, регуляторы имеют органы настройки, косвенно влияющие на режим работы АСР, такие, как чувствительность регулятора, демпфирование входного сигнала и т. д.

По динамическим характеристикам П-регулятор является безинерционным звеном, коэффициент передачи которого K_p численно равен управляющему воздействию (перемещению регулирующего органа) при единичном отклонении регулируемой величины от заданного значения, т. е. и $U(t) = K_p \varepsilon(t)$, а передаточная функция

$$W(p) = K_p,$$

где K_p — коэффициент передачи.

Главным достоинством П-регуляторов является простота их реализации и настройки. При наличии возмущающих воздействий регулятор быстро приводит в равновесное состояние (в основном) любой объект. При этом в них положение РО однозначно связано с отклонением регулируемого параметра от заданного значения, что обуславливает статическую ошибку — основной недостаток П-регуляторов.

По динамическим свойствам И-регулятор соответствует интегральному звену. Он перемещает РО пропорционально интегралу от отклонения регулируемой величины $U(t) = K_p \cdot \int \varepsilon(t) dt$. Коэффициент передачи K_p равен скорости перемещения РО при отклонении регулируемой величины на единицу ее измерения. Интегральный регулятор перемещает РО до тех пор, пока регулируемая величина не достигнет заданного значения. АСР с И-регулятором не имеет статической ошибки и является астатической. Передаточная функция И-регулятора имеет вид

$$W(p) = \frac{K_p}{T_i p},$$

где T_i — постоянная интегрирования (постоянная изодрома), равная времени, в течение которого выходной сигнал регулятора достигает значения входного сигнала.

И-регуляторы способны устойчиво регулировать лишь объекты, обладающие самовыравниванием. Для них характерна относительно невысокая скорость регулирования, при этом она обратно пропорциональна T_i .

И-регуляторы используют, в основном, для формирования более сложных законов регулирования, т. е. при построении ПИ- и ПИД-регуляторов.

ПИ (изодромные) регуляторы сочетают преимущества П- и И-регуляторов и обеспечивают устойчивое регулирование (без статической ошибки) большинства объектов. Устойчивость и простота регулирования обеспечили этому типу регуляторов широкое применение в промышленности.

ПИ-регулятор можно описать параллельным соединением пропорционального и интегрирующего или последовательным соединением интегрирующего и форсирующего звеньев.

В изодромном регуляторе после скачкообразного изменения сигнала рассогласования регулирующей орган под воздействием пропорциональной составляющей мгновенно переходит в новое положение, определяемое произведением $K \cdot \varepsilon(\infty)$, а затем под воздействием интегральной составляющей перемещается с постоянной скоростью $K \cdot \varepsilon(\infty)/T_i$.

С ростом коэффициента T_i влияние интегральной составляющей на процесс регулирования уменьшается. Передаточная функция ПИ-регулятора имеет вид

$$W(p) = \frac{K_p}{1 + \frac{1}{T_i} p}$$

По динамическим свойствам ПИД-регуляторы воздействуют на объект пропорционально отклонению регулируемой величины, интегралу от этого отклонения и скорости изменения регулируемой величины.

ПИД-регуляторы — это изодромные регуляторы с предварением, т. е. они реагируют не только на отклонение регулируемой величины от заданной, но и на тенденцию ее изменения. Структурно ПИД-регулятор можно представить как систему из 3-х параллельно включенных безинерционного, интегрирующего и дифференцирующего звеньев. Передаточная функция ПИД-регулятора имеет вид

$$W(p) = \frac{K_p}{1 + \frac{1}{T_i} p + T_d p}$$

где T_d — постоянная предварения.

ПИД-регулятор при скачкообразном изменении регулируемой величины в начальный момент времени оказывает мгновенное бесконечно большое по амплитуде воздействие на объект, затем величина воздействия уменьшается до значения, определяемого пропорциональной частью регулятора. Далее ПИД-регулятор по механизму воздействия на объект реализует функцию ПИ-регулятора. Наличие дифференцирующей составляющей улучшает эффект регулирования при действии на объект значительных переменных воздействий (нагрузок).

2.4. Выбор закона регулирования

Выбор закона регулирования определяется в первую очередь динамикой объекта регулирования (τ , T_0) и требованиями, которые предъявляются к качеству регулирования в синтезируемой АСР. В частности ПИ-регулятор рекомендуется применять при величине отношения $\tau/T_0 \leq 1$, а П-регулятор когда $\tau/T_0 \leq 0,3$. Параметрическая оптимизация промышленных АСР заключается в определении параметров (оптимальных) настройки регулятора такими чтобы в замкнутой системе был обеспечен заданный запас устойчивости, при котором выбранный показатель качества регулирования должен быть не хуже требуемого или должен иметь экстремальное значение.

В теории автоматического управления разработаны многие методы выбора закона регулирования и параметров настройки регулятора: метод расширенных частотных характеристик (РЧХ), метод незатухающих колебаний (Циглера-Никольса), инженерные методы расчета (по кривым разгона), экспресс-методы расчета.

Для выполнения курсового проекта *рекомендуется* один из нескольких методов расчета (индивидуально для студента по заданию преподавателя).

2.4.1. Метод незатухающих колебаний (Циглера-Никольса)

Метод Циглера-Никольса является приближенным, но дающим достаточную точность для инженерных расчетов методом определения настроечных параметров регуляторов.

Метод позволяет определить значения параметров регулятора в соответствии с поставленным комплексом требований, предъявляемых к автоматической системе регулирования. Как правило, в качестве таких

критериев выступают: время переходного процесса, динамическая и статическая ошибки, перерегулирование, а также интегральные критерии.

В промышленности данный метод параметрической оптимизации АСР в большинстве своем основан на прямом контроле переходных характеристик или частотных характеристик АСР в процессе подбора оптимальных параметров настройки регуляторов. Замкнутую АСР с П-составляющей регулятора путем постепенного увеличения коэффициента пропорциональности K_p выводят на границу устойчивости. Для этого режима определяют критические значения коэффициента K_p и период установившихся колебаний $T_{пер.кр.}$ по которым рассчитывают оптимальные параметры настройки регулятора. Метод позволяет обеспечить в системе заданный запас устойчивости, но не гарантирует экстремума показателей качества регулирования (в частности интегрального).

При аналитическом определении закона и параметров регулятора расчет проводится в два этапа.

Исходным условием при расчете параметров настроек регуляторов является соотношение:

$$W_o(m, j\omega) \cdot W_p(m, j\omega) = 1, \quad (1)$$

1 этап. Расчет критической настройки $K_p^{кр}$ П – регулятора ($T_n = T_d = 0$) и соответствующей критической частоты $\omega_{кр}$, при которых АСР будет находиться на границе устойчивости ($m = 0$).

При этом произведение расширенных АФХ (РАФХ) объекта $[W_o(m, j\omega)]$ и регулятора $[W_p(m, j\omega)]$ равно единице.

Уравнения для расчета $K_p^{кр}$ и $\omega_{кр}$ получают из уравнения (1).

Очевидно, что при $m = 0$ расширенные частотные характеристики объекта $[W_o(m, j\omega)]$ и регулятора $[W_p(m, j\omega)]$ совпадают с нормальными (на границе устойчивости) - $W_o(j\omega)$ и $W_p(j\omega)$ соответственно. Уравнение (10) принимает вид: $W_o(j\omega) \cdot W_p(j\omega) = 1$. Запишем частотные характеристики в степенном виде: $W_o(j\omega) = A_o(\omega) \cdot e^{j\varphi_o(\omega)}$ и $W_p(j\omega) = A_R(\omega) \cdot e^{j\varphi_R(\omega)}$, где $A_o(\omega)$ и $A_R(\omega)$ - амплитудно-частотные характеристики объекта и регулятора соответственно; $\varphi_o(\omega)$ и $\varphi_R(\omega)$ - фазо – частотные характеристики объекта и регулятора соответственно.

Так как расчет на первом этапе ведется для П – регулятора, то $A_R(\omega) = R_p$ и $\varphi_R(\omega) = \pi$ (для П – регулятора $R(j\omega) = K_p \cdot e^{j\pi}$, где K_p - настроечный параметр регулятора). На границе устойчивости значения K_p и ω принимают критические значения: $K_p = K_p^{кр}$, $\omega = \omega^{кр}$.

При этих условиях уравнение (10) принимает вид:

$$A_0(\omega^{кр}) \cdot e^{j\varphi_0(\omega^{кр})} \cdot K_p^{кр} \cdot j^\pi = 1. \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует:

1) произведение модулей АФХ объекта и регулятора равно единице;

2) сумма фаз АФХ объекта и регулятора равна нулю.

Отсюда получаем систему уравнений для расчета $K_p^{кр}$ и $\omega_{кр}$:

$$A_0(\omega^{кр}) \cdot K_p^{кр} = 1; \quad (3)$$

$$\varphi_0(\omega^{кр}) = -\pi. \quad (4)$$

Из уравнения (2), задаваясь значениями ω , определяем значение $\omega = \omega^{кр}$, удовлетворяющее этому уравнению. Уравнение (3) позволяет найти значение $K_p^{кр} = 1/A_0(\omega^{кр})$.

2 этап. Определение по приближенным формулам рабочих настроек П, ПИ и ПИД – регуляторов, обеспечивающих степень затухания переходного процесса регулирования $\psi \approx 0,7 - 0,8$.

Расчетные формулы сведены в табл. П.1.1, приложения 1.

Последовательность расчета оптимальных настроек регулятора по методу Циглера – Никольса заключается в следующем:

1. Записать уравнение фазо-частотной характеристики (ФЧХ) для заданного звена.

2. Из условия нахождения системы на границе устойчивости ($\varphi(\omega_{кр}) = -\pi$) с помощью уравнения ФЧХ рассчитать критическую частоту $\omega_{кр}$.

3. Записать выражение, описывающее амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) заданного звена.

4. На основании уравнения АЧХ определить значение амплитуды системы при найденном значении критической частоты $\omega_{кр}$.

5. Рассчитать значение критической настройки $K_{кр}$ пропорционального регулятора по формуле $K_{кр} = 1/A(\omega_{кр})$.

6. Производят вычисления оптимальных параметров настройки

для заданных законов регулирования по формулам, представленным в табл.П.1.1, приложения 1.

Примечание: При построении АЧХ и переходных процессов рекомендуется использовать один из программных продуктов: пакет программ ТАУ-2; программный комплекс «Моделирование в технических устройствах» (ПК МВТУ) и другие специализированные программы.

2.4.2. Инженерный метод выбора закона регулирования и параметров настройки регулятора

Серийные регуляторы общепромышленного применения изготавливают с ограниченными пределами настройки параметров. Поэтому выбранный в соответствии с динамическими характеристиками объекта регулирования и требованиями к качеству регулирования тип регулятора должен быть проверен на возможность обеспечения необходимых значений параметров настройки для работы в АСР с конкретным объектом регулирования.

Для определения числовых значений параметров настройки регулятора необходимо выбирать тип оптимального переходного процесса регулирования и иметь показатели статических и динамических характеристик объекта регулирования.

В настоящее время известно несколько различных методов определения оптимальных значений параметров настройки автоматических регуляторов для работы в одноконтурных АСР.

При проектировании АСР объектами, не содержащими чистого запаздывания, наибольшее применение получили два критерия – модульный оптимум (МО) и симметричный оптимум (СО).

Настройка системы по критерию МО обеспечивает малое перерегулирование и достаточно быстрое протекание переходного процесса. Переходный процесс в АСР с настройками регулятора по критерию СО несколько больше перерегулирование и время регулирования. Критерий СО целесообразно применять при настройке систем, которые чаще всего отрабатывают возмущающие воздействия (стабилизирующая системы) в то время как критерий МО предпочтителен при оптимизации систем, отрабатывающих в основном изменение задающего воздействия (следящие и программные системы).

В таблице П.1.2, приложения 1 приведены формулы для

определения оптимальных параметров настройки регулятора для различных математических описаний (передаточных функций) неизменяемой части системы автоматического регулирования.

Если в качестве объекта регулирования рассматривается типовой линейный объект, допускающий аппроксимацию по каналу передачи управляющего воздействия уравнениями апериодического звена первого порядка с чистым запаздыванием используют следующую методику расчета.

Методика расчета позволяет приближенно определить оптимальные настройки П, ПИ и ПИД-регуляторов применительно к объектам, кривые разгона которых можно аппроксимировать апериодическим звеном первого порядка с запаздыванием (см. рисунок П.2, приложение 2).

Динамические характеристики таких объектов однозначно описываются тремя величинами: коэффициентом передачи объекта K_0 , постоянной времени T_0 , запаздыванием τ .

Метод расчетам основан на следующих положениях:

1. Кривые разгона многих технологических объектов в различных отраслях промышленности соответствуют звену с передаточной функцией вида:

$$W(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-p\tau}}{T_0 p + 1}$$

2. Из кривой разгона (рисунок П.2, приложение 2) определяют ее параметры K_0 , T_0 , τ . Рекомендуемые настройки являются достаточно точными применительно к исследованным моделям объектов, у которых отношение τ/T_0 однозначно характеризует форму кривой разгона.

3. По найденным значениям K_0 , T_0 , τ , τ/T_0 определяют оптимальные параметры настройки регулятора в соответствии с таблицей рекомендуемых настроек (приложение 3, табл.П.3).

3 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

3.1 Содержание разделов курсовой работы

Титульный лист (стандартный общепринятый в университете бланк) заполняется шрифтом 3,5 или 5 по ГОСТ 2.304-81.

Задание на курсовой проект является вторым листом

пояснительной записки и выполняется на стандартном бланке, принятом в университете.

Аннотация. Должна содержать краткое изложение цели и важнейших результатов проектирования автоматической системы контроля, практическое применение и ожидаемые технико-экономические результаты.

Содержание должно включать введение, номера и наименования всех разделов и подразделов с указанием номеров страниц, на которых размещается начало материала, список литературы, приложения. Слово "СОДЕРЖАНИЕ" записывают в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами. Наименования, включенные в содержание, записывают строчными буквами, начиная с прописной.

Ведомость курсовой работы выполняется на листе формата А4 с рамкой и основной надписью и содержит перечень документов и изделий, вошедших в содержание проекта.

Введение. Кратко описывается значение автоматического контроля для рассматриваемого технологического процесса. Рассматриваются актуальность темы, ее новизна кратко характеризуется состояние решаемой проблемы основные положения и документы, лежащие в основе разрабатываемого проекта. Формируются цель и задачи курсового проекта, способы их достижения и результаты проектирования.

Основная часть проекта - выполняется в соответствии с выданным заданием и содержанием приведенным в данных методических указаниях.

Заключение. Должно содержать окончательные выводы по курсовому проекту и не превышать 0,5 стр.

Список используемых источников. В конце пояснительной записки перед приложениями приводится список литературы, использованной при проектировании. В перечень включают все использованные учебные пособия, справочники, каталоги, ценники, прейскуранты, нормали, ОСТы, ГОСТы, инструкции и т.д. в порядке появления ссылок в тексте, заключая порядковый номер в скобки, например: [1], [4,5].

Приводятся только те литературные источники, которые были использованы при выполнении курсового проекта.

3.2 Текстовая часть проекта

Оформление пояснительной записки должно соответствовать требованиям ГОСТ 2.105-95 и методических указаний по оформлению текстовых документов в учебном процессе.

Пояснительная записка должна быть выполнена рукописным способом или с помощью печатающих или графических устройств на одной или двух сторонах листа бумаги формата А4 без рамки, основной надписи и дополнительных граф к ней с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм. По краям листа рекомендуется оставлять поля: слева - 30 мм, справа - не менее 10 мм, сверху и снизу - не менее 20 мм. Расстояние между строками должно быть равным 8-10 мм. Абзацы в тексте начинаются отступом от края левого поля 25-17 мм. Цифры, указывающие номера разделов, подразделов, пунктов, подпунктов, также проставляют с отступом.

Нумерация страниц пояснительной записки должна быть сквозной: первой страницей является титульный лист. Номер страницы проставляют в верхнем наружном углу. На титульном листе и листе задания номер не ставят.

Каждый раздел записки рекомендуется начинать с новой страницы. Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь порядковые номера в пределах каждого раздела. Номера подразделов состоят из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Заголовки разделов следует писать прописными буквами, а подразделов - с прописной без точки в конце. Переносы слов в заголовках не допускаются. Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 15 мм (3,4 интервала машинописного текста). Расстояние между заголовком раздела и подраздела 8-10мм (2 интервала машинописного текста).

При оформлении пояснительной записки с помощью персонального компьютера рекомендуется использовать следующие атрибуты текстовых редакторов: Шрифт-таймс обычный, размер 14; абзац-отступ первой строки 1.25-1.5; интервал междустрочный 1.25-1.5, выравнивание - по ширине.

3.3 Графическая часть проекта

В графической части проекта на листе формата А3 приводится фрагмент функциональной схемы автоматизации из курсового проекта по дисциплине «Автоматизация типовых технологических процессов». Для чего выбирается схема автоматизации основного участка производства, и выбираются 4 параметра контроля и 4 параметра регулирования. Автоматизации технологического процесса осуществляется на локальных системах регулирования. Схема автоматизации выполняется в соответствии с ГОСТ 21.801-2013. Средства автоматизации заносят в спецификацию (табл.П.4, приложения 4).

Результаты расчета АСР (по согласованию с преподавателем) могут быть представлены по тексту пояснительной записки или в приложении на листе формата А3.

3.4 Выполнение схем автоматизации

Основная надпись на чертеже выполняется в соответствии с требованиями для схем автоматизации, которую располагают в правом нижнем углу документа. Над основной надписью, по ее ширине, сверху вниз располагают таблицу условных обозначений, которую изображают над перечнем оборудования с отступом на 2 мм. В отдельных случаях таблицы могут быть выполнены на отдельных листах формата А4. Заполнение таблицы рекомендуется производить в следующем порядке:

4. Условные обозначения технологических трубопроводов.
5. Условные обозначения приборов и средств автоматизации, которые не предусмотрены действующими стандартами.
6. Резервные буквенные обозначения контролируемых величин или функциональных признаков приборов, примененные для обозначения пусковой аппаратуры по ГОСТ 21.208-2013.

Рекомендуется использовать на схеме линии следующей толщины:

- контуры технологического оборудования - 0,6 - 1,5 мм;
- трубопроводные коммуникации - 0,6 - 1,5 мм;
- обозначений приборов и средств автоматизации - 0,5 - 0,6 мм;
- линии связи - 0,2 - 0,3 мм;
- прямоугольники, изображающие щиты, пульты и т.п. - 0,6 - 1,5 мм;
- линии-выноски - 0,2 - 0,3 мм.

Примечание: при одинаковой толщине линий различного назначения их рекомендуется вычерчивать (для выделения) в противоположных по толщине (больших или меньших) пределах.

Размеры цифр и букв для позиций, позиционных обозначений и надписей выбирают на основании следующих рекомендаций:

- для позиций - цифры - 3,5 мм; буквы (строчные) - 2,5 мм;
- для позиционных обозначений - буквы и цифры - 3,5 мм;
- для пояснительного текста и надписей - 3,5 - 5 мм.

В надписях и текстах не допускаются сокращения слов за исключением общепринятых.

4. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

4.1. Исследование технологического процесса как объекта управления

Технологический процесс представляет совокупность способов получения и переработки сырья, материалов или изделий, обеспечивающих качественное их изменение. Каждый технологический процесс, включаясь в общий производственный процесс, осуществляется на определенном оборудовании.

В данном разделе необходимо кратко охарактеризовать существующие способы получения целевого продукта, и на основе их сопоставления выбрать рациональный. Технология и аппаратура должны рассматриваться с точки зрения внедрения новых методов производства, использования современного оборудования, широкого внедрения комплексной автоматизации производственных процессов. Здесь же характеризуют производство, исходя из его особых условий: класса, взрыво- и пожароопасности помещений, наличия агрессивности исходных и получаемых продуктов, характера окружающей среды и т.д., на основании чего определяют технические средства автоматизации и систему передачи сигнала на расстояние (электрическая или пневматическая).

4.1.1. Физико-химические основы получения продукта

Излагаются протекающие реакции и физико-механические процессы, особенности их существования, влияние различных параметров на скорость и направление реакций. Дается характеристика исходных и конечных продуктов, а также отражаются характерные особенности производства и особенности технологического режима,

обуславливающие специфику разрабатываемой системы автоматического контроля.

4.1.2. Описание схемы производства

Рассматривается схема с учетом внедрения комплексной автоматизации. Излагаются протекающие процессы и особенности технологического режима. Рассматривается технология получения продукта на производстве (участке). Описывается принципиальная схема (технологическая), разрабатываемая с учетом внедрения приборов контроля и управления. Рассматриваются общие принципы составления схемы с целью решения вопросов автоматизации производства, её особенности с точки зрения непрерывности, направления потоков, кратности обработки материалов, возможности использования побочных веществ и отходов.

4.1.3. Основное оборудование технологического производства

Описывается назначение и принцип действия основных технологических аппаратов. Описание сопровождается их принципиальными схемами.

Рассматриваются особенности конструкции с точки зрения размещения первичных преобразователей, факторы их определяющие. Излагаются протекающие в аппарате процессы и особенности, технологического режима, условия работы оборудования, приводятся характеристики оборудования: тип, производительность и др. данные.

Определяются возможные места размещения на оборудовании измерительных и отборных устройств.

4.2. Выбор и обоснование параметров контроля и управления

Во всяком технологическом процессе имеются величины, характеризующие этот процесс, так называемые параметры процесса. Наблюдают за этими параметрами обычно с помощью автоматических измерительных приборов местного или дистанционного действия.

Совокупность значений всех параметров процесса называют технологическим режимом, а совокупность значений параметров, обеспечивающих решение целевой задачи - нормальным технологическим режимом.

Нормальный технологический режим задают и оформляют в виде технологической карты (таблицы). В ней приводят перечень параметров, значение которых необходимо поддерживать на

определённом уровне, а также указывают диапазоны значений, в которых изменение параметров не приводит к серьёзным нарушениям технологического режима.

В проекте рассматриваются параметры, обеспечивающие нормальное протекание технологического режима (процесса). Определяются основные технологические параметры, которые необходимо контролировать при ведении процесса, периодичность и точность контроля, а также допустимый их диапазон изменения. Рассматриваются параметры, подлежащие контролю и сигнализации с подробным обоснованием их влияния на качество выпускаемого продукта или безопасность ведения процесса. При этом указываются их номинальные значения и диапазон отклонения от них. Особое внимание необходимо уделить требуемой точности при контроле и регулировании технологических параметров.

Задача контроля - своевременное обнаружение отклонений от установленного режима, что позволяет быстро устранить их (задача управления) и предотвратить нарушение режима на других стадиях процесса.

Следующей задачей является выбор каналов управления, при этом в курсовой работе решаются следующие задачи: производится выбор и обоснование параметров управления и каналов воздействия, в том числе управление (например: давлением в колонне ректификации); управление температурой.....; Управление уровнем.....; управление рН.....; и др. технологическими параметрами системы автоматизации технологического процесса.

Подлежащие контролю и регулированию параметры технологического процесса, определяющие нормальный режим протекания процесса заносят в таблицу параметров.

Параметры рекомендуется заносить в таблицу в следующей последовательности: температура, давление, (разряжение), расход (количество), уровень, влажность, плотность, вязкость, концентрация и т.д.

4.3. Расчет АСР (конкретного параметра, например температуры) и определение качества ее работы сводится к следующей структуре:

4.3.1. Составление структурной схемы АСР.

Исходя из схемы регулирования представленной на функциональной схеме автоматизации разрабатывают подробную структурную схему системы регулирования (рисунок 1), с подробным описанием ее работы и характеристик технических средств, входящих в систему.

4.3.2. Математическое моделирование неизменяемой части АСР.

4.3.2.1. Математическое описание объекта управления.

Производят математическое моделирование объекта регулирования разрабатываемой АСР. Рекомендуется использовать математическое описание ОР, разрабатываемое в курсовой работе по дисциплине «Математическое моделирование», выполняемой в том же семестре.

4.3.2.2. Математическое описание технических средств, входящих в систему.

В соответствии с составленной структурной схемой разрабатывается математическое описание технических средств составляющих синтезируемую АСР (измерительное устройство, исполнительный механизм, усилитель и т.п.), составленную применительно к рассматриваемой системе регулирования по функциональной схеме автоматизации.

4.3.3. Формулирование параметров (критериев) обеспечивающих качественную работу системы.

На основе составленной таблицы параметров и исходя из требований к работе технологического оборудования (процесса) обосновываются требования, обеспечивающие качественное и безопасное ведение процесса.

На основании требований проведения качественного и безопасного технологического процесса выдвигаются и обосновываются качественные показатели работы синтезируемой АСР.

4.3.4. Синтез системы управления (определение закона регулирования и параметров настройки регулятора).

Одним из вышеприведенных методом осуществляется выбор закона и его параметров обеспечивающих качество регулирования в соответствии с сформулированными требованиями.

4.3.5. Моделирование системы и определение показателей качества ее работы.

Для подтверждения качественной работы АСР производится моделирование системы на ПК с построением переходного процесса и определения его показателей качества.

Обязательным этапом синтеза АСР является моделирование переходных процессов регулирования синтезированной системы. Цель моделирования – получение переходных процессов в системе и определение их качества при различных возмущениях и параметрах настройки регуляторов, включаемых в АСР. По результатам моделирования судят о степени приемлемости результатов синтеза. Трудоемкость процесса моделирования предполагает использование для его осуществления соответствующих программных продуктов (пакет программ ТАУ-2; программный комплекс «Моделирование в технических устройствах» (ПК МВТУ) и другие специализированные программы) и ПЭВМ.

4.4. Описание схемы автоматизации ТП получения (заданный продукт, например, этилового спирта).

Работа всех систем в технологическом процессе должна быть описана так, чтобы можно было четко представить функции, выполняемые отдельными элементами АСР. После упоминания какого-либо из устройств автоматики необходимо делать ссылку на позицию данного устройства, соответствующую его расположению на функциональной схеме автоматизации, например:

Для регулирования расхода этилового-сырца перед подогревателем (поз.7) применяются вихревые расходомеры ЭВ-200ЕхС с верхним пределом измерений $2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, классом точности 1,0, с унифицированным выходным сигналом 4-20мА (поз. 29а). вариант исполнения - взрывозащищенное «искробезопасная электрическая цепь» (ExibllC(T1-T5)X). В качестве исполнительного механизма применяется регулирующий клапан с мембранным исполнительным механизмом Samson типа 3347-1 (поз. 29в).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подчукаев В.А. Теория автоматического управления (аналитические методы) : [Электронный ресурс] : учебник. Издательство : ФИЗМАТЛИТ, 2011 г. -Режим доступа <http://www.knigafund.ru>.
2. Соснин О. М. Основы автоматизации технологических процессов и производств [Текст]: учеб. пособие для вузов / Соснин О. М. ; . - М. : Академия, 2007. - 240 с. - Гриф (УМО).
3. Шишмарев В.Ю. Основы автоматического управления [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.Ю. Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с. Гриф (УМО).
4. Автоматическое управление в химической промышленности: Под ред. Е.Г.Дудникова.-М.:Химия.1987.-368 с.
5. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленныхавтоматических систем регулирования. М.Энергия. 1973.- 440с.
6. Беспалов А. В. Задачник по системам управления химико-технологическими процессами [Текст]: учеб. пособие / Беспалов А. В. ; Харитонов Н. И. ; . - М. : Академкнига, 2005. - 307 с. – Гриф (Мин-во Образования)
7. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП [Текст] : Учебно-практическое пособие - М: Инфра - Инженерия, 2008. - 928 с.
8. Шувалов В.В., Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. - М.:Химия.1991.-480 с.
9. Макаренко В.Г. Схемы автоматизации: Учеб.-метод. пособие к курсовому и дипломному проектированию/ Юж.-Рос.гос.техн.ун-т. Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999.-47с.
10. ГОСТ 21.208-2013 СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. М.: Стандартиформ. 2014.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 (справочное)
ТАБЛИЦА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНА И ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ
РЕГУЛЯТОРА

Таблица П.1.1

Тип регулятора	Формулы для расчета рабочих настроек (K_p, T_i, T_d).
П – регулятор; $W(p) = K_p$	$K_p = 0,5 \cdot K_p^{кр}$.
ПИ – регулятор; $W(p) = K_p + \frac{T_i}{p}$	$K_p = 0,45 K_p^{кр}; \quad T_i = 0,086 \cdot K_p^{кр} \cdot \omega^{кр}; \quad K_p / T_i = T^{кр} / 0,19 \omega^{кр},$
ПИД – регулятор; $W(p) = K_p + \frac{T_i}{p} + T_d p$	$K_p = 0,6 \cdot K_p^{кр}; \quad T_i = 0,192 \cdot K_p^{кр} \cdot \omega^{кр}; \quad T_d = 0,471 \cdot K_p^{кр} / \omega^{кр};$

где $T^{кр} = 2\pi / \omega^{кр}$ – период незатухающих колебаний АСР

ТАБЛИЦА ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ОБЪЕКТОВ
БЕЗ ЗАПАЗДЫВАНИЯ

Таблица П.1.2

Передаточная функция объекта $W(p)$	Условия применения	Критерий	Параметры настройки регулятора		
			K_p	T_i	T_d
$\frac{k_o}{(T_{o1} + p)(T_{o2} + 1)}$ $(T_{o1} < T_{o2})$	$T_{o2} \leq 4T_{o1}$	МО	$\frac{T_{o2}}{2 \cdot K_o \cdot T_{o2}}$	T_{o2}	-
	$T_{o2} \geq 4T_{o1}$	СО	$\frac{T_{o2}}{2 \cdot K_o \cdot T_{o1}}$	$4T_{o1}$	-
$\frac{k_o}{T_{o3} p (T_{o1} + p)(T_{o2} + 1)}$	$T_{o2} \leq T_{o1}$	СО	$\frac{1}{2 \cdot K_o \cdot T_{o1}}$	$4T_{o1}$	-
	$T_{o1} < T_{o2}$	СО МО	$\frac{1}{2 \cdot K_o \cdot T_{o1}}$	$4T_{o1}$	T_{o2}
	$T_{o3} \leq 4T_{o1}$		$\frac{T_{o3}}{2 \cdot K_o \cdot T_{o1}}$	$4T_{o3}$	T_{o2}
$\frac{k_o}{(T_{o1} + p)(T_{o2} + 1)(T_{o3} + 1)}$ $(T_{o1} < T_{o2} < T_{o3})$	$T_{o3} \leq 4T_{o1}$	СО СО	$\frac{T_{o3}}{2 \cdot K_o \cdot T_{o1}}$	$4T_{o1}$	T_{o2}
	$T_{o2} \leq 4T_{o1}$		$\frac{T_{o2} T_{o3}}{8 \cdot K_o T_{o1}}$	T_{o2}	$4T_{o3}$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 (справочное)

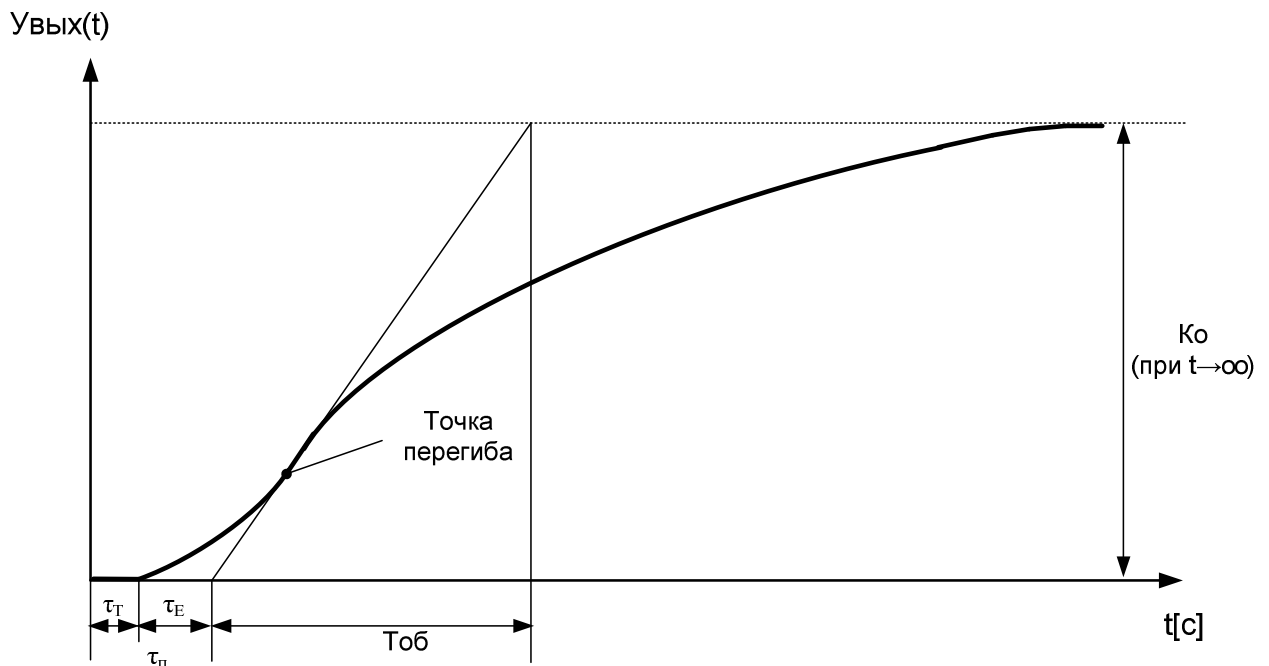


Рисунок П.2 – Кривая разгона объекта регулирования (НЧС)

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(справочное)

ТАБЛИЦА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНА И ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ОБЪЕКТОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Таблица П.3

Закон регулирования (параметр настройки)	Тип переходного процесса		
	Апериодический	С 20% перерегулированием	С минимальной площадью по интегральному критерию
П (K_p)	$\frac{0,3}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$\frac{0,7}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$\frac{0,9}{K_0 \cdot \tau / T_0}$
И (K_i)	$\frac{1}{4,5 \cdot K_0 \cdot T_0}$	$\frac{1}{1,7 \cdot K_0 \cdot T_0}$	$\frac{1}{1,7 \cdot K_0 \cdot T_0}$
ПИ (K_p), (T_i)	$\frac{0,6}{K_0 \cdot \tau / T_0}$ $0,6 \cdot T_0$	$\frac{0,7}{K_0 \cdot \tau / T_0}$ $0,7 \cdot T_0$	$\frac{1}{K_0 \cdot \tau / T_0}$ T_0
ПИД (K_p), (T_i), (T_d)	$\frac{0,95}{K_0 \cdot \tau / T_0}$ $2,4 \cdot \tau$ $0,4 \cdot \tau$	$\frac{1,2}{K_0 \cdot \tau / T_0}$ $2,0 \cdot \tau$ $0,4 \cdot \tau$	$\frac{1,4}{K_0 \cdot \tau / T_0}$ $1,3 \cdot \tau$ $0,5 \cdot \tau$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4(справочное)
 ФОРМА И ПРИМЕР ЗАПОЛНЕНИЯ ТАБЛИЦЫ (СПЕЦИФИКАЦИИ) СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Таблица П.4.

Позиция	Наименование и техническая характеристика оборудования и материалов. Завод - изготовитель (для импортного оборудования – страна, фирма)	Тип, марка оборудования. Обозначение документа и № опросного листа	Ед. измерения	Цена ед., руб.	Количество
1	2	3	4	5	6
	Регулирование температуры				
1а	Термопреобразователь сопротивления платиновый НСХ 100П, диапазон измерения -50...250°C, класс допуска В, длина монтажной части 600мм. ОВЕН г. Москва	ДТС 045-100П.В3.1000.Ех.Т4	Шт.	1000	1
1б	и/р преобразователь в корпусе из алюминиевого литья под давлением. Входной сигнал 4-20мА. Выходной сигнал 20-100кПа. Питание 0,14МПа. Степень защиты IP65 в специальнм исполнении.. Степень взрывозащиты Ex ia IIC T6. Температура окружающей среды -25....+700С. Поставщик ООО «Самсон Контролс» г. Москва.	Samson 6116	Шт.	1600	1
1в	Пневматический регулирующий клапан для асептического применения. Характеристика – равнопроцентная, линейная. Максимальное давление 1,0 МПа. Рабочая температура -10...+1300С. Ду=50. Поставщик ООО «Самсон Контролс» г. Москва.	Samson 3249-7	Шт.	21000	1
2а	Термопреобразователь сопротивления платиновый НСХ 100П, диапазон измерения -50...250°C, класс допуска В, длина монтажной части 600мм. ОВЕН г. Москва	ДТС 045-100П.В3.1000.Ех.Т4	Шт.	1000	1
2б	и/р преобразователь в корпусе из алюминиевого литья под давлением. Входной сигнал 4-20мА. Выходной сигнал 20-100кПа. Питание 0,14МПа. Степень защиты IP65 в специальнм исполнении.. Степень взрывозащиты Ex ia IIC T6. Температура окружающей среды -25....+700С. Поставщик ООО «Самсон Контролс» г. Москва.	Samson 6116	Шт.	1600	1
2в	Пневматический регулирующий клапан для асептического применения. Характеристика – равнопроцентная, линейная. Максимальное давление 1,0 МПа. Рабочая температура -10...+1300С. Ду=50. Поставщик ООО «Самсон Контролс» г. Москва.	Samson 3249-7	Шт.	21000	1

Изм.

Лист

№ докум.

Подп.

Дата

Студент

Руковод.

И.контр.

Зав.каф.

Васерина Е.Ф.

Макаренко В.Г.

Шошина В.И.

М.Э.

15.03.04КП17.031-АТХ-СО

Автоматизация ТП производства этилового спирта

Спецификация приборов и средств автоматизации

Страница

Лист

Листов

Д

1

9

ЮРГПУ (НПИ)

Каф.МиГПА

Учебно-методическое издание

Макаренко Виктор Григорьевич

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И
РЕГУЛИРОВАНИЯ**

*Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию*

Редактор *Н.А.Юшко*

Подписано в печать 10.07.2017г.

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл.печ.л. 2,09. Уч.изд.л. 2,25. Тираж 50 экз. Заказ _____

Южно-Российский государственный политехнический университет

(НПИ) имени М.И. Платова

Редакционно-издательский отдел ЮРГПУ(НПИ)

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Отпечатано в ИД Политехник

346428, г. Новочеркасск, ул. Первомайская, 166.

idp-npi@mail.ru

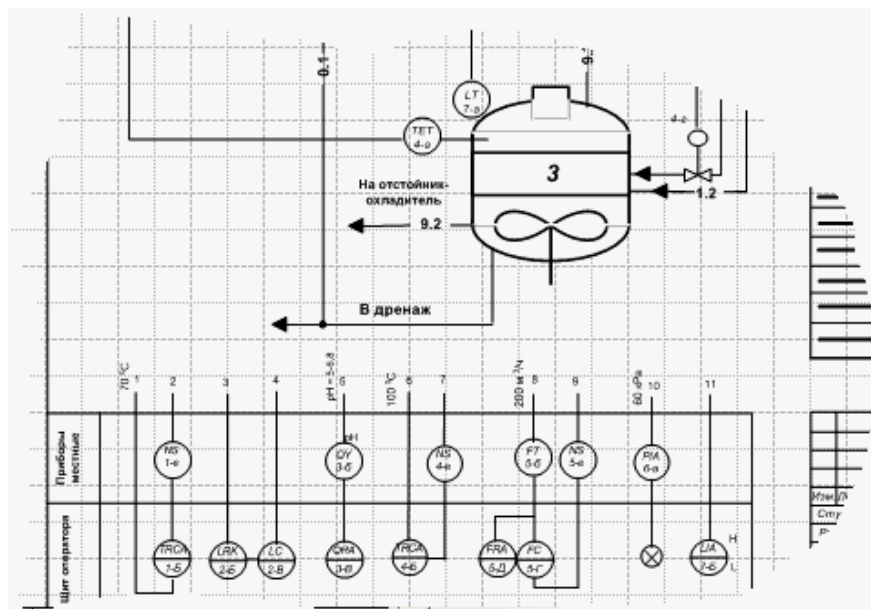
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М. И. Платова

В.Г.Макаренко

ПРОМЫШЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам и практическим занятиям



Новочеркасск
ЮРГПУ (НПИ)
2017

УДК 66.012:62 (076.5)

Рецензент - доктор технических наук, профессор **М.Э. Шошиашвили**

Макаренко В.Г.

Промышленные системы управления и регулирования: учебно-методическое пособие к лабораторным работам и практическим занятиям / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2017. – 104 с.

В учебно-методическом пособии приводятся указания к лабораторным работам по исследованию автоматических систем регулирования и отдельных её элементов с использованием моделирующего программного пакета ТАУ 2 в первой части работ и моделирующего программного комплекса «Моделирование в технических устройствах (МВТУ)» во второй части работ.

Даны общие рекомендации по проведению и подготовке к практическим занятиям, структура и содержание практических занятий, приведены задачи и примеры их решения.

Пособие предназначено для студентов прикладного бакалавриата направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств всех форм обучения.

УДК 66.012:62 (076.5)

©Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1 Общие методические рекомендации по планированию, организации и проведению лабораторных работ и практических занятий	4
2 Методические указания к лабораторным работам. Структура и содержание лабораторных работ.	5
3 Методические указания к практическим занятиям. Структура и содержание практических занятий	37
4 Библиографический список	103

1. Общие методические рекомендации по планированию, организации и проведению лабораторных работ и практических занятий

Лабораторные работы и практические занятия проводятся в специализированных лабораториях и кабинетах. Продолжительность занятия – не менее 2 академических часов.

Основными структурными элементами лабораторной работы и практического занятия являются:

- вводная часть — преподаватель излагает тему, цели и задачи работы;
- проверка знаний студентов по теме занятия;
- рекомендации преподавателя по оптимизации выполнения работы;
- самостоятельная работа студентов по выполнению программы лабораторной работы или практического занятия;
- подведение итогов занятия, анализ полученных результатов.

При проведении лабораторной работы или практического занятия необходимо использовать настоящие методические рекомендации, учебную и справочную литературу, наглядные пособия, вычислительную технику.

Студент должен заранее подготовить формы отчета.

Отчет должен содержать:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Теоретические сведения.
4. Программу работы.
5. Выводы.
6. Литературу.

К лабораторным работам допускаются студенты прошедшие инструктаж по технике безопасности и имеющие соответствующую отметку в журнале инструктажа.

Каждый студент получает допуск к выполнению работы после проверки теоретических знаний (путем фронтального опроса или тестового контроля) и наличия форм отчета.

Работа выполняется бригадами по 2 - 3 человека, но отчеты пишутся каждым студентом самостоятельно.

Отчеты по лабораторным работам и практическим занятиям оформляются на листах формата А4 по ГОСТ 2.1 05-95.

После оформления отчет предъявляется преподавателю для

проверки и защиты. Все зачтенные отчеты брошюруются с оформлением титульного листа и предъявляются преподавателю на экзамене.

За выполненную работу студент получает оценку или зачет.

Пропущенные работы выполняются студентом во внеурочное время и по согласованию с преподавателем.

При наличии незачтенных лабораторных или практических работ студент не допускается к экзамену, как не выполнивший весь объем дисциплины.

2. Методические указания к лабораторным работам. Структура и содержание лабораторных работ

Лабораторные занятия наряду с лекцией, практическими занятиями, контрольной и самостоятельной работами, производственной (профессиональной) практикой, курсовым проектированием, выполнением дипломного проекта (работы) относятся к основным видам учебных занятий.

Выполнение студентами, лабораторных работ направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплины;
- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;
- развитие интеллектуальных умений при практической работе с профессиональным оборудованием;
- выработку таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

2.1. Лабораторные работы, их наименование и объем в часах

Наименование тем занятий	Кол-во часов
6 семестр	
1. Изучение программного комплекса «ТАУ2» на примерах моделирования элементов САУ	2
2. Исследование корректирующих элементов САУ	4
3. Исследование устойчивости автоматических систем регулирование	4
4. Определение качества работы автоматических систем регулирование	4
5. Исследование влияния законов регулирования и параметров регулятора на качество и устойчивость процесса регулирования	4

7 семестр	
6. Изучение программного комплекса «Моделирование в технических устройствах» на примерах моделирования отдельных элементов САУ	2
7. Исследование автоматической системы регулирования температуры	4
8. Исследование автоматической системы регулирования давления	4
9. Исследование автоматической системы регулирования уровня	4
10. Исследование автоматической системы регулирования релейного типа	4

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗУЧЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ТАУ2» НА ПРИМЕРАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ САУ

1.Цель работы

1.Приобретение навыков работы с моделирующим программным пакетом (ПП) ТАУ 2.

2.Ознакомление с основными этапами моделирования элементов и систем.

3.Определение общих методов представления результатов.

2. Назначение и работа с пакетом программ ТАУ 2

Пакет состоит из набора программ, позволяющих производить расчет:

- **Afh** - расчет частотных характеристик (АФХ, АЧХ и ФЧХ) по передаточной функции (с построением графиков);
- **AfhASR** - расчет частотных характеристик (АФХ, АЧХ и ФЧХ для замкнутой и разомкнутой систем) для АСР в целом по передаточным функциям регулятора и объекта управления (с построением графиков), а также расчет годографа Михайлова;
- **Laplas** - расчет переходных процессов по передаточной функции методом Лапласа;
- **Process** - расчет переходных процессов в АСР по передаточным функциям регулятора и объекта управления (с построением графиков);
- **Simou** - аппроксимация переходных кривых передаточными функциями по методу Симою (идентификация объекта по переходным

кривым);

- **Drazb** - расчет кривых D-разбиения с учетом заданной степени колебательности m , степени устойчивости и др. (с построением графиков);
- **Roots** - поиск корней полинома (до 10 степени), в том числе комплексных и кратных;
- **Complex** - комплексный калькулятор с памятью, позволяющий вводить собственные переменные.

Все программы обеспечивают копирование исходных данных и результатов расчетов, сохранение их в отдельных файлах, создание отчетов, добавление результатов в имеющиеся отчеты, печать на любом принтере, масштабирование графиков и т.д., что в свою очередь упрощает работу, как с поставленной задачей, так и с пакетом в целом.

Во всех программах передаточные функции объекта управления или отдельных звеньев должны быть приведены к виду:

$$W(s) = K \frac{b_0 + b_1 \cdot s + K + b_m \cdot s^m}{a_0 + a_1 \cdot s + K + a_n \cdot s^n} \cdot e^{-s \cdot \tau} = K \frac{B(s)}{A(s)} \cdot e^{-s \cdot \tau},$$

где **B(s)** - полином числителя степени m ;

A(s) - полином знаменателя (характеристический полином) степени n ;

K - коэффициент усиления;

τ - чистое (транспортное) запаздывание;

a_i, b_i - коэффициенты.

В большинстве программ коэффициенты **a_i, b_i** вводятся в память ПЭВМ, начиная с младших степеней s , т.е. $a_0, a_1, \dots, a_n$.

Передаточная функция типового ПИД-регулятора записывается следующим образом

$$W(s) = K_1 + \frac{K_0}{s} + K_2 \cdot s = \frac{K_0 + K_1 \cdot s + K_2 \cdot s^2}{s},$$

где K_1, K_0, K_2 - коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих ПИД-закона регулирования.

Приравняв нулю некоторые из коэффициентов, можно получить П, И, ПИ и ПД- регуляторы.

Связь с пользователем осуществляется в диалоговом интерактивном режиме или через систему меню (рисунки 1.1 -1.3).

В стартовом окне, в левой колонне, можно выбрать, объект исследования: *объект управления* (рисунок 1.1) с подпрограммами: идентификация объекта, переходные процессы, частотные

характеристики; *АСР* (рисунок 1.2 с подпрограммами: D-разбиение, переходные процессы, частотные характеристики), а так же запустить дополнительные программы для необходимых вычислений: *комплексный калькулятор* и *программу вычисления корней полинома* (рисунок 1.3).

ПП запускается командой **taustart.exe**.

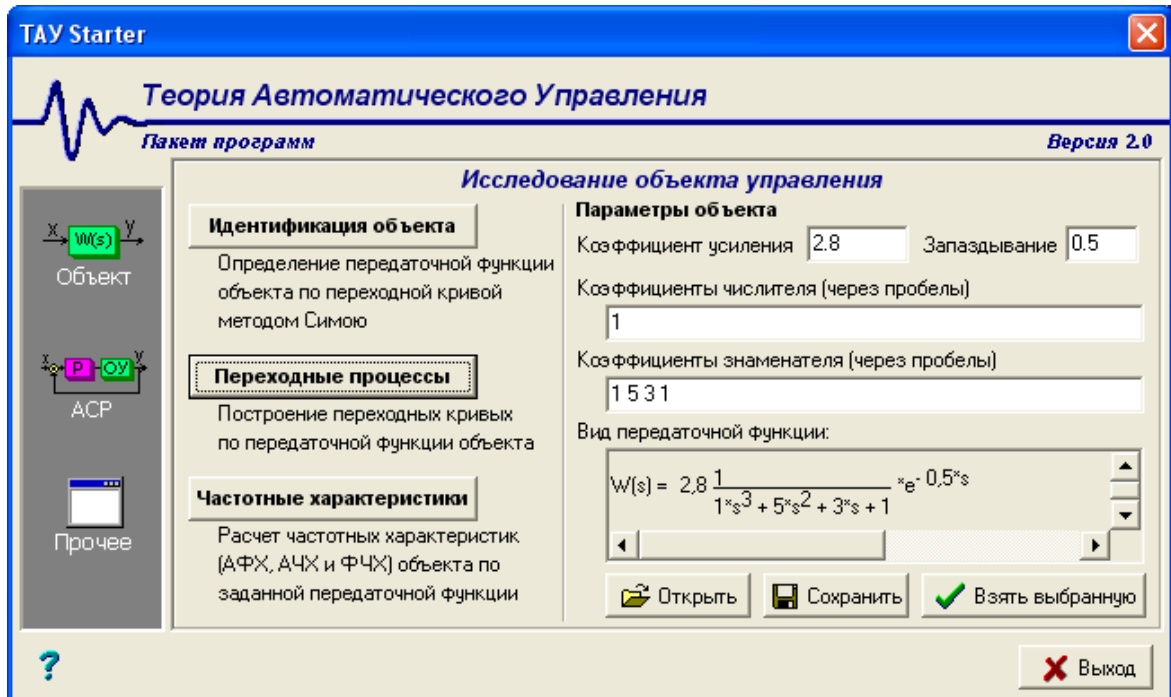


Рисунок 1.1 – Программное окно «Исследование объекта управления»

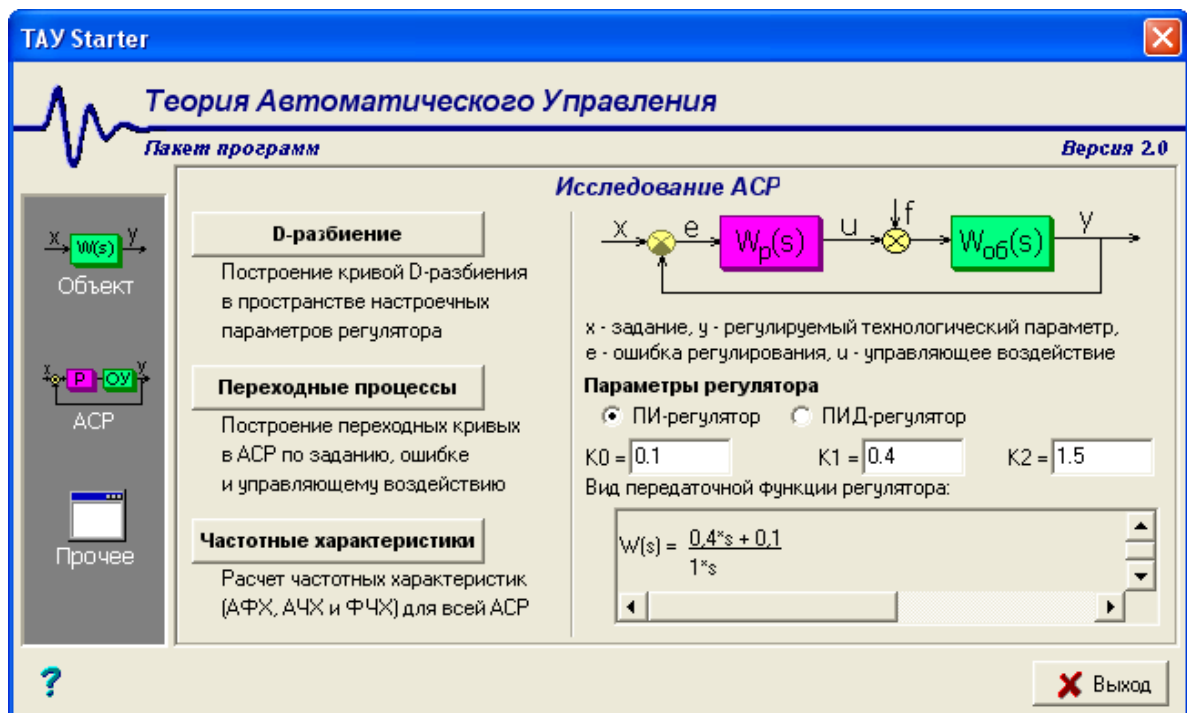


Рисунок 1.2 – Программное окно «Исследование АСР»

При запуске, например ПП «объект управления» - «исследование

объекта управления»; в правой части окна можно задать параметры объекта, такие как: коэффициент усиления, запаздывание, коэффициенты числителя и знаменателя, и в конечном итоге получить вид задаваемой передаточной функции.

При этом можно открыть имеющиеся передаточные функции, сохранить набранную или выйти из программы

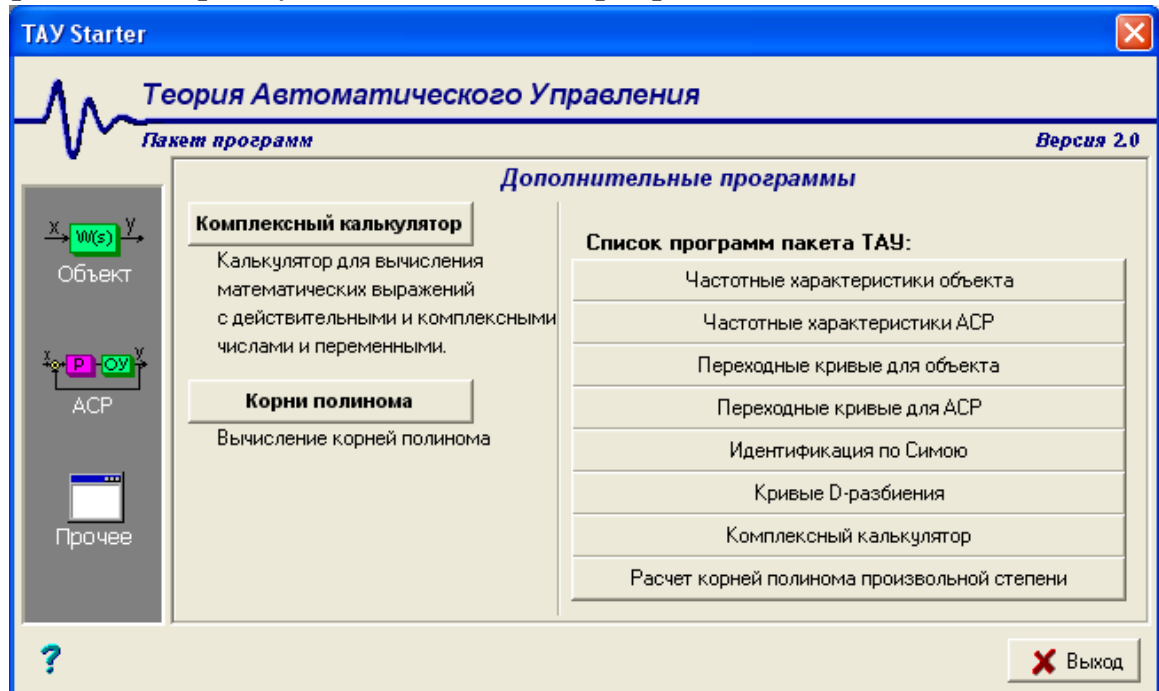


Рисунок 1.3 – Программное окно «Дополнительные программы»

Пример: Для расчета частотной характеристики заданной системы нажмем на кнопку «*Частотные характеристики*». Откроется окно с графиком *Амплитудно-фазо-частотной характеристики (АФЧ)* (рисунок 1.4).

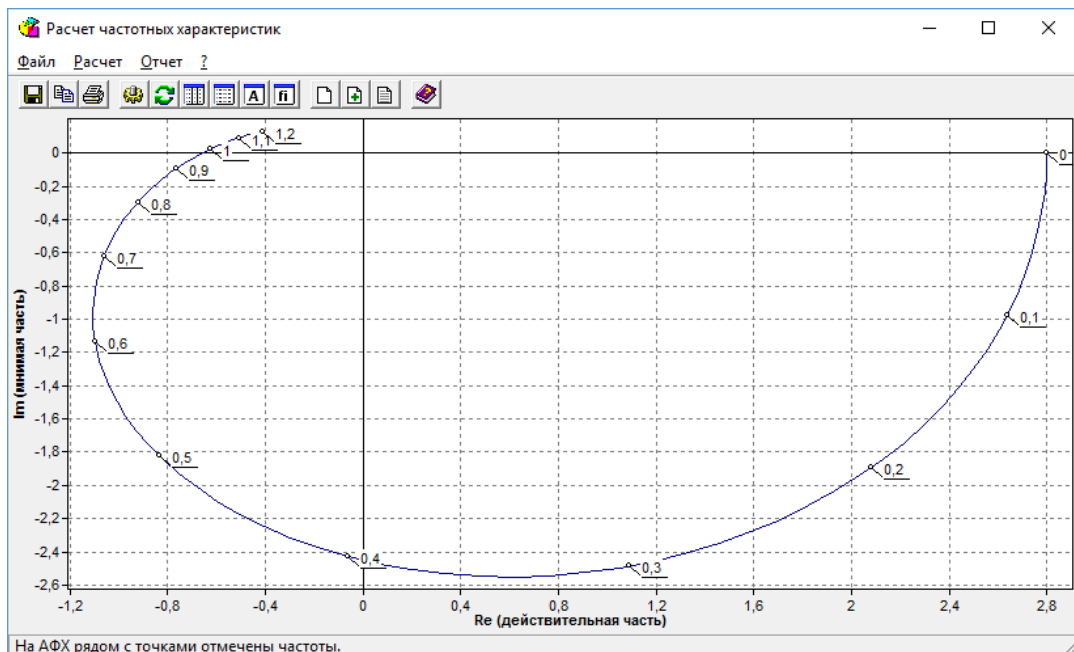


Рисунок 1.4 – Расчетный график АФЧХ

При нажатии на кнопку «*Отчет*» можно подробно

проанализировать этапы расчета: исходные данные, параметры расчета, результаты расчета, представленные в виде графиков и таблиц. Полученный отчет можно скопировать в документ, сохранить и распечатать.

3. Программа работы

1. Выяснить порядок запуска используемого ПП ТАУ 2.
2. Изучить основные этапы работы с программой.
3. Ознакомиться с программой «Исследование объекта управления».
4. Ознакомиться с программой «Исследование АСР».

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ САУ

1. Цель работы

1. Изучение понятия корректирующих элементов САУ.
2. Изучение роли корректирующих элементов в структуре САУ
3. Построение структурной схемы САУ с различными корректирующими элементами.

3. Теоретическая часть

Для улучшения показателей качества работы систем автоматики выполняют коррекцию, которая заключается в изменении параметров (коэффициента усиления, постоянных времени и др.) или структуры системы. Основными показателями качества являются точность и устойчивость. Простейшие способы повышения точности заключаются в увеличении коэффициента усиления (изменение параметра) или введении интегрирующего звена (изменение структуры). Корректирующий элемент включают в прямую цепь (последовательная коррекция) или вводят дополнительные обратные связи (параллельная коррекция).

Наиболее часто применяются последовательно включаемые корректирующие элементы, выполняющие операции интегрирования и дифференцирования. Достаточно просто эти операции приближенно

выполняются с помощью так называемых RC-цепочек.

На рисунке 2.1 показаны интегрирующее (а) и дифференцирующее (б) корректирующие звенья.

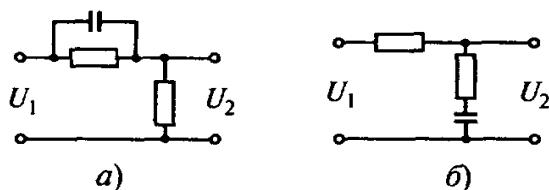


Рисунок 2.1 – Корректирующие RC - цепочки

Включая интегрирующее звено в схему АСР (рисунок 2.2) после элемента сравнения (ЭС), можно теоретически свести статическую ошибку системы автоматического регулирования к нулю. Использование дифференцирующего звена улучшает динамику работы системы,

позволяет ей быстрее реагировать на резкие изменения входных сигналов и возмущающих воздействий.

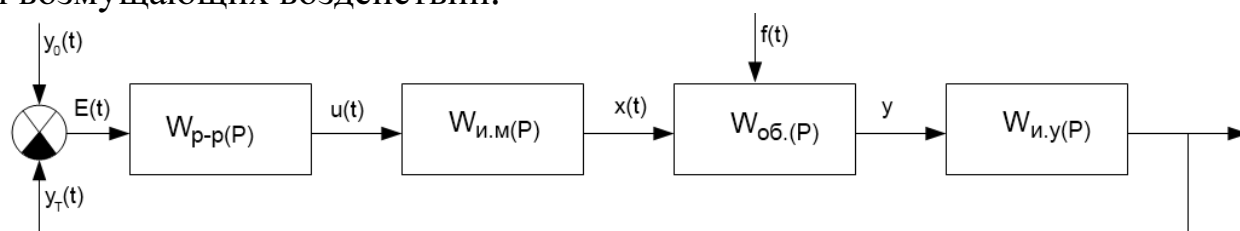


Рисунок 2.2 – Структурная схема системы автоматического регулирования

3.Программа работы

1.Исследовать характеристики (переходную, АЧХ, ФЧХ, АФХ) различных типов (П, И, Д) корректирующих элементов.

2. Построить характеристики корректирующих элементов при различных параметрах.

3. Изучить влияние различных элементов и их параметров на динамику АСР.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

1.Цель работы

1. Изучение понятия устойчивости АСР.
2. Определения устойчивости системы при различных законах и параметрах регулятора.

2.Теоретическая часть

Устойчивость АСР является основным показателем применимости её к выполнению задач управления. Если АСР не устойчива, то она не пригодна к использованию и, поэтому первоначально необходимо решить вопрос о достижении ею устойчивого состояния.

Устойчивость АСР определяют по алгебраическим, логарифмическим, или частотным критериям: корневой критерий, критерий Найквиста, критерий Михайлова критерий Гурвица и др. Кроме того, система должна обладать достаточным запасом устойчивости по модулю и по фазе. Это необходимо для того, чтобы компенсировать неточности расчёта АСР т.к. зачастую, параметры объекта регулирования определены с ошибкой или изменяются во времени.

На стадии расчёта также необходимо оценить реакцию АСР на возможные вариации её параметров.

Следовательно, одной из важнейших характеристик АСР является ее устойчивость.

Устойчивость АСР – свойство системы регулирования возвращаться в состояние равновесия после прекращения изменения возмущающего воздействия, выведшего систему из этого состояния.

Неустойчивая АСР не возвращается в состояние равновесия, а непрерывно удаляется от него.

Проявлением, по которому можно судить об устойчивости или неустойчивости системы, является характер изменения ее сигналов во времени, например, регулируемой величины $x(t)$. Если регулируемая величина $x(t)$ после прекращения изменения, например, задающего воздействия $x_z(t)$ становится с течением времени постоянной (рисунок 1, а), то система ведет себя *устойчиво*. Если же управляемая величина $x(t)$ – возрастает, то система ведет себя *неустойчиво* (рисунок 1, б).

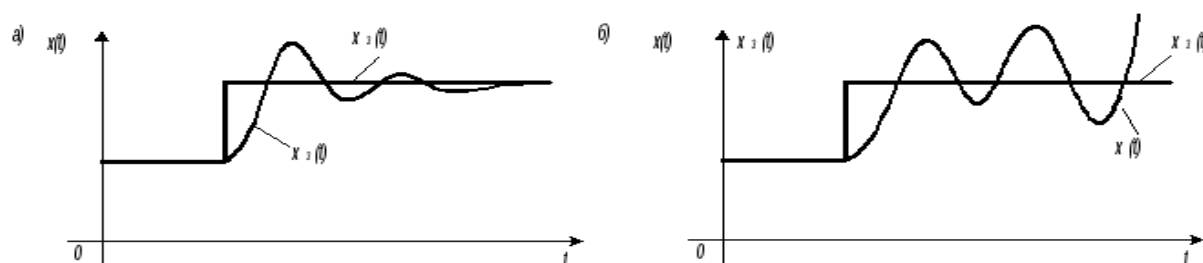


Рисунок 3.1 – Графики переходного процесса в АСР:

а– устойчивая АСР; б– неустойчивая АСР

Для устойчивости линейной автоматической системы управления необходимо и достаточно, чтобы действительные части всех характеристических уравнений системы были отрицательными. При этом действительные корни рассматриваются как частный случай комплексных корней, у которых мнимая часть равно 0. Если хотя бы один корень имеет положительную часть, то система будет неустойчивой.

Устойчивость автоматической системы регулирования зависит только от вида корней характеристического уравнения и не зависит от характера внешних воздействий на систему.

На практике нахождение корней характеристического уравнения оказывается достаточно сложным из-за того, что реально системы чаще всего описываются дифференциальным уравнением высокого порядка. Для удобства исследования таких систем разработаны так называемые критерии устойчивости, позволяющие оценить устойчивость системы по некоторым другим признакам, определение которых оказывается проще, чем нахождение корней характеристического уравнения. Для системы описываемых дифференциальным уравнением первого и второго порядка условие положительности всех коэффициентов характеристического уравнения является необходимым и достаточным.

По критерию Гурвица необходимым и достаточным условием устойчивости системы описываемой характеристическим уравнением:

$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_n p = 0$, является положительность всех определителей: $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n > 0$, при условии, что $a_0 > 0$.

3. Программа работы

1. Используя критерий Гурвица определить предельное значение коэффициента настройки П-регулятора (K_{pp}), при котором АСР (рисунок 3.2) будет находится на границе устойчивости.

2. Используя подпрограмму «исследование АСР» построить переходные характеристики при различных параметрах настройки регулятора для устойчивой, неустойчивой и нейтральной систем.

3. Изучить влияние различных значений параметров настройки на динамику АСР.

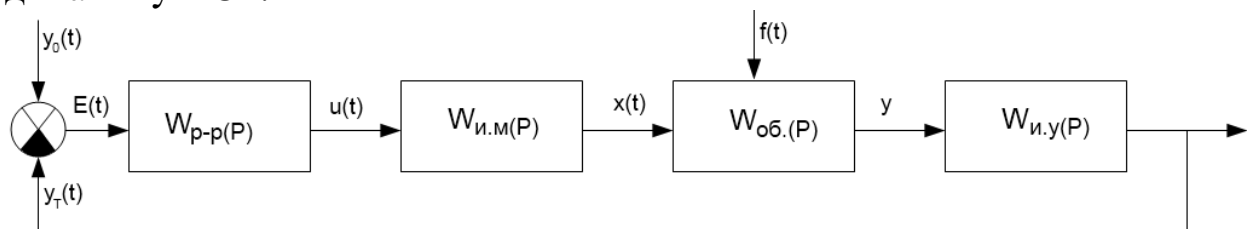


Рисунок 3.2 – Структурная схема АСР

Исходные характеристики элементов АСР.

$W_{и.у.}(p) = \frac{K_{и.у.}}{T_{и.у.}p + 1}$ - передаточная функция измерительного устройства.

$W_{об.}(p) = \frac{K_{об.}}{T_{об.}p + 1}$ - передаточная функция объекта управления.

$W_{и.м.}(p) = \frac{K_{и.м.}}{T_{и.м.}p + 1}$ - передаточная функция исполнительного механизма.

$W_{pp.}(p) = K_{pp}$ - передаточная функция П-регулятора.

Исходные данные для расчета примера.

$K_{и.у.} = 0,75$; $T_{и.у.} = 7$; $K_{об.} = 3$; $T_{об.} = 28$; $K_{и.м.} = 1,5$; $T_{и.м.} = 14$.

Для самостоятельной работы студентам задаются различные значения параметров системы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

1. Цель работы

1. Изучение понятия качества работы АСР.
2. Определения качества системы регулирования при различных законах и параметрах регулятора.

2. Теоретическая часть

К АСР предъявляются требования не только устойчивости процессов регулирования. Для работоспособности системы не менее необходимо, чтобы процесс автоматического регулирования осуществлялся при обеспечении определенных показателей качества процесса управления.

Качество является одной из важнейших характеристик, определяющих эффективность автоматических систем регулирования. Чтобы управлять качеством сложных технических систем, необходимо установить уровень качества и уметь его измерять.

На АСР воздействуют два типа внешних сигналов:

- 1) задающее воздействие $y_z(t)$;
- 2) возмущающие воздействия f_1 (внутреннее возмущение) и f_2 (внешнее возмущение).

Качество регулирования численно может быть охарактеризовано прямыми показателями качества, которые можно определить непосредственно из кривых переходных процессов АСР (рисунок 4.1).

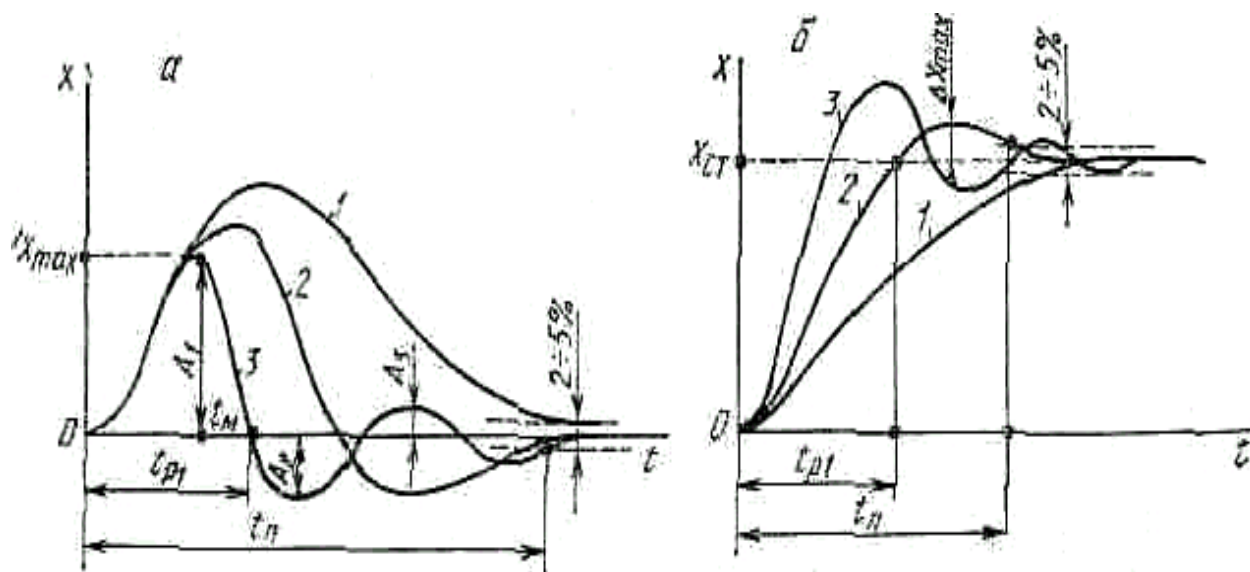


Рисунок 4.1 - Переходные характеристики АСР при отработке внутреннего возмущения (а) и скачкообразном изменении задания (б)

Качество работы АСР принято оценивать по форме кривой переходного процесса.

Прямые показатели качества переходных процессов.

Время переходного процесса или **полное время регулирования t_m** — характеризует быстродействие системы и определяется как интервал времени от начала переходного процесса до момента, когда отклонение выходной величины от ее нового установившегося значения становится меньше определенной достаточно малой величины (2—5 % максимального отклонения в переходный период).

Статическая ошибка регулирования — отклонение регулируемой величины от заданного значения по окончании переходного процесса.

Динамическая ошибка регулирования — величина наибольшего отклонения регулируемого параметра от заданного значения (кроме начального отклонения).

Максимальное отклонение в переходный период для переходных процессов, вызванных возмущением (рисунок 4.1,а), определяется величиной $\Delta 1$, приходящейся на единицу возмущения $f_1(t) = 1(t)$. При отработке задающего воздействия (рисунок 4.1,б) максимальное отклонение, вычисленное относительно нового установившегося значения $Y_{ст}$, пропорционального или равного заданному воздействию $Y_{зд}$,

$$\sigma = \frac{\Delta Y_{\max} - Y_{\text{сст}}}{Y_{\text{сст}}} \cdot 100\%, \text{ называется перерегулированием.}$$

Колебательность переходного процесса обычно определяется числом колебаний, равным числу минимумов кривой переходного процесса в интервале $[0, t_n]$ при ликвидации возмущения, или в случае отработки задания — числом перерегулирований за этот же интервал. Иногда колебательность переходного процесса оценивают отношением соседних максимумов A_2/A_1 . Эта величина называется колебательностью и выражается в процентах. Колебательность переходного процесса может характеризоваться величиной степени затухания ψ .

Степенью затухания называется отношение разности двух соседних положительных максимумов переходного процесса к первому из соседних максимумов: $\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = 1 - \frac{A_3}{A_1}$

На практике качество регулирования определяется визуально по графику переходной характеристики (рисунок 4.1). Это максимальное отклонение регулируемой величины — $Y_{\max}$; установившееся значение переменной величины — $Y_{уст}$; величины амплитуд A_1, A_2, A_3 ; отклонения установившейся величины — $E_{ст}$; статическая ошибка регулирования — Δ , время регулирования — t_p и т.п.

3.Программа работы

1. Используя критерий Гурвица определить предельное значение коэффициента настройки П-регулятора ($K_{пр}$), при котором АСР (рисунок 4.2) будет устойчивой.

2. Используя подпрограмму «исследование АСР» построить переходные характеристики при различных параметрах настройки регулятора для устойчивой системы.

3. Изучить влияние различных значений параметров настройки на

качество работы АСР.

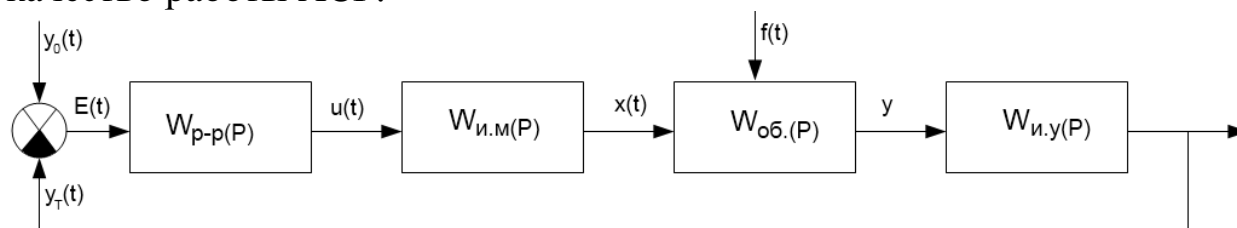


Рисунок 4.2 – Структурная схема АСР

Исходные характеристики элементов АСР.

$W_{и.у.}(p) = \frac{K_{и.у.}}{T_{и.у.}p+1}$ - передаточная функция измерительного устройства.

$W_{об.}(p) = \frac{K_{об.}}{T_{об.}p+1}$ - передаточная функция объекта управления.

$W_{и.м.}(p) = \frac{K_{и.м.}}{T_{и.м.}p+1}$ - передаточная функция исполнительного механизма.

$W_{pp.}(p) = Kpp$ - передаточная функция П-регулятора.

Исходные данные для расчета примера.

$$K_{и.у.} = 0,75 \quad T_{и.у.} = 7$$

$$K_{об.} = 3 \quad T_{об.} = 28$$

$$K_{и.м.} = 1,5 \quad T_{и.м.} = 14$$

Для самостоятельной работы студентам задаются различные значения параметров.

При выполнении лабораторной работы могут быть использованы результаты расчетов параметра настройки регулятора из области устойчивости системы, найденные при выполнении лабораторной работы №3.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА НА КАЧЕСТВО И УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ

1.Цель работы

1. Изучение влияния законов регулирования и параметров регулятора на качество АСР.
2. Изучение влияния законов регулирования и параметров регулятора на устойчивость АСР.

2.Теоретическая часть

Пропорциональный (П) регулятор

По динамическим характеристикам П-регулятор является

безинерционным звеном, коэффициент передачи которого K_p численно равен перемещению РО при единичном отклонении регулируемой величины от заданного значения, т. е. и $U(t) = K_p \varepsilon(t)$, а передаточная функция имеет вид

$$W(p) = K_p,$$

где K_p — коэффициент передачи.

Главным достоинством П-регуляторов является простота их реализации и настройки. При наличии возмущающих воздействий регулятор быстро приводит в равновесное состояние (в основном) любой объект. При этом в них положение РО однозначно связано с отклонением регулируемого параметра от заданного значения, что обуславливает статическую ошибку — основной недостаток П-регуляторов.

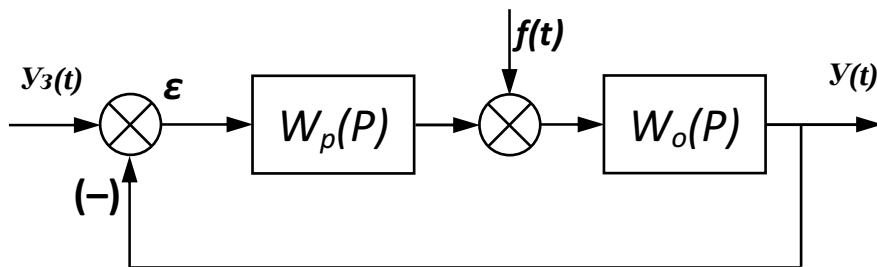


Рисунок 5.1-Структурная схема замкнутой АСР

С изменением K_p изменяются динамические свойства и характеристики замкнутой АСР. Если $K_p=0$, т.е. обратная связь разорвана, то при ступенчатом изменении $f(t)$ регулируемая величина будет изменяться по кривой, соответствующей разгонной характеристике объекта (рисунок 5.2).

При увеличении коэффициента усиления регулятора переходный процесс регулируемой величины приобретает колебательный характер, но после окончания переходного процесса регулируемая величина всегда не равна заданной - существует некоторая ошибка ($\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$), называемая статической ошибкой регулирования.

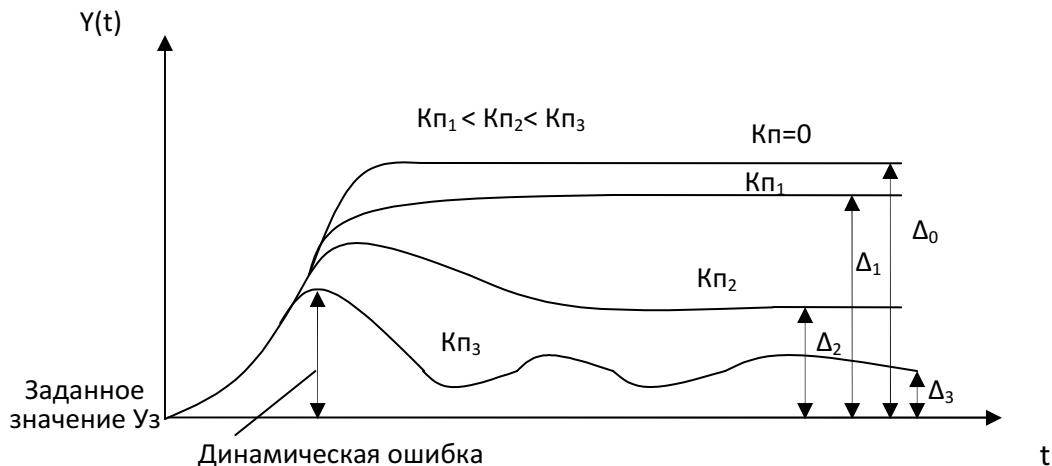


Рисунок 5.2 – Переходные процессы в замкнутой системе с П-регулятором

Управляющее воздействие в таком регуляторе возможно только за счет отклонения регулируемой величины, которое и образует статическую ошибку.

Однако в системах с П-регулятором благодаря его безинерционности обеспечивается незначительное отклонение регулируемой величины в начале переходного процесса (динамическая ошибка). Другими словами П-регулятор может обеспечить незначительные динамические ошибки при наличии статической ошибки.

Избавиться от статической ошибки можно, используя регулятор, обладающий свойствами интегрирующего звена- интегральный регулятор.

Интегральный (И) регулятор

И-регулятор реализует интегральный закон регулирования когда скорость перемещения регулирующего органа (управляющее воздействие) пропорциональна отклонению регулируемой величины от ее заданного значения (пропорциональна рассогласованию).

Динамические характеристики И-регулятора однозначно соответствуют характеристикам интегрирующего звена. Поэтому угол наклона временной характеристики регулятора пропорционален возмущению. Коэффициент пропорциональности И-регулятора $K_i = \tan \alpha$, где α - угол наклона временной характеристики регулятора.

Передаточная функция И-регулятора имеет вид

$$W(p) = \frac{K_i}{T_i p},$$

где T_i — постоянная величина интегрирования (постоянная изодрома), равная времени, в течение которого выходной сигнал регулятора достигает значения входного сигнала.

Коэффициент K_i - единственный параметр настройки И-регулятора. Если $K_i \neq 0$, то даже при незначительных отклонениях регулируемой величины сигнал на выходе регулятора со временем может достичь любого значения. Поэтому И-регулятор будет перемещать регулируемый орган системы регулирования до тех пор, пока отклонение регулируемой величины не станет равным нулю.

И-регулятор обеспечивает устойчивую работу только на объектах с самовыравниванием. При установке И-регулятора на объекте без самовыравнивания переходный процесс будет иметь вид незатухающих периодических колебаний.

На объектах с самовыравниванием И-регуляторы обеспечивают устойчивую работу, однако системы с И-регулятором всегда более склонны к колебательным переходным процессам.

И-регулятор не имеет статической ошибки регулирования, поскольку выход регулятора будет расти при любом малом значении

рассогласования. Т.о., в отличие от АСР с П-регулятором система с И-регулятором не имеет статической ошибки, но динамическая ошибка в этих системах большая. И-регулятор не успевает из-за своих инерционных свойств выработать значительный выходной сигнал.

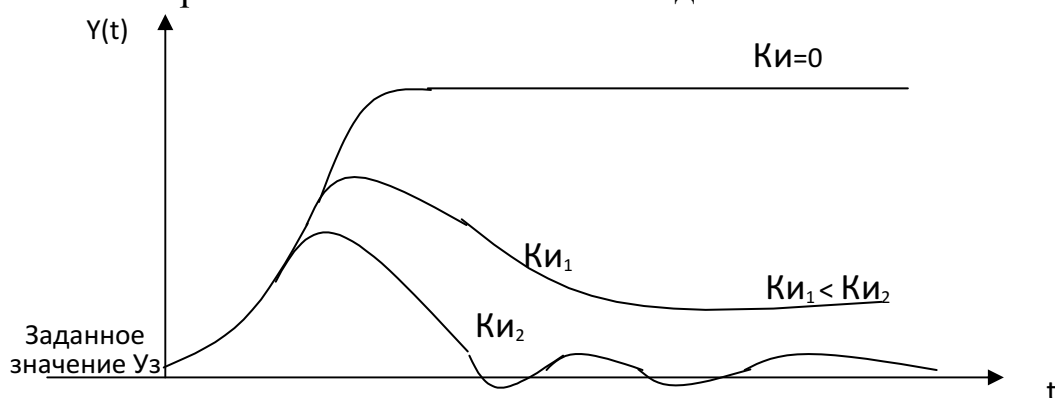


Рисунок 5.3 – Переходные процессы в замкнутой системе с И-регулятором

Достоинства обоих регуляторов (быстродействие и точность) сочетает в себе ПИ-регулятор.

Пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор

Пропорционально интегральный регулятор реализует ПИ-закон регулирования, когда диапазон и скорость перемещения регулирующего органа пропорциональны отклонению регулируемой величины от ее заданного значения.

Динамические характеристики ПИ-регулятора однозначно соответствуют характеристикам параллельного соединения безинерционного и интегрирующего звеньев.

ПИ (изодромные) регуляторы сочетают преимущества П- и И-регуляторов и обеспечивают устойчивое регулирование (без статической ошибки) большинства объектов. Устойчивость и простота регулирования обеспечили этому типу регуляторов широкое применение в промышленности.

ПИ-регулятор можно описать параллельным соединением пропорционального и интегрирующего или последовательным соединением интегрирующего и форсирующего звеньев.

В изодромном регуляторе после скачкообразного изменения сигнала рассогласования регулирующий орган под воздействием пропорциональной составляющей мгновенно переходит в новое положение, определяемое произведением $K_p \cdot \varepsilon(\infty)$, а затем под воздействием интегральной составляющей перемещается с постоянной скоростью $K_i \cdot \varepsilon(\infty) / T_i$.

С ростом T_i влияние интегральной составляющей на процесс регулирования уменьшается. Передаточная функция ПИ-регулятора имеет вид

$$W_p(p) = k_n + \frac{k_i}{p}$$

Сочетание свойств П и И регуляторов обеспечивает более высокое качество регулирования. Система с ПИ-регулятором не имеет статической ошибки, а динамическая ошибка меньше, чем в системах с И-регулятором. Кроме того, ПИ-регулятор обеспечивает устойчивую работу на объектах без самовыравнивания, т.к. пропорциональная составляющая, охватывающая объект обратной связью, создает эффект самовыравнивания.

Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор

По динамическим свойствам ПИД-регуляторы воздействуют на объект пропорционально отклонению регулируемой величины, интегралу от этого отклонения и скорости изменения регулируемой величины.

ПИД-регуляторы — это изодромные регуляторы с предварением, т. е. они реагируют не только на отклонение регулируемой величины от заданной, но и на тенденцию ее изменения. Структурно ПИД-регулятор можно представить как систему из 3-х параллельно включенных безинерционного, интегрирующего и дифференцирующего звеньев. Передаточная функция ПИД-регулятора имеет вид

$$W_p(p) = k_n + \frac{k_i}{p} + k_d p,$$

где K_d — постоянная предварения.

ПИД-регулятор при скачкообразном изменении регулируемой величины в начальный момент времени оказывает мгновенное бесконечно большое по амплитуде воздействие на объект, затем величина воздействия уменьшается до значения, определяемого пропорциональной частью регулятора. Далее ПИД-регулятор по механизму воздействия на объект реализует функцию ПИ-регулятора. Наличие дифференцирующей составляющей улучшает эффект регулирования при действии на объект значительных переменных воздействий (нагрузок).

В системах автоматического регулирования в качестве исполнительных механизмов широко используют электрические двигатели, которые можно рассматривать как интегрирующее звено. Для формирования П-регулятора электрический двигатель с усилителем охватывают жесткой обратной связью — безинерционным звеном. При этом параметром настройки регулятора является коэффициент передачи устройства обратной связи.

ПИД-регулятор формируют, усложняя ПИ-регулятор специальным устройством — дифференциатором.

Таким образом, введение в закон управления интегрирующей

составляющей может сделать устойчивую систему неустойчивой, а введение дифференцирующего члена может сделать неустойчивую систему устойчивой.

Введение в закон управления дифференцирующего члена улучшает качество системы в переходном режиме. На качество системы в установившемся режиме (при постоянных внешних воздействиях) он никакого влияния не оказывает.

3.Программа работы

1. Используя подпрограмму **«исследование АСР** построить переходные характеристики в АСР при различных законах и параметрах настройки регулятора.

2. Изучить влияние изменения параметров настройки регулятора на качество работы АСР.

3. Изучить влияние изменения параметров настройки регулятора на устойчивость работы АСР.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИЗУЧЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ» НА ПРИМЕРАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ САУ

1.Цель работы

1.Приобретение навыков работы с моделирующим программным комплексом (ПК) **«Моделирование в технических устройствах (МВТУ)»**.

2.Знакомство с интерфейсом ПК «МВТУ».

3.Определение общих методов представления результатов.

2.Теоретическая часть

Принцип моделирования в ПК "МВТУ" состоит в создании и исследовании виртуального аналога реальной системы – модели. Модель функционирует в соответствии с теми же уравнениями, что и моделируемая система. Модель составляется пользователем в специальном окне программы соединением отдельных виртуальных блоков, соответствующих элементам реальной системы.

Виртуальные блоки условно внешне представляются на рабочем пространстве окна модели прямоугольниками, т.е. они видимы исследователю, имеют входы и (или) выходы и функционируют в соответствии с определенными уравнениями, алгоритм решения которых реализуется в цифровом виде. Под функционированием виртуального блока понимается то, что он реагирует на виртуальные воздействия (функции времени), подаваемые другими блоками на его вход, определенным изменением величины выходного сигнала.

Взаимодействие между блоками условно отображается на рабочем пространстве окна модели в виде соединительных линий. Соединительные

линии в ПК «МВТУ», как и блоки, являются однонаправленными, передают виртуальные воздействия только в одном направлении.

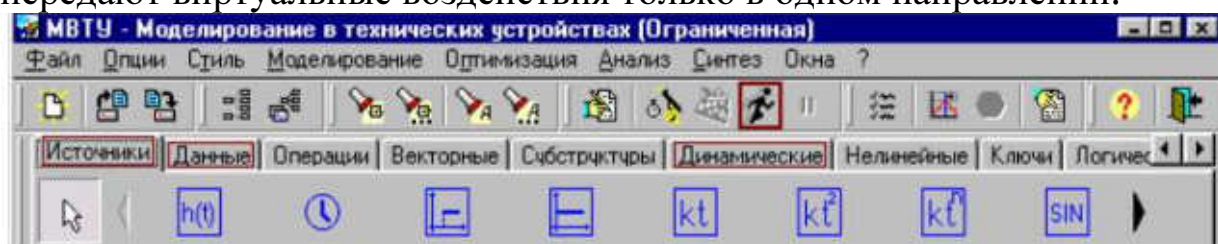


Рисунок 6.1 – Основная панель ПК «МВТУ»

Программный комплекс «МВТУ» использует развитый графический интерфейс, позволяющий основную часть создания модели выполнить с помощью мыши, а параметры элементов ввести с клавиатуры. Интерфейс ПК «МВТУ» состоит из основной панели (главного окна), имеющей меню и ряд кнопок управления, воспринимающих щелчки копков мыши, и совокупности окон, в которых строится модель и наблюдаются результаты ее работы.

На рисунке 6.1 выделены кнопка Пуск (Продолжить расчет) и три важных вкладки палитры блоков с наборами элементов (виртуальных блоков), которые будут использоваться при моделировании: Источники сигналов (генераторы) – вкладка открыта, Данные (индикаторы и регистраторы) и Динамические блоки (элементы линейных систем и систем в целом). Верхняя часть главного окна – панель управления. Она содержит меню и кнопки управления и настройки. Нижняя часть главного окна это т.н. Палитра блоков – структурированный набор вкладок, содержащих образцы моделей различных элементов, которые могут быть вынесены в окно модели (схемное окно). При необходимости палитра блоков может быть перенесена на другое место или вовсе удалена с экрана для освобождения места для схемы модели, индикаторов и др.

Основные элементы модели.

Генераторы сигналов размещены на вкладке «Источники» основной панели.



Рисунок 6.2 – Общий вид набора виртуальных генераторов, имеющих на вкладке «Источники»

Важными источниками сигналов являются генераторы ступенчатого и синусоидального сигналов. Кнопка со стрелкой «вправо» позволяет посмотреть и другие источники сигналов.

Элементы линейных систем. Блоки, моделирующие элементы линейных систем и объектов различной сложности помещены на вкладке Динамические.



Рисунок 6.3 – Общий вид моделей элементов линейных систем, имеющих на вкладке «Динамические»

Индикаторы и регистраторы.



Рисунок 6.4 – Общий вид панели регистратора «Данные»

Важный регистратор – виртуальный осциллограф (блок Временной график). Также программа позволяет создавать и собственные варианты индикаторов с помощью инструментов, расположенных на вкладке Анимация (в правой части Палитры).

Соединительные линии позволяют отобразить взаимодействие между отдельными элементами реальной системы. В ПК "МВТУ" соединительные линии однонаправленные: они передают виртуальные сигналы с выходов блоков на их входы. Это означает, что в моделируемых системах последующие блоки не должны влиять на работу предыдущих блоков. Такое требование следует выполнить при составлении функциональной схемы моделируемой системы, должным образом выделяя ее функциональные элементы. Линии проводятся от одного блока модели к другому с помощью мыши. Пример соединительных линий можно видеть в левом нижнем окне модели рисунка 6.5.

На рисунке 6.5 показана простая модель, состоящая всего из одного блока – апериодического звена и результаты его исследования, состоявшего в определении реакции этого звена на ступенчатое воздействие, так называемой переходной функции.

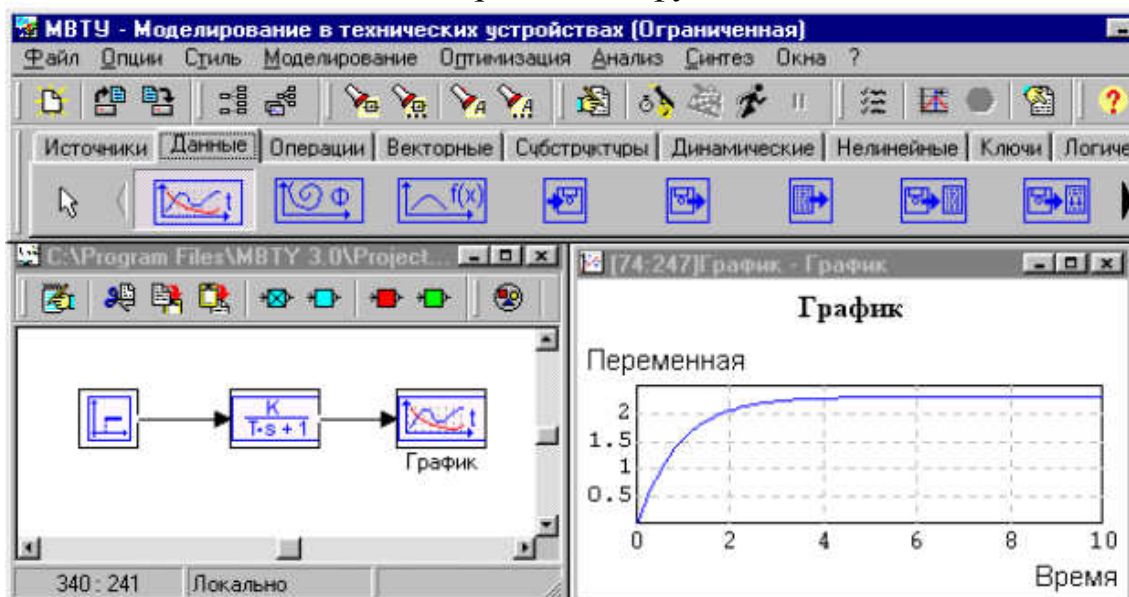


Рисунок 6.5 – Общий вид простой модели

На левое нижнее окно модели вынесены генератор ступенчатого сигнала, апериодическое звено, осциллограф и соединены друг с другом. При запуске модели, нажатием на кнопку Пуск (Продолжить расчет CTRL+ F9), на осциллографе появляется график реакции звена на ступенчатое воздействие – его переходная функция. Виртуальный генератор в нулевой момент времени подает на вход апериодического звена ступенчатое единичное воздействие, на которое звено откликается все замедляющимся ростом выходного сигнала. Осциллограф позволяет увидеть изменение выходного сигнала звена с течением времени и проанализировать его.

Поясняющие надписи, сопровождающие модели, позволяют облегчить ее восприятие и работу с ней. В пояснении нужно указать кто, когда и какую модель создал. В "MBTY" можно создавать пояснения двух видов: заметку, текст которой виден вместе с блоками модели и комментарий, текст которого открывается в отдельном окне, при двукратном щелчке по квадратному блоку со знаком вопроса. Блоки заметки (без обозначения) и комментария (квадрат со знаком вопроса) «затерялись» в правой части вкладки «Субструктуры» (рисунок 6.6). Внизу показано окно просмотра и редактирования комментария.

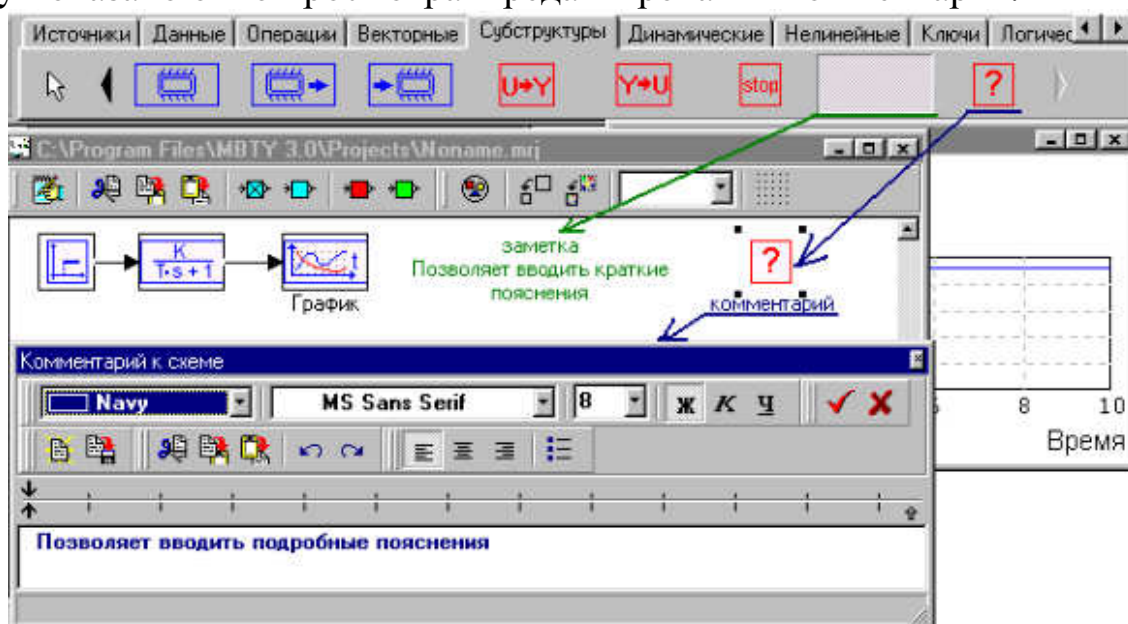


Рисунок 6.6 – Общий вид рабочего пространства окна модели с вкладки «Субструктуры»

Пример: Создание и исследование простейшей виртуальной модели (исследование апериодического звена).

1. Выбрать в главном меню Файл -> Создать или щелкнуть по соответствующей иконке основной панели. Ниже основного окна появится окно модели C:\ProgramFiles\MBTY 3.0\Projects\Noname.mrj.

2. Поместить на рабочее пространство окна модели блоки генератора ступенчатого сигнала с вкладки Источники, апериодического звена с

вкладки Динамические, осциллографа (Временной график) с вкладки Данные. Для помещения блока следует щелкнуть по его обозначению на вкладке палитры, перенести курсор на нужное место рабочего пространства окна модели и вновь щелкнуть левой кнопкой.

3. Выводить расположение блоков и соединить их. Соединение блоков требует определенной сноровки и навыка. Для соединения нужно щелкать на выходе одного блока, курсор принимает вид прицела, и при отпущенной кнопке мыши перемещать курсор к входу другого блока, где вновь щелкать левой кнопкой. Если соединительная линия не удалась, то ее можно удалить, щелкнув по ней правой клавишей и выбрав пункт меню «Удалить линию в связи».

4. Дважды щелкнуть по блоку осциллографа (График), его появившееся окно переместить на свободное место вправо и подравнять размеры и расположение окон (рисунок 6.7).

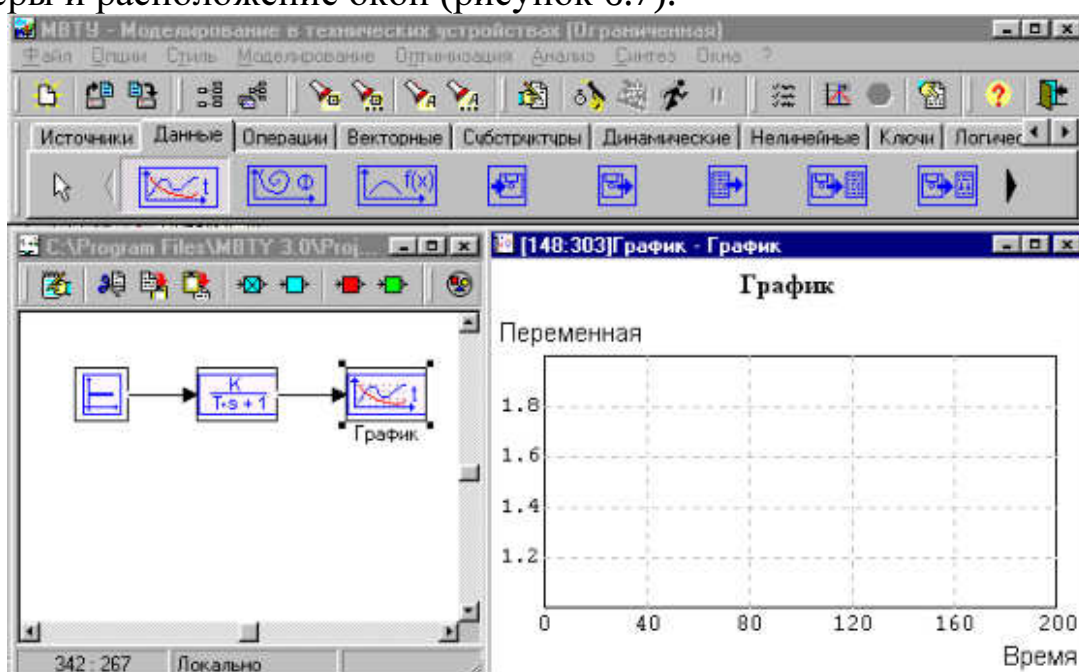


Рисунок 6.7 – Размещение окна виртуального осциллографа

Задание свойств блока апериодического звена. Передаточная функция апериодического звена имеет вид:

$$W(s) = \frac{k}{pT + 1}$$

где k – коэффициент усиления звена; T – постоянная времени звена.

Щелкнуть правой клавишей по апериодическому звену в окне модели, в появившемся меню выбрать Свойства. В появившемся окне ввести значение коэффициента усиления равного 2.3 и значение постоянной времени звена равной 0.9 сек (рисунок 6.8) и щелкнуть по кнопке «Да».

5. Запуск программы на счет: Щелкнуть по кнопке «Пуск» (Продолжить расчет Ctrl+F9) на основной панели. На вход

апериодического звена будет подан ступенчатый виртуальный сигнал, на который блок отреагирует постепенным, все более медленным возрастанием сигнала до его устанавливающегося значения. Отметим, что появится окно с предупреждением о том, что заданная точность не обеспечивается. Но это предупреждение относится только к первому шагу интегрирования, поэтому его окно следует просто закрыть и можно анализировать полученную переходную характеристику.

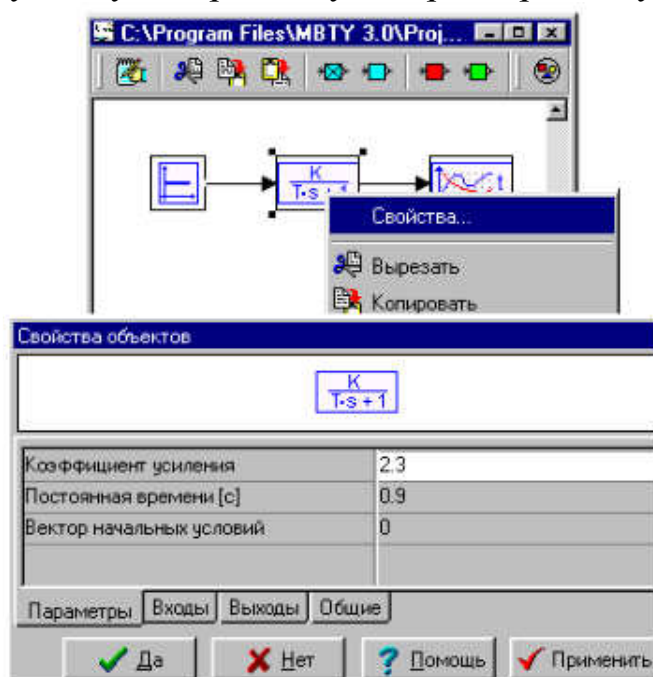


Рисунок 6.8 – Задание коэффициента усиления и постоянной времени исследуемого апериодического звена

6. Переходная функция апериодического звена имеет вид:

$$h(t) = k \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

Переходная функция апериодического звена с течением времени стремится к значению его коэффициента усиления, а касательная, проведенная в нулевой момент времени к кривой переходного процесса, пересекает уровень стабилизации сигнала в момент времени, равный постоянной времени звена. Это позволяет определять параметры апериодического звена по его известной переходной характеристике. Меняя коэффициент усиления и постоянную времени звена, снять параметры апериодического звена.

3. Программа работы.

1. Ознакомление с основной панелью ПК;
2. Изучение основных элементов, позволяющих создавать модель и управлять ею;
3. Создание и исследование простейшей виртуальной модели.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

1. Цель работы

1. Изучение принципов построения и моделирования автоматической системы регулирования температуры с использованием ПК «Моделирование в технических устройствах».

2. Исследование автоматической системы регулирования температуры с использованием ПК «Моделирование в технических устройствах».

2. Теоретическая часть

Для создания системы регулирования необходимо представить и отобразить весь принцип работы, входящих в нее компонентов, с помощью структурной схемы.

АСР температуры состоит из объекта управления, представленного передаточной функцией $W_{oy}(p)$. В систему регулирования так же входят измерительный преобразователь температуры $W_{из}(p)$, исполнительный механизм $W_{им}(p)$, и регулятор $W_{р-р}(p)$, описывающий один из законов регулирования, необходимый для поддержания температуры.

Структурная схема АСР отображена на рисунке 7.1.

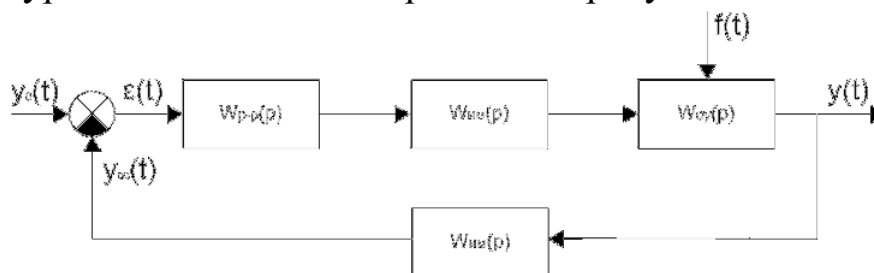


Рисунок 7.1 – Структурная схема АСР температуры

Для определения оптимальных настроек регулятора применяют метод незатухающих колебаний Циглера-Никольса. Метод заключается в исследовании системы, состоящей из П-регулятора и заданного объекта регулирования. Коэффициент передачи П-регулятора увеличивается до тех пор, пока на выходе системы не установятся колебания с постоянной амплитудой колебаний, то есть система не окажется на границе устойчивости. Фиксируется и обозначается через k^* значение коэффициента передачи регулятора, при котором система находится на границе устойчивости. Измеряется период T^* установившихся в системе колебаний.

Значения параметров регулятора выбранного типа рассчитываются по формулам, приведенным в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Параметры типовых регуляторов

	k_n	k_u	k_d
П-регулятор	$0,5 k^*$	-	-
ПИ-регулятор	$0,45 k^*$	$0,54 k^*/T^*$	-
ПИД-регулятор	$0,6 k^*$	$1,2 k^*/T^*$	$0,075 k^* T^*$

Пример выполнения работы.

Для исследования АСР необходимо создать структурную схему в МВТУ. Ввести необходимые передаточные функции и параметры каждого элемента АСР. Необходимо проследить, чтобы в параметрах устройства сравнения стояли значения, описывающие отрицательную обратную связь.

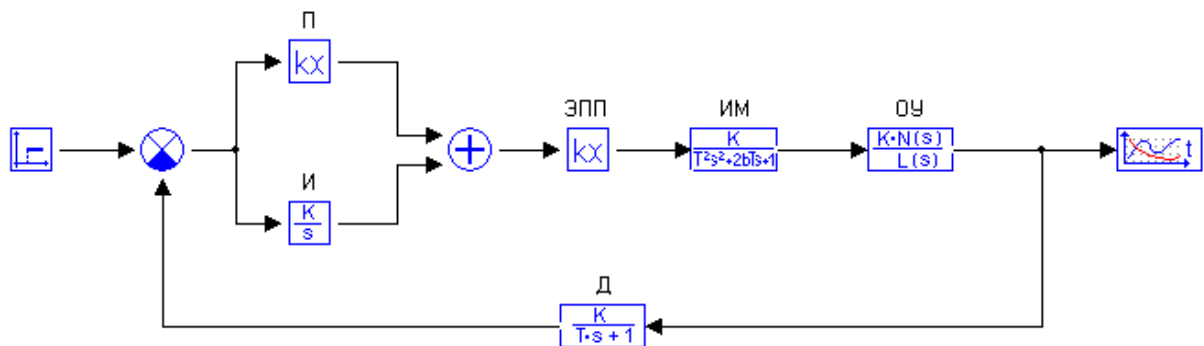


Рисунок 7.2 – Возможная структурная схема АСР в ПК «МВТУ»

Первоначально выбирают закон регулирования и определяют коэффициенты регулятора с помощью метода незатухающих колебаний Циглера-Никольса. Полученные значения необходимо ввести в соответствующие звенья регулятора и запустить моделирование системы.

После запуска моделирования системы, будет произведен ее расчет и в графическом окне временного графика будет виден переходной процесс.

По переходному процессу необходимо произвести оценку качества процесса регулирования – определить показатели качества, такие как перерегулирование, время регулирования и т.д.

3.Программа работы.

1. Построить неизменяемой части системы регулирования в ПК «МВТУ»;
2. Определить закона регулирования и параметров настройки регулятора;
3. Произвести моделирования системы регулирования
4. Определить показатели качества автоматической системы регулирования температуры.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ

1. Цель работы

1. Изучение принципов построения и моделирования автоматической системы регулирования давления с использованием ПК «Моделирование в технических устройствах».

2. Исследование автоматической системы регулирования давления с использованием ПК «Моделирование в технических устройствах».

2. Теоретическая часть

Для создания системы регулирования необходимо представить и отобразить весь принцип работы, входящих в нее компонентов, с помощью структурной схемы.

АСР давления состоит из объекта управления, например ресивера с передаточной функцией $W_{ou}(p) = \frac{4,5}{42p+1}$, В систему регулирования так же входят измерительный преобразователь давления с передаточной функцией $W_{из}(p) = \frac{12,5}{10p+1}$, исполнительный механизм $W_{им}(p) = \frac{2,5}{18p+1}$, и регулятор $W_{р-р}(p)$, описывающий один из законов регулирования, необходимый для поддержания давления.

Структурная схема АСР давления отображена на рисунке 8.1.

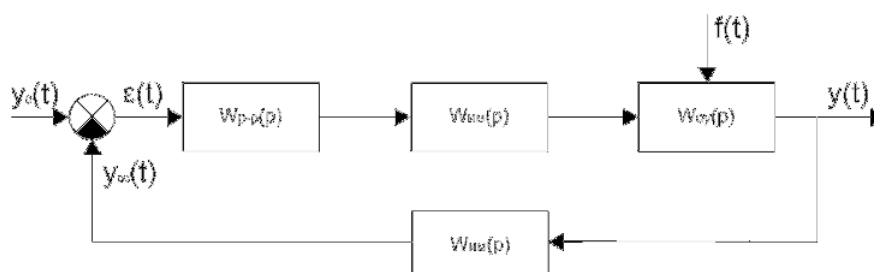


Рисунок 8.1 – Структурная схема АСР давления

Для определения оптимальных настроек регулятора применяют метод незатухающих колебаний Циглера-Никольса. Метод заключается в исследовании системы, состоящей из П-регулятора и заданного объекта регулирования. Коэффициент передачи П-регулятора увеличивается до тех пор, пока на выходе системы не установятся колебания с постоянной амплитудой колебаний, то есть система не окажется на границе устойчивости. Фиксируется и обозначается через k^* значение коэффициента передачи регулятора, при котором система находится на границе устойчивости. Измеряется период T^* установившихся в системе колебаний.

Значения параметров регулятора выбранного типа рассчитываются по формулам, приведенным в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Параметры типовых регуляторов

	k_n	k_u	k_o
П-регулятор	$0,5 k^*$	-	-
ПИ-регулятор	$0,45 k^*$	$0,54 k^*/T^*$	-
ПИД-регулятор	$0,6 k^*$	$1,2 k^*/T^*$	$0,075 k^* T^*$

Пример выполнения работы

Для исследования АСР давления необходимо создать структурную схему в ПК МВТУ, ввести необходимые передаточные функции и параметры каждого элемента АСР. Необходимо проследить, чтобы в параметрах устройства сравнения стояли значения, описывающие отрицательную обратную связь.

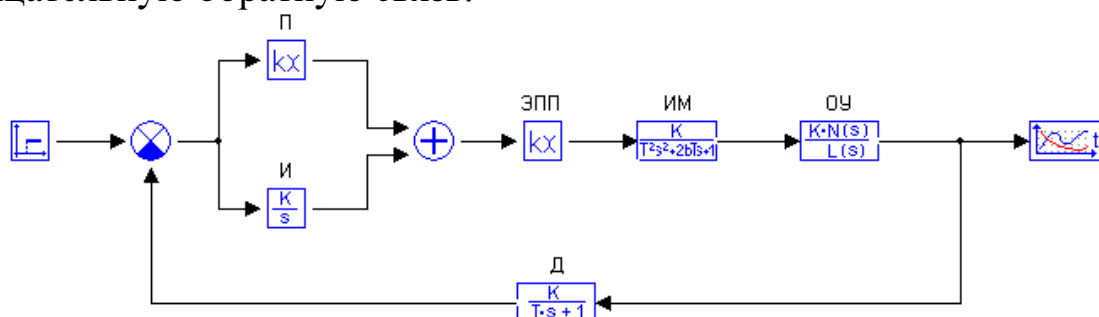


Рисунок 8.2–Возможная структурная схема АСР давления в ПК «МВТУ»

Предварительно выбирают закон регулирования и определяют коэффициенты регулятора с помощью метода незатухающих колебаний Циглера-Никольса. Полученные значения необходимо ввести в соответствующие звенья регулятора и запустить моделирование системы.

После запуска моделирования системы, будет произведен ее расчет и в графическом окне временного графика будет виден переходной процесс.

По переходному процессу необходимо произвести оценку параметров качества процесса регулирования: таких как перерегулирование, время регулирования и т.д.

3.Программа работы.

1. Построить неизменяемой части системы регулирования давления в ПК «МВТУ»;
2. Определить закона регулирования и параметров настройки регулятора;
3. Произвести моделирования системы регулирования давления.
4. Определить показатели качества автоматической системы регулирования давления.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ

1. Цель работы

1. Изучение принципов построения и моделирования автоматической системы регулирования уровня с использованием ПК «Моделирование в технических устройствах».

2. Исследование автоматической системы регулирования уровня с использованием ПК «Моделирование в технических устройствах».

2. Теоретическая часть

Для создания системы регулирования необходимо представить и отобразить весь принцип работы, входящих в нее компонентов, с помощью структурной схемы.

АСР давления состоит из объекта управления, например емкости с жидкостью с передаточной функцией, например, $W_{oy}(p) = \frac{4,5}{42p+1}$. В систему регулирования так же входят измерительный преобразователь (датчик) уровня с передаточной функцией $W_d(p) = \frac{0,2}{10p+1}$, исполнительный механизм $W_{им}(p) = \frac{2,5}{34p^2+18p+1}$ и регулятор $W_{р-р}(p)$, описывающий один из законов регулирования, необходимый для поддержания заданного уровня.

Структурная схема АСР уровня изображена на рисунке 9.1.

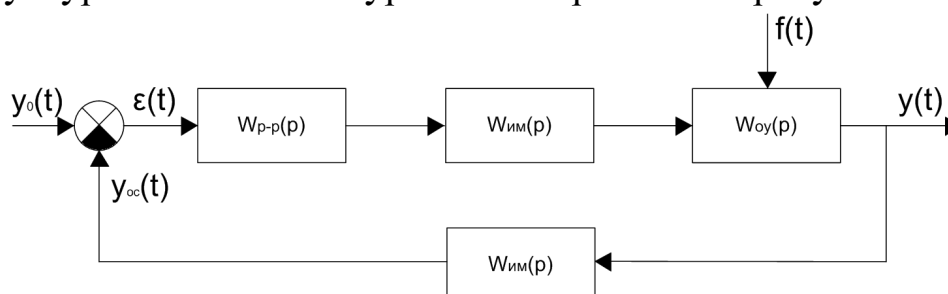


Рисунок 9.1 – Структурная схема АСР уровня

Для определения оптимальных настроек регулятора применяют метод незатухающих колебаний Циглера-Никольса. Метод заключается в исследовании системы, состоящей из П-регулятора и заданного объекта регулирования. Коэффициент передачи П-регулятора увеличивается до тех пор, пока на выходе системы не установятся колебания с постоянной амплитудой колебаний, то есть система не окажется на границе устойчивости. Фиксируется и обозначается через k^* значение коэффициента передачи регулятора, при котором система находится на границе устойчивости. Измеряется период T^* установившихся в системе колебаний.

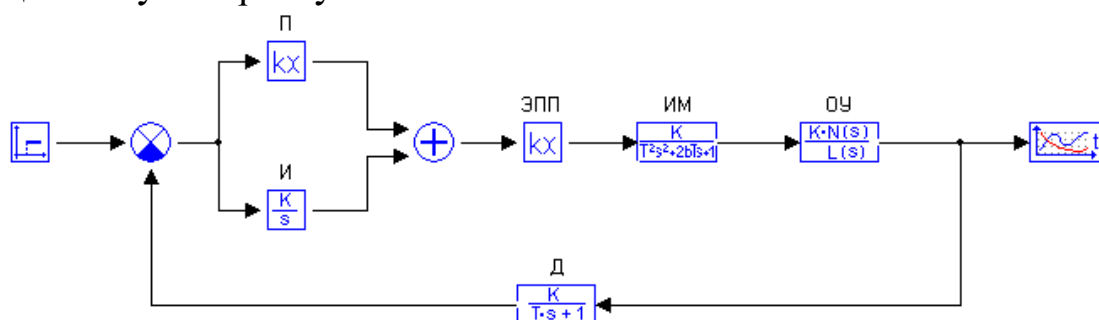
Значения параметров регулятора выбранного типа рассчитываются по формулам, приведенным в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Параметры типовых регуляторов

	k_n	k_u	k_d
П-регулятор	$0,5 k^*$	-	-
ПИ-регулятор	$0,45 k^*$	$0,54 k^*/T^*$	-
ПИД-регулятор	$0,6 k^*$	$1,2 k^*/T^*$	$0,075 k^* T^*$

Пример выполнения работы

Для исследования АСР уровня необходимо создать структурную схему в ПК МВТУ, ввести необходимые передаточные функции и параметры каждого элемента АСР. Необходимо проследить, чтобы в параметрах устройства сравнения стояли значения, описывающие отрицательную обратную связь.

**Рисунок 9.2 – Возможная структурная схема АСР уровня в ПК «МВТУ»**

Предварительно выбирают закон регулирования и определяют коэффициенты регулятора с помощью метода незатухающих колебаний Циглера-Никольса. Полученные значения необходимо ввести в соответствующие звенья регулятора и запустить моделирование системы.

После запуска моделирования системы, будет произведен ее расчет и в графическом окне временного графика будет виден переходной процесс.

По переходному процессу необходимо произвести оценку параметров качества процесса регулирования: таких как перерегулирование, время регулирования и т.д.

3.Программа работы.

1. Построить неизменяемой части системы регулирования уровня в ПК «МВТУ».
2. Определить закона регулирования и параметров настройки регулятора.
3. Произвести моделирования системы регулирования уровня.
4. Определить показатели качества автоматической системы регулирования уровня.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЛЕЙНОГО ТИПА

1. Цель работы

1. Изучение принципов построения и моделирования релейных системы регулирования с использованием ПК «Моделирование в технических устройствах».

2. Исследование релейных системы регулирования с использованием ПК «Моделирование в технических устройствах».

2. Теоретическая часть

Двухпозиционными регуляторами называются такие регуляторы, выходная величина которых может принимать только два установившихся значения. Так, если в качестве выходного элемента двухпозиционного регулятора используется реле, то одно установившееся значение выходной величины соответствует отключенному состоянию реле, а второе – включенному.

Для получения требуемого закона регулирования в регуляторе в общем случае применяют местные обратные связи. Система автоматического регулирования по каналу регулирующего воздействия может быть представлена в виде структурной схемы, изображенной на рисунке 10.1.

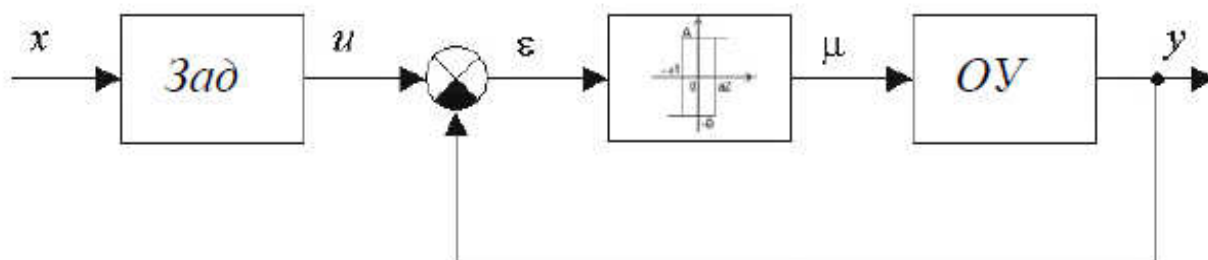


Рисунок 10.1 - Структурная схема АСР

Данная АСР относится к нелинейным. Наиболее широкое распространение имеет нелинейность вида реле. Основной статической характеристикой двухпозиционных регуляторов является характеристика с положительным или отрицательным гистерезисом (зоной неоднозначности a), представленная на рисунке 10.2.

Параметрами настройки двухпозиционного регулятора являются величина неоднозначности $2a$ и величина регулирующего воздействия B_1 и B_2 . Чем меньше зона неоднозначности $2a$, тем меньше диапазон колебаний регулируемой величины. Чем меньше величины регулирующего воздействия B_1 и B_2 , тем меньше скорость изменения регулируемой величины и, следовательно, тем меньше ее отклонение от

заданного значения от времени запаздывания.

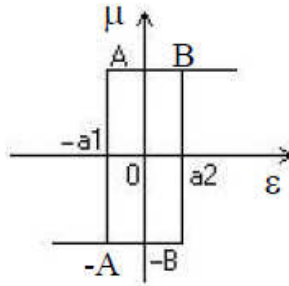


Рисунок 10.2 – Статическая характеристика двухпозиционного регулятора.

В этом случае переключение регулятора будет происходить при достижении регулируемой величиной граничных значений зоны неоднозначности (рисунок 10.3).

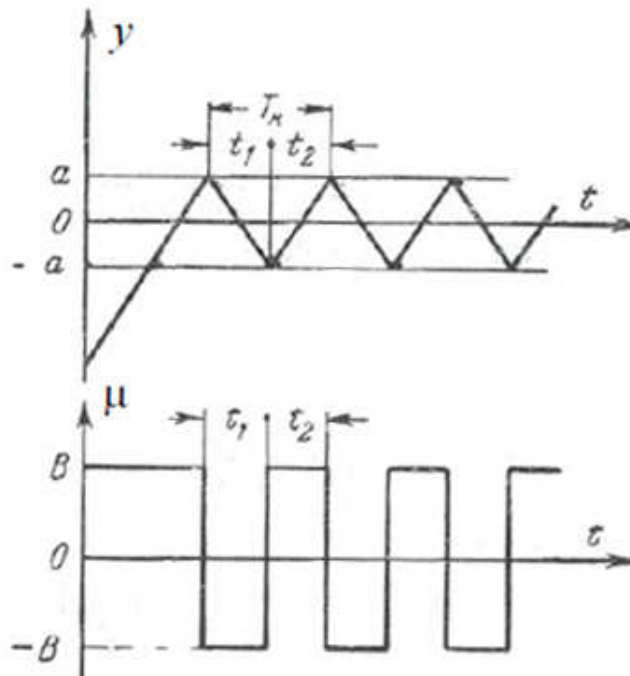


Рисунок 10.3 – Колебания регулируемой величины и импульсы регулятора

В системе, в которую входит объект без самовыравнивания, в установившемся состоянии возникают периодические симметричные автоколебания регулируемой величины относительно ее заданного значения.

Передаточная функция объекта без самовыравнивания:

$$W_{OB}(p) = \frac{k_{OB}}{p}$$

Диапазон колебаний регулируемой величины:

$$\Delta y = 2 \cdot a$$

Длительность положительного импульса t_1 в установившемся

процессе равна длительности отрицательного импульса t_2 и равна полупериоду колебаний:

$$T_K = \frac{2 \cdot a}{k_{ОБ} \cdot B}$$

Частота переключений регулятора в единицу времени равна:

$$n = \frac{k_{ОБ} \cdot B}{2 \cdot a}$$

Уменьшение диапазона колебания регулируемой величины возможно только за счет уменьшения зоны неоднозначности регулятора. При диапазоне колебаний регулируемой величины, стремящемся к нулю, частота переключений регулятора стремиться к бесконечности.

Пример работы.

Для исследования АСР необходимо создать структурную схему в ПК МВТУ (рисунок 10.4). Ввести необходимые параметры каждого элемента. Важно проследить, чтобы в параметрах устройства сравнения стояли значения, описывающие отрицательную обратную связь.

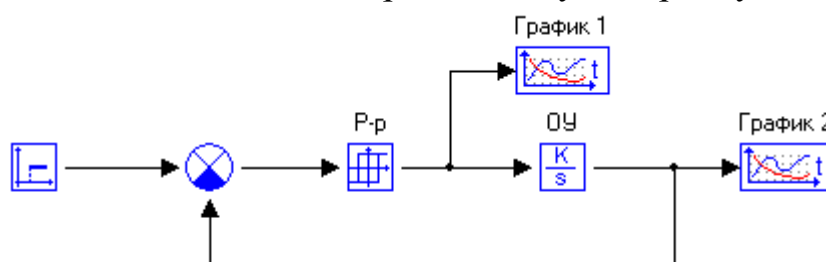


Рисунок 10.4 – Структурная схема АСР в ПК «МВТУ»

После запуска программы моделирования системы, будет произведен ее расчет и в графическом окне временного графика «График 2» будет виден переходной процесс, а в окне «График 1» - импульсы выдаваемые регулятором.

Теперь надо исследовать АСР по полученным временным графикам, определив T_K , n , a , t_1 , t_2 , Δu .

3. Программа лабораторной работы:

1. Построить структурную схему релейной системы регулирования в ПК «МВТУ».
2. Ввести параметры элементов моделируемой системы.
3. Произвести моделирование системы регулирования.
4. Произвести оценку качества работы АСР и влияния параметров на работу системы.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практические занятия - одна из форм учебного занятия, направленная на развитие самостоятельности учащихся и приобретение компетенций, относящихся наряду с лекцией и лабораторной работой к основным видам учебных занятий. Занятия углубляют, расширяют, детализируют полученные на лекции знания. Практическое занятие предполагает выполнение студентами по заданию и под руководством преподавателей одной или нескольких практических работ.

Для практических занятий основными задачами являются следующие:

- обучение студентов практическим приемам и методам анализа теоретических положений и концепций учебной дисциплины;
- приобретение студентами умений и навыков использования современных теоретических и научно-технических методов в решении конкретных практических задач;
- развитие творческого профессионального мышления, профессиональной и познавательной мотивации;
- использование профессиональных знаний в учебных условиях – овладение терминологией дисциплины «Промышленные системы управления и регулирования».
- навыками оперирования формулировками, понятиями, определениями, умениями и навыками постановки и решения интеллектуальных проблем и задач;
- повторение и закрепление знаний;
- развитие научного мышления, речи, общения с аудиторией и т.д.;
- организации оперативной обратной связи руководителя занятия и студентов.

На практических занятиях проводятся последовательное решение задач или выполнение упражнений с применением ранее изученного теоретического материала.

Главным содержанием практического занятия является практическая работа каждого студента.

При подготовке к практическим занятиям необходимо опираться на знания, которые получены на лекциях и в ходе проведения самостоятельных занятий. Если студенты обнаружат пробел в своих знаниях при подготовке либо проведении практических занятий, то они должны восполнить его путем повторного обращения к тексту нормативных актов, конспектам лекций, литературе. Перед началом

практического занятия преподаватель проверяет наличие у студентов конспектов лекций, письменных решений заданий предыдущих занятий. Студенты, не подготовившиеся к практическому занятию (в том числе и по уважительным причинам), а также отсутствующие на занятиях, отчитываются перед преподавателем о выполнении задания во внеурочное время.

На практических занятиях рекомендуется не менее 1 часа из двух (50% времени) отводить на самостоятельную работу студентов (решение практических). При организации практического занятия целесообразно использовать следующий алгоритм:

1. Вступительное слово преподавателя (цели занятия, основные вопросы, которые должны быть рассмотрены).
2. Фронтальный опрос, позволяющий выявить готовность студентов к занятию.
3. Выполнение 1-2 заданий.
4. Самостоятельное выполнение заданий.
5. Обсуждение выполненных заданий.

Таблица 3.1 -Практические занятия, их наименование и объем в часах

Наименование тем занятий	Кол-во часов
6 семестр	
1. Изучение задач иерархии управления	2
2. Составление принципиальных схем систем управления и регулирования	4
3. Составление структурных схем систем управления и регулирования	6
4. Анализ структурных схем систем управления и регулирования	6
7 семестр	
5. Постановка задач анализа и синтеза промышленных систем управления и регулирования	4
6. Составление математического описания элементов АСР	6
7. Математическое описание промышленных объектов и систем регулирования.	6
8. Изучение устойчивости автоматических систем регулирования	4
9. Изучение качества работы автоматических систем регулирования	4
10. Изучение влияния законов регулирования и параметров регулятора на качество и устойчивость процесса регулирования.	4
11. Расчет непрерывных системы автоматического регулирования различных технологических параметров.	6
12. Расчет релейной системы автоматического регулирования различных технологических параметров.	2

ЗАНЯТИЕ 1. ИЗУЧЕНИЕ ЗАДАЧ ИЕРАРХИИ УПРАВЛЕНИЯ

Современные производства достаточно сложны, а процессы характеризуются высокой интенсивностью протекания технологического процесса, большим числом технологических параметров, прямо или косвенно влияющих на их технико-экономические показатели.

Структура производств отображает иерархию (упорядоченность) технологического процесса и оборудования. Так, отдельный аппарат или агрегат входит в технологическую линию, группы технологических линий образуют цеха и т.п. Такая структура описывается древовидным графом (рисунок 1.1)

Поэтому управление химико-технологическими процессами организуют по так называемому иерархическому принципу.

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

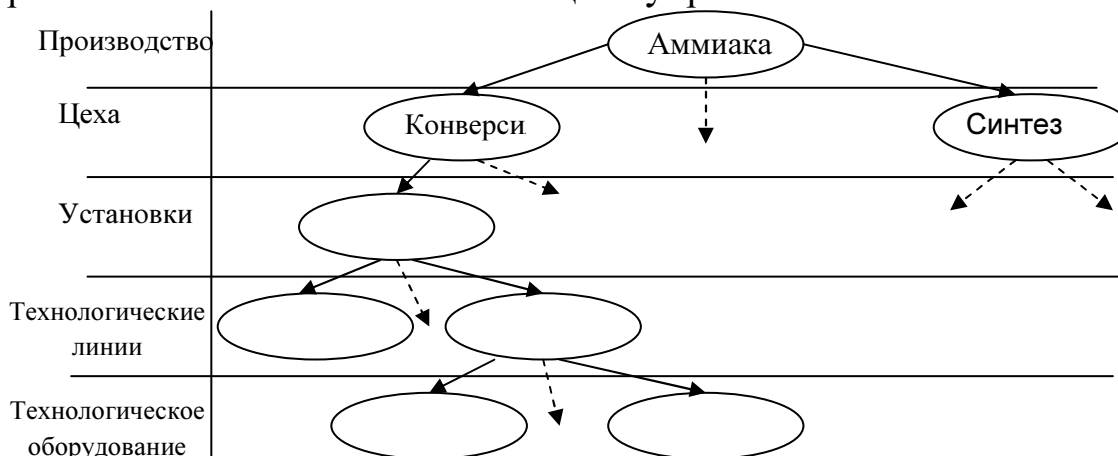


Рисунок 1.1 – Структура типового производства

В иерархической структуре управления любым производством, насчитывающей обычно несколько ступеней, системы управления технологическими процессами находятся на низшем уровне и обеспечивают выпуск продукции заданного количества и качества и выполнение других показателей производства. Понятно, что эти системы играют основную роль в любом производстве, и требуемую продукцию можно получить только при наличии совершенных систем управления технологическими процессами. Очевидно, что как бы не были совершенны системы управления более высоких уровней (системы планирования, снабжения, диспетчеризации и др.), они должны иметь возможность воздействовать на систему управления технологическим процессом, а последняя должна иметь возможность выполнить эти управляющие "указания". Это может обеспечить только совершенная и полная система управления технологическим процессом. В противном случае действия "вышестоящих" систем управления будут

неэффективными или не будут выполнены.

Под управлением ТП понимают три основные задачи: 1-выбор желательного хода процесса или цели управления; 2-контроль за его ходом; 3-воздействие на процесс, обеспечивающее его развитие в желательном направлении.

Первая задача - выбор цели - либо решается при разработке АСУТП, либо (при наличии иерархической системы управления) цель для АСУТП может определяться подсистемой более высокого уровня. В любом случае это может быть сделано заранее и на достаточно продолжительный период времени. Решение же двух остальных задач - контроль за ходом процесса и выработка управляющих воздействий - не может быть осуществлено заранее, а требует оперативных действий, или, иными словами, действий в реальном масштабе времени. Общим для этих задач является то, что они полностью определяются характеристикой технологического процесса как объекта управления.

Управление предприятиями посредством АСУ осуществляется по иерархическому принципу на трех уровнях.

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

Сущность иерархического принципа управления состоит в следующем: общей (глобальной) целью управления является достижение заданных технико-экономических показателей (ТЭП) процесса. Эти показатели зависят от технологического режима процесса. Технологический режим, при котором достигаются заданные показатели, называется оптимальным. Т.к. технологический режим изменяется под воздействием случайных возмущений, он может существенно отклоняться от оптимального, при этом существенно ухудшаются ТЭП. Следовательно, необходимо непрерывно поддерживать технологические параметры процесса как можно ближе к их оптимальным значениям.

Управление непосредственно ТП можно организовать в виде двух ступеней. На верхней ступени **цель** управления заключается в отыскании оптимального режима всего технологического процесса. ОУ при этом является весь технологический процесс с технологическим оборудованием. Тогда цель управления на нижней ступени является обеспечение минимальных отклонений технологических параметров от их оптимальных значений. Эта цель достигается стабилизацией технологических параметров.

На нижней ступени ТП рассматривается как совокупность простых (элементарных) процессов, которые вместе с технологическими аппаратами, где они протекают, представляют собой объекты

регулирования данной ступени.

При подобной организации процесса управления оптимальные значения технологических параметров, найденные на верхней ступени можно рассматривать как “руководящие указания” для нижней, т.е. нижний уровень управления подчинён верхнему в общем процессе управления. Такие ступени процесса управления называют иерархическими уровнями управления.

Однако при управлении всем предприятием возникают такие цели и задачи управления, которые нельзя отнести к отдельным технологическим процессам. Это задачи оперативного управления цехами, организации производства, планирования запасов сырья, полуфабрикатов, готовой продукции и т.п. Поэтому процесс управления предприятием обычно включает ещё один уровень, где решаются указанные задачи. Он является высшим иерархическим уровнем.

Структура управления современным промышленным предприятием характеризуется как минимум тремя уровнями иерархии управления (рисунок 1.2)

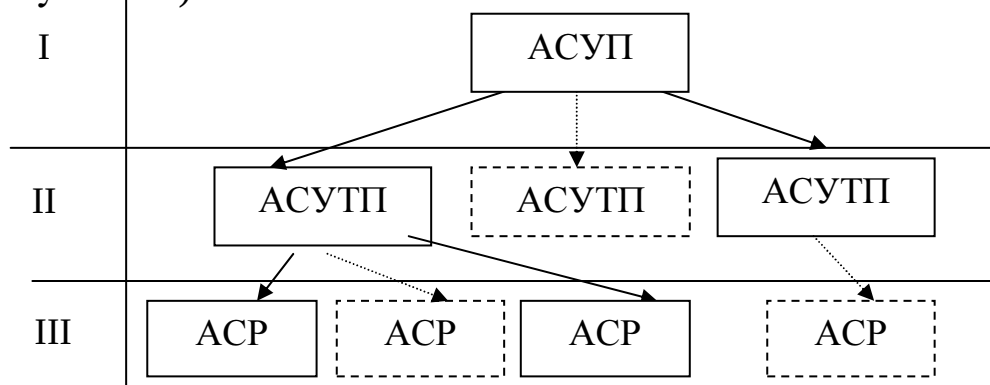


Рисунок 1.2 - Иерархия управления предприятием

На **высшем** иерархическом уровне (I) осуществляется управление всем предприятием. Объектом управления здесь является всё производство и оборудование (включая вспомогательные службы: снабжения, сбыта, ремонтные, и т.п.), а также АСУТП предыдущего иерархического уровня. Здесь решаются задачи управления всем производством в целом с применением УВМ и участием операторов. Система управления этого уровня получила название «Автоматизированная система управления предприятием» (АСУП).

Следующий иерархический **уровень (II)** образуют системы управления технологическими процессами. Объектами управления на этом уровне являются уже целые технологические процессы вместе с технологическим оборудованием и локальными АСР. Здесь решаются задачи оптимизации технологических режимов процессов. Кроме того, в функции управления на этом уровне входит выявление и устранение ненормальных (аварийных) режимов, переключение оборудования в

технологических схемах, вычисление ТЭП процесса и т.п. Указанные функции управления относительно сложны и не могут целиком возложены на автоматические устройства. Поэтому в системах управления Т.П. применяют управляющие вычислительные машины (УВМ), а в процессах управления участвует оператор УВМ. Такие системы управления получили название Автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП).

АСУ ТП предназначены для выработки и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления (ТОУ) в соответствии с принятым критерием управления при помощи современных средств сбора и переработки информации. Под ТОУ здесь понимают совокупность технологического оборудования и реализованного на нём по соответствующим технологическим регламентам технологического процесса. К ТОУ относятся как технологические установки, реализующие локальный технологический процесс, так и отдельные производства (цехи, участки) промышленного предприятия, если управление этим производством носит технологический характер.

Нижний уровень (III) иерархии представлен так называемыми локальными системами автоматического управления (регулирования), функции которых сводятся, как правило, к стабилизации отдельных технологических параметров. Такие простые задачи решаются автоматическими устройствами без участия человека, и поэтому системы регулирования нижнего иерархического уровня называются автоматическими системами регулирования (АСР). Объекты регулирования на этом уровне - элементарные процессы с соответствующими технологическими аппаратами.

Состояние объекта можно характеризовать одной или несколькими физическими величинами, называемыми управляемыми или регулируемыми переменными.

Основная цель автоматического управления любым объектом или процессом состоит в том, чтобы непрерывно поддерживать с заданной точностью требуемую функциональную зависимость между управляемыми переменными, характеризующими состояние объекта и управляющими воздействиями в условиях взаимодействия объекта с внешней средой, т.е. при наличии как внутренних, так и внешних возмущающих воздействий. Математическое выражение этой функциональной зависимости называется алгоритмом управления.

С усложнением задач, решаемых автоматизированной системой управления предприятием в целом, возрастают требования к качеству работы локальных систем. Поэтому при автоматизации производств и предприятий в первую очередь необходимо создавать надежные и

качественно работающие локальные автоматические системы регулирования (АСР).

На низшем уровне задача сводится к стабилизации необходимых режимов процессов, протекающих в отдельных аппаратах, путем поддержания заданных значений характерных технологических величин (расход, температура, качественные показатели получаемых продуктов и т.д.). Кроме того, выполняется оптимизация процессов с учетом их особенностей (процесс проводится при условии максимальной выборки целевого продукта из единицы сырьевого материала, минимальных удельных затрат энергии на получение продукта заданного качества или при др. условиях). Одновременно осуществляется сигнализация о нарушении заданного режима, защита и блокировка оборудования, его пуск и остановка, дистанционное управление процессом и т.д. Эти задачи решаются с помощью локальных автоматических систем, входящих в АСУ ТП.

Итак, локальные АСР нижнего иерархического уровня являются периферийными органами управления, через которые реализуются решения, принимаемые в процессе управления на более высоких иерархических уровнях.

ЗАНЯТИЕ 2. СОСТАВЛЕНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

В промышленности наиболее представлены тепловые процессы. Для примера проведем сравнительный анализ и выбор схемы управления нагревом технологического потока при переработки нефти.

Анализ технологического процесса переработки нефти и работы основной технологической аппаратуры, показывает невозможность ведения процесса без наличия эффективных системы контроля и управления технологических параметров.

Выбор систем автоматического контроля и регулирования производится в соответствии с целевыми назначениями процесса, взаимосвязи его с другими процессами переработки нефти, показателями эффективности технологического процесса и значением, на котором он должен поддерживаться, а также статическими и динамическими характеристиками объекта.

Установка первичной перегонки нефти представляет последовательный процесс прохождения сырья через технологические аппараты различного назначения.

Печь используется для нагрева технологического потока отбензиненной нефти до определенной температуры (не более 385°C), и впрыске ее в нижнюю часть ректификационной колонны.

Передача тепла осуществляется конвективным теплообменом между газами, образующимися при сгорании топлива, и технологическим потоком нефти, проходящим по трубкам внутри печи.

Рассмотрим регулирование температуры нефти на выходе печи в определенных пределах (350-385°C). Наиболее оптимальной является температура равная 375°C, так как при ней достигается наивысшая степень испарения отбензиненной нефти в колонне.

Повышение расхода топливного газа выше установленного значения не эффективно в результате неэкономичного использования ресурсов. Это объясняется тем, что дальнейший расход топлива выше предельного значения не оказывает положительного воздействия. Кроме того, будет наблюдаться неполное сгорание топливного газа, что приведет к его скоплению и созданию взрывоопасной ситуации.

При понижении расхода топливного газа необходимо будет увеличить время контакта технологического потока с газами, образующимися при сгорании топлива. Очевидно, что такое отклонение от норм технологического режима неэкономично. Помимо технологических требований к режимным параметрам печи, накладываем ограничения из условий взрывобезопасности и требований охраны труда и защиты окружающей среды.

В частности коэффициент соотношения расходов воздуха и газа γ должен удовлетворять ограничениям $\gamma_n \leq \gamma \leq \gamma_v$.

В результате произведенного выше анализа, задача сводится к поддержанию в определенных пределах значения выходной температуры потока и соотношения расходов газа и воздуха.

Рассмотрим особенности печи, связанные с регулированием процесса горения.

Уравнение теплового баланса для нагреваемого потока запишется в виде:

$$F \cdot C_p \cdot (\Theta_{\text{вых}} - \Theta_{\text{вх}}) = F_d \cdot C_{p,d} \cdot (\Theta_g - \Theta_d) \quad (2.1)$$

Температура в зоне горения Θ_g определяется из уравнения теплового баланса для процесса горения:

$$F_t \cdot q_t = (F_t \cdot C_{p,t} + F_v \cdot C_{p,v}) \cdot \Theta_g - F_t \cdot C_{p,t} \cdot \Theta_t - F_v \cdot C_{p,v} \cdot \Theta_v \quad (2.2)$$

Отсюда:

$$\Theta_g = (q_t + C_{p,t} \cdot \Theta_t + \gamma \cdot C_{p,v} \cdot \Theta_v) / (C_{p,t} + \gamma \cdot C_{p,v}), \quad (2.3)$$

где F_t , F_v , F_d , F – расходы топлива, воздуха, дымовых газов и нагреваемого потока;

$C_{p,t}$, $C_{p,v}$, $C_{p,d}$, C_p – удельные теплоемкости веществ;

Θ_t , Θ_v , $\Theta_{\text{вх}}$ – входные температуры топлива, воздуха, нагреваемого потока;

$\gamma = G_v/G_t$ – коэффициент соотношения расходов воздуха и топлива;

$\Theta_{\text{д}}$, $\Theta_{\text{вых}}$ – выходные температуры дымовых газов и нагреваемого потока;

$q_{\text{т}}$ – калорийность топлива.

Из уравнения (2.1) с учетом (2.3) находим формулу для определения выходной температуры:

$$\Theta_{\text{вых}} = \Theta_{\text{вх}} - (F_{\text{д}} \cdot C_{\text{рд}} \cdot \Theta_{\text{п}} / F \cdot C_{\text{р}}) + [F_{\text{т}} \cdot C_{\text{рд}} (\gamma + 1) / F C_{\text{р}} (C_{\text{рт}} + \gamma \cdot C_{\text{рв}})] \cdot (q_{\text{т}} + C_{\text{рт}} \cdot \Theta_{\text{т}} + \gamma \cdot C_{\text{рв}} \cdot \Theta_{\text{в}}).$$

Если $\Theta_{\text{т}} = \Theta_{\text{в}}$, то

$$\Theta_{\text{вых}} = \Theta_{\text{вх}} - (F_{\text{д}} \cdot C_{\text{рд}} \cdot \Theta_{\text{п}} / F \cdot C_{\text{р}}) + F_{\text{т}} \cdot C_{\text{рт}} (1 + \gamma) / F + (\Theta_{\text{в}} \cdot F_{\text{т}} \cdot C_{\text{рд}} / F \cdot C_{\text{р}}),$$

где $C = C_{\text{д}} / C_{\text{р}} (C_{\text{рт}} + \gamma \cdot C_{\text{рв}})$.

Анализ печи, как объекта регулирования температуры потока нефти на выходе из печи приводит к структурной схеме, показанной на рисунке 2.1.

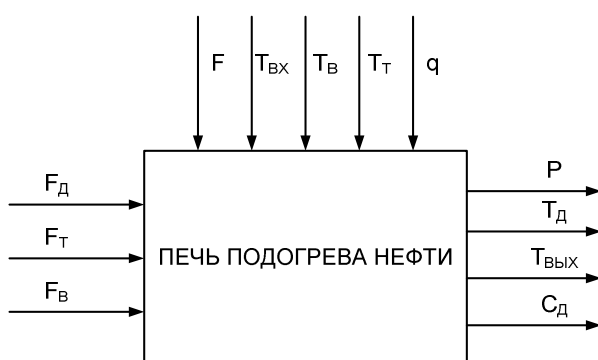


Рисунок 2.1 - Структурная схема печи

Основными возмущениями приняты расход и температура технологического потока F и $\Theta_{\text{вх}}$, температура воздуха $\Theta_{\text{в}}$, коэффициент теплопередачи $k_{\text{т}}$ и теплотери q ; основными регулирующими воздействиями – расход и состав горючей смеси, т. *е. расходы топлива и воздуха*. К выходным координатам, *кроме* температуры *выходного* потока $\Theta_{\text{вых}}$ нефти и дымовых газов $\Theta_{\text{д}}$ отнесена концентрации кислорода *в* дымовых газах C_{O_2} .

По *ней оценивают* интенсивность *процессов* горения, поскольку температура в зоне горения, *определяемая* формулой (2.3), соответствует условиям *сгорания* топлива с теоретически необходимым количеством воздуха, а на практике печи и топки работают *при* избытке воздуха, *необходимом* для полного сгорания топлива.

Температура горения связана с расходом воздуха экстремальной зависимостью: $\Theta_{\text{г}}$ падает как при избытке воздуха по сравнению с теоретически необходимым, так и при его недостатке, поэтому ее нельзя использовать в качестве показателя интенсивности процесса горения. Если количество воздуха, подаваемого на горение поддерживать на постоянном значении, то изменением подачи топлива можно регулировать температуру нефти «горячий струи» на выходе из трубчатой печи.

Помимо технологических требований к режимным параметрам

печей накладываются ограничения из условий взрывобезопасности и требований по защите окружающей среды. В частности для удовлетворения последнего показателя в печи поддерживается разрежение.

При использовании в печи горелок с принудительной подачей первичного воздуха возникает необходимость в регулировании соотношения «топливо - первичный воздух», по одной из схем представленных на рисунках 2.2 – 2.5.

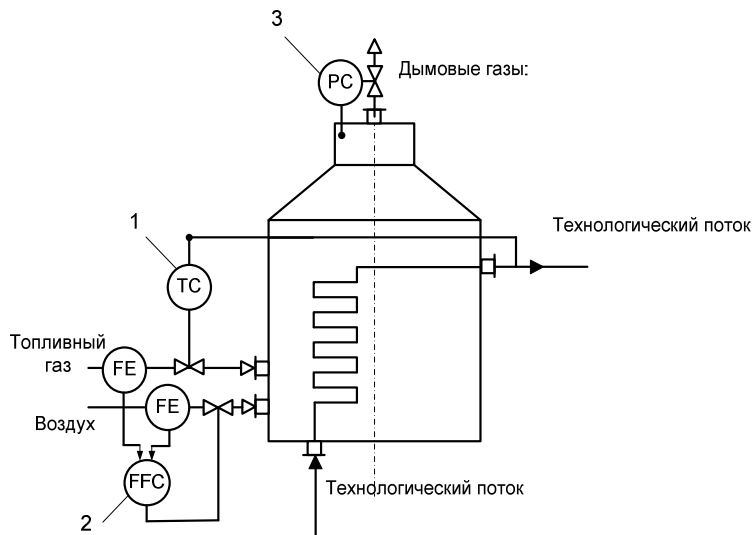


Рисунок 2.2 – Система регулирования температуры на основе одноконтурных АСР.

Рассматриваемая система регулирования составлена из трех контуров регулирования.

Регулятор 1 стабилизирует температуру технологического потока на заданном значении; регулятор 2 обеспечивает подачу воздуха на горелки в заданном соотношении α к расходу топлива; регулятор 3 поддерживает заданное разрежение в печи изменением отвода дымовых газов.

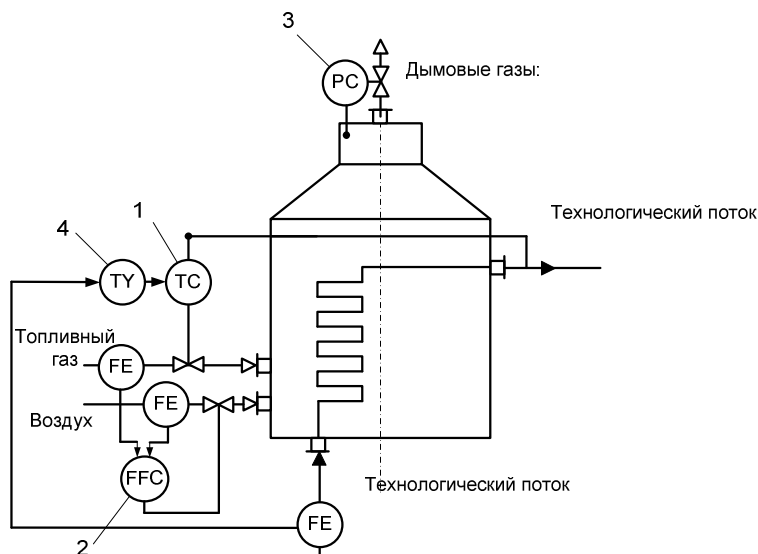


Рисунок 2.3 – Система регулирования температуры с использованием комбинированной АСР

Эта система удовлетворяет всем указанным требованиям, однако вследствие большого запаздывания качество переходных процессов может оказаться неудовлетворительным.

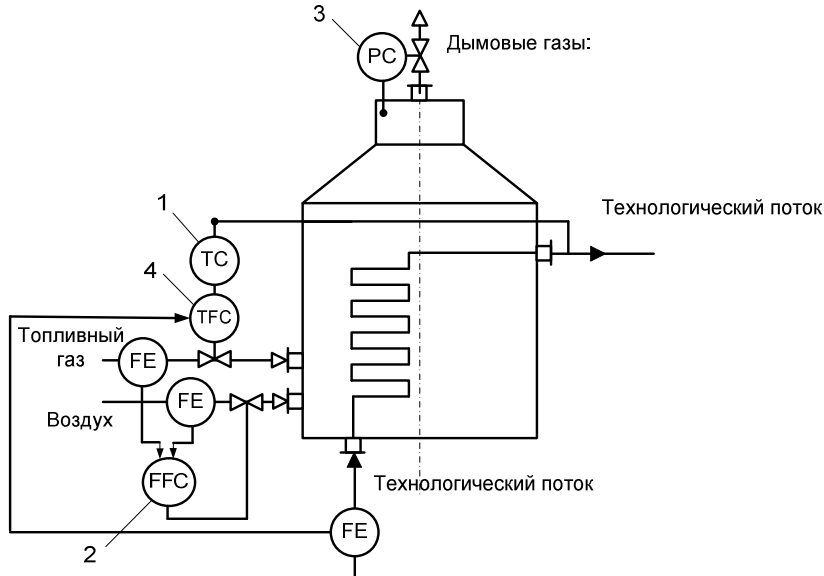


Рисунок 2.4 – Схема регулирования температуры с использованием каскадной АСР

Схемы регулирования, представленные на рисунках 2.2 и 2.3, позволяют уменьшить влияние возмущений по расходу нагреваемого вещества F за счет применения комбинированной АСР температуры $\Theta_{\text{вых}}$ (рисунок 2.3) или каскадной системы регулирования соотношения расходов топлива и нагреваемого вещества с коррекцией по выходной температуре (рисунок 2.3).

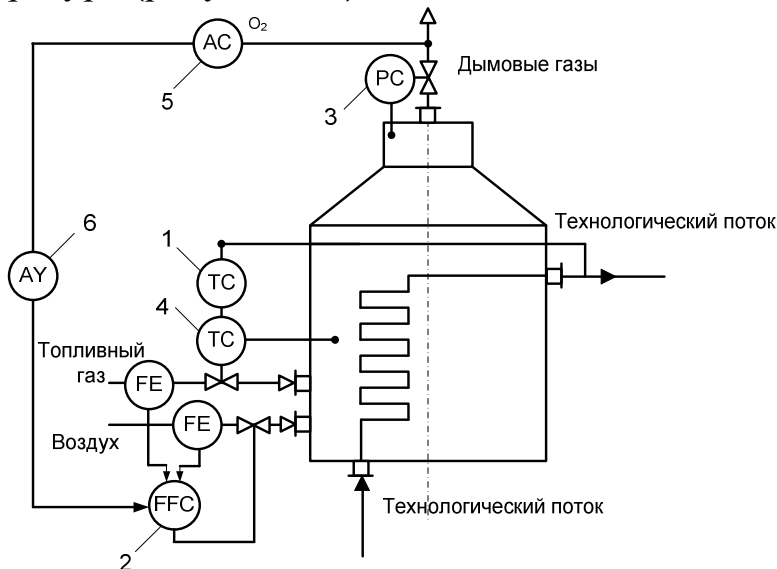


Рисунок 2.5 – Система регулирования температуры с использованием каскадной АСР

Данная система включает каскадную систему регулирования температуры технологического потока $\Theta_{\text{вых}}$, в которой температуру газов, образовавшихся после сжигания топлива, используют как промежуточную

координату. Вспомогательный контур регулирования (регулятор 4) при возмущениях по каналу регулирования позволяет повысить качество регулирования (например по q_T или Θ_B). Для регулирования процесса горения здесь используют также каскадную АСР, в которой задание регулятору соотношения 2 корректируется регулятором состава дымовых газов 5, обеспечивающим стабилизацию CO_2 . Для введения ограничения на коэффициент соотношения α корректирующий сигнал от регулятора 5 подается на нелинейный блок 6, а затем на регулятор 2.

ЗАНЯТИЕ 3. СОСТАВЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Системы автоматического управления являются сложными комплексами взаимодействующих технических устройств и элементов, работающих на различных физических принципах (механических, электрических, гидравлических и др.)

Графическое изображение системы автоматического управления позволяет отвлечься от конкретной физической природы элементов реальной системы и дает наглядное представление об исследуемой системе.

Структурной схемой называется схема, отражающая структуру взаимодействия элементов и устройств автоматики в процессе работы САУ.

При этом под элементом, как правило, подразумевается конструктивно обособленная часть системы управления, выполняющая одну определенную функцию. На функциональной схеме элементы изображаются в виде прямоугольников (рисунок 3.1а), а входные и выходные величины (сигналы) — в виде прямых линий со стрелками, указывающими направление передачи воздействий (сигналов).

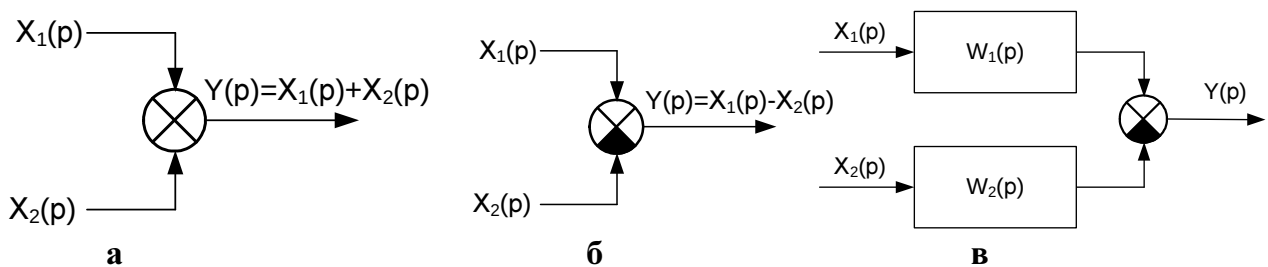


Рисунок 3.1 – Элементы структурной схемы

Результат суммирования изображают в виде перечеркнутого круга $\otimes$ (рисунок 3.1а). Этот же символ используется для обозначения разности. В этом случае сектор, соответствующий вычитаемому зачеркивается $\oplus$ (рисунок 3.1б).

Эти рисунки представляет собой структурную схему динамического

звена. На рисунке 3.1,в изображено параллельное соединение двух звеньев.

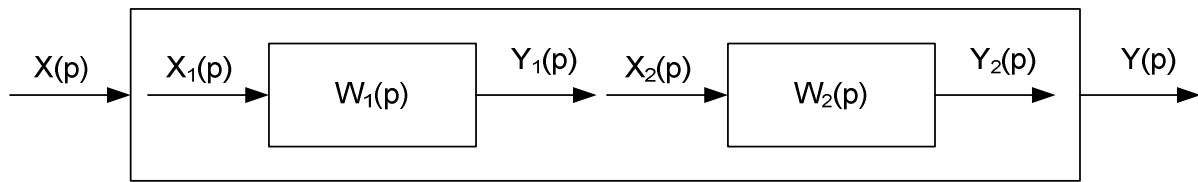


Рисунок 3.2 – Структура взаимодействия элементов системы

Представив элементы на рисунки 3.2 в виде $Y_1(p) = W_1(p)X_1(p)$, $Y_2(p) = W_2(p)X_2(p)$. Для последовательного соединения элементов изображение выходной величины можно представить в следующем виде $Y(p) = [W_1(p) \cdot W_2(p)]X(p)$. Последнюю формулу можно изображать графически (рисунок 3.2).

Здесь выходная величина представляет собой произведение входной величины на передаточную функцию, изображенную в прямоугольнике.

Структурная схема показывает, из каких звеньев состоит система и как эти звенья соединены между собой. Часто на схемах записываются не изображения функции, а сами функции ($X_1(t), F(t), Y(t)$). Это допустимо, но не следует забывать что, соотношения, лежащие в основе построения структурных схем, справедливы только для их изображений (т.е. для функций от оператора p).

Объект управления и устройства, необходимые для осуществления процесса управления называют системой управления.

На основании выше сказанного обобщенная структурная схема системы автоматического управления (регулирования) может быть представлена следующим образом:

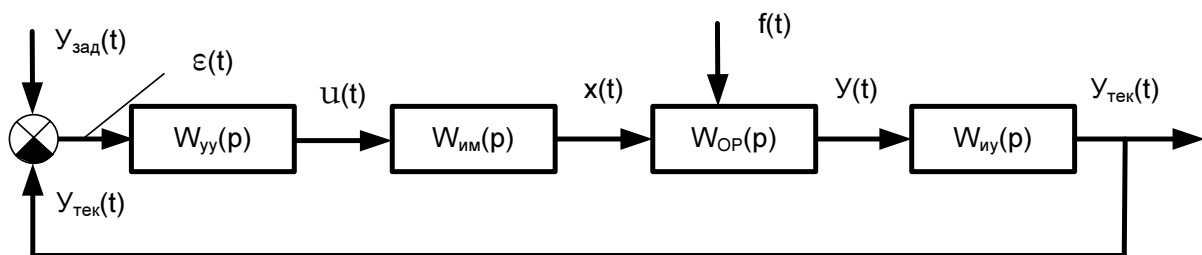


Рисунок 3.3 – Типовая структурная схема системы автоматического управления (регулирования)

$W_{иу}(p)$ - передаточная функция измерительного устройства (датчика).

$W_{yy}(p)$ - передаточная функция устройства управления (регулятора).

$W_{им}(p)$ - передаточная функция исполнительного механизма

$W_{оп}(p)$ - передаточная функция объекта регулирования

Задания: на занятиях предлагается составить структурные схемы промышленных систем автоматического регулирования различных параметров

(АСР температуры, давления, уровня, соотношения двух веществ, а также комбинированных систем управления.

ЗАНЯТИЕ 4. АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Любая автоматическая система управления представляет собой совокупность нескольких устройств, в которых происходят явления различной физической природы. Одна и та же система может включать в себя, например, механические, электрические и гидравлические элементы. Эти части системы взаимодействуют между собой по сложным законам механики, электротехники, гидравлики. Взаимодействие частей автоматической системы между собой так же, как и процесс функционирования самого объекта управления, выражается в преобразовании энергии одного вида в энергию другого вида. Но процессы преобразования и перераспределения энергии в автоматической системе, в отличие от многих других физических систем, строго ориентированы, т. е. энергия и воздействия передаются только в определенном направлении.

Направленность передачи воздействий в автоматической системе обеспечивается благодаря наличию у одного или нескольких конструктивных элементов системы так называемого детектирующего свойства. Это свойство заключается в том, что рассматриваемый элемент не оказывает обратного действия на предыдущий элемент, а его выходная величина не влияет на свою входную.

Обычно свойством однонаправленности обладают те элементы автоматической системы, которые передают информационные воздействия. К таким элементам относятся в первую очередь измерители и преобразователи сигналов. Конструктивные части системы, через которые передаются энергетические воздействия, этим свойством, как правило, не обладают.

Только вследствие наличия элементов направленного действия в АСР создается замкнутый контур передачи воздействий, при помощи которого и осуществляется целенаправленный процесс управления. Без таких элементов автоматические системы были бы неработоспособны или малоэффективны.

Рассматривая структурную схему (рисунок 4.1), элементы которой характеризуются выполняемыми ими функциями, можно объединить все встречающиеся на практике элементы в несколько групп по функциональному признаку.

При этом под элементом, как правило, подразумевается конструктивно обособленная часть системы управления, выполняющая одну определенную функцию.

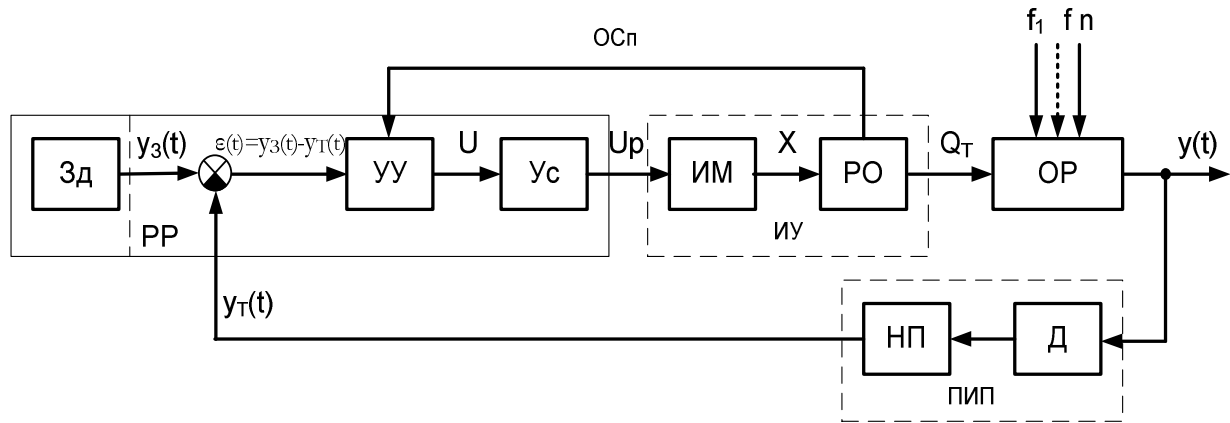


Рисунок 4.1 – Типовая структура промышленной системы автоматического регулирования

Основные элементы: ЗД – задатчик (обычно расположен в регуляторе), ЭС – элемент сравнения, УУ – управляющее устройство, Ус – усилитель мощности, РР – автоматический регулятор (современные регуляторы объединяют узлы ЗД, УУ, Ус, НП), ИМ – исполнительный механизм, РО – регулируемый орган, ИУ – исполнительное устройство, ОСп – обратная связь по положению регулирующего органа, ОР – объект управления, Д – датчик, НП – нормирующий преобразователь, ПИП – первичный измерительный преобразователь, (в современных микропроцессорных измерительных устройствах, является встроенным выходным устройством).

Обозначение переменных: $y(t)$ – задающий сигнал, $\varepsilon(t)$ – ошибка регулирования, U_p – выходной сигнал регулятора, X – перемещение регулирующего органа, Q_T – расход вещества или энергии, f_n – возмущающие воздействия, $y_T(t) = y(t)$ – регулируемый параметр, $y_T(t)$ – сигнал обратной связи (унифицированные ток преобразователя или выходное напряжение).

Задающие элементы (задатчики) позволяют устанавливать предписанное (заданное) значение выходной переменной объекта. Такими элементами в системах регулирования могут быть пружина, эталонное сопротивление, источник эталонного напряжения, опорный полупроводниковый диод, груз, уровень и т. д. В системах управления (в частности, в следящих системах) задающими элементами могут быть двигатель, рука человека и др.

Чувствительные элементы регулятора предназначены для измерения выходной переменной или ее отклонения от заданного значения. Конструктивное отличие этих элементов от точных измерительных приборов заключается в том, что уменьшен диапазон измерения и увеличена мощность (особенно у регуляторов прямого действия).

Усилительные элементы служат для усиления сигнала, выработанного чувствительным элементом.

Исполнительные элементы предназначены для создания управляющего воздействия на объект. Если они создают механическое перемещение регулирующего органа, то называются *сервомоторами*, или *серводвигателями*.

Преобразовательные элементы применяются в тех случаях, когда на выходе элемента надо получить величину, отличающуюся от входной либо количественно, либо качественно (по физической природе). К таким преобразованиям прибегают в тех случаях, когда выработанная в предшествующем элементе величина по каким-либо причинам для дальнейшего использования неудобна.

Кроме перечисленных устройств в системе автоматического управления могут использоваться ***корректирующие устройства***, предназначенные для улучшения свойств системы.

Корректирующие и стабилизирующие устройства служат для изменения динамических качеств системы и элементов. Такими элементами обычно являются дифференцирующие и другие элементы и устройства обратных связей.

Принцип работы и характеристики всех указанных элементов предполагаются известными из курсов электротехники, элементов автоматики и др.

Основными элементами систем регулирования и управления являются управляемые объекты. Ими могут быть различные технические устройства и установки.

Совокупность всех элементов системы, кроме регулятора, образует неизменяемую часть системы. Управляющее устройство изменяет состояние объекта управления путем воздействия на *исполнительное устройство*. Регулирующий орган является частью исполнительного устройства (заслонка в трубопроводе, движок реостата, и др.). Чувствительный элемент предназначен для получения сигнала о состоянии объекта управления, т. е. для измерения выходной координаты объекта управления. Этот сигнал в элементе сравнения вычитается из сигнала задающего элемента. Полученная разность и есть величина рассогласования. После преобразования сигнал поступает к исполнительному механизму, воздействующему на регулирующий орган.

В некоторых управляющих устройствах отдельные из указанных элементов могут отсутствовать или функции нескольких из них может выполнять одно техническое устройство.

Наличие главной обратной связи (ОС) в АСР с принципом регулирования по отклонению является обязательным, так как она

передает информацию о регулируемой величине с выхода системы на ее вход. Главная ОС вместе с прямой цепью регулирования образуют основной замкнутый контур, что и дает системе название замкнутая, в отличие от разомкнутой системы, использующей первый принцип.

Главная ОС выполняет две основные функции в системе:

1) преобразует выходную величину $y(t)$ в другую физическую величину y_{oc} , поэтому в главной обратной связи обычно используется измерительный преобразователь, то есть датчик. Если преобразования физической величины не требуется, то может быть использован масштабирующий элемент. В частном случае при $y_{oc}=y$ получается единичная ОС;

2) вместе с элементом сравнения главная ОС позволяет определить рассогласование $\varepsilon(t)=y_o(t)-y_{oc}(t)$. Рассогласование несет информацию об отклонении регулируемой величины $y_{oc}(t)$ от ее заданного значения $y_o(t)$, что принципиально необходимо.

Главная ОС должна обладать двумя свойствами:

1) должна быть жесткой, т.е. передавать как меняющиеся, так и постоянные во времени воздействия;

2) главная ОС при устойчивом ОР должна быть отрицательной, т.к. сигнал $y_{oc}(t)$ вычитается из сигнала $y_o(t)$. Физически это можно проверить по факту уменьшения $\varepsilon(t)$ при увеличении $y(t)$.

Принцип действия данной системы можно пояснить, рассмотрев процесс, связанный с изменением возмущения $f(t)$ (см. рисунок 4.2.). Допустим, что при увеличении возмущения $f(t)$ выходная величина $y(t)$ уменьшилась благодаря свойствам ОР. Это повлечет за собой увеличение рассогласования и управляющего воздействия $u(t)$. В свою очередь увеличение управляющего воздействия u будет направлено на увеличение выходной величины $y(t)$.

В итоге регулируемая величина останется точно или приближенно на заданном постоянном значении, что можно пояснить схемой, представленной на рисунке 4.2.

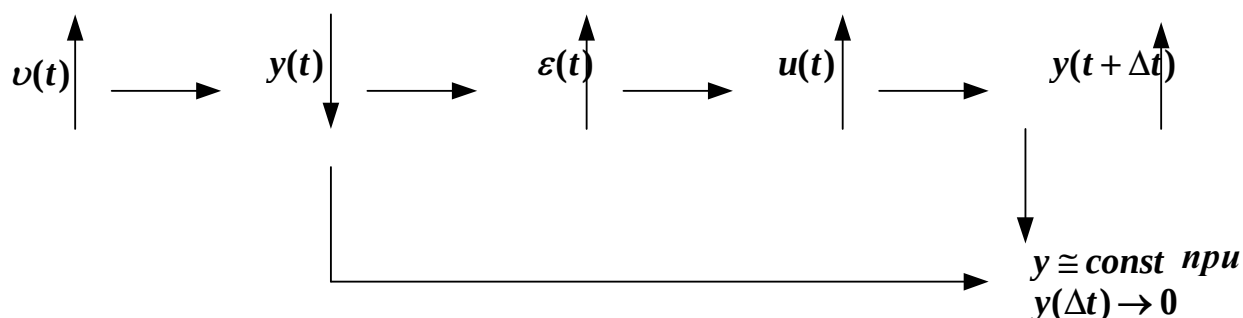


Рисунок 4.2 – Схема влияния ООС на процесс регулирования

Местная ОС предназначена для придания системе устойчивости (стабилизация) или для улучшения качества её переходного процесса

(коррекция). Местная ОС может быть положительной и отрицательной, жесткой и гибкой. В последнем случае она не проявляет себя в статическом режиме.

ЗАНЯТИЕ 5. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Теоретической разработкой и исследованием САУ занимается наука ТАУ.

Теория автоматического управления изучает общие принципы построения автоматических систем и методы их исследования независимо от физической природы процессов, происходящих в них. Теория автоматического управления является теоретической базой создания автоматических систем в различных областях техники.

Основными задачами теории автоматического управления являются исследования статических и динамических свойств автоматических систем и разработка систем, удовлетворяющих заданным техническим требованиям.

В теории автоматического управления исследуются **две основные задачи**:

- 1) анализ систем автоматического управления;
- 2) синтез систем автоматического управления. Первая из них,

Под анализом понимается исследование готовой АСР с целью определения ее свойств, удовлетворяющих поставленным требованиям, и путем их улучшения.

Задача анализа, состоит в исследовании процесса работы определенной системы автоматического управления с заданной структурой и элементами при различных параметрах элементов и различных видах воздействий на систему. В задачу анализа входит исследование устойчивости систем, исследование динамических и статических отклонений, происходящих при процессах управления.

Первой проблемой, которая решалась ТАУ, было обеспечение устойчивости автоматических систем. Позднее, центральной задачей стало достижение необходимого качества регулирования. Систематизация и обобщение накопленных знаний привели к созданию методов научного проектирования (синтеза) систем с заданными показателями точности регулирования и быстродействия.

Данная задача, (*синтез*), является более сложной и состоит в построении системы автоматического управления; в нее входит выбор схемы управляющего устройства, его элементов и их параметров.

Синтез системы - это выбор ее структуры и составных элементов, их физической природы, конструкции и параметров. При этом, свойства системы должны удовлетворять некоторым, заранее установленным,

требованиям. Предъявляются, как общеинженерные требования, в отношении габаритов, веса, стоимости, надежности и т.д., так и требования специфические - к статическим и динамическим свойствам системы, к качеству регулирования.

Синтез - проектирование АСР, удовлетворяющих поставленным требованиям.

Как правило, при синтезе промышленных АСР, регулируемый объект, измерительное устройство, регулирующий орган, чаще всего не могут быть изменены. Физическая природа и технические данные объекта определяют как тип, так и характеристики исполнительного и измерительного элементов системы.

Следовательно, при решении задачи обеспечения необходимых статических и динамических свойств системы оказываются известными регулируемый объект - датчик, а также исполнительный механизм системы. Все они составляют неизменяемую часть (Н.Ч.) системы.

При синтезе АСР могут решаться задачи двух видов:

1) структура АСР задана (т.е. известен тип регулятора, с помощью которого предполагается осуществить регулирование), и требуется определить параметры регулятора и соответственно системы;

2) имеется полная свобода выбора как структуры так и параметров системы и требуется получить систему наилучшим образом, удовлетворяющую поставленным требованиям.

Наиболее сложной является задача синтеза (проектирования) САР.

Для решения задач анализа и синтеза применяются следующие математические модели:

- уравнения статики и динамики;
- передаточные функции;
- структурные схемы и направленные графы;
- статические и динамические характеристики.

Разработка и проектирование автоматических систем состоит из следующих, этапов:

- изучение управляемого объекта; определение его характеристик, параметров, условий работы и воздействий, которые он испытывает;
- формулирование требований предъявляемых к системе;
- выбор функциональной схемы;
- разработка принципиальной схемы автоматической системы;
- выбор и расчет ее элементов и параметров на основе требований, предъявляемых к статическим свойствам системы;
- составление структурной схемы, характеризующей динамику системы;
- исследование устойчивости системы;

- выбор параметров корректирующих устройств на основе требований предъявляемых к динамическим свойствам системы (качество..процесса управления);
- исследование системы в лабораторных условиях или на моделирующих установках и внесение соответствующих коррективов в схему;
- проектирование, изготовление и монтаж системы в целом; наладка системы в реальных условиях;
- опытная эксплуатация автоматической системы;
- обобщение результатов опытной эксплуатации и составление рекомендаций по совершенствованию системы.

Вопросы проектирования и исследования автоматической системы должен решаться в результате совместного рассмотрения статических и динамических режимов работы. Так как в автоматические системы входят объекты и элементы, относящиеся к любой области техники, то изучение общих методов статики и динамики автоматических систем не может являться предметом только механики, или теплотехники, или электротехники, или радиотехники. Вместе с тем известно, что многие существенные вопросы статики и динамики автоматических систем в любой области техники решаются одними и теми же математическими и экспериментальными методами.

Следует отметить, что инженерные задачи синтеза автоматических систем не имеют, как правило, однозначного решения и, сравнивая их, выбирают наилучший.

Обычно улучшение свойств системы регулирования достигается ценой усложнения схемы регулятора. В связи с этим проектирование АСР сводится к нахождению разумного компромисса между стремлением получить наиболее высокое качество работы и стремлением решить эту задачу наиболее простыми средствами.

Теорией автоматического регулирования предложено много методов синтеза линейных автоматических систем.

Однако следует иметь виду, что нельзя ожидать высокой точности результатов, полученных расчетным путем. Это объясняется, прежде всего, приближенностью используемого математического описания регулируемого объекта и исполнительного элемента.

Если они описываются линеаризованными уравнениями с постоянными коэффициентами, то это означает, что несущественные линейности и незначительные изменения параметров во времени не учитываются. Кроме того, содержат приближения и методы синтеза, поэтому заключительным этапом расчета должен быть анализ синтезированной системы - определения показателей ее качества,

устойчивости. А при физическом осуществлении системы нужна еще и настройка.

Задачи анализа и синтеза промышленных АСР

Обычно ее решение содержит следующие этапы:

1. Изучение объекта регулирования, условий его работы и основных возмущений.
2. Формулировка требований, предъявляемых к АСР.
3. Выбор принципа регулирования и первоначальной схемы регулятора.
4. Выбор элементов регулятора с учетом требований, предъявляемых к их мощности и надежности, а также эксплуатационных требований.
5. Выбор и расчет элементов регулятора и их параметров на основе требований, предъявляемых к статическим и динамическим свойствам системы.
6. Экспериментальное исследование АСР и ее отдельных частей в лабораторных условиях и внесение нормативов в первоначальную схему регулятора.
7. Изготовление и монтаж АСР.
8. Наладка АСР в реальных условиях ее работы.
9. Опытная эксплуатация АСР.

Для исследования АСР необходимо математическое описание системы, т.е. наличие её математической модели.

ЗАНЯТИЕ 6. СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АСР

В теории автоматического управления используются различные методы описания свойств элементов и систем управления: статические характеристики, динамические характеристики, дифференциальные уравнения, передаточные функции, частотные характеристики, словесное (текстовое, табличное) описание.

Существуют следующие методы получения математического описания объектов и систем управления:

- аналитические - базируются на использовании уравнений, в т.ч. дифференциальных;
- экспериментальные - предполагают проведение серии экспериментов на реальном объекте;
- комбинированные методы - наиболее эффективные, когда, используя аналитически полученную структуру объекта, ее параметры определяют в ходе экспериментов на реальном объекте.

Статические, динамические, частотные характеристики, дифференциальные уравнения и передаточные функции представляют

собой точные математические методы описания свойств систем.

Словесное описание, в отличие от математических методов описания свойств систем, помогает понять принцип действия системы, ее назначение, особенности функционирования и т.д. Однако, оно не дает количественных оценок качества регулирования, поэтому не пригодно для изучения характеристик систем и построения систем автоматизированного управления.

Основу уравнений различных технологических процессов составляют балансовые уравнения для потоков веществ (массы) на входе G_j и выходе G_i , теплоты (энергии) подводимой I_j и отводимой I_i и импульса (количества движения). Тогда накопление количества вещества и энергии задаются простыми дифференциальными соотношениями:

$$\frac{\partial Q_c}{\partial t} = \sum_j G_j - \sum_i G_i, \quad \frac{\partial Q_l}{\partial t} = \sum_j I_j - \sum_i I_i$$

Данные уравнения должны включать выражения, описывающие интенсивность источников (стоков) веществ, теплоты и импульсов, характеризующих скорости их образования (выделения) и расходования (поглощения) в потоках за счет различных «элементарных» физико-химических процессов.

При исследовании промышленных объектов и систем управления возможность экспериментирования обычно весьма ограничена, и эксперимент дает лишь частичную информацию о характеристиках объекта. Такую информацию можно использовать для решения конкретной инженерной задачи или проверки теоретического расчета для данной конструкции и режима работы объекта, однако она недостаточна для теоретических обобщений. Значительно более полную информацию об объекте или системе управления можно получить при помощи математического описания.

В результате конкретизированного описания получают математические модели реальных систем. В математически подобных явлениях процессы имеют различную физическую природу, но описываются одинаковыми уравнениями. **Математическое моделирование** – метод исследования физических явлений (в том числе и технологических процессов) с помощью специальных моделей, основанный на идентичности формы уравнений и однозначности соотношений между переменными в уравнениях оригинала и модели.

Математическую модель процесса можно построить двумя путями:

- создать теоретическую модель путем глубокого изучения физико-химических закономерностей, присущих процессу;
- построить формальную аппроксимацию исследуемого процесса, рассмотрев его как черный ящик и используя зависимости

между выходными и входными величинами, установленные экспериментальным путем.

Теоретическую модель можно разработать в период исследования объекта управления или на стадии его проектирования. Такие модели универсальны и описывают целую группу аналогичных объектов. Их недостатками являются сложность и неполная адекватность реальным процессам. Для получения не только качественной картины, но и достоверных количественных зависимостей обычно нужно корректировать теоретическую модель по данным исследования реального процесса.

Модели, созданные на основании экспериментальных статистических данных, достаточно просты и приспособлены для реализации в управляющих машинах. Однако их невозможно разработать на стадии проектирования нового процесса, и они пригодны только для того конкретного объекта, на котором производилось исследование. Для распространения таких моделей на другие однотипные процессы необходима их корректировка.

Возможен и **комбинированный подход** – в теоретической модели неизвестные и сложные зависимости, некоторые коэффициенты уравнений и т. п. определяются экспериментальным путем. Математические модели исследуются на вычислительных машинах и устройствах прямой аналогии.

Основные этапы работ по математическому моделированию технологических процессов следующие.

1. Составление формализованного математического описания элементарных процессов для каждого звена исследуемой системы.
2. Составление математической модели процесса – системы уравнений, описывающей элементарные процессы для всех звеньев; уравнений связи между элементарными процессами; уравнений, описывающих ограничения процесса. При решении задач оптимизации система уравнений дополняется целевой функцией.

Для получения модели САУ модель процесса дополняется уравнениями управляющих устройств.

3. Составление алгоритма решения задачи на вычислительной машине, программирование для цифровых вычислительных машин (ЦВМ) или составление схемы набора для аналоговых (АВМ).

4. Исследование модели на вычислительной машине для выявления особенностей процесса или САУ и решения задач оптимизации.

6.1. Составление дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы

Для математического описания работы автоматической системы удобно разбивать их не на элементы, а на динамические звенья или просто звенья.

Динамическим звеном называется часть системы управления, описываемая дифференциальным или иным уравнением определенного вида. Звено в отличие от элемента, не должно обязательно быть законченным конструктивно. Звено может быть отдельной частью элемента автоматически или объекта регулирования, в отдельных случаях звенья могут вообще не иметь физического смысла.

Для составления уравнений переходного процесса автоматическая система разделяется на звенья с минимальным числом степеней свободы. При исследовании сложных систем задача облегчается составлением структурных схем. Для каждого звена записывается дифференциальное уравнение переходного процесса на основании физического или химического закона, которому он подчиняется. Например, для математического описания переходных процессов перемещения жидкостей, газов или паров используется закон сохранения материи; при описании процессов теплообмена применяется закон сохранения энергии и т. д.

Математическое выражение закона, которому подчиняется описываемый переходный процесс в элементарном звене, является **дифференциальным уравнением звена**. Составив дифференциальное уравнение для всех элементарных звеньев системы, получим систему уравнений, описывающую исследуемый переходный процесс в целом.

Большинство управляемых объектов является, строго говоря, нелинейными системами с распределенными параметрами, поэтому точное математическое описание их обычно приводит к сложным нелинейным дифференциальным уравнениям в частных производных. Для решения дифференциальных уравнений обычными математическими методами, необходимо проанализировать физическую сущность процесса и упростить задачу, сделав ряд обоснованных предположений и исключив из уравнения члены высшего порядка малости, не оказывающие существенного влияния на переходный процесс.

Следует иметь в виду, что использование для расчетов ПЭВМ позволяет решать весьма сложные задачи. Поэтому при оценке допустимой и целесообразной степени упрощения математического описания нужно исходить из необходимой точности решения поставленной задачи в зависимости от того, является ли целью исследования определение только качественной картины процесса, получение конкретного инженерного решения или тонкий анализ с возможно более полным учетом всех факторов.

6.2 Экспериментальное определение динамических и статических характеристик промышленных объектов управления

Ввиду недостаточной изученности объектов управления и необходимости принимать при их математическом описании ряд упрощающих допущений в настоящее время динамические и статические характеристики объектов, определенные экспериментально, являются наиболее достоверными и принимаются в качестве эталонов для проверки результатов математического исследования. Кроме того, для решения конкретных инженерных задач на производстве, например для выбора регулятора и расчета его оптимальной настройки, чаще применяются экспериментальные методы определения характеристик объектов управления, так как математическое исследование требует высокой квалификации исследователей и обычно применения вычислительных машин.

При разнообразии статических и динамических характеристик, представляющих интерес для оптимального проектирования объекта или для разработки системы управления, экспериментальное определение всех их весьма трудоемко, а главное – результаты нельзя использовать для аналогичных производств, отличающихся по мощности. Поэтому целесообразнее исследовать все возможные варианты характеристик объектов или систем управления путем математического моделирования с экспериментальной проверкой отдельных наиболее важных результатов. Таким образом, исследование процесса (объекта, системы) должно состоять из следующих основных этапов:

- предварительного математического описания статики и динамики процесса; выбора способа математического моделирования; решения основных задач выбранным способом;
- экспериментального получения данных для проверки и уточнения математической модели;
- уточнения математической модели и исследования всех свойств статических и динамических характеристик объекта (системы).

Типовые объекты управления в промышленности в большинстве случаев можно рассматривать как слабонелинейные системы, для экспериментального исследования которых применимы методы, разработанные для линейных систем.

6.2.1 Снятие переходных характеристик

Зависимости между входными и выходными величинами процесса можно получить в переходных режимах в виде кривых разгона и импульсных характеристик или в установившихся колебательных режимах в виде частотных характеристик при нанесении различных видов (рисунок 6.1) входных сигналов.

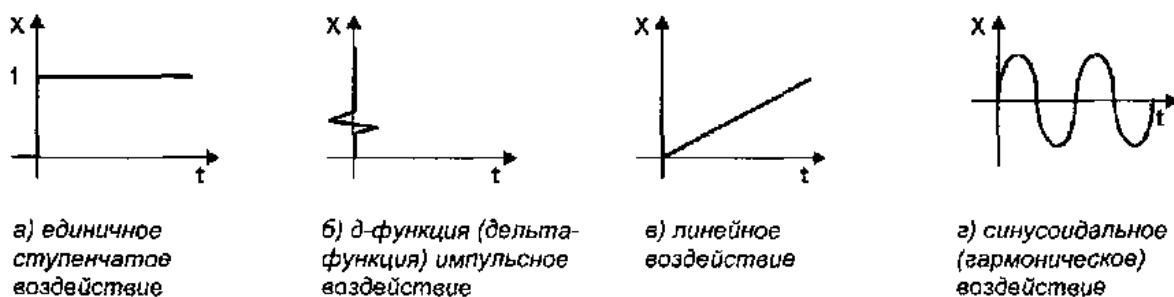


Рисунок 6.1 – Виды входных воздействий

Для определения динамических характеристик объекта регулирования - коэффициента усиления (передачи) объекта K_o , постоянной времени объекта T_o и запаздывания t_d на практике чаще пользуются экспериментальными методами, поскольку зависимость между входной и выходной величиной (переходная характеристика или кривая разгона) легче получить именно таким способом.

Снятие кривых разгона проще, чем определение других динамических характеристик. Кривые разгона снимаются нанесением единичного скачкообразного возмущающего воздействия на входе в объект, приведенный предварительно в состояние равновесия.

Снятие характеристики производится следующим образом. Определяется начальный пропуск при закрытом положении регулирующего органа. Затем перемещают регулирующий орган и через каждые 10–15% хода (отсчитываемого по шкале указателя положения штока) измеряют расход среды через него. Таким же образом снимается статическая характеристика при обратном ходе регулирующего органа.

Объект регулирования или отдельный участок его, включенный в цепь регулирования, во время проведения опытов должен находиться в нормальном эксплуатационном состоянии.

Снятию динамических характеристик должна предшествовать обязательная стабилизация нагрузки объекта регулирования на выбранном значении. При слабо нелинейных свойствах объекта нужно определять его характеристики при минимальной, нормальной и максимальной нагрузках. Продолжительность предварительной стабилизации нагрузки зависит от инерционности объекта и может составлять от десятков минут до нескольких часов (например, для тарельчатых ректификационных колонн).

Величина и продолжительность возмущающих воздействий должны быть достаточными для получения четких записей переходного процесса или установившихся колебаний, не искаженных случайными флуктуациями. Обычно величина возмущающего воздействия выбирается в пределах 15–40% от максимальной, но всегда должна находиться в пределах, допустимых по технологическому режиму.

Для определения настройки регулятора возмущающее воздействие должно наноситься тем регулирующим органом, на который будет воздействовать регулятор. При более полном исследовании свойств объекта нужно определить его характеристики по всем возможным каналам передачи возмущающих и управляющих воздействий.

При проведении эксперимента в производственных условиях часто значительные трудности и ограничения возникают, когда нужно нанести возмущающие воздействия и изменить режим работы объекта, а также в случае продолжительной стабилизации процесса и устранения незапланированных возмущающих воздействий во время эксперимента. Поэтому количество опытов должно быть минимально необходимым, они должны быть тщательно спланированы и подготовлены.

Опыты можно поставить как со специальной аппаратурой, так и при помощи стандартных контрольно-измерительных приборов. Во всех случаях нужно иметь аппаратуру для нанесения вынужденных возмущающих воздействий определенной формы, амплитуды и частоты и для регистрации всех входных и выходных величин.

Приборы для проведения экспериментов должны иметь требуемый класс точности и необходимые пределы измерения. По записи на диаграмме регистрируемого прибора определяется характеристика не объекта, а системы: объект – измерительный прибор. Поэтому статические и динамические характеристики измерительных приборов должны быть известны, чтобы определить характеристику самого объекта. Если характеристики объекта определяются для расчета настройки регулятора, то желательно снимать их при помощи этого же регулятора. Тогда для расчета настройки регулятора не нужно располагать характеристикой его измерительной системы. Она условно относится к объекту. До снятия характеристики первичных приборов необходимо их подготовить и проверить.

Статическая характеристика регулирующего органа, которым наносится возмущающее воздействие, не имеет большого значения при снятии кривых разгона, импульсных и частотных (метод прямоугольной волны) характеристик. Но получение гармонических возмущающих воздействий возможно только при работе в пределах линейной части рабочей расходной характеристики регулирующего органа. Если она значительно отличается от линейной, то ее нужно спрямить профилированием регулирующего органа или применением специального профилированного кулачкового устройства для передачи движения от сервомотора к регулируемому органу. Следует иметь в виду, что расходная характеристика регулирующего органа зависит от рабочих условий, поэтому ее нужно определять в условиях, близких к

эксплуатационным.

6.2.2. Снятие частотных характеристик

Если в эксплуатационных условиях нельзя снять кривую разгона при достаточно большом и продолжительном возмущающем воздействии, то можно получить импульсные характеристики. При нанесении импульсного возмущающего воздействия объект находится в переходном режиме недолго. Поэтому амплитуда возмущения в данном случае может быть значительно больше, чем при снятии кривой разгона.

При снятии частотных характеристик значение регулируемой величины непрерывно колеблется вокруг заданного, поэтому амплитуда возмущающего воздействия может быть больше, чем при снятии кривых разгона. Частотные характеристики получаются нанесением периодических возмущающих воздействий (синусоидальной, трапецеидальной или прямоугольной формы) на входе в систему и регистрацией установившихся периодических колебаний на выходе.

Желательным видом входных возмущений являются синусоидальные колебания. В линейной системе колебания на выходе могут отличаться от колебаний на входе только по величине амплитуды и по фазе. Чтобы получить АФХ объекта при синусоидальных колебаниях, достаточно сравнить выходные и входные колебания для ряда различных частот. Однако создание гармонических колебаний на входе в объект регулирования в заводских условиях может оказаться сложным.

Для упрощения опытов удобно возбуждать на входе в объект периодические колебания в виде "прямоугольной волны". При этом не нарушается режим работы объекта и не снижается точность результатов. Метод "прямоугольной волны" не требует применения генератора колебаний и линеаризации расходной характеристики регулирующего органа, часто необходимой для создания гармонических колебаний. Периодические колебания в виде волны прямоугольной формы могут создаваться вручную любым регулирующим органом, имеющимся на входе в исследуемый объект.

Возмущающие воздействия производятся регулирующим клапаном. На время опыта на штоке клапана укрепляется ограничитель хода, позволяющий перемещать клапан только в определенных пределах, нужных для создания желательной амплитуды колебания регулируемой величины. В случае необходимости можно быстро перейти на ручное управление вентилем, устанавливаемым на обводной линии регулирующего клапана.

Возбуждение периодических возмущений параметра с постоянной амплитудой колебаний без ограничителя хода клапана затруднительно. В этом случае нужны жесткая возвратная пружина клапана, слабая затяжка

сальниковой набивки с хорошей смазкой и пневматическое позиционное реле, облегчающее установку клапана в заданное положение и увеличивающее его чувствительность.

Для получения четкой частотной характеристики важно, каким способом наносятся возмущения. Наиболее просто возбуждать периодические колебания с постоянной амплитудой возмущения. После записи двух-трех установившихся колебаний период возмущений изменяют, и вновь записывают установившиеся колебания при неизменной величине возмущения. Существенными недостатками этого способа являются незначительные амплитуды и дрейф оси "колебаний регулируемой величины". Обработка таких диаграмм затруднительна, а последующие расчеты по ним неточны.

Усиление возмущения на входе в объект приводит к отклонению регулируемой величины от заданного значения, что в ряде случаев недопустимо по технологическому режиму. Желательно увеличивать возмущения до 25–30%, но не допускать изменения параметра сверх заданных пределов. Для этого, в отличие от описанного способа, устанавливают зону изменения регулируемой величины, по выходе из которой изменяют количество входящих в аппарат вещества или энергии, возвращающее параметр в заданную зону (рисунок 6.2).

При повышении регулируемой величины (в данном примере – температуры) до $t_{\max}$ (точки 1 и 3) скачкообразно увеличивается подача охлаждающей воды. При понижении температуры до $t_{\min}$ (точки 2 и 4) подача охлаждающей воды скачкообразно уменьшается. Возмущения подачи воды продолжаются до получения записи трех периодов установившихся колебаний регулируемой температуры.

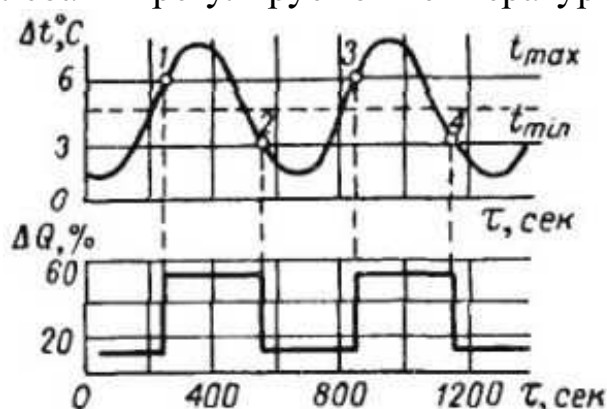


Рисунок 6.2 - Определение частотной характеристики объекта методом "прямоугольной волны" при заданной зоне изменения регулируемой величины

Следует учесть, что вследствие тепловой инерции объекта регулирования после изменения знака возмущающего воздействия температура продолжает некоторое время изменяться в прежнем направлении и выходит из заданной зоны. Поэтому заданная зона должна быть уже допустимых по технологическому режиму пределов изменения

температуры. Выход регулируемого параметра из заданной зоны тем значительнее, чем больше возмущающее воздействие и инерционность процесса.

Изменяя величину возмущающего воздействия и ширину заданной зоны, можно получить колебания регулируемой величины требуемой частоты. Если предварительно сделан расчет АФХ по кривой разгона регулируемой величины, то частотная характеристика снимается только для периода колебаний, вызвавшего сомнение при расчете. Если кривая разгона не определялась, то следует снять частотную характеристику при трех-четырех периодах колебаний в диапазоне рабочих частот процесса регулирования, например при частоте двухпозиционного регулирования, затем при частотах, равных 0.8; 0.6 и 0.4 от этой величины.

ЗАНЯТИЕ 7. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ

Для построения качественной системы управления тем или иным объектом необходимо его полностью изучить, и знать все его особенности функционирования. Для этого используется моделирование – процесс познания, изучения и исследования технологического объекта с помощью его моделей (физическая, математическая, семантическая).

Математическая модель является наиболее приемлемой для создания АСР и представляет собой зависимость выходных параметров объекта, от входных переменных. Целью построения математической модели может являться прогнозирование состояний объекта, получение информации для осуществления управления объектом.

7.1. Математическое описание бака с жидкостью как объекта управления уровнем

Рассмотрим сборник как объект регулирования уровня. Расчетная схема приведена на рисунке 7.1.

Уровень конденсата в сборнике – косвенный показатель гидродинамического равновесия в аппарате. Если уровень постоянный, то соблюдается материальный баланс (приток равен стоку, скорость изменения уровня равна 0).

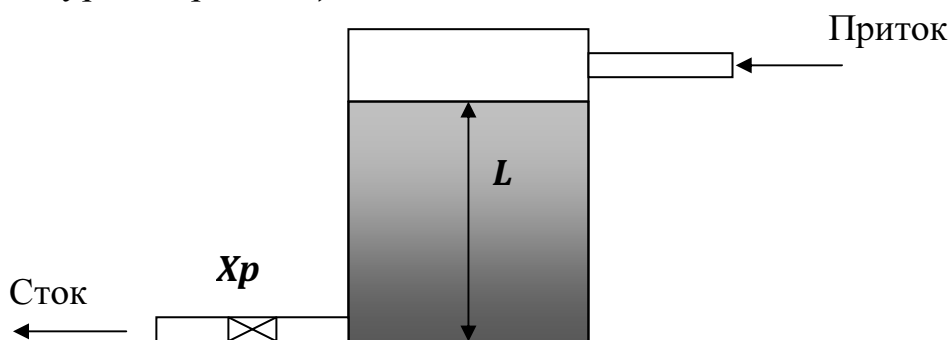


Рисунок 7.1 – Расчетная схема сборника при моделировании уровня

Под притоком будем понимать изменение расхода конденсата вызывающего изменение уровня за счет его испарения.

В установившемся состоянии, когда $F_{пр.0} = F_{ст.0}$, уровень остается постоянным: $L=L_0=const$. Изменение притока возможно за счет воздействия X_p на регулирующий орган клапана.

Прежде чем вывести уравнение, связывающее переменные процесса в динамике, необходимо знать статические зависимости между ними $F_{пр.} = f_1(X_p) + f_2(L)$.

Статические характеристики по данным каналам имеют вид.

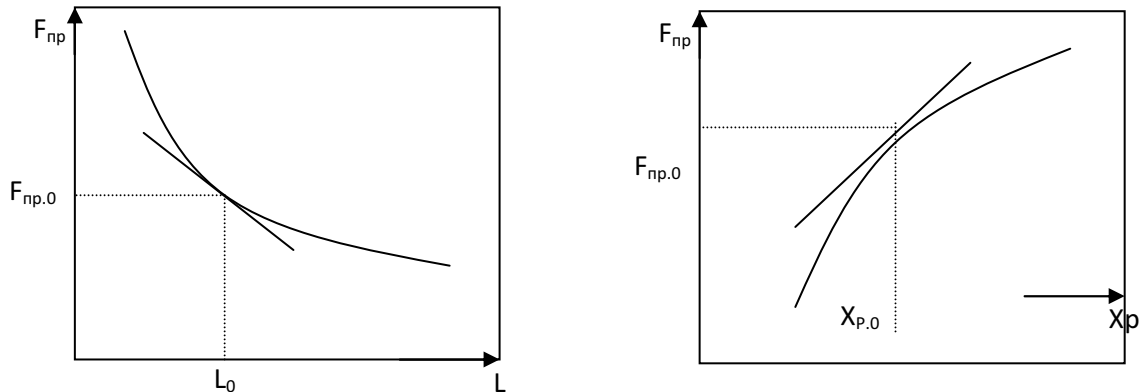


Рисунок 7.2 – Статические характеристики резервуара с самовыравниванием на притоке

$$\text{Тогда } F_{пр.} = K_1 X_p + K_2 L. \quad (7.1)$$

$$\text{где } K_1 = \left(\frac{\partial F_{пр}}{\partial X_p} \right)_0; \quad K_2 = \left(\frac{\partial F_{пр}}{\partial L} \right)_0.$$

Изменим приток, изменив величину $X_{p,0}$ до X_p . Тогда уравнение (7.1) примет вид:

$$F_{пр} - F_{пр.0} = \frac{\partial F_{пр}}{\partial X_p} (X_p - X_{p,0}) + \frac{\partial F_{пр}}{\partial L} (L - L_0). \quad (7.2)$$

При нарушении материального баланса в процессе уровень начнет изменяться согласно уравнению

$$(\Delta F_{пр} - \Delta F_{ст}) dt = S dL, \quad (7.3)$$

где ΔF – отклонение притока (стока) от первоначального значения, m^3/c ;

S – площадь поперечного сечения резервуара, m^2 .

Подставив уравнение (7.2) в уравнение (7.3) получим:

$$\frac{\partial F_{пр}}{\partial X_p} (X_p - X_{p,0}) + \frac{\partial F_{пр}}{\partial L} (L - L_0) - (F_{ст} - F_{ст.0}) = S \frac{dL}{dt}. \quad (7.4)$$

Введем безразмерные переменные, обозначив через:

$$\varphi = \frac{L - L_0}{L_0} \text{ - регулируемый параметр;}$$

$$\mu = \frac{X_p - X_{p,0}}{X_p^{\max}} \text{ - регулирующее воздействие;}$$

$$\lambda = \frac{F_{CT} - F_{CT.0}}{X_{\max}} \text{ -возмущение.}$$

Перепишем в соответствии с этим уравнение (7.4)

$$\frac{\partial F_{PP}}{\partial X_p} \cdot \frac{X_p^{\max}}{F_{\max}} \left(\frac{X_p - X_{p.0}}{X_p^{\max}} \right) + \frac{\partial F_{PP}}{\partial L} \cdot \frac{L_0}{F_{\max}} \left(\frac{L - L_0}{L_0} \right) - \left(\frac{F_{CT} - F_{CT.0}}{F_{\max}} \right) = \frac{S \cdot L_0}{F_{\max}} \cdot \frac{d \left(\frac{L - L_0}{L_0} \right)}{dt} \quad (7.5)$$

Учитывая, что

$$\frac{\partial F_{PP}}{\partial X_p} \cdot \frac{X_p^{\max}}{F_{\max}} = 1; \quad \frac{\partial F_{PP}}{\partial X_p} > 0; \quad \text{а} \quad \frac{\partial F_{PP}}{\partial L} < 0$$

и приняв

$$\frac{\partial F_{PP}}{\partial L} \cdot \frac{L_0}{F_{\max}} = \rho \quad (7.6) \quad \text{и} \quad \frac{S \cdot L_0}{F_{\max}} = T_a \quad (7.7)$$

$$\text{Получим } T_a \frac{d\varphi}{dt} + \rho \cdot \varphi = \mu - \lambda, \quad (7.8)$$

где T_a -время разгона; ρ - коэффициент саморегулирования.

Уравнение (7.8) можно переписать, разделив его предварительно на ρ и приняв $\varphi = X_{\text{вых}}$; $(\mu - \lambda) = (X_r - X_v) = X_{\text{вх}}$.

$$\frac{T_a}{\rho} = T; \quad (7.9)$$

$$\frac{1}{\rho} = K; \quad (7.10)$$

Тогда получим уравнение первого порядка объекта с самовывравниванием в общем виде

$$T \frac{dL}{dt} + L = K_{np} \cdot F_{PP} + K_{cm} F_{CT} \quad (7.11)$$

Второе слагаемое в правой части уравнения (7.11) является возмущающим воздействием и зависит от степени открытия клапана на подачи пара в автоклав при регулировании температуры.

Определим постоянную времени T и коэффициент усиления K_{np} объекта по каналу управления.

Размеры сборника примем 1м на 0,9м, уровень поддерживается в пределах $\pm 0,1$ метра. С учетом номинального расхода $F_{пр} = 2,1 \text{ м}^3/\text{ч}$, обеспечивающего поддержание данного уровня вычислим постоянную времени T по уравнению (7.9) с учетом (7.7).

$$T = S \cdot \frac{L_0}{F_{PP.0}}. \quad T = (0,9 \cdot 1,0) \frac{0,1}{2,1} = 0,043[\text{ч}].$$

$$K = \frac{L_0}{F_{PP.0}} \cdot \frac{F_{\max}}{L_0}.$$

С учетом максимального расхода через клапан $F_{\max} = 2,6 \text{ м}^3/\text{ч}$

$$K = \frac{2,6}{2,1} = 1,23.$$

Таким образом, передаточную функцию сборника как объекта

регулирования уровня по каналу управления можно представить апериодическим звеном первого порядка с постоянной времени T равной 2,6 минуты и безразмерным коэффициентом усиления $K=1,23$.

$$W(p) = \frac{1,23}{2,6p + 1}.$$

7.2. Математическое описание теплообменного аппарата как объекта управления

В качестве примера построения математической модели рассмотрим теплообменный аппарат, предназначенный для охлаждения суспензии с температуры 130°C до 75°C , в котором регулирование температуры осуществляется изменением потока хладагента.

Принципиальная схема теплообменника показана на рисунке 7.3.

Аппарат снабжен мешалкой и рубашкой, в которую подается вода с расходом F_v , благодаря которой происходит охлаждение поступающей суспензии с расходом $F_{\text{сус}}$ и температурой $t_{\text{вх}}$ в рабочем объеме аппарата до заданной температуры $t_{\text{вых}}$.

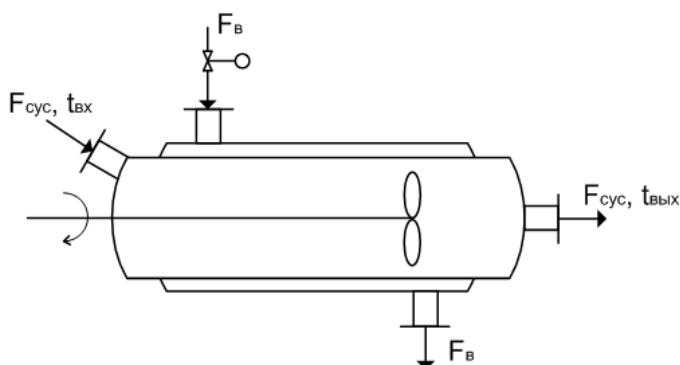


Рисунок 7.3 - Схема теплообменного аппарата

Рассмотрим теплообменный аппарат, как объект управления идеального смешения. Параметры, влияющие на температуру на выходе аппарата:

- $F_{\text{сус}}$ – расход суспензии на входе в теплообменный аппарат;
- $t_{\text{вх}}$ – температура суспензии на входе в теплообменный аппарат;
- $F_{\text{воды}}$ – расход воды.

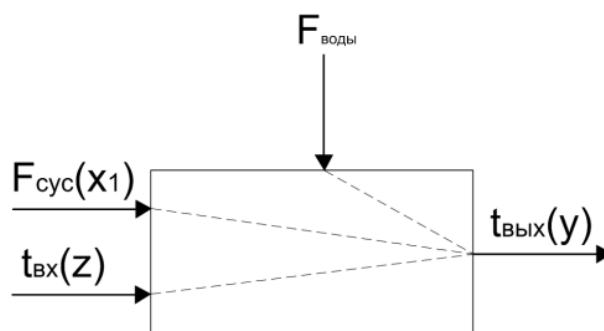


Рисунок 7.4 -Схема динамических каналов в теплообменном аппарате

Для получения уравнения динамики горизонтального охлаждающего аппарата необходимо принять следующую систему допущений:

- температура суспензии $T_{\text{вых}}$ постоянна по всему объему;
- температура стенок T_c одинакова во всех точках;
- коэффициент теплоотдачи α , Вт/(м²·К) между суспензией и поверхностью стенок, постоянен во времени;
- удельная теплоемкость суспензии и материала стенок c постоянна во времени.

Запишем уравнение теплового баланса для теплопередающих стенок за время $d\tau$:

$$F_\epsilon d\tau = m_c c_c dt_c + \alpha A(t_c - t_{\text{вых}}) d\tau$$

где m_c – масса теплопередающих стенок (кг); A – площадь поверхности теплообмена (м²); F_ϵ – расход воды (кг/с).

Уравнение теплового баланса для суспензии за время $d\tau$ имеет вид:

$$F c_{\text{сус}} t_{\text{вх}} d\tau + \alpha A(t_c - t_{\text{вых}}) d\tau - F c_{\text{сус}} t_{\text{вых}} d\tau = m_{\text{жс}} c_{\text{жс}} dt_{\text{вых}}$$

где $m_{\text{сус}}$ – масса суспензии в теплообменнике (кг).

Запишем уравнения в стандартной форме, принятой для дифференциальных уравнений:

$$m_c c_c \frac{dt_c}{d\tau} + \alpha A t_c = F_\epsilon + \alpha A t_{\text{вых}}; \quad m_{\text{сус}} c_{\text{сус}} \frac{dt_{\text{вых}}}{d\tau} + (F c_{\text{сус}} + \alpha A) t_{\text{вых}} = F c_{\text{сус}} t_{\text{вх}} + \alpha A t_c$$

В двух выше написанных уравнениях произведем замену переменных на конечные приращения, отнесенные к номинальным значениям переменных. Для этого необходимо ввести новые обозначения:

$$y = \frac{\Delta t_{\text{вых}}}{t_{\text{вых}}^0}; y_c = \frac{\Delta t_c}{t_c^0}; x = \frac{\Delta F_\epsilon}{F_\epsilon^0}; x_1 = \frac{\Delta F}{F^0}; z = \frac{\Delta t_{\text{вх}}}{t_{\text{вх}}^0};$$

Тогда, дифференциальные уравнения примут вид:

$$m_c c_c t_c^0 \frac{dy_c}{d\tau} + \alpha A t_c^0 y_c = F_\epsilon^0 x + \alpha A t_{\text{вых}}^0 y;$$

$$m_{\text{сус}} c_{\text{сус}} t_{\text{вых}}^0 \frac{dy}{d\tau} + (F^0 c_{\text{сус}} + \alpha A) t_{\text{вых}}^0 y = -F^0 c_{\text{сус}} (t_{\text{вых}}^0 - t_{\text{вх}}^0) x_1 + F^0 c_{\text{сус}} t_{\text{вх}}^0 z + \alpha A t_c^0 y_c$$

Путем преобразований получаем:

$$T^* \frac{dy_c}{d\tau} + y_c = K_3 x + K_5 y; \quad (7.12)$$

$$T^{**} \frac{dy}{d\tau} + y = -K_1 x_1 + K_2 z + K_4 y_c; \quad (7.13)$$

$$\text{где: } T^* = \frac{m_c c_c}{\alpha A}; T^{**} = \frac{m_{\text{сус}} c_{\text{сус}}}{F^0 c_{\text{сус}} + \alpha A}; K_1 = \frac{F^0 c_{\text{сус}} (t_{\text{вых}}^0 - t_{\text{вх}}^0)}{(F^0 c_{\text{сус}} + \alpha A) t_{\text{вых}}^0}; K_2 = \frac{F^0 c_{\text{сус}} t_{\text{вх}}^0}{(F^0 c_{\text{сус}} + \alpha A) t_{\text{вх}}^0},$$

$$K_3 = \frac{F_\epsilon^0}{\alpha A t_c^0}; K_4 = \frac{\alpha A t_c^0}{(F^0 c_{\text{сус}} + \alpha A) t_{\text{вых}}^0}; K_5 = \frac{t_{\text{вых}}^0}{t_c^0}.$$

Для исключения из уравнений (7.12) и (7.13) переменной y_c , необходимо продифференцировать уравнение (7.13) по времени и

выразить из него производную $\frac{dy_c}{d\tau}$ и переменную y_c . Далее, полученные выражения для переменной и производной, необходимо подставить в уравнение (7.12). В полученном уравнении все слагаемые разделить на коэффициент при y , равный $\frac{F^0 c_{\text{сус}} t_{\text{вых}}^0}{\alpha A t_c^0}$. Итоговое уравнение динамики теплообменника имеет вид:

$$T_2^2 \frac{d^2 y}{d\tau^2} + T_1 \frac{dy}{d\tau} + y = kx - k(T_3 \frac{dx_1}{d\tau} + x_1) + (1-k)(T_3 \frac{dz}{d\tau} + z) \quad (7.14)$$

$$\text{где } T_2^2 = \frac{m_c c_c m_{\text{сус}}}{\alpha A F^0}; T_1 = \frac{m_c c_c}{\alpha A} + \frac{m_c c_c}{F^0 c_{\text{сус}}} + \frac{m_{\text{сус}}}{F^0}; T_3 = \frac{m_c c_c}{\alpha A}; k = \frac{|t_{\text{вых}}^0 - t_{\text{вх}}^0|}{t_{\text{вых}}^0}.$$

В уравнении (7.14) показано, что увеличение расхода холодной воды x понижает температуру суспензии y на выходе из теплообменника, а возрастание расхода суспензии x_1 и ее температуры на входе повышает температуру y на выходе.

Из вышесказанного следует, что управление должно осуществляться по каналу $x - y$. Поэтому осуществим преобразование уравнения (7.14) по Лапласу по выбранному динамическому каналу и получим апериодическое звено второго порядка:

$$W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}.$$

Произведем расчет всех постоянных времени и коэффициентов, и получим передаточную функцию в числовом виде.

$$T_2^2 = \frac{m_c c_c m_{\text{сус}}}{\alpha A F^0}; T_1 = \frac{m_c c_c}{\alpha A} + \frac{m_c c_c}{F^0 c_{\text{сус}}} + \frac{m_{\text{сус}}}{F^0}; k = \frac{|t_{\text{вых}}^0 - t_{\text{вх}}^0|}{t_{\text{вых}}^0},$$

где m_c – масса теплопередающих стенок (кг); c_c – удельная теплоемкость стенки (Дж/кг·К); $m_{\text{сус}}$ – масса суспензии в теплообменнике (кг); $c_{\text{сус}}$ – удельная теплоемкость суспензии (Дж/кг·К); A – площадь поверхности теплообмена (м^2); F – расход суспензии (кг/с); α – коэффициент теплоотдачи ($\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$); $t_{\text{вых}}$ – температура на выходе ($^{\circ}\text{C}$); $t_{\text{вх}}$ – температура на входе ($^{\circ}\text{C}$).

Подставив числовые значения, получим:

$$T_2^2 = \frac{152 \cdot 462 \cdot 785}{450 \cdot 10 \cdot 2.2} = 5568(c); T_1 = \frac{152 \cdot 462}{450 \cdot 10} + \frac{152 \cdot 462}{2.2 \cdot 4187} + \frac{785}{2.2} = 380(c); k = \frac{|75 - 130|}{75} = 0.733$$

Окончательно передаточная функция теплообменного аппарата $W_{\text{oy}}(p)$ будет иметь вид:

$$W_{\text{oy}}(p) = \frac{0.733}{5568p^2 + 380p + 1}.$$

Полученная математическая модель теплообменного аппарата с перемешивающим устройством, дает возможность применения

выведенной передаточной функции при изучении систем автоматического регулирования

ЗАНЯТИЕ 8. ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Одной из важнейших характеристик АСУ наряду с точностью является устойчивость. Причем, если показатели точности определяют степень полезности и эффективности системы, то от устойчивости зависит работоспособность системы. Система, не обладающая устойчивостью, вообще не способна выполнять функции управления, и имеет нулевую или даже отрицательную эффективность (т.е. система вредна). Неустойчивая система может привести управляемый объект в аварийное состояние.

Рассмотрим математическую сущность устойчивости и неустойчивости. Согласно определению, устойчивость это способность системы возвращаться в исходное состояние равновесия после прекращения воздействия, выведшего систему из этого состояния. Устойчивость зависит только от характера свободного движения системы $y(t) = y_c(t) + y_v(t)$.

Свободное движение линейной системы описывается однородным дифференциальным уравнением

$$a_0 \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + a_2 \frac{d^{n-2} y(t)}{dt^{n-2}} + \dots + a_n y(t) = 0,$$

где $y(t) = y_c(t)$ - свободная составляющая выходной величины системы.

Вынужденная составляющая выходной величины, зависящая от вида внешнего воздействия и правой части дифференциального уравнения, на устойчивость системы не влияет.

Система считается устойчивой, если свободная составляющая $y_c(t)$ переходного процесса с течением времени стремится к нулю, т.е. если

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_c(t) = 0.$$

Если свободная составляющая неограниченно возрастает, т.е. если

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_c(t) \rightarrow \infty$$

то система неустойчива.

Наконец, если свободная составляющая не стремится ни к нулю, ни к бесконечности, то система находится на границе устойчивости.

Решение уравнения (4) равно сумме

$$y_c(t) = \sum_{k=1}^n c_k e^{p_k t},$$

где c_k - постоянные, зависящие от начальных условий;

p_k - корни характеристического уравнения

$$a_0 p_n + a_1 p_{n-1} + a_2 p_{n-2} + \dots + a_n = 0.$$

Корни характеристического уравнения могут быть:

- действительными - $p_k = a_k$
- мнимыми - $p_k = j\beta_k$
- комплексными - $p_k = a_k \pm j\beta_k$

Переходная составляющая (5) при $t \rightarrow \infty$ стремится к нулю лишь в том случае, если слагаемое вида $c_k e^{p_k t} \rightarrow 0$.

Условие устойчивости.

Для устойчивости линейной автоматической системы управления необходимо и достаточно, чтобы действительные части всех корней характеристического уравнения системы были отрицательными.

При этом действительные корни рассматриваются как частный случай комплексных корней, у которых мнимая часть равна 0.

Если хотя бы один корень имеет положительную действительную часть, то система будет неустойчивой (рисунок 8.1).

Устойчивость АСР зависит только от вида корней характеристического уравнения и не зависит от характера внешних воздействий на систему.

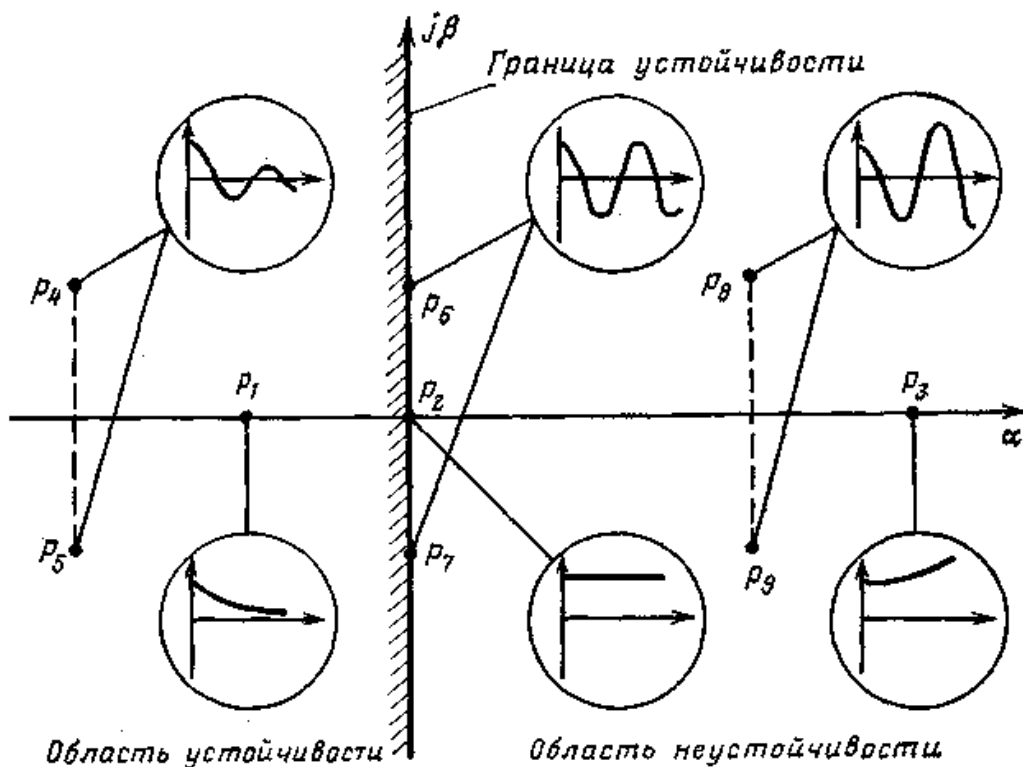


Рисунок 8.1 – Влияние расположения корней характеристического уравнения на устойчивость

Не устойчивая работа может возникать в любой АСР с обратной

связью в результате чего система не возвращается в состояние равновесия или колеблется вокруг него с недопустимой амплитудой. Об устойчивости системы можно судить из решения линеаризованного дифференциального уравнения замкнутой системы:

$$D(p)Y(t)=A(p)X(t)+B(p)G(t).$$

Прямой путь определения устойчивости системы, состоящей в нахождении корней характеристического уравнения, весьма трудоемок, если $n > 3-4$.

Поэтому для исследования сложной системы используются другие методы, называемыми критериями устойчивости.

8.1. КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ РАУСА-ГУРВИЦА

Этот критерий относится к алгебраическим критериям устойчивости. Он накладывает ограничение на коэффициенты характеристического уравнения. Если характеристическое уравнение системы имеет вид

$$\Delta \Gamma = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \cdots & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \cdots & 0 & 0 \\ \cdots & 0 & a_0 & a_2 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & a_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & a_{n-2} & a_n \end{vmatrix}$$

уравнение системы имеет вид $a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_n = 0$, причем $a_0 > 0$, то для устойчивости АСР необходимо и достаточно, чтобы были положительными n определителей Гурвица: $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n$.

Определители Гурвица т.е. диагональные определители квадратной матрицы вида: a_i - коэффициенты характеристического уравнения 3

$$\Delta_1 = a_1; \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}; \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}; \Delta_n = |\Delta \Gamma|$$

Последний определитель Δ_n можно выразить следующим образом: $\Delta_n = a_n \cdot \Delta_{n-1}$. Поэтому вычислять его не требуется, а условие $\Delta_n > 0$ будет выполняться при $\Delta_{n-1} = 0$, $a_n = 0$ и когда $\Delta_{n-1} > 0$, $a_n = 0$.

Условия, при котором система находится на границе устойчивости, можно получить при $\Delta_n = 0$ и неотрицательности всех других определителей. При этом возможны две ситуации: когда $\Delta_{n-1} = 0$, $a_n > 0$ и когда $\Delta_{n-1} > 0$, $a_n = 0$.

Условие $\Delta_{n-1} = 0$ соответствует колебательной границе устойчивости, а условие $a_n = 0$ соответствует аperiodической границе устойчивости.

Критерий устойчивости Рауса-Гурвица рационально применять для уравнений 4-5 порядка. Сформулируем условие устойчивости на основании этого критерия для систем различного порядка.

Характеристические уравнения I и II степени (порядка).

Для них необходимый критерий устойчивости, заключающийся в положительности всех коэффициентов уравнения, является и достаточным следовательно, условие устойчивости: $a_0 > 0$; $a_1 > 0$; $a_2 > 0$.

Характеристические уравнения III степени (порядка).

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0.$$

Для него имеем: $a_0 > 0$; $a_1 > 0$; (из Δ_1)

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0 \Rightarrow a_1 a_2 > a_0 a_3;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = \Delta_{n-3} a_n > 0, a_n > 0;$$

$$\Delta_2 a_3 > 0, a_3 > 0;$$

Следовательно, в этом случае, кроме положительности всех коэффициентов уравнения, требуется еще соблюдение условия: $a_1 a_3 > a_0 a_2$; $a_i > 0, i = \overline{0,3}$

Характеристические уравнения IV степени (порядка).

$$a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0$$

Для него Δ_1 и Δ_2 те же:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = a_1 a_2 a_3 - a_0 a_3^2 - a_1^2 a_4 > 0;$$

$$\Delta_4 = \Delta_3 a_4 > 0;$$

В этом случае для устойчивости системы, кроме положительности всех коэффициентов, требуется выполнение условия: $a_1 a_2 a_3 > a_0 a_3^2 + a_1^2 a_4$

Пример 1.

Используя критерий Рауса-Гурвица определить диапазон изменения коэффициента настройки K_p пропорционального регулятора в котором система регулирования (рисунок 8.2) будет устойчива, при условии $T_1 > 0$, $T_2 > 0$, $T_3 > 0$.

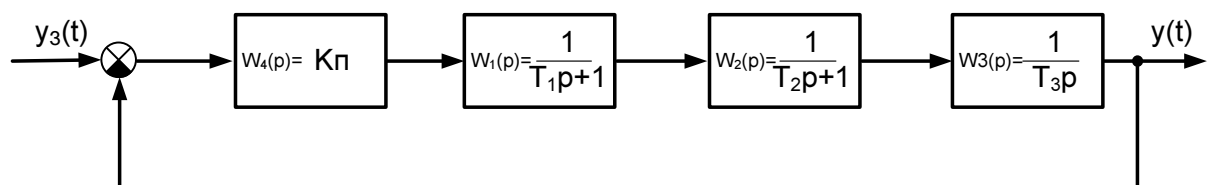


Рисунок 8.2 – Структурная схема АСР

Передаточная функция замкнутой системы регулирования имеет вид

$$W_{\text{зс}}(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) \cdot W_4(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) \cdot W_4(p)}.$$

Подставив передаточные функции звеньев, после преобразования получим

$$W_{\text{зс}}(p) = \frac{K_p}{T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot p^3 + (T_1 + T_2) \cdot T_3 \cdot p^2 + T_3 \cdot p + K_p}.$$

Для устойчивой систем регулирования в характеристическом

уравнении $T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot p^3 + (T_1 + T_2) \cdot T_3 \cdot p^2 + T_3 \cdot p + K_p = 0$

Все коэффициенты должны быть положительными, следовательно, $K_p > 0$.

Составим определитель Гурвица для рассматриваемой системы регулирования

$$\begin{bmatrix} (T_1 + T_2)T_3 & K_p & 0 \\ T_1 T_2 T_3 & T_3 & 0 \\ 0 & (T_1 + T_2)T_3 & K_p \end{bmatrix} > 0.$$

Запишем условие устойчивости

$$\Delta_1 = (T_1 + T_2) \cdot T_3 > 0;$$

$$\Delta_2 = (T_1 + T_2) \cdot T_3^2 - T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot K_p > 0;$$

$$\Delta_3 = \Delta_2 \cdot K_p = [(T_1 + T_2) \cdot T_3^2 - T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot K_p] \cdot K_p > 0;$$

Первый определитель Δ_1 Гурвица положителен, так как по условию задачи $T_1 > 0$, $T_2 > 0$, $T_3 > 0$. Третий определитель Гурвица Δ_3 будет положителен при $K_p > 0$ всегда, когда положительным окажется второй определитель Гурвица Δ_2 .

Т.е. для устойчивости рассматриваемой АСР необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\Delta_2 = (T_1 + T_2) \cdot T_3^2 - T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot K_p > 0,$$

Из которого следует

$$K_p < \frac{T_3}{T_2} + \frac{T_3}{T_1}.$$

Таким образом, диапазон изменения коэффициента регулятора K_p , в котором система регулирования будет устойчива, определяется неравенством

$$0 < K_p < \frac{T_3}{T_2} + \frac{T_3}{T_1}.$$

Пример 2.

Используя критерий Гурвица определить предельное значение коэффициента K_p , при котором система (рисунок 8.3) будет устойчива.

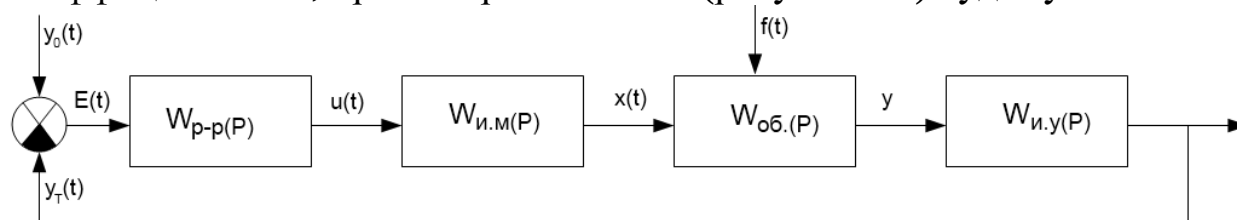


Рисунок 8.3 – Структурная схема замкнутой АСР

$$W_{и.у.}(p) = \frac{K_{и.у.}}{T_{и.у.}p + 1}; \quad K_{и.у.} = 0,75; \quad T_{и.у.} = 7с.$$

$$W_{об.}(p) = \frac{K_{об.}}{T_{об.}p + 1}; \quad K_{об.} = 3; \quad T_{об.} = 28с.$$

$$W_{им.}(p) = \frac{K_{им.}}{T_{им.}p+1}; \quad K_{им.} = 1,5; \quad T_{им.} = 14с.$$

$$W_{pp.}(p) = Kп;$$

Найдем передаточную функцию разомкнутой системы:

$$\begin{aligned} W_{p.c} &= \frac{\left(\frac{K_{и.у.}}{T_{и.у.}p+1}\right) * \left(\frac{K_{об.}}{T_{об.}p+1}\right) * \left(\frac{K_{им.}}{T_{им.}p+1}\right) * K_p}{1 + \left(\frac{K_{и.у.}}{T_{и.у.}p+1}\right) * \left(\frac{K_{об.}}{T_{об.}p+1}\right) * \left(\frac{K_{им.}}{T_{им.}p+1}\right) * K_p} = \\ &= 1 + \frac{K_p * K_{и.у.} * K_{об.} * K_{им.}}{(T_{и.у.}p+1) * (T_{об.}p+1) * (T_{им.}p+1)} = \\ &= \frac{(T_{и.у.}p+1) * (T_{об.}p+1) * (T_{им.}p+1) + K_p * K_{и.у.} * K_{об.} * K_{им.}}{(T_{и.у.}p+1) * (T_{об.}p+1) * (T_{им.}p+1)} = \\ &= (T_{и.у.}p+1) * (T_{об.}p+1) * (T_{им.}p+1) + K_p * K_{и.у.} * K_{об.} * K_{им.} = \\ &= (7p+1) * (28p+1) * (14p+1) + K_p * 0,75 * 3 * 1,5 = \\ &= (7p+1) * (28p+1) * (14p+1) + 3,375K_p = \\ &= 2744p^3 + 98p^2 + 392p^2 + 14p + 196p^2 + 7p + 28p + \\ &+ 1 + 3,375K_p = 2744p^3 + 686p^2 + 49p + 1 + 3,375K_p \end{aligned}$$

Характеристическое уравнение системы будет иметь вид:

$$2744p^3 + 686p^2 + 49p + 1 + 3,375K_p = 0$$

Составим определитель 3-го порядка:

$$\begin{vmatrix} 686 & 1+3,375K_p & 0 \\ 2744 & 49 & 0 \\ 0 & 686 & 1+3,375K_p \end{vmatrix} > 0$$

Найдем предельное значение коэффициента K_p , при котором система (рисунок 8.3) будет устойчива.

$$686 \cdot 49 - 2744 \cdot (1 + 3,375K_p) > 0$$

$$33614 - 2744 - 9261K_p > 0$$

$$30870 - 9261K_p > 0$$

$$30870 > 9261K_p$$

$$K_p < 3,3$$

В диапазоне реализуемости регулятора ($0 < K_p < 3,3$) автоматическая система регулирования будет устойчивой, но иметь различное качество

процесса регулирования, зависящее от коэффициента настройки регулятора K_p .

8.2. КРИТЕРИЙ УСТОЙЧИВОСТИ НАЙКВИСТА

Критерий основан на рассмотрении амлитудно-фазо-частотной характеристики (АФЧХ) разомкнутой системы. По её виду судят об устойчивости замкнутой системы. АФЧХ разомкнутой системы может быть получена как теоретически, так и экспериментально. Поэтому этот метод имеет преимущество перед алгебраическими критериями устойчивости

Рассмотрим произвольную функцию разомкнутой системы:

$$W(p) = \frac{B(p)}{D(p)},$$

где $D(p)$ - характеристический полином разомкнутой системы.

Положим $p = j\omega$, тогда критерий Найквиста можно будет сформулировать так:

Замкнутая система устойчива, если при изменении частоты ω от 0 до ∞ амлитудно - фазовая характеристика разомкнутой системы (годограф) $W(j\omega)$ не охватывает точку с координатами $(-1, j0)$.

Пример 1. По критерию Найквиста определим устойчивость системы описываемой передаточной функцией следующего вида:

$$W(p) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)};$$

Частотная характеристика системы (рисунок 8.4) имеет вид:

$$W(j\omega) = \frac{k}{j\omega(T_1 j\omega + 1)(T_2 j\omega + 1)}$$

Из рисунка АФЧХ видно, что система будет устойчива, если точка пересечения годографа с осью U будет располагаться правее точки с координатами $(-1; j0)$.

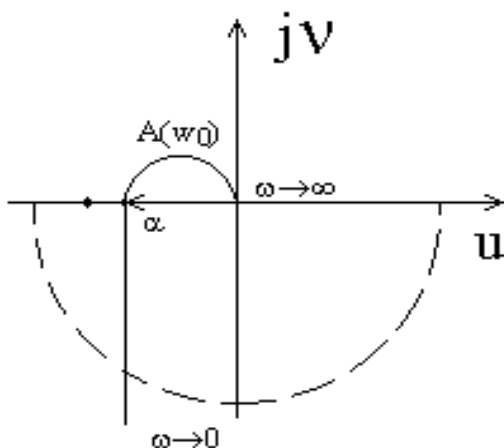


Рисунок 8.4 – Амплитудно-фазо-частотная характеристика (АФЧХ) устойчивой системы

Следовательно, должно выполняться условие амплитуда $A(\omega)$ для устойчивой системы должна не охватывать точку (-1) , т.е. $A(\omega) < 1$ (8.1).

Частоту ω_a можно получить, положив мнимую часть частотной функции $W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega)$ равной нулю.

$$W(\omega) = -\frac{jk(1-j\omega T_1)(1-j\omega T_2)}{\omega(1+T_1^2\omega^2)(1+T_2^2\omega^2)}; \quad V(\omega) = \frac{k(1-\omega^2 T_1^2 T_2^2)}{\omega(1+T_1^2\omega^2)(1+T_2^2\omega^2)};$$

$$\text{При этом } V(\omega) = 0; \quad \omega_a = \frac{1}{\sqrt{T_1 T_2}};$$

подставив, ω_a в уравнение (8.1), получаем:

$$\frac{k}{\frac{1}{\sqrt{T_1 T_2}} \sqrt{1 + \frac{T_1}{T_2}} \sqrt{1 + \frac{T_2}{T_1}}} < 1; \quad k < \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2};$$

Пример 2. Определить максимально допустимое значение общего передаточного коэффициента системы, состоящей из трех инерционных звеньев первого порядка с одинаковыми постоянными времени $T_1=T_2=T_3=T$.

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид $W(p)=k(Tp+1)^3$, а амплитудно-частотная функция $A(\omega) = |W(j\omega)| = k/(\sqrt{T^2\omega^2+1})^3$, фазо-частотная функция $\varphi(\omega)=\arg W(j\omega) = -3\arctg \omega T$.

Система будет находиться на границе устойчивости, если АФХ разомкнутой системы пройдет через точку $(-1; j0)$, т.е. если при некоторой частоте $\omega=\omega_{кр}$ одновременно выполняются условия: $A(\omega_{кр})=1$; $\varphi(\omega_{кр})=-\pi$.

Для рассматриваемой системы эти условия имеют вид

$$k/(\sqrt{T^2\omega_{кр}^2+1})^3=1, \quad -3\arctg \omega_{кр} T = -\pi. \quad (8.2)$$

$$\text{Откуда } \omega_{кр} T = \sqrt{3}. \quad (8.3)$$

Подставляя выражение (8.3) в условие (8.2) получим искомое значение передаточного коэффициента $k=8$.

Из приведенного решения следует также, что предельное значение передаточного коэффициента не зависит от абсолютного значения постоянных времени T .

ЗАНЯТИЕ 9. ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Качество является одной из важнейших характеристик, определяющих эффективность автоматических систем регулирования. Чтобы управлять качеством сложных технических систем, необходимо установить уровень качества и уметь его измерять.

Однако получить такую характеристику качества системы в виде функциональной зависимости от множества ее структурных, технических, аппаратных и эксплуатационных характеристик весьма сложно. Поэтому о качестве систем автоматического регулирования сложными технологическими процессами судят в первую очередь по их функциональным свойствам (устойчивость, статическая и динамическая

точности).

Существенное значение имеет качество процессов регулирования, т. е. сам характер протекания переходных процессов и прежде всего их длительность и колебательность.

На АСР воздействуют два типа внешних сигналов:

- 1) задающее воздействие $y_o(t)$;
- 2) возмущающие воздействия f_1 (внутреннее возмущение) и f_2 (внешнее возмущение).

АСР должна **удовлетворять двум** основным требованиям:

а) с максимальной точностью обрабатывать задающий сигнал, т. е. необходимо, чтобы $y(t) = y_o(t)$;

б) по возможности не реагировать на возмущения $f_1(t)$ и $f_2(t)$, т. е. ошибка $\varepsilon(t)$, возникающая под действием возмущения, должна быть наименьшей и ее необходимо максимально быстро ликвидировать.

В зависимости от назначения системы существенным становится требование, сформулированное в пункте «а», либо оба эти требования играют одинаковую роль. В системах стабилизации сигнал $y_o(t) = \text{const.}$, и для этих систем важно требование, сформулированное в пункте «б». В системах программного управления на первый план выступает требование максимальной приемистости в обработке сигнала задания. В следящих системах оба требования имеют одинаковое значение.

Качество регулирования численно может быть охарактеризовано прямыми показателями качества, которые можно определить непосредственно из кривых переходных процессов АСР (рисунок 9.1).

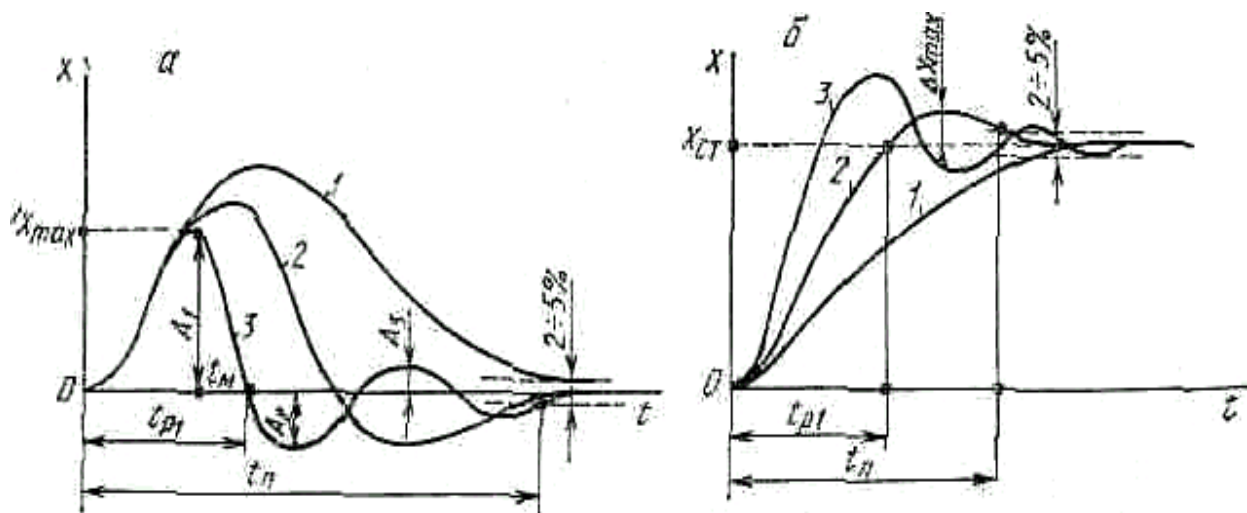


Рисунок 9.1 - Переходные характеристики автоматической системы регулирования при отработке внутреннего возмущения (а) и скачкообразном изменении задания (б).

Показателями качества функционирования систем автоматического регулирования называют величины характеризующие поведение системы в переходном процессе при поступлении на ее вход единичного

ступенчатого возмущения.

Для работоспособности системы важно, чтобы процесс автоматического регулирования осуществлялся при обеспечении определенных качественных показателей.

Требования к качеству процесса регулирования в каждом случае могут быть разнообразными, однако из всех качественных показателей можно выделить несколько наиболее существенных, с достаточной полнотой характеризующих работу почти всех систем автоматического регулирования.

Качество работы АСР принято оценивать по форме кривой переходного процесса.

Для систем автоматической стабилизации обычно анализируется переходный процесс в системе при скачкообразном изменении внешнего воздействия. Для следящих систем и систем программного регулирования рассматривается переходный процесс, вызванный скачкообразным изменением заданного значения регулируемого параметра, т.к. этот вид возмущения является для них более характерным и особенно неблагоприятным. Переходные процессы в зависимости от типа объекта и регулятора могут быть апериодическими и затухающими колебательными.

На рисунке 9.1 приведены примеры таких переходных характеристик АСР, представляющих собой переходные процессы на выходе системы, вызванные воздействием в виде единичного скачка возмущения $f_1(t)$, приложенного ко входу объекта (рисунок 9.1, а), и задающего сигнала $y_o(t)$ (рисунок 9.1, б), в соответствии с которым выходная величина $y(t)$; системы по окончании переходного процесса стабилизируется на новом уровне.

Все критерии качества можно разбить на четыре группы:

Критерии точности - используются для оценки величины ошибок, возникающих в различных типовых установившихся режимах.

Критерии запаса устойчивости- определяют отдалённость системы от границы устойчивости. Здесь используются два подхода для оценки качества систем по этому критерию. Один основан на анализе переходных процессов системы; другой- на исследовании её частотных характеристик.

Критерии быстродействия - используются при оценке быстродействия системы. Под быстродействием понимается, как быстро система реагирует на задающее и возмущающее воздействие. Здесь также используются два подхода: временной и частотный.

Комплексные критерии- к ним относятся обобщённые критерии, характеризующие одновременно точность, запас, устойчивость и быстродействие.

Точность в типовых режимах (критерии точности).

Качество работы любой системы определяется прежде всего точностью управления, то есть величиной ошибки $\varepsilon(t) = y_o(t) - y_r(t)$. Знание мгновенных значений $\varepsilon(t)$ в течение всего времени работы АСР позволяет наиболее полно судить о свойствах системы.

Рассмотрим структурную схему АСР (рисунок 9.1, находящуюся под воздействием задающего $y_3(p)$ и возмущающего $f(p)$ сигналов. Согласно структурной схеме можно записать выражение для изображения ошибки в виде $\varepsilon(p) = \Phi_{\varepsilon y_3}(p) \cdot y_3(p) \pm \Phi_{\varepsilon y_f}(p) \cdot f(p) = \varepsilon_y(p) + \varepsilon_f(p)$, где передаточная функция от задающего воздействия имеет вид

$$\Phi_{\varepsilon y_3}(p) = \frac{1}{1 + W_{PC}(p)}. \quad (9.1)$$

Передаточная функция разомкнутой системы $W_{PC}(p)$ равна произведению передаточных функций элементов системы.

Передаточная функция от возмущающего воздействия f_1 имеет вид

$$\Phi_{\varepsilon y_f}(p) = \frac{W_{об}(p)}{1 + W_{PC}(p)}. \quad (9.2)$$

В соответствии с теоремой преобразования Лапласа о конечном значении функции точность работы АСР в установленном режиме оценивается по величине установившейся ошибки.

Для ошибки от задающего воздействия имеем выражение

$$\varepsilon_y(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} p \cdot \Phi_{\varepsilon y}(p) \cdot Y_3(p). \quad (9.3)$$

Для ошибки от возмущающего воздействия имеем выражение

$$\varepsilon_f(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} p \cdot \Phi_{\varepsilon f}(p) \cdot f(p). \quad (9.4)$$

Чем меньше $\varepsilon(t)$, тем выше качество АСР.

Точность АСР в установившемся режиме характеризуется ошибками, возникающими при типовых воздействиях в виде постоянной величины y_o , постоянной скорости V ; постоянном ускорении $at^2/2$; гармонической функции $y_o \cdot \sin \omega$.

Подставляя в выражения для ошибки значения соответствующих передаточных функций и изображения типовых сигналов $\varepsilon_y(p)$, $\varepsilon_f(p)$ и приравнявая p к нулю, получим соответствующие значения ошибки.

Определение ошибок при типовых воздействиях.

Статическая ошибка при постоянном ступенчатом воздействии $y(t) = y_o(t) = \text{const}$ определяется следующим образом.

Подставим в выражение (9.3) изображение входного воздействия $y(p) = \frac{y_o}{p}$ и с учетом (9.1), выражение для $\varepsilon_y(p)$ можно записать в виде

$$\varepsilon_y = \left[p \frac{1}{1+W(p)} y(p) \right]_{p=0} = \left[\frac{1}{1+W(p)} \cdot \frac{y_0}{p} \right]_{p=0} = \left[\frac{y_0}{1+W(p)} \right]_{p=0}. \quad (9.5).$$

Ошибка ε_a при изменении сигнала $y(t)=a \cdot t^2/2$, $y(p)=a/p^3$ с постоянным ускорением определяется выражением

$$\varepsilon_a = \left[p \frac{1}{1+W(p)} \cdot \frac{a}{p^3} \right]_{p=0} = \left[\frac{a}{p^2} \frac{1}{1+W(p)} \right]_{p=0}. \quad (9.6).$$

Для **статических** систем $W(p) = K$, поэтому ошибка в соответствии с выражением (9.5)

$$\varepsilon_y = \frac{y_0}{1+K}$$

Для **астатических** систем для упрощения анализа можно принять $W(p) = Kv/p$, поэтому статическая определится как

$$\varepsilon_y = \left[p \frac{1}{1 + \frac{K_v}{p}} \frac{y_0}{p} \right]_{p=0} = 0.$$

В **астатических** системах статическая ошибка равна нулю.

Ошибка по скорости изменения сигнала на входе системы для **статической** системы имеет вид

$$\varepsilon_v = \left[\frac{V}{p^2} \frac{1}{1+K} p \right]_{p=0} = \infty.$$

Ошибка по ускорению в статической системе так же равна бесконечности.

Для систем с астатизмом второго и более высокого порядка скоростная ошибка равна нулю.

Однако в силу случайности задающих и возмущающих воздействий такой подход не используется. Поэтому приходится судить о качестве АСР по некоторым её свойствам, проявляющимся при различных типовых воздействиях.

Для определения качественных показаний системы в этом случае используется так называемые критерии качества или прямыми показателями (критериями) качества переходных процессов

Прямые показатели (критерии) качества переходных процессов.

Проблема определения прямых показателей качества переходных процессов АСР с математической точки зрения сводится к построению переходного процесса путем отыскания общего решения неоднородного дифференциального уравнения, описывающего систему при заданных начальных условиях и воздействиях. Эта проблема для линейных стационарных систем не представляет принципиальных трудностей, но

для систем, описываемых уравнениями выше третьего порядка, она практически оказывается не простой. Это обусловлено громоздкостью числовых расчетов, требующих вычисления полюсов и нулей передаточной функции системы, определения постоянных интегрирования и построения кривых переходного процесса. Кроме того, изменение хотя бы одного из параметров системы заставляет заново производить все расчеты и построения.

Поэтому в теории регулирования применяют приближенные методы анализа переходных процессов по косвенным критериям качества, позволяющим оценить характеристики переходного процесса без необходимости непосредственного решения дифференциальных уравнений системы.

Время переходного процесса или *полное время регулирования* t_m характеризует быстродействие системы и определяется как интервал времени от начала переходного процесса до момента, когда отклонение выходной величины от ее нового установившегося значения становится меньше определенной достаточно малой величины. Обычно в качестве последней берут 2—5 % максимального отклонения в переходный период.

Статическая ошибка регулирования — отклонение регулируемой величины от заданного значения по окончании переходного процесса.

Динамическая ошибка регулирования — величина наибольшего отклонения регулируемого параметра от заданного значения.

Время первого достижения регулируемой величиной заданного значения t_{p1} служит одной из оценок качества регулирования АСР относительно задающего воздействия и определяется как интервал времени от начала переходного процесса до момента, когда регулируемая величина впервые достигает заданного значения.

Максимальное отклонение в переходный период для переходных процессов, вызванных возмущением (рисунок 9.1,а), определяется величиной A_1 , приходящейся на единицу возмущения $f_1(t) = 1(t)$. При отработке задающего воздействия (рисунок 9.1,б) максимальное отклонение, относительно нового установившегося значения $X_{ст}$, пропорционального или равного заданному воздействию $X_{зд}$,

$$\sigma = \frac{\Delta X_{\max} - X_{сс}}{X_{ст}} \cdot 100\%, \text{ называется перерегулированием.}$$

Время достижения регулируемой величиной максимального отклонения в переходный период $t_{\max}$ определяется как интервал времени от начала переходного процесса до момента, когда отклонение выходной величины достигает максимального значения.

Переходные характеристики (рисунок 9.1) бывают монотонными (кривые 1) и колебательными (кривые 2 и 3). Особенностью

колебательной переходной характеристики является наличие переходов через установившееся значение (перерегулирований). Если имеется одно перерегулирование, то характеристика называется малоколебательной.

Колебательность переходного процесса обычно определяется числом колебаний, равным числу минимумов кривой переходного процесса в интервале $[0, t_n]$ при ликвидации возмущения, или в случае отработки задания — числом перерегулирований за этот же интервал. Иногда колебательность переходного процесса оценивают отношением соседних максимумов A_2/A_1 . Эта величина называется колебательностью и выражается в процентах. Колебательность переходного процесса может характеризоваться величиной степени затухания ψ .

Степень затухания называется отношение разности двух соседних положительных максимумов переходного процесса к первому из

соседних максимумов:
$$\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = 1 - \frac{A_3}{A_1}$$

Все промежуточные значения степени затухания будут находиться в пределах $0 < \psi < 1$. При этом степень затухания $\psi = 1$ соответствует аperiodической форме переходного процесса (рисунок 9.1, кривая 1).

В большинстве случаев требуется, чтобы перерегулирование не превышало 10—30%. Иногда важно, чтобы перерегулирование отсутствовало и процесс был монотонным.

Переходный процесс обычно должен иметь одно-два колебания, но допускается до трех-четырех. Поэтому в настоящее время не существует единого взгляда на то, какая именно степень затухания является оптимальной. В большинстве случаев она находится в пределах 0,75—0,98. Более определенный выбор должен производиться в зависимости от конкретных требований с учетом выбранного критерия качества.

Приведенные временные критерии качества переходных процессов будут прямыми в том смысле, что при их помощи оценивается непосредственно процесс регулирования, возникающий при том или ином (чаще ступенчатом) типовом воздействии.

ЗАНЯТИЕ 10. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА НА КАЧЕСТВО И УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Закон автоматического регулятора — это уравнение регулятора, выражающее управляющее воздействие (выходная величина регулятора) через рассогласование и возмущение (входная величина). Типовыми являются следующие законы регулирования по отклонению.

1. Пропорциональный закон (П-регулятор)

$$u = k_p \varepsilon,$$

где k_p -коэффициент передачи регулятора.

2. Пропорционально - дифференциальный закон (ПД-регулятор)

$$u = k_p \left(\varepsilon + T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \right),$$

где T_d - постоянная времени дифференцирования.

Благодаря наличию $\frac{d\varepsilon}{dt}$ данный регулятор по сравнению с П-регулятором при прочих равных условиях оказывает на ОР большее воздействие, если ε возрастает и наоборот. Регулятор как бы предвещает дальнейшее изменение регулируемой величины и благодаря этому устраняет ε более быстро и плавно.

3. Интегральный закон (И-регулятор)

$$u = k_p \int \varepsilon dt.$$

4. Пропорционально-интегральный закон (ПИ-регулятор)

$$u = k_p \left(\varepsilon + \frac{1}{T_u} \int \varepsilon dt \right),$$

где T_u - постоянная времени интегрирования.

5. Пропорционально–интегрально–дифференциальный закон (ПИД-регулятор)

$$u = k_p \left(\varepsilon + \frac{1}{T_u} \int \varepsilon dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \right).$$

Все регуляторы, содержащие в законе регулирования интеграл, обеспечивают астатическое регулирование, т.к. $\varepsilon=0$. Если предположить что, $\varepsilon=\text{const} \neq 0$, то интеграл должен стремиться к бесконечности, что невозможно.

Типовая инженерная задача расчета и проектирования АСР сводится к выбору закона регулирования и расчету параметров настройки регулятора k_p , T_d и T_u .

Часто на практике требования к качеству работы проектируемой АСР задают не в виде значений отдельных показателей качества, а в виде требования реализации одного из трех оптимальных процессов регулирования.

Апериодический процесс регулирования показан на рисунке 10.1,б. Согласно данному графику регулируемый параметр после, отклонения плавно возвращается к заданному значению. Этот процесс характеризуется минимальным временем регулирования, но имеет максимальную динамическую ошибку.

Процесс регулирования с 20%-м перерегулированием условно показан на рисунке 10.1, в. Для этого процесса характерны меньшая, чем в апериодическом процессе, динамическая ошибка, но большее время регулирования. Перерегулирование здесь не должно превышать 20 %.

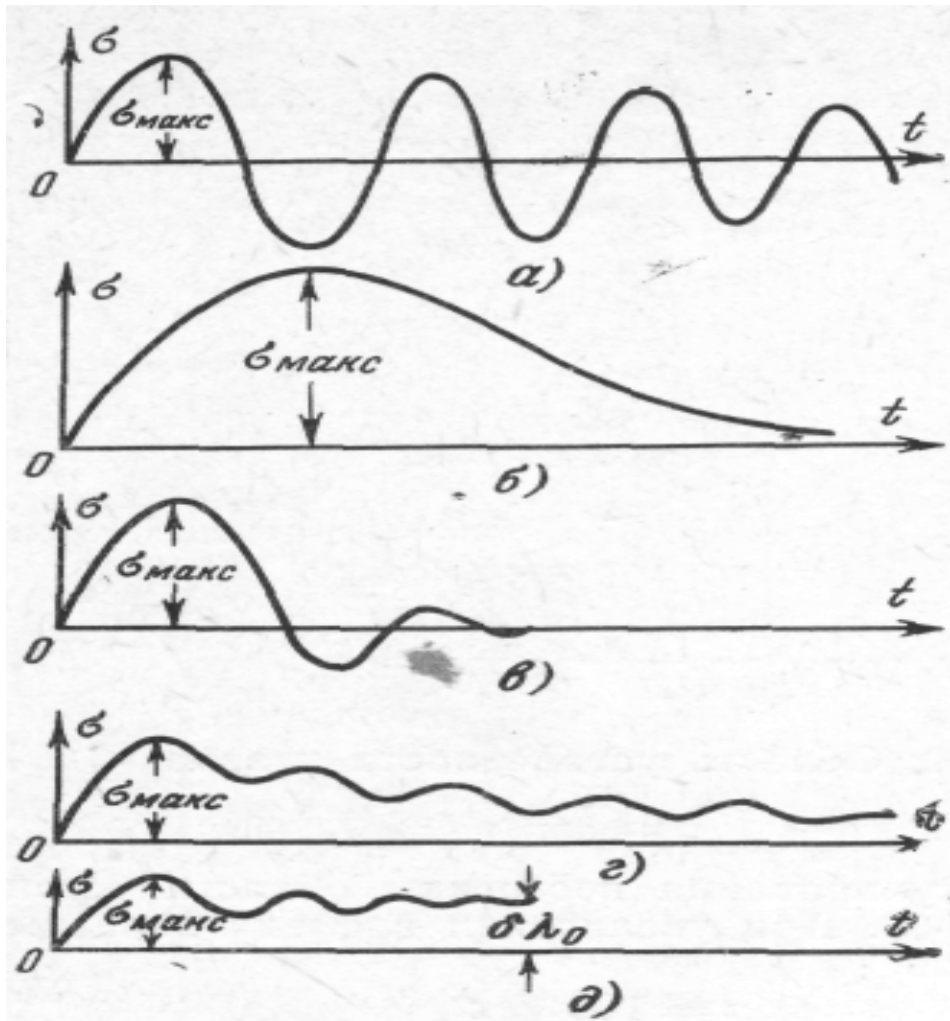


Рисунок 10.1 – Возможные формы переходных процессов в АСР

Процесс регулирования с минимальным интегральным показателем качества. Для этого процесса регулирования, где интегральный показатель качества (критерий) сведен к минимуму: $I = \int_0^{t_{\text{рег}}} \varepsilon^2 dt \rightarrow \min$, характерны минимальная динамическая ошибка и максимальное время регулирования.

Выбор необходимого оптимального процесса регулирования определяется видом управляемого технологического процесса.

Рассмотрим кривые переходных процессов в какой-либо системе автоматического регулирования, изображенные на рисунке 10.1. Все кривые, полученные при различных значениях настроечных параметров ПИ-регулятора, характеризуются устойчивой формой переходного режима, т. е. ни в одном случае процесс не является расходящимся. Однако легко видеть, что все изображенные процессы различны.

Процесс а затухает очень медленно и поэтому не может быть признан

удовлетворительным.

Процесс б носит аperiodический характер и с точки зрения интенсивности затухания - может считаться весьма удовлетворительным.

Таким образом, возникают два противоречивых требования: отклонения регулируемой величины должны быть минимальными, а интенсивность затухания высокой. Очевидно, ни процесс а, ни процесс б этим требованиям не удовлетворяют.

Процесс в характеризуется достаточной интенсивностью затухания, а максимальное отклонение регулируемой величины хотя и больше, чем в процессе а, но заметно меньше, чем в процессе б.

Таким образом, из первых трех процессов наиболее приемлемым может быть признан процесс в.

Однако, сравнивая его с процессом а, следует отметить существенное увеличение отклонения регулируемой величины $\sigma_{\text{МАКС}}$. Поэтому в тех случаях, когда предъявляются жесткие требования к максимальным отклонениям регулируемой величины, он также не может считаться, приемлемым.

Рассмотрим следующие два процесса. Процесс г отличается меньшим отклонением регулируемой величины, однако возвращение ее к требуемому значению происходит очень длительно. По этой причине он также не может считаться удовлетворительным,

Процесс д характеризуется еще меньшим отклонением регулируемой величины, однако последняя не возвращается к требуемому значению. Налицо статическая ошибка регулирования — остаточная неравномерность, свойственная П-регулятору. В тех случаях, когда условия технологии производства допускают наличие такой статической ошибки, указанный процесс является наилучшим из всех рассмотренных, так как он характеризуется малым отклонением регулируемой величины, хорошим затуханием и небольшой продолжительностью переходного режима. Однако во многих случаях наличие статической ошибки недопустимо, а потому процесс д может быть неприемлем с технологической точки зрения.

Введение дифференциальной составляющей в ПИ-закон регулирования улучшает переходный процесс, уменьшая первый выброс и длительность, но при больших отношениях τ/T или случайных помехах может привести систему в колебательный режим.

Условие устойчивости системы регулирования является необходимым, но недостаточным для получения желаемого (оптимального) процесса регулирования. Необходимы еще соответствующие (оптимальные) параметры настройки регулятора.

Для оценки систем регулирования с точки зрения их практической

пригодности недостаточно указаны способы определения настроечных параметров регулятора, при установке которых исключается возникновение расходящегося переходного процесса. Переходный процесс в промышленной системе регулирования должен иметь совершенно определенный характер, диктуемый требованиями технологии производства.

Итак, *можно сформулировать следующие требования*, которым должен удовлетворять оптимальный процесс регулирования:

- затухание переходного процесса должно быть интенсивным;
- максимальное отклонение регулируемой величины должно быть наименьшим;
- продолжительность переходного процесса должна быть минимальной.

Таким образом, задача настройки состоит в том, чтобы в заданной системе регулирования выбрать и установить настроечные параметры регулятора, обеспечивающие близкий к оптимальному процессу регулирования.

ЗАНЯТИЕ 11. РАСЧЕТ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Если математическое описание динамических и статических свойств объекта автоматизации неизвестно, то заказчиком в составе задания на проектирования должны передаваться проектировщику временные или частотные характеристики, определяющие динамические и статические свойства объекта.

Математическое описание объекта регулирования должно производиться проектировщиками технологических научно-исследовательских институтов при разработке ими технологии производства.

Временные или частотные характеристики снимаются на аналогичных действующих технологических установках или агрегатах.

По дифференциальным уравнениям или графическим характеристикам проектировщиком разрабатывается структурная схема АСР. АСР (объект автоматизации) представляется в виде нескольких звеньев с различными передаточными функциями, соединенными между собой. В структурной схеме отдельные звенья могут не иметь физической целостности, но соединение их (схема в целом) по статическим и динамическим свойствам, по алгоритму функционирования должно быть эквивалентно объекту автоматизации.

В общем случае объект автоматизации требует поддержания на заданном уровне или изменения по определенному закону нескольких

параметров. Для этого на объект должны поступать управляющие воздействия. В процессе работы на различные участки объекта автоматизации могут поступать: внешние возмущающие и задающее воздействия.

В непрерывных автоматических системах регулирования применяются пропорциональный, интегральный, пропорционально-интегральный и пропорционально - интегрально - дифференциальный законы регулирования. Регуляторы с той или иной точностью реализующие эти законы, и соответственно называются П-, И-, ПИ- и ПИД-регуляторами.

Любой реальный промышленный регулятор теоретически можно представить в виде идеального регулятора, точно реализующего требуемый закон регулирования, и некоторого так называемого балластного звена, вносящего искажение в идеальный закон регулирования.

С учетом этого передаточную функцию реального регулятора $W_{pp}(p)$ можно представить в виде

$$W_{pp}(p) = W_p(p) \cdot W_b(p),$$

где $W_p(p)$ - передаточная функция идеального регулятора;

$W_b(p)$ - передаточная функция балластного звена.

В общей теории автоматического управления структура регулятора выбирается исходя из модели объекта управления. При этом более сложным объектам управления соответствуют более сложные регуляторы (законы регулирования).

Рассмотрим АСР с ПИД-регулятором с идеальной передаточной функцией. Структура регулятора достаточно простая, поэтому ПИД-регулятор не всегда может дать хорошее качество регулирования, хотя в подавляющем большинстве в промышленности применяются именно ПИД-регуляторы, как наиболее универсальные.

После расчета параметров регулятора обычно требуется его ручная подстройка для улучшения качества регулирования. Для этого используется ряд правил, хорошо обоснованных теоретически.

Впервые методику расчета параметров настройки регуляторов методом незатухающих колебаний предложили Циглер и Никольс в 1942 году. Эта методика очень проста и не дает достаточно хороших результатов. Тем не менее, она до сих пор используется в инженерной практике, хотя с тех пор появилось множество более точных методов.

Для настройки ПИД-регуляторов можно использовать и общие методы теории автоматического управления, такие, как метод назначения полюсов, алгебраические методы и ряд других.

Все аналитические методы расчета параметров настройки

регуляторов основаны на аппроксимации динамики объекта моделью первого или второго порядка с задержкой. Причиной этого является невозможность аналитического решения систем уравнений, которое необходимо при использовании моделей более высокого порядка. Поэтому в последние годы, в связи с появлением мощных контроллеров и персональных компьютеров, получили развитие и распространение численные методы оптимизации. Они являются гибким инструментом для оптимальной настройки параметров регулятора для моделей любой сложности и легко учитывают нелинейности объекта управления и требования к робастности.

Настройка параметров регулятора по методу Циглера и Никольса (метод незатухающих колебаний).

Циглер и Никольс предложили два метода настройки регуляторов. Один из них основан на параметрах отклика объекта на единичный скачок; второй метод основан на частотных характеристиках объекта управления.

Для расчета параметров ПИД-регулятора по методу Циглера-Никольса используются два параметра: α и L .

Формулы для расчета коэффициентов ПИД-регулятора представлены в таблице 11.1

Таблица 11.1 - Формулы для расчета коэффициентов регулятора по методу Циглера-Никольса

	Расчет по реакции на ступенчатое воздействие			Расчет по частотным параметрам		
Регулятор	K	$T_{\text{и}}$	$T_{\text{д}}$	K	$T_{\text{и}}$	$T_{\text{д}}$
П	$1/\alpha$	-	-	$0,5/K_{180}$	-	-
ПИ	$0,9/\alpha$	$3L/K$	-	$0,4/K_{180}$	$0,8T_{180}/K$	-
ПИД	$1,2/\alpha$	$0,9L/K$	$0,5L/K$	$0,6/K_{180}$	$0,5T_{180}/K$	$0,125T_{180}/K$

В качестве примера на рисунке 11.1 приведена реакция системы на единичное ступенчатое воздействие на систему с объектом второго порядка и ПИД-регулятором, настроенным по формулам, приведенным в таблице 11.1 и переходная характеристика самого объекта управления. Из характеристики объекта получены значения: $\alpha = 0,135$ и $L = 0,035\text{с}$.

По таблице 11.1 для этих значений α и L можно найти коэффициенты ПИД регулятора:

$$K = 8,9.$$

$$T_{\text{и}} = 0,0079\text{с}.$$

$$T_{\text{д}} = 0,15\text{с}.$$

На рисунке 11.1 приведена также реакция на единичный скачок той же системы при параметрах $K=15$, $T_i = 0,0013\text{с}$, $T_d = 0,525\text{с}$, полученных путем ручной подстройки.

Метод Циглера-Никольса дает параметры, далекие от оптимальных. Это объясняется не только упрощенностью самого метода (он использует только 2 параметра для описания объекта), но и тем, что параметры регулятора в этом методе определялись Циглером и Никольсом исходя из требования к декременту затухания, равному 4, что и дает медленное затухание процесса колебаний.

Метод Циглера-Никольса никак не учитывает требования к запасу устойчивости системы, что является вторым его недостатком. Судя по медленному затуханию переходного процесса в системе, этот метод дает слишком малый запас устойчивости.

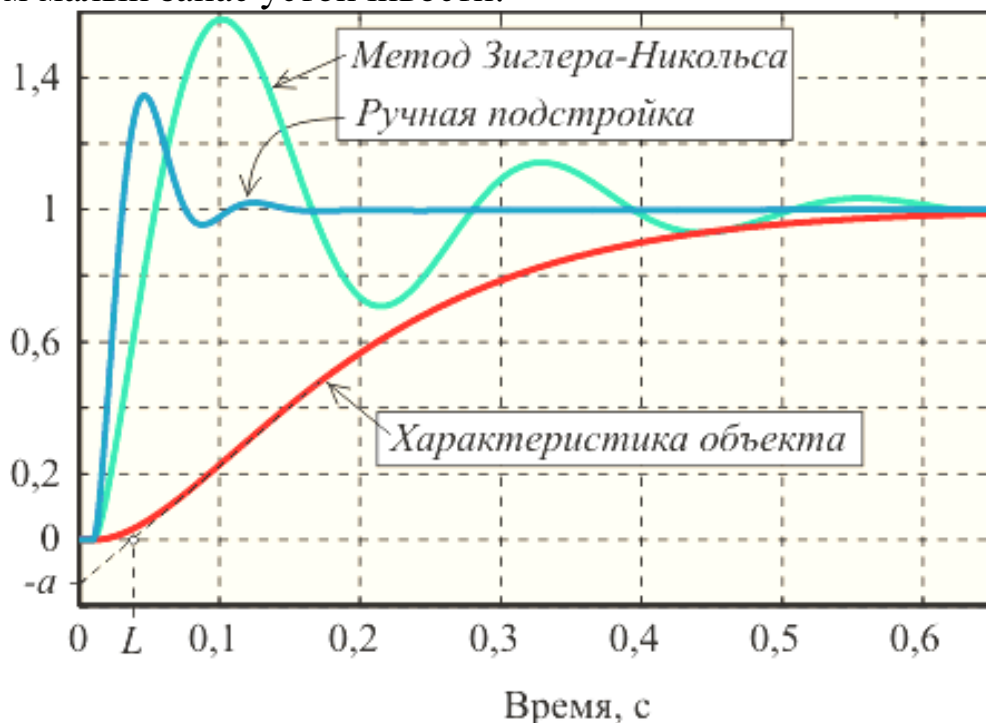


Рисунок 11.1 - Результат настройки ПИД-регулятора по методу Циглера-Никольса

Второй метод Циглера-Никольса (частотный метод) в качестве исходных данных для расчета использует частоту ω_{180} , на которой сдвиг фаз в разомкнутом контуре достигает 180° , и модуль коэффициента передачи объекта K_{180} на этой частоте. Зная параметр ω_{180} , сначала находят период собственных колебаний системы $T_{180} = 2\pi/\omega_{180}$, затем по табл.11.1 определяют параметры регулятора. Точность настройки регулятора и недостатки обоих методов Циглера-Никольса одинаковы.

Ручная настройка, основанная на следующих правилах.

Расчет параметров по формулам не может дать оптимальной настройки регулятора, поскольку аналитически полученные результаты основываются на сильно упрощенных моделях объекта. В частности, в

них не учитывается всегда присутствующая нелинейность типа "ограничение" для управляющего воздействия. Кроме того, модели используют параметры, идентифицированные с некоторой погрешностью. Поэтому после расчета параметров регулятора желательно сделать его подстройку. Подстройку можно выполнить на основе правил, которые используются для ручной настройки. Эти правила получены из опыта, теоретического анализа и численных экспериментов.

Они сводятся к следующему:

- увеличение пропорционального коэффициента увеличивает быстродействие и снижает запас устойчивости;
- с уменьшением интегральной составляющей ошибка регулирования с течением времени уменьшается быстрее;
- уменьшение постоянной интегрирования уменьшает запас устойчивости;
- увеличение дифференциальной составляющей увеличивает запас устойчивости и быстродействие.

Применение правил, возможно, только после предварительной настройки регулятора по формулам. Попытки настроить регулятор без начального приближенного расчета коэффициентов могут быть безуспешными. Сформулированные выше правила справедливы только в окрестности оптимальной настройки регулятора. Вдали от нее эффекты могут быть иными.

При регулировке тепловых процессов настройка по приведенным правилам может занять недопустимо много времени.

Методы оптимизации.

Методы оптимизации для нахождения параметров регулятора концептуально очень просты и аналогичны численным методам идентификации параметров объекта. Выбирается критерий минимизации, в качестве которого может быть один из показателей качества или комплексный критерий, составленный из нескольких показателей с разными весовыми коэффициентами. К критерию добавляются ограничения, накладываемые требованиями робастности. Таким путем получается критериальная функция, зависящая от параметров ПИД-регулятора. Далее используются численные методы минимизации критериальной функции с заданными ограничениями, которые и позволяют найти искомые параметры ПИД-регулятора.

Методы, основанные на оптимизации, имеют следующие достоинства:

- позволяют получить оптимальные значения параметров, не требующие дальнейшей подстройки;
- не требуют упрощения модели объекта, модель может быть как

угодно сложной;

— позволяют быстро достичь конечного результата (избежать процедуры длительной подстройки параметров).

Однако реализация данного подхода связана с большими проблемами, которые не один десяток лет являются предметом научных исследований. К этим проблемам относится:

— низкая надежность метода (во многих случаях вычислительный процесс может расходиться и искомые коэффициенты не будут найдены);

— низкая скорость поиска минимума для овражных функций и функций с несколькими минимумами.

Тем не менее, методы оптимизации являются мощным средством настройки ПИД-регуляторов с помощью специально разработанных для этого компьютерных программ.

Пример.

Структурная схема АСР представлена на рисунке 11.2.

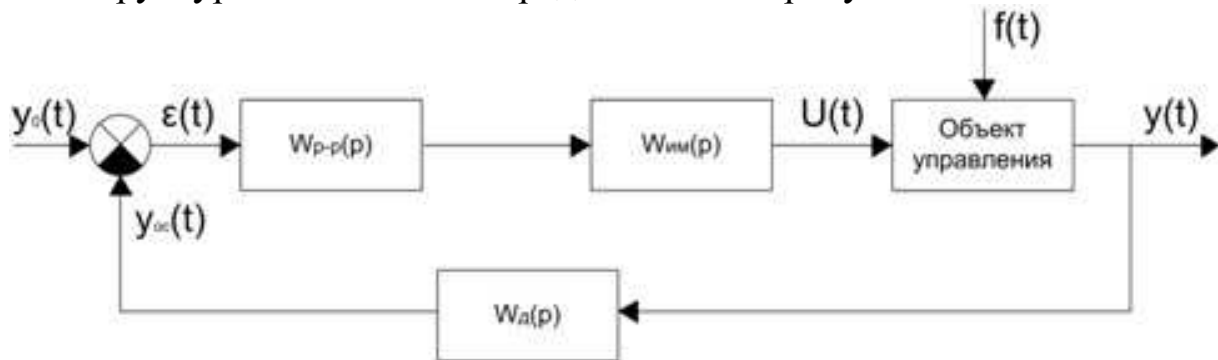


Рисунок 11.2 Структурная схема АСР уровня

Описание элементов структурной схемы:

- $W_{oy}(p)$ – объект управления (уравнительный бак).
- $W_{p-p}(p)$ – регулятор (ТРМ212).
- $W_{им}(p)$ – электрический клапан (КПСР1).
- $W_d(p)$ – радарный уровнемер (Rosemount 3101).

Пусть объект регулирования описывается апериодическим звеном первого порядка с передаточной функцией

$$W_{oy}(p) = \frac{2,85}{2,24p+1}$$

Пусть передаточная функция электрического клапана КПСР1 описывается пропорциональным звеном. Коэффициент усиления и передаточная функция имеют вид:

$$K_{им} = \frac{\Delta F}{\Delta I} = \frac{10 - 0}{20 - 4} = \frac{10}{16} = 0,625$$

$$W(p) = K_{им} = 0,625$$

Передаточная функция ультразвукового уровнемера Rosemount 3101

описывается инерционным звеном. В паспорте к прибору указывается время переходного процесса $t_{пер} = 0,5$ с. Для звена 1 порядка время переходного процесса связано с постоянной времени следующей зависимостью: $t_{пер} = (3 \div 4)T \approx 4T$, тогда получим постоянную времени

$$T = \frac{t_{пер}}{4} = \frac{0,5}{4} = 0,125 \text{ с.}$$

Коэффициент

усиления

$$K_{\partial} = \frac{\Delta I}{\Delta L} = \frac{20-4}{8-0,3} = \frac{16}{7,7} = 2,07$$

Окончательно передаточная функция:

$$W_{\partial}(p) = \frac{K_{\partial}}{T_{\partial}p + 1} = \frac{2,07}{0,125p + 1}$$

При выборе типа регулятора рекомендуется ориентироваться на величину отношения запаздывания к постоянной времени в объекте τ/T . Если $\tau/T < 0,2$, то можно выбрать релейный, непрерывный или цифровой регуляторы. Если $0,2 < \tau/T < 1,0$, то должен быть выбран непрерывный или цифровой, ПИ- или ПИД-регулятор. Если $\tau/T > 1$, то выбирают специальный регулятор с упредителем, который компенсирует запаздывание в контуре управления. Однако этот же регулятор рекомендуется применять и при меньших отношениях τ/T .

Учитывая, что $\tau_{зап}=1$ с, а постоянная времени объекта $T_0 = 2,24$ с. получим соотношение $\frac{1}{2,24} = 0,44$ ($0,2 < 0,44 < 1$) следовательно, следует выбрать ПИ закон регулирования.

Передаточная функция ПИ-регулятора имеет вид: $W(p) = k_p + \frac{k_i}{p}$

Для определения оптимальных настроек ПИ-регулятора воспользуемся инженерным методом. Он предполагает приближенный расчет регулятора с последующим варьированием параметров для получения «оптимального» процесса.

Расчет проводится с помощью формул приведенных в табл. 11.2

Настройки ПИ-регулятора имеют вид:

$$K_p = \frac{0,6 \cdot 2,24}{2,85 \cdot 1} = 0,471 \quad K_i = 0,6 \cdot 2,24 = 1,344$$

Таблица 11.2 – Настройки ПИ-регулятора с использованием инженерного метода

Апериодический	С 20-процентным перерегулированием	С 40-процентным перерегулированием (минимум квадратичного критерия)
$K_p = \frac{0,6 \cdot T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}}$ $T_i = 0,6 \cdot T_{об}$	$K_p = \frac{0,7 \cdot T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}}$ $T_i = 0,7 \cdot T_{об}$	$K_p = \frac{T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}}$ $T_i = T_{об}$

Проведем моделирование АСР с полученными настройками регулятора с помощью программы МВТУ 3.7 и получим переходной процесс в системе регулирования.

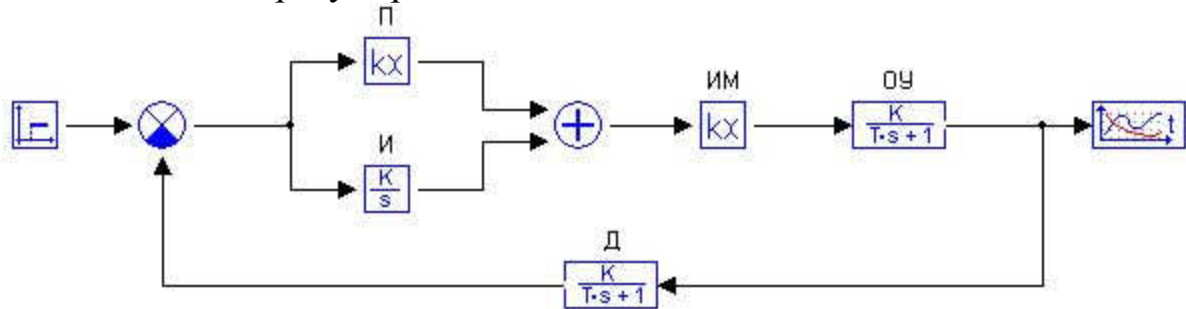


Рисунок 11.3 – Модель АСР в программе МВТУ.

Полученная переходная характеристика представлена на рис. 11.4.

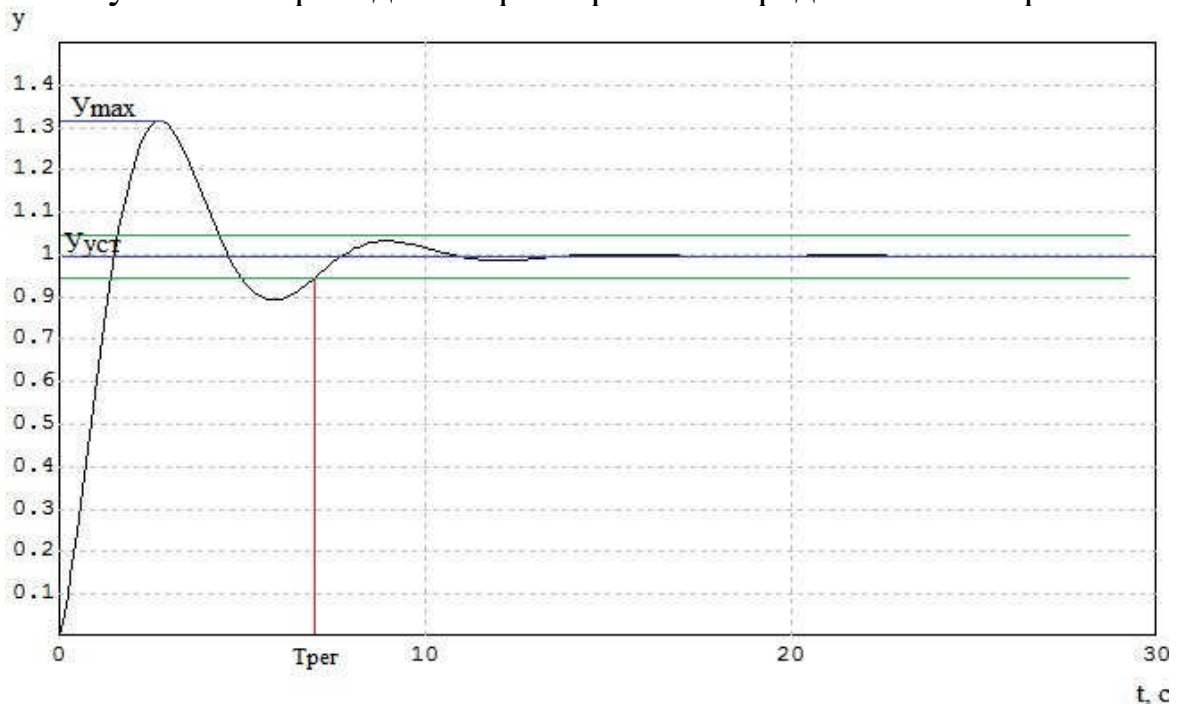


Рисунок 11.4 – Переходная характеристика системы регулирования.

Основными показателями качества процесса регулирования, определяемые по переходному процессу являются: время регулирования ($t_{\text{рег}}$), перерегулирование (σ), частота (ω) и число колебаний. y_{max}

Установившееся значение: $y_{\text{уст}} = 1$

Максимальное значение: $y_{\text{max}} = 1,31$

Перерегулирование: $\sigma = \frac{y_{\text{max}} - y_{\text{уст}}}{y_{\text{уст}}} 100\% = \frac{1,31 - 1}{1} 100\% = 31\%$

Время регулирования: $T_{\text{рег}} = 7\text{c}$

Степень затухания: $\psi = \frac{\Delta_{\text{max}} - \Delta_{\text{уст}}}{\Delta_{\text{уст}}} 100\% = \frac{1,31 - 1,03}{1,03} 100\% = 27\%$

Из полученных критериев видно, что переходной процесс удовлетворяет требованиям и обеспечивает качественную работу системы.

ЗАНЯТИЕ 12. РАСЧЕТ РЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Двухпозиционными регуляторами называются такие релейные регуляторы, выходная величина которых может принимать только два установившихся значения. Так, если в качестве выходного элемента двухпозиционного регулятора используется реле, то одно установившееся значение выходной величины соответствует отключенному состоянию реле, а второе – включенному.

Для получения требуемого закона регулирования в регуляторе в общем случае применяют местные обратные связи. Система автоматического регулирования по каналу регулирующего воздействия может быть представлена в виде структурной схемы, изображенной на рисунке 12.1.

Данная АСР относится к нелинейным. Наиболее широкое распространение имеет нелинейность вида реле.

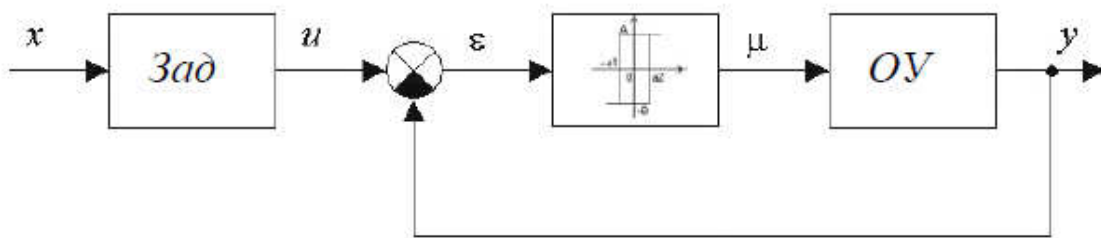
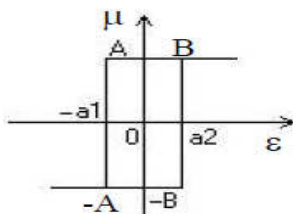


Рисунок 12.1 - Структурная схема релейной АСР



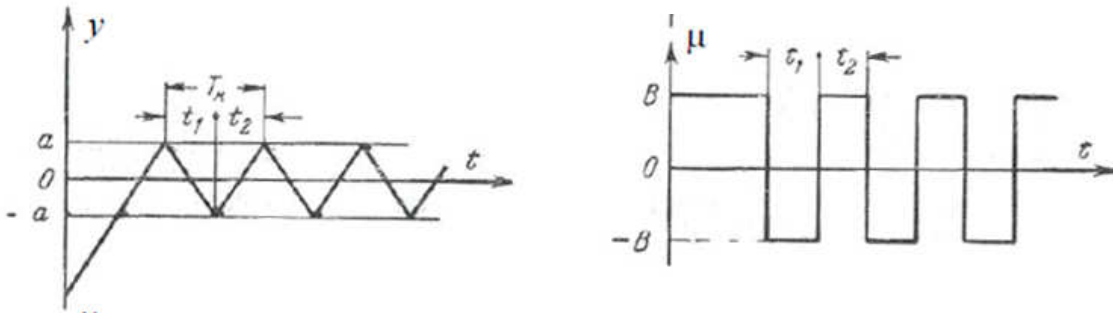
Основной статической характеристикой двухпозиционных регуляторов является характеристика с положительным или отрицательным гистерезисом (зоной неоднозначности), представленная на рисунке 12.2.

Рисунок 12.2 – Статическая характеристика двухпозиционного регулятора

В системе, в которую входит объект без самовыравнивания с передаточной функцией $W_{об}(p) = \frac{k_{об}}{p}$ в установившемся состоянии возникают периодические симметричные автоколебания регулируемой величины относительно ее заданного значения в диапазоне $\Delta y = 2 \cdot a$.

В этом случае переключение регулятора будет происходить при достижении регулируемой величиной граничных значений зоны неоднозначности (рисунок 12.3).

Длительность положительного импульса t_1 в установившемся процессе равна длительности отрицательного импульса t_2 и равна полупериоду колебаний: $T_K = \frac{2 \cdot a}{k_{OB} \cdot B}$. Частота переключений регулятора в



единицу времени равна: $n = \frac{k_{OB} \cdot B}{2 \cdot a}$.

Рисунок 12.3 – Колебания регулируемой величины и импульсы регулятора
Уменьшение диапазона колебания регулируемой величины возможно только за счет уменьшения зоны неоднозначности регулятора. При диапазоне колебаний регулируемой величины, стремящемся к нулю, частота переключений регулятора стремиться к бесконечности.

Если объект — апериодическое звено первого порядка с $W_{об}(p) = \frac{K_{об}}{T_{об}p + 1}$, то при поступлении на вход такого объекта регулирующего воздействия $X_p = B$ регулируемая величина будет изменяться по экспоненциальному закону $x = K_{об} \cdot B(1 - e^{-t/T_{об}})$.

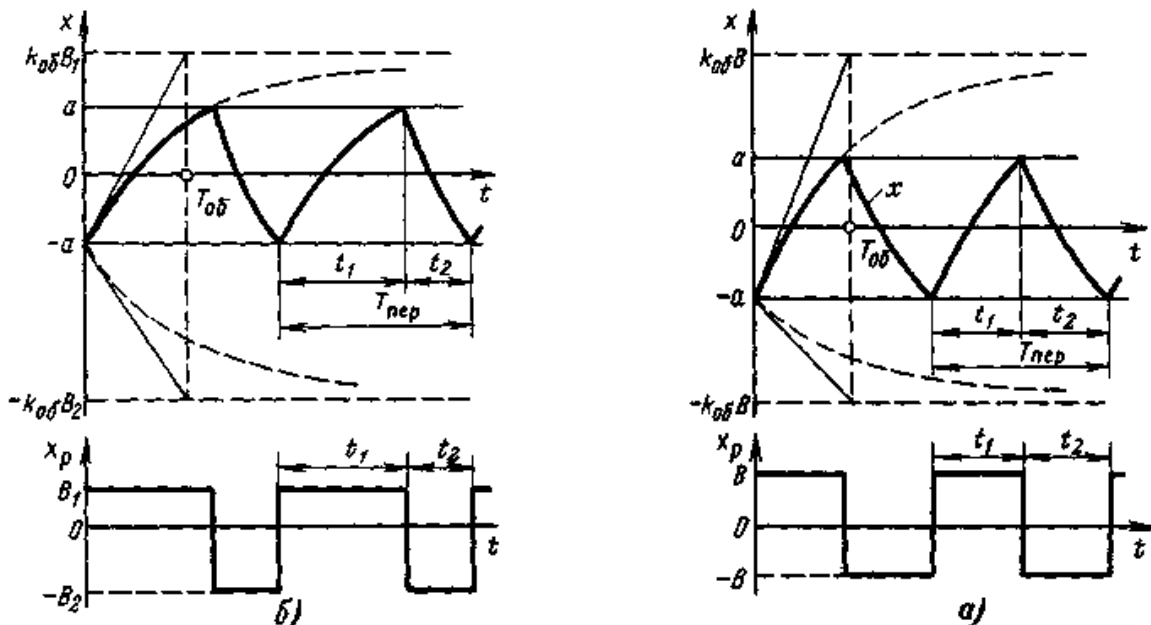


Рисунок 12.4 – Установившиеся колебания в системе с двухпозиционным регулятором и объектом в виде апериодического звена:

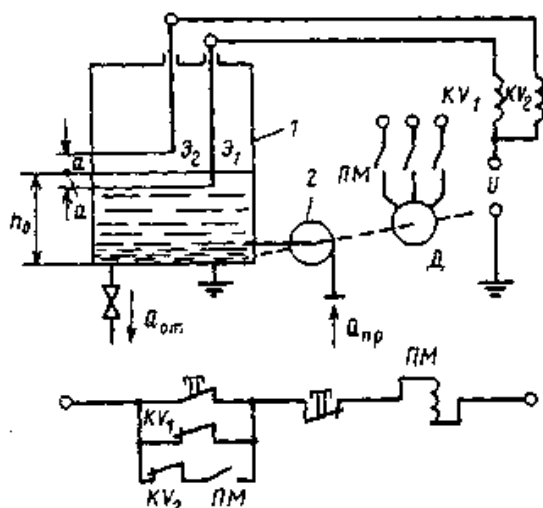
а – при параметрах статической характеристики регулятора $B_1=B_2=B$ и $a \neq 0$; **б** – при параметрах статической характеристики регулятора $B_1 \neq B_2$ и $a \neq 0$

Характер автоколебаний в замкнутой системе будет иметь вид, представленный на рисунке 12.4, а. Диапазон автоколебаний равен зоне

нечувствительности регулятора.

В общем случае регулятор может оказать на объект в одну сторону воздействие B_1 , а в другую сторону — B_2 . При этом для объекта с передаточной функцией $W_{об}(p) = \frac{K_{об}}{T_{об}s+1}$ автоколебания будут иметь вид, представленный на рисунке 12.4, б.

Пример. Рассмотрим АСР уровня воды в резервуаре, принципиальная схема которой изображена на рисунке 12.5.



Вода подается к потребителю самотеком. Заданное значение уровня $L_{зд} = 5$ м. Измерительные электроды установлены на отметках $L_1 = 4,775$ м, $L_2 = 5,225$ м. В равновесном состоянии $n_{зд} = 0,7n_{ном}$. Коэффициент передачи объекта регулирования $K_{об} = 1$ и постоянная времени $T_{об} = 20$ мин. Требуется определить период установившихся колебаний уровня воды в резервуаре.

Рисунок 12.5 – Автоматическая система регулирования уровня двухпозиционным регулятором с зоной нечувствительности:

1 – резервуар, 2 – насос.

Так как в этом случае расход воды из резервуара зависит от уровня, то в динамическом отношении объект регулирования является апериодическим звеном первого порядка.

Регулирующие воздействия регулятора на объект $B_1 = 0,43$ и $B_2 = 1$.

По формулам $t_1 = t_2 = T_{об} \ln \frac{K_{об} \cdot B + a}{K_{об} \cdot B - a}$; $T_{пер} = 2T_{об} \ln \frac{K_{об} + a}{K_{об} - a}$; $n = \frac{2}{T_{пер}}$.

определим время переключения:

$$t_1 = 20 \ln \left[\frac{(1 \cdot 0,43 + 0,045)}{(1 \cdot 0,45 - 0,045)} \right] = 4,15 \text{ мин};$$

$$t_2 = 1,8 \text{ мин.}$$

Период установившихся колебаний при этом составит:

$$T_{пер} = 4,15 + 1,8 = 5,95 \text{ мин.}$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

11. Подчукаев В.А. Теория автоматического управления (аналитические методы) : [Электронный ресурс] : учебник. Издательство : ФИЗМАТЛИТ, 2011 г. -Режим доступа <http://www.knigafund.ru>.
12. Соснин О. М. Основы автоматизации технологических процессов и производств [Текст]: учеб. пособие для вузов / Соснин О. М. - М. Академия, 2007. - 240 с. - Гриф (УМО).
13. Шишмарев В.Ю. Основы автоматического управления [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.Ю. Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с. Гриф (УМО).
14. Беспалов А. В. Задачник по системам управления химико-технологическими процессами [Текст]: учеб. пособие / Беспалов А. В. ; Харитонов Н. И. - М. Академкнига, 2005. - 307 с. – Гриф (Мин-во Образования).
15. Автоматическое управление в химической промышленности: под ред. Е.Г.Дудникова. - М. : Химия. 1987.-368 с.
16. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. М.Энергия. 1973.- 440с.
17. Кулаков Г.Т. Инженерные экспресс - методы расчета промышленных систем регулирования : Спр. пособие. – Мн.: Высш. шк., 1984. – 192 с.
18. Корнеев Н.В. Теория автоматического управления с практикумом [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.В.Корнеев, Ю.С.Кустарев, Ю.Я.Морговский. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 224 с.
19. Гартман Т.Н. Основы компьютерного моделирования химико - технологических процессов : учеб. пособие для вузов / Т.Н. Гартман, Д.В. Клушин. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 416 с.
20. Шувалов В.В., Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. - М.: Химия. 1991. - 480 с.

Учебно-методическое издание

Макаренко Виктор Григорьевич

Промышленные системы управления и регулирования

Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам и практическим занятиям

Редактор *Н.А.Юшко*

Подписано в печать 20.07.2017г.
Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл.печ.л. 6,04. Уч.изд.л. 6,25. Тираж 50 экз. Заказ_____

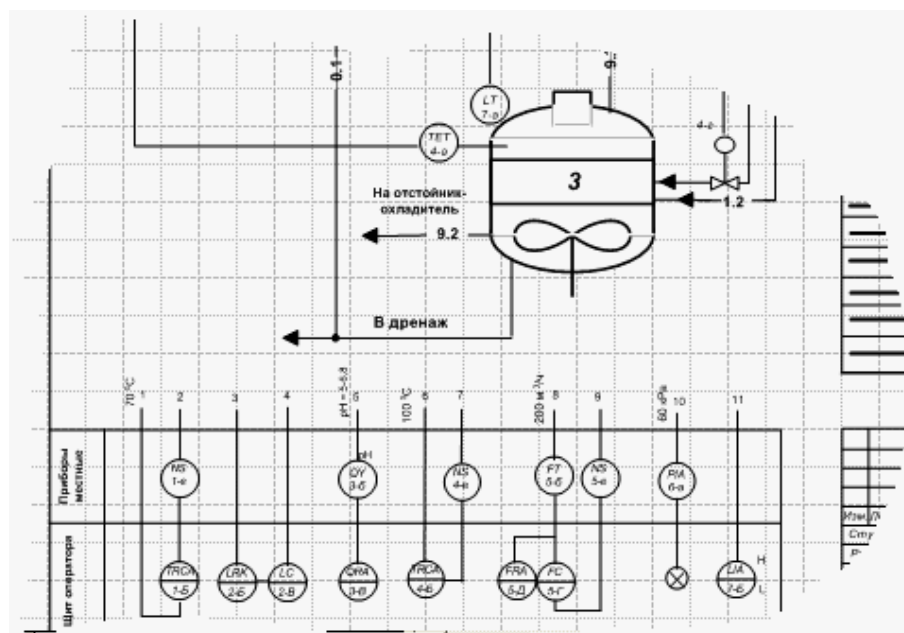
Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова
Редакционно-издательский отдел ЮРГПУ(НПИ)
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Отпечатано в ИД Политехник
346428, г. Новочеркасск, ул. Первомайская, 166.
idp-npi@mail.ru

В.Г.Макаренко

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

*Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию
для направления подготовки
«Автоматизация технологических процессов и производств»*



Новочеркасск
ЮРГПУ (НПИ)
2017

УДК 66.012:62 (076.5)

Рецензент – канд. техн. наук, доцент **А.А. Пустобаев**

Макаренко В.Г.

Основы проектирования систем автоматизации и управления: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию для направления подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств» / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. - Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2017. – 40с.

Методическое пособие содержит основные этапы разработки проекта АСУТП в различных отраслях промышленности и позволяет студентам правильно ориентироваться в разрабатываемых разделах проекта, сохраняя при этом возможность ознакомиться с имеющимися справочниками и нормативно-технической документацией, существующими в проектном деле, учитывая одновременно учебную направленность проекта.

Пособие предназначено для выполнения курсовой работы по дисциплине «Основы проектирования АСУТП» студентами, обучающимися по программе бакалавриата направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств и курсового проекта по дисциплине «Проектирование систем автоматизации и управления» студентами, обучающимися по программе магистратуры направления подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств.

УДК 66.012:62 (076.5)

©Южно-Российский
государственный
политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова,
2017

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
1. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Основы проектирования АСУТП» для студентов, обучающихся по программе бакалавриата направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств.	4
2. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Проектирование систем автоматизации и управления» для студентов, обучающихся по программе магистратуры направления подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств.	11
Библиографический список	39

1. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Основы проектирования АСУТП» для студентов, обучающихся по программе бакалавриата направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Задачей курсового проектирования является приобретение практических навыков разработки технического задания на создание АСУТП. Техническое задание на автоматизированную систему (АС) является основным документом, определяющим требования и порядок создания, развития и модернизации АС в соответствии с которым производится разработка АС и ее приемка при вводе в эксплуатацию.

Курсовая работа состоит из пояснительной записки объёмом 10-15 стр.

Пояснительная записка содержит основные разделы (согласно ГОСТ 34.602-89) технического задания (ТЗ) на создание АС.

1.1. Техническое задание на создание автоматизированной системы является основным документом, определяющим требования и порядок создания, развития и модернизации АС в соответствии с которым производится разработка АС и ее приемка при вводе в эксплуатацию.

Согласно ГОСТ 34.601-90, пункт 2.2, стадии и этапы, выполняемые организациями-участниками работ по созданию автоматизированной системы, устанавливаются во взаимных договорах и в Техническом задании.

Согласно ГОСТ 34.201-89, пункт 2.1, в Техническом задании на Систему должен быть определен "Перечень наименований разрабатываемых документов и их комплектность на Систему и ее части. В любом случае перечень проектной документации должен быть строго определен в Договоре между Разработчиком и Заказчиком на разработку Рабочего проекта и рабочей документации (технорабочего) проекта. Тогда в Техническом задании достаточно указать ссылку на этот договор. В общем случае согласно РД 50-34.698-90,

Содержание каждого документа, разрабатываемого при проектировании АС согласно ГОСТ 34.201-89, определяет Разработчик в зависимости от объекта проектирования (система, подсистема и т.д.). Однако во избежание недоразумений содержание документов и формы таблиц всегда должны быть согласованы с Заказчиком.

Согласно ГОСТ 34.003-90 ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ.

"Автоматизированные системы. Термины и определения". Техническое задание в обязательном порядке должно содержать предварительный План-график работ по созданию АСУТП.

Техническое задание на создание АСУТП для объектов всех категорий взрывоопасности согласовывается с региональным представителем Ростехнадзора, как независимой контролирующей организацией третьей стороны, осуществляющей надзор над промышленной безопасностью.

Кроме того, для вновь строящихся производств Техническое задание на создание АСУТП для объектов всех категорий взрывоопасности должно быть согласовано с Проектной организацией.

Техническое задание на создание АСУТП утверждается руководителем/главным инженером предприятия-заказчика и руководителем/техническим директором организации-разработчика Системы.

Изменения или дополнения к Техническому заданию оформляются в виде Протокола или Дополнения к ТЗ, согласовываются с технадзором и утверждаются Заказчиком и Разработчиком Системы. С этого момента Протокол или Дополнение к ТЗ становятся неотъемлемой частью Технического задания на Систему.

Техническое задание на создание АСУТП создается Разработчиком АСУТП при непосредственном участии Организации-заказчика. Согласно ГОСТ 34.602-89.

Техническое задание должно состоять из следующих разделов:

1. Общие сведения

1.1. Полное наименование Системы.

1.2. Шифр темы.

1.3. Наименование Организаций - разработчиков, проектировщиков, заказчика, и их реквизиты.

1.4. Перечень документов, на основании которых создается Система

1.5. Сроки выполнения работ.

1.6. Источники и порядок финансирования.

1.7. Порядок оформления и предъявления заказчику результатов работы.

2. Назначение и цели создания Системы.

2.1. Назначение Системы.

2.2. Цели создания Системы.

3. Характеристика объекта автоматизации.

4. Требования к Системе.

4.1. Требования к Системе в целом.

4.1.1. Требования к структуре и функционированию Системы.

4.1.2. Требования к численности и квалификации персонала.

4.1.3. Требования к показателям назначения.

4.1.4. Требования к надёжности.

4.1.5. Требования безопасности.

4.1.6. Требования по эргономике и технической эстетике.

4.1.7. Требования к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению.

4.1.8. Требования к защите информации от несанкционированного доступа.

4.1.9. Требования по сохранности информации при авариях.

4.1.10. Требования к средствам защиты от внешних воздействий.

4.1.11. Требования к патентной чистоте.

4.1.12. Требования по стандартизации и унификации.

4.1.13. Дополнительные требования.

4.2. Требования к функциям, реализуемым Системой.

4.2.1. Перечень, задач РСУ., и требования к качеству их выполнения.

4.2.2. Перечень и критерии отказов для каждой функции РСУ.

4.2.3. Перечень задач системы ПАЗ.

4.2.4. Перечень и критерии отказов для каждой функции системы ПАЗ.

4.3. Требования к виду Обеспечения.

4.3.1. Требования к Прикладному программному обеспечению.

4.3.2. Требования к Информационному обеспечению.

4.3.3. Требования к Лингвистическому обеспечению.

4.3.4. Требования к Стандартному программному обеспечению.

4.3.5. Требования к Техническому обеспечению.

4.3.6. Требования к Метрологическому обеспечению.

4.3.7. Требования к Организационному обеспечению.

5. Состав и содержание работ по созданию АСУТП.

5.1. Первое организационное совещание.

5.2. Обработка исходных данных.

- 5.3. Разработка Технического проекта.
- 5.4. Рассмотрение Технического проекта.
- 5.5. Конфигурация функций контроля и управления.
- 5.6. Конфигурация функций представления информации.
- 5.7. Приемка Рабочего проекта.
- 5.8. Шефмонтаж и пуско-наладка.
- 5.9. Пуск АСУТП в эксплуатацию.
- 5.10. Гарантийный срок.

6. Порядок контроля и приемки.
7. Требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта к вводу АСУТП в действие.
8. Требования к документированию.
9. Источники разработки.
10. ПРИЛОЖЕНИЯ.

1.2 Состав и содержание пояснительной записки на разработку ТЗ

Общие сведения (указывают полное наименование системы и ее условное обозначение, шифр или номер договора на создание АС, наименование предприятий заказчика и разработчика, их реквизиты, перечень документов, на основании которых создается АС, кем и когда утверждены документы на ее создание, плановые сроки начала и окончания работ по созданию АС, сведения об источниках и порядке финансирования работ, порядок оформления и предъявления заказчику результатов работ по созданию системы и ее частей, по изготовлению средств и программно-технических комплексов системы).

Назначение, цели создания (развития системы).

Назначение системы (вид автоматизируемой деятельности).

1. (управление, проектирование и т.д.), перечень объектов автоматизации).

Указывают критерии оценки достижения целей создания системы, наименование технических, технологических, производственно-экономических и других показателей объекта. Это цели создания системы.

Характеристика объекта автоматизации (краткие сведения об

- . объекте автоматизации или ссылки на документы, содержащие эту информацию, сведения об условиях эксплуатации объекта автоматизации и характеристиках окружающей среды).

Требования к системе.

- . **Требования к системе в целом** (требования к структуре и
- .1. функционированию системы, требования к численности и квалификации персонала и режимы его работы, показатели назначения [т.е. степени приспособляемости системы к изменению процессов и методов управления, к отклонению параметров объектов управления, дополнительные пределы модернизации и развития системы и вероятностно-временные характеристики, при которых сохраняются целевые назначения системы], требования к надежности [состав и количественное значение показателей надежности, перечень аварийных ситуаций, требования к надежности технических средств, ПО], требования к безопасности [требования обеспечения безопасности при монтаже, обслуживании, наладке технических средств системы], требования к эргономике и технической эстетике [это показатели АС, которые определяют качество взаимодействия человека с машиной и комфортность условий работы персонала], требования к транспортабельности [возможность преодоления расстояния для подвижных АС], требования к защите информации от несанкционированного доступа, требования к сохранности информации при авариях, требования по защите от влияния внешних воздействий, требования к патентной чистоте [указывают перечень стран, в отношении которых должна быть обеспечена патентная чистота системы и ее частей], требования по стандартизации и унификации, дополнительные требования [требования к оснащению системы средствами для обучения персонала, требования к системе, связанные с особыми условиями эксплуатации, требования к сервисным средствам, специальные требования, оговариваемые разработчиком системы]).

-
- .2. **У каждой информационной системы существует:**

- Перечень задач, подлежащих автоматизации;
- Временной регламент реализации каждой функции и задачи или комплекса задач;
- Требования к качеству реализации каждой функции задачи, представление выходной информации, характеристики необходимой точности и времени выполнения, требования одновременного выполнения функций, достоверности результата;
- Перечень критерии отказа для каждой функции, для которой заданы требования надежности.

Требования к видам обеспечения (в зависимости от вида системы различают требования к материальным, информационным, лингвистическим, программным, технологическим, метрологическим и другим видам обеспечения системы).

Состав и содержание работ по созданию системы должен содержать перечень стадий и этапов работ по созданию системы, сроки их выполнения, перечень организации исполнительных работ. Здесь указываются следующие сведения:

Перечень документов, предъявляемых по окончанию стадий выполнения соответствующих работ;

Вид и порядок проведения экспертизы соответствующей документации;

Программа работ, направленная на обеспечение требуемого уровня надежности системы;

Перечень работ по метрологическому обеспечению на всех стадиях создания системы с указанием срока исполнения и исполнителей. Требования к метрологическому обеспечению:

- Требования к точности измерения и метрологическим характеристикам измерительных каналов;
- Требования к метрологической совместимости технических средств системы;
- Перечень управляемых выходных каналов системы, для которых необходима точность характеристик.

Порядок контроля и приема системы:

Вид и состав, а также методы испытания системы и ее
 .1. составных частей;

Общие требования к приемке работ по стадиям, порядок
 .2. согласования и утверждения приемной документации;

Статус приемочной комиссии.
 .3.

Требования к составу и содержанию работ по подготовке . объекта автоматизации к вводу системы в действие:

Необходимо провести перечень испытаний и основных
 .1. мероприятий:

- Приведение поступающей информации к виду, пригодному для обработки с помощью ЭВМ (в соответствии с требованиями к информационно-лингвистическому обеспечению);

- Изменения, которые необходимо осуществить в объекте автоматизации;

- Создание условий функционирования объекта автоматизации в соответствии с требованиями в техническом задании;

- Создание необходимых для функционирования системы подразделений и служб;

- Сроки и порядок формирования устава и обучения персонала.

Требования к документированию:

Согласование с разработчиком и заказчиком системы
 .1. требований;

Перечень подлежащих разработке комплектов и видов
 .2. документации.

Источники разработки:

-
-
- .1. Технико-экономическое обоснование;
-
-
- .2. Отчеты о законченных научно-технологических исследованиях и работах;
-
-
- .3. Информация и материалы на отечественные и зарубежные системы-аналоги.
-
-

Состав технического задания включает следующие приложения:

-
-
- . Расчет ожидаемой эффективности системы;
-
-
- . Оценка научно-технического уровня системы.
-
-

Примечание: Разработка ТЗ на АСУТП носит учебный характер, поэтому некоторые разделы могут быть представлены в упрощенном варианте и представлять предполагаемые варианты решения задачи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 34.602-89. Техническое задание.
2. Федоров Ю.Н. Порядок создания, модернизации и сопровождения АСУТП [Текст] : метод. пособие. – М.: Инфра - Инженерия, 2011. - 576 с.
3. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП [Текст] : метод. пособие в 2-х томах. -СПб: Издательство ДЕАН, 2010. - 552 с.
4. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП [Текст] : учебн. –практ. пособие. – М.: Инфра - Инженерия, 2008. - 928 с.
5. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / А.С. Ключев и др.- М.: Энергоатомиздат, 1990.
6. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / А. С. Ключев [и др.];, - под ред. А.С. Ключева. - М. : Альянс, 2008. - 464с.
7. Емельянов А. И., Капник О.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справ. пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1983. 400 с.

2. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Проектирование систем автоматизации и управления» для студентов, обучающихся по программе магистратуры направления подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

2.1. Общие требования к содержанию и выполнению проекта

Проект по дисциплине "Проектирование систем автоматизации и управления" является конечным этапом по изучению данного курса и требует знаний практически по всем изучаемым ранее специальным дисциплинам.

Основная задача - получение навыков по проектированию и самостоятельному принятию решений в процессе разработки технической документации на АС.

Курсовой проект содержит графический материал (в соответствии с заданием на курсовое проектирование) и пояснительную записку - текстовый пояснительный материал по каждому из графических листов.

Чертежи выполняют на листах формата А3 (297х420). Основные размеры форматов по ГОСТ 2.301-68* и схема построения приведены в таблице 11.Т1 [1т.2,с.19]

На каждом листе чертежа должны располагаться основная надпись по форме 1 (рисунок 1) и дополнительные графы. Формы и размеры основной надписи и дополнительных граф приведены на рис. 1.2 [4,с.13];

					15.04.04 К. 270 .АТХ-36			
					КУРСОВОЙ ПРОЕКТ			
Изм	Лист	№ докум.	Подп	Дата	Проект системы автоматизации процесса умягчения котловой воды	Стадия	Лист	Листов
Студент	Белоруссов					П	1	1
Руковод.	Макаренко							
Н.контр								
Зав. каф.					Схема автоматизации.Функциональная	ЮРГПУ(ПНИ), Каф. МиГПА, ЭМ-2-7М		

рис. 1.2.1.3 [6,с. 13].

Рисунок 1 - Пример заполнения основной надписи для курсового проекта

Применение форм основной надписи и дополнительных граф на листах, а также заполнение их должно соответствовать требованиям, приведенным в пп.1.35-1.42 [6,с. 10]. *Пример* расположения основных надписей и дополнительных граф на листах приведен на рис.2.2 [6,с.10].

Каждому чертежу присваивают самостоятельное обозначение, в состав которого включают базовое обозначение (для курсового проекта это-шифр зачетной книжки) и марку основного комплекта [4,рис.1.1,с.12].

На листах с изображением схем помещают различные технические данные и перечень элементов, располагая их над основной надписью. Если перечень элементов дается в виде самостоятельного документа на листах формата А4 с основной надписью по форме 4 ГОСТ 21.103-73, его помещают вслед за схемой, к которой он составляется.

Перед выполнением каждой части проекта необходимо изучить соответствующий раздел в рекомендуемой литературе и данных методических указаниях и только после этого приступать к проектированию.

2.2. Содержание проекта

1.Схема организационной структуры

Исходным материалом для проектирования структурной схемы являются:

1. Задание на проектирование.
2. Принципиальные технологические схемы основного и вспомогательного производств технологического объекта.
3. Задание на проектирование оперативной связи подразделений автоматизируемого технологического объекта.

На структурной схеме необходимо отобразить основные решения по функциональной, организационной и технической структурам разрабатываемой системы управления и контроля с соблюдением иерархии управления и взаимосвязей между пунктами контроля и управления. Оперативным персоналом и технологическим объектом управления. Принятые при этом решения по управлению и контролю, состав и обозначения отдельных элементов должны сохраняться во всех последующих документах проекта.

На структурной схеме показывают:

1. Технологические подразделения автоматизируемого объекта (отделения, участки, цехи, производства).
2. Пункты контроля и управления, в том числе не входящие в состав разрабатываемого проекта, но имеющие связь с проектируемыми системами контроля и управления.
3. Технологический (эксплуатационный) персонал и спе-

циализированные службы, обеспечивающие оперативное управление и нормальное функционирование технологического объекта.

4. Основные функции и технические средства (устройства), обеспечивающие их реализацию в каждом пункте контроля и управления, указываются в виде условных обозначений, расшифровка которых дается в таблице на поле чертежа [6,табл. 3.1,3.2, с.34; 4,табл.2.1, с. 22; 5, табл. 2.1.2. 2,с.24].

5. Взаимосвязь подразделений технологического объекта, пунктов контроля и управления и технологического персонала между собой и с вышестоящей системой управления.

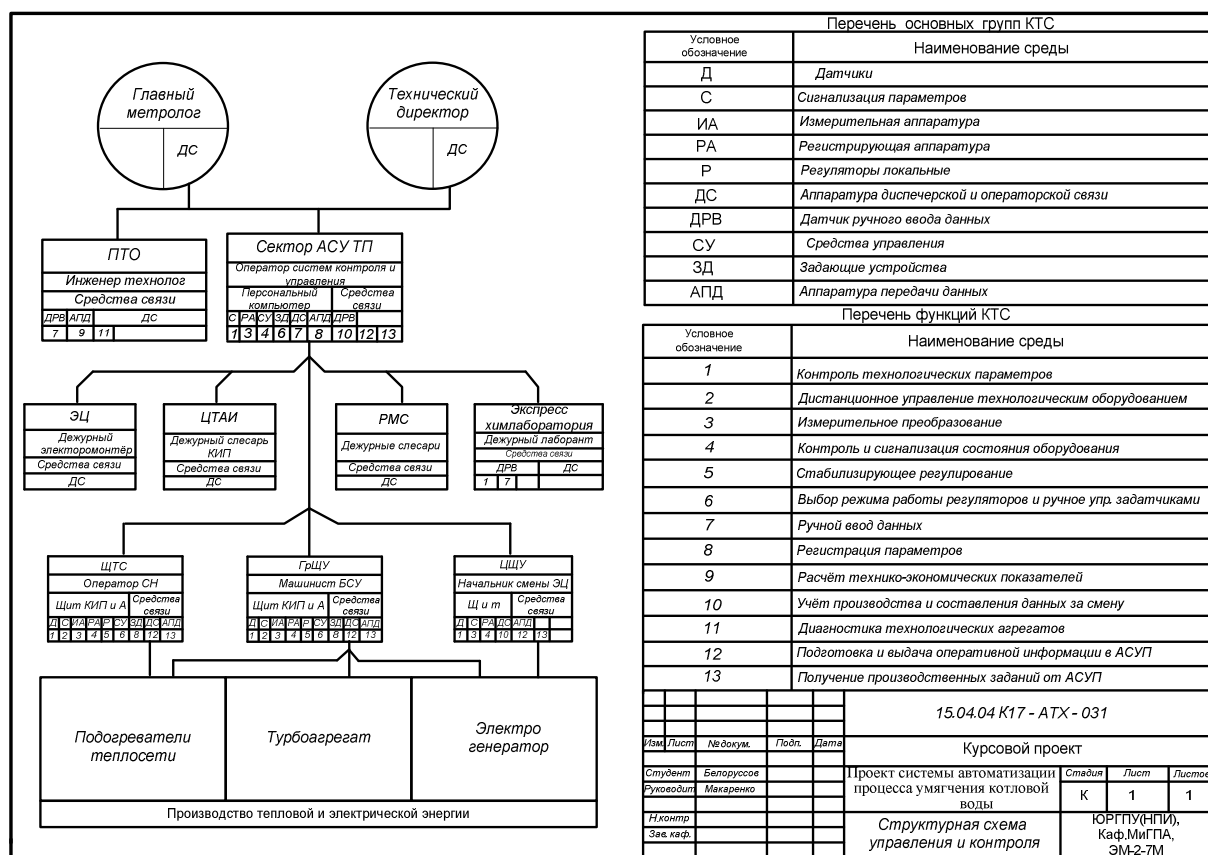


Рисунок 2 - Пример выполнения схемы организационной структуры

Элементы структурной схемы изображаются в виде прямоугольников [6, рис.3.2,с.31]. Отдельные функциональные службы и должностные лица допускается изображать на структурной схеме в виде кружков [6, рис. 3.1,с. 31].

Взаимосвязь между пунктами контроля и управления, технологическим персоналом и объектом управления изображается на схеме сплошными линиями. Слияние и разветвление потоков показываются на чертеже линиями с изломом.

Размеры всех условных изображений' не регламентируются и

выбираются по усмотрению исполнителя с соблюдением одинаковых размеров для однотипных изображений.

Пример выполнения структурной схемы показан на схеме 12.Сх1. [1 Т.2, с.64] на рис. 3.3 [6,с.33], рис.2.4 [4,с. 21].

2. Функциональная схема автоматизации

Схема автоматизации в проекте определяет объем автоматизации, назначение и функции, выполняемые системами контроля, регулирования и управления, а также оснащение их приборами и средствами автоматизации.

Схема в проекте выполняется развернутым способом [1 т.2, с.46; 4,с.25; , 6, с. 36; 7,с.29], при котором показывается как объем автоматизации, так и состав комплекса технических средств (приборов, регуляторов и основных средств автоматизации) каждого контура регулирования. На схеме должно быть изображено технологическое оборудование, приборы, средства автоматизации, а также связи между ними. таким образом, чтобы была отражена роль этих устройств в реализации задач контроля, регулирования, сигнализации, дистанционного и местного управления технологическими процессами и оборудованием.

На схеме автоматизации показывают:

1. Технологическую схему.
2. Технические средства, приборы и средства автоматизации, щиты и пульты, ЭВМ и т. д.
3. Линии связи между отдельными элементами приборных комплексов, а также линии связи датчиков, преобразователей, исполнительных механизмов.
4. Таблицу условных обозначений, не предусмотренных действующими стандартами.
5. Необходимые пояснения к схеме. Над основной надписью располагают:
 1. Условные обозначения технологических трубопроводов [4,табл. 4.1,с. 37: 7,табл. 3.1,с.32, 6,табл.3.1,с. 27;].
 2. Условные обозначения приборов и средств автоматизации, которые не предусмотрены действующими стандартами.
 3. Буквенно-цифровые сокращения, принятые для условных обозначений блоков и устройств.

Приборы и средства автоматизации показывают на схеме автоматизации условными обозначениями по ГОСТ 21. 208-2013. [6,табл. 3.2 - 3.7, рис. 3.1, с. 28-38; 4,табл. 4. 2,4. 3,4. 6 - 4.8, рис.4.14,4.15,с.38-53; 7, табл. 3. 4-3.9, рис. 3.2.с. 35-45].

Графические условные обозначения электроаппаратуры, изображаемой на схемах автоматизации, а именно; звонков, сирен, сигнальных дампов (табло) и электродвигателей - принимают по соответствующим стандартам ЕСКД [4, табл. 4. 3, с. 66; 6, табл. 4. 6, с.40; 7, табл. 4. 3,с. 82].

Приборы и средства автоматизации, расположенные на щитах, пультах, стойках, показывают в прямоугольниках, изображающих щиты, пульты, стойки и пр.

Приборы и средства автоматизации, которые расположены вне щитов, условно показывают в прямоугольнике, имеющем надпись "Приборы местные". Этот прямоугольник располагают над прямоугольником щитов [6, рис,4. 4 - 4.11, с. 42 - 45].

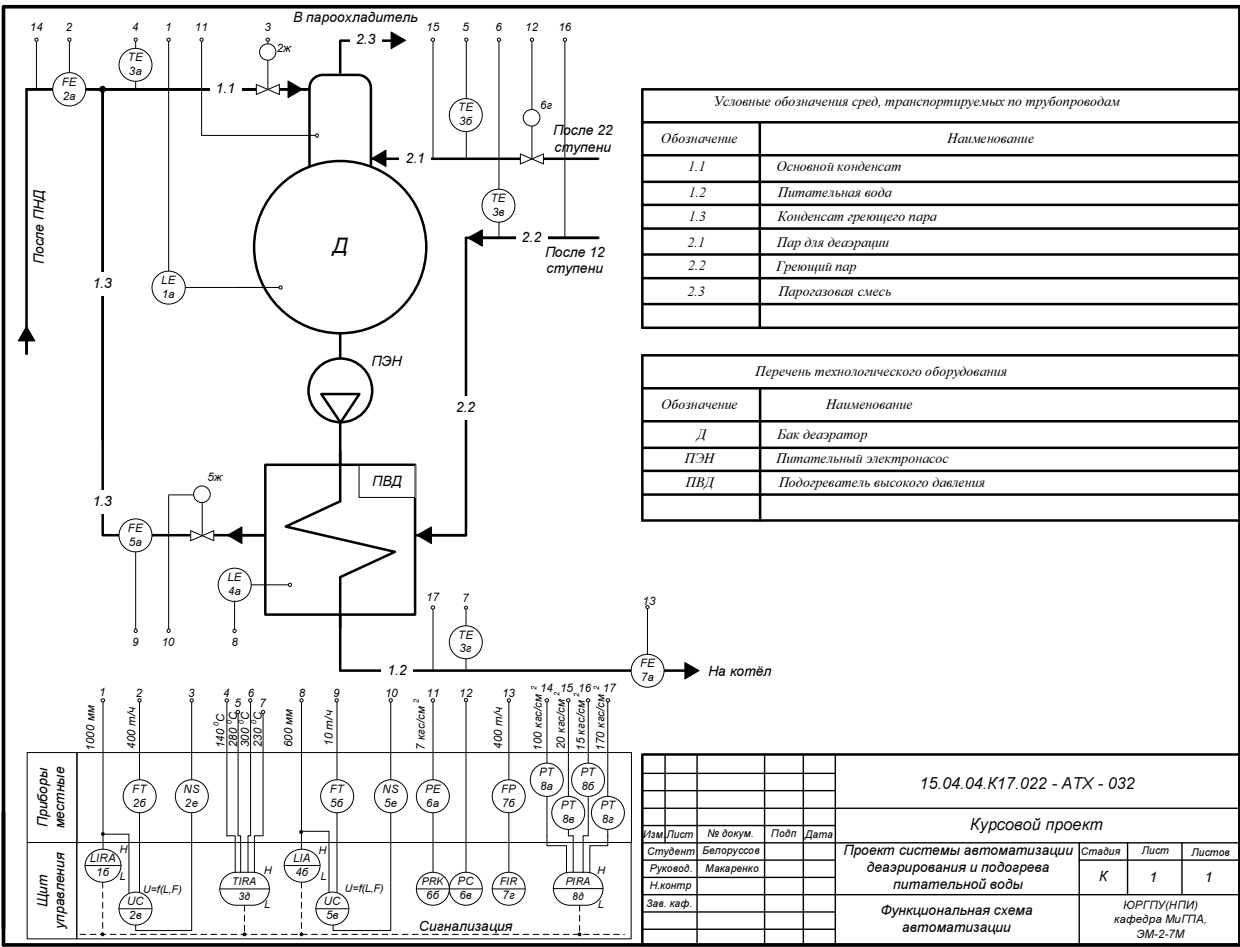


Рисунок 3 - Пример выполнения схемы автоматизации развернутым способом

Линии связи между приборами и средствами автоматизации на схеме автоматизации изображают однолинейно тонкими сплошными линиями. Для схем с большим количеством приборов и средств автоматизации, когда изображение непрерывных линий связи затрудняет их чтение, допускается линии разрывать и нумеровать разрыв линий в порядке возрастания номеров.

Все приборы и средства автоматизации, изображенные на схеме, должны иметь позиционное обозначение [4, п.3.4, с.39; 2, пп.4.52 - 4.63,0.46; 3, п. 3.4, с. 47].

Примеры выполнения схем автоматизации развернутым способом представлены в литературе [4, рис. 3.2, с. 41; 6, рис. 4.17, с. 54; 3, рис. 3.6, с. 51].

3. Принципиальные электрические схемы

Основным назначением принципиальных схем вообще и электрических в частности является отражение с достаточной полнотой и наглядностью взаимной связи между отдельными средствами автоматизации и вспомогательной аппаратурой, входящими в состав функциональных узлов систем автоматизации, с учетом последовательности их работы и принципа действия,

Принципиальная электрическая схема определяет полный состав элементов и связи между ними и дает детальное представление о принципе работы системы.

На принципиальных схемах в условном виде изображают приборы, аппараты, средства связи между элементами, блоками и модулями этих устройств.

Принципиальная схема - первый рабочий документ, на основании которого выполняют чертежи общих видов и монтажные схемы щитов и пультов, схемы внешних соединений между щитами, пультами, штативами, с одной стороны, и приборами, исполнительными механизмами и т.д.- с другой стороны и между собой.

Виды и типы схем, общие требования к их выполнению соответствуют ГОСТ 2.701-84.

Схемы в проекте выполняют разнесенным способом [4,с.48.рис. 4.I], когда условные графические обозначения электроаппаратуры располагают в разных местах, но таким образом, чтобы отдельные цепи были изображены наиболее наглядно. Принадлежность изображаемых

частей к одному и тому же аппарату устанавливается по позиционным обозначениям, проставляемым вблизи (с правой стороны или над ним) изображений всех частей одного и того же аппарата.

Позиционное обозначение по ГОСТ 2.710-81 состоит из букв латинского алфавита и арабских цифр, указывающих вид элемента и его номер [4,табл.4.6,с.82 - 84; 6,табл.5.5,с.82 - 83; 3, табл. 4. 7, с.107 - 109]. Обозначение записывают в виде последовательности букв и цифр одной высоты в одну строку без пробелов, например FU1,FU2, SA25.

Последовательность обозначений должна быть от ввода источника питания к потребителю, а разветвляющиеся участки цепи обозначает сверху вниз в направлении слева направо.

Все контакты в схемах должны вычерчиваться в положениях, которые они занимают при отсутствии электрического напряжения или механического воздействия на аппараты.

Цепи на электрических схемах располагают вертикально.

Примеры изображения схем представлены на рис. 4.1, 4.2 [4,с.48], 5.34 [6,с.90]. Условные графические изображения элементов представлены в литературе [4,табл. 4.3,с. 56; 6,табл. 5.2,с.59; 3,табл. 4. 3,с. 73].

Участвующие в данной схеме контакты аппаратов или приборов, принятые из других схем, на данной схеме обводятся сплошной тонкой линией. Около обведенной части схемы приводятся обозначения схемы, из которой приняты контакты.

Обозначения цепей выполняют в соответствии с ГОСТ 2.709 -89. Участки цепи, разделенные контактами аппаратов, приборов, обмотками реле и другими элементами, должны иметь разные обозначения. При обозначении цепей применяют арабские цифры, прописные буквы латинского алфавита.

Допускается обозначать участки цепи последовательными числами и оставлять резервные номера.

Обозначение силовых цепей переменного тока состоит из обозначения участков цепи фазы и последовательного номера, например А, А1, А2,..., В, В1, В2... маркировка участков цепей в однофазных схемах (фаза-нуль, фаза-фаза) выполняется четными и нечетными числами.

Цепи постоянного тока обозначают нечетными числами на участках положительной полярности и четными на участках отрицательной

полярности.

Для обозначения цепей рекомендуется следующее распределение групп чисел:

- 1 - 299 (1000 - 1299) - цепи управления, регулирования;
- 300 - 499 (300 - 499) - цепи измерения;
- 800 - 999 (800 - 999) - цепи питания.

В проекте отдельно выполняются принципиальные электрические схемы: управления, сигнализации, питания.

При выполнении принципиальной схемы -на нескольких листах следует выполнять следующие требования:

- 1) присваивать элементам позиционные обозначения со сквозной нумерацией;
- 2) перечень элементов должен быть общим;
- 3) отдельные элементы допускается повторно изображать на других листах схемы, сохраняя позиционные обозначения, присвоенные им на одном из листов схемы.

В сложных схемах для облегчения нахождения контактов элемента (реле) разбивают поле схемы на зоны или при выполнении схемы пользуются строчным способом, а около графического изображения реле справа помещают таблицу с указанием в ней состояния контактов реле (размыкающий, замыкающий), адресного обозначения (зоны, строки, обозначения цепи) в числителе, а в знаменателе - порядковых номеров выводов данных контактов [4,рис. 4.1,с. 48; 6, рис. 5. 30, с. 8.6; 3, рис. 4.1,с. 61].

Данные об элементах и устройствах, изображенных на схеме, записывают в перечень элементов. Связь между условными графическими обозначениями и перечнем элементов осуществляется через позиционные обозначения.

Перечень выпускают самостоятельным документом или помещают на первом листе схемы, располагая над основной надписью.

Пример заполнения перечня элементов в виде самостоятельного документа на листах формата А4 приведен в литературе [6,рис.5.33, с.88; 4, табл. 4. 2,с.53; 3,табл.4.1,с. 68].

Для элементов, не имеющих заводских обозначений выводов - контактов, приводят их условные обозначения на монтажных символах, выполненных на свободном поле схемы, повторяя их в дальнейшем в

схемaх.

3.1. Схемы контроля и управления

В электрических схемах автоматического регулирования (рисунок 3) условно графическими обозначениями изображают все элементы систем автоматизации, с помощью которых осуществляется автоматическое регулирование одного или нескольких взаимосвязанных технологических параметров: датчики и первичные приборы, преобразующие измеряемый параметр в электрический сигнал, регулирующие приборы, задатчики, усилители, преобразователи, функциональные блоки, переключатели вида управления (автоматическое, отключено, ручное).

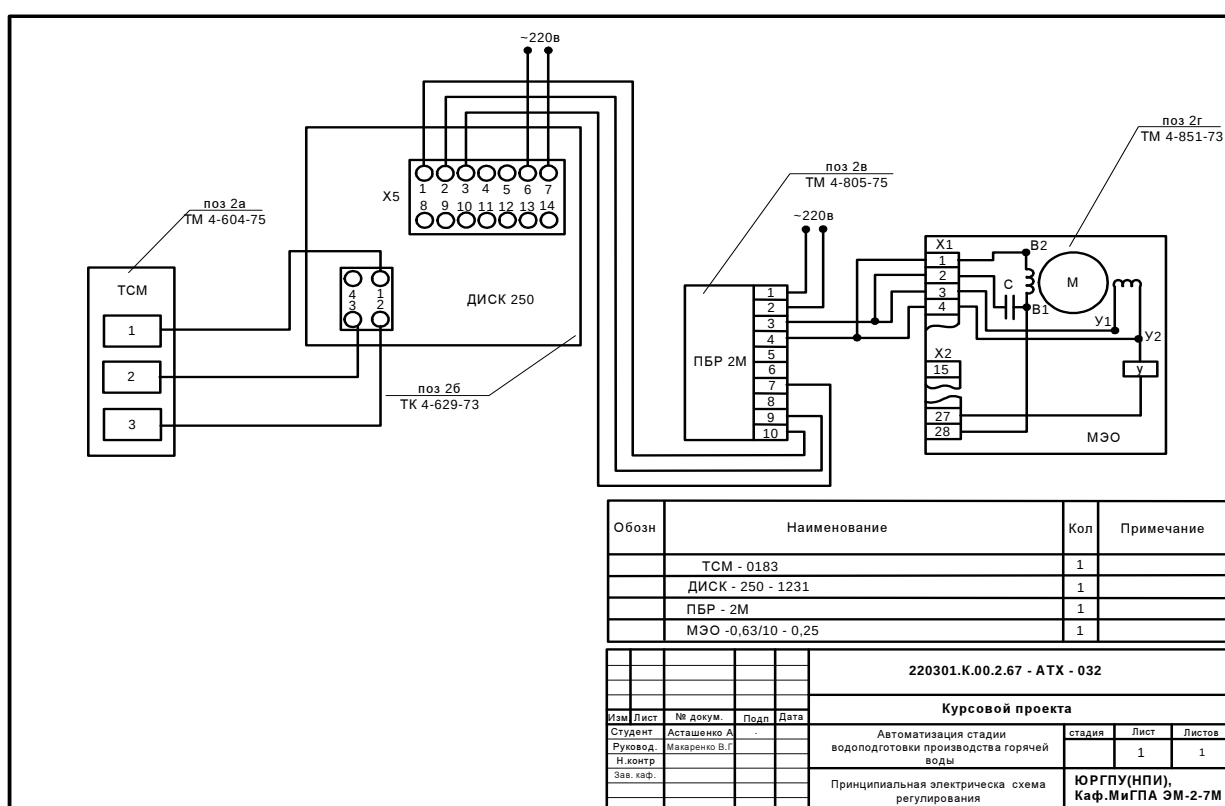


Рисунок 4 - Пример выполнения принципиальной электрической
схемы регулирования (управления)

Аппаратуру для ручного управления. исполнительные механизмы и линии связи между ними показывают в многолинейном изображении. Приборы, аппараты и регулирующие устройства изображают в виде прямоугольников с пронумерованными в соответствии с заводской маркировкой внешними зажимами. Иногда для пояснения общего принципа действия схемы внутри прямоугольников изображают только выходные контакты приборов и упрощенные принципиальные электрические схемы отдельных блоков.

В случае отсутствия заводской маркировки на свободном поле чертежа показывают условную схему аппарата с выводными контактами и проставляют на них маркировку, используя её в последующих документах.

Принципиальные электрические схемы и схемы подключения приборов и технических средств автоматизации представлены в справочной литературе [1-6].

Исполнительные механизмы, чаще всего, показывают в совмещенном виде с упрощенным изображением электрической и кинематической схем.

Примеры схем представлены на рис.2.9 [5,с.59]; рис. 6. 14, [7, с. 166], рис. 5. 34 [1,с.90]; рис. 4. 1 [4,с. 48]; рис. 4.1[3,с. 60].

3.2. Схемы технологической сигнализации

Для предупреждения обслуживающего персонала об отклонении основных технологических параметров от нормы предусматривается технологическая светозвуковая сигнализация.

В практике проектирования систем автоматизации находят применение различные схемы технологической сигнализации, отличающиеся друг от друга количеством и типом используемой аппаратуры, напряжением и родом тока, видом световой сигнализации и характером звукового сигнала.

В проекте студент разрабатывает одну из заданных преподавателем схем, различающихся между собой по принципу действия.

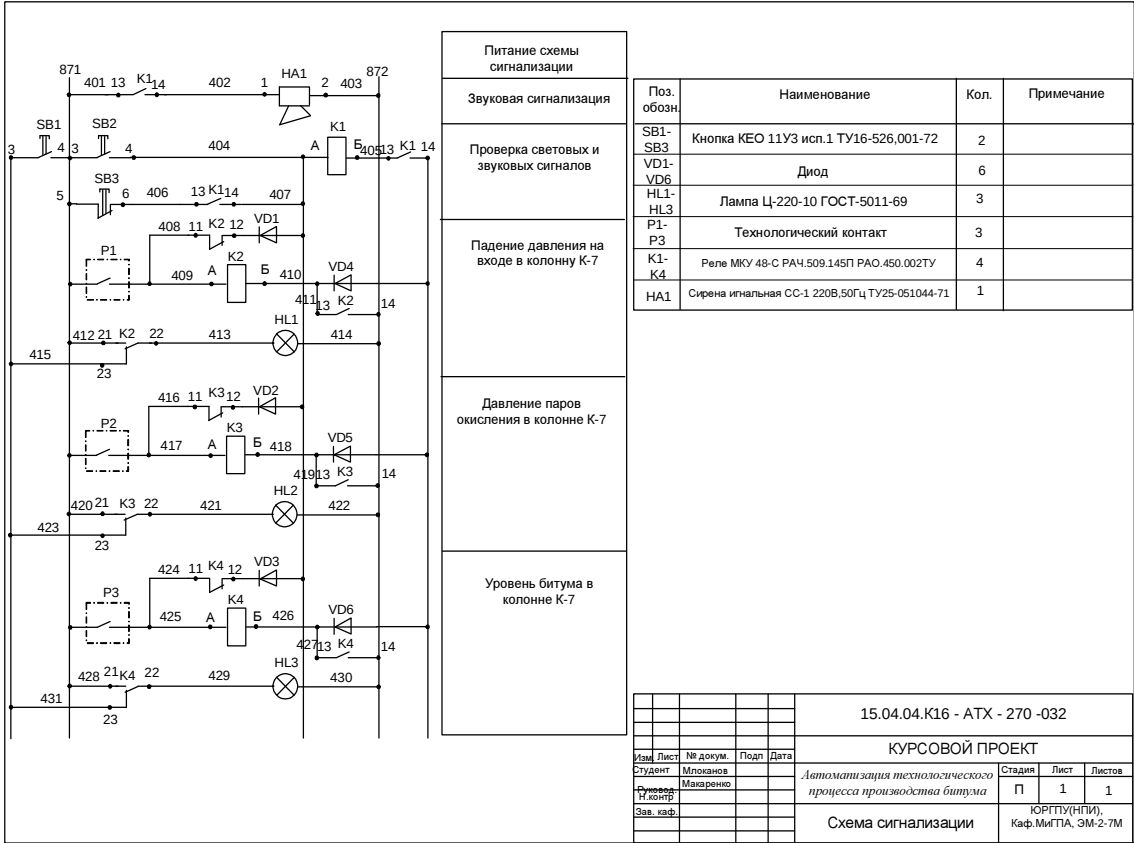
Необходимо изучить принцип работы подобных схем, представленных в литературе [3,рис. 4.13-4.18, с. 117;], и по выбранным на функциональной схеме параметрам сигнализации разработать схему для своего технологического процесса.

При составлении чертежа необходимо учесть общие правила выполнения электрических схем.

Примеры выполнения схем сигнализации представлены на рис. 5. 30 [6,с. 86]; рис.4.2 [4,с.48];рис.4.2 [3,с.62].

Справа от схемы помещают поясняющие надписи [6, рис.5.10, с. 71] и таблицы с указанием в них состояния контактов реле [4.рис. 4.I.с.48; 6,рис.5.30,0.86; 3,рис.4.1,с. 60].

Рисунок 5 - Пример выполнения схемы сигнализации



Данные об устройствах, изображенных на схеме, записывают в перечне элементов, располагая его либо над основной надписью, либо в виде самостоятельного документа, помещенного после схемы.

Пример заполнения перечня приведен на рис. 5.331. [3, с.883]. Основные требования к написанию данных об электроаппаратуре, вносимой в перечень, представлены в табл. 5.8. [6,с.89].

3. 3. Схемы питания

Схемы электропитания подразделяются на следующие основные звенья:

1. Питающая сеть - от источников питания до щитов питания автоматики [4, рис. 4.3,с. 50].
2. Распределительная сеть - цепи внутри щитов до электроприемников и цепи к местным приборам [4, рис. 4. 4,с. 50; 6, рис.7.12, с.111].

На схемах (рисунок 6) должны быть показаны аппаратура защиты (автоматические выключатели, предохранители и т.п.),аппаратура управления (выключатели, переключатели и т. п.), источники питания (выпрямители, трансформаторы, стабилизаторы и т.п.), линии вводов от источников питания и отводов к щитам, пультам, приборам и. отдельным токоприемникам, установленным вне щитов. На вводах и отводах питания следует указать род тока, напряжение и адрес кабеля.

Для автоматических выключателей и предохранителей буквенное условное обозначение указывается в числителе, а в знаменателе - ток установки (для автоматов) или плавкой вставки (для предохранителей). После трансформаторов напряжения в схеме указывается вторичное напряжение, после выпрямителей - род выпрямленного тока и напряжение.

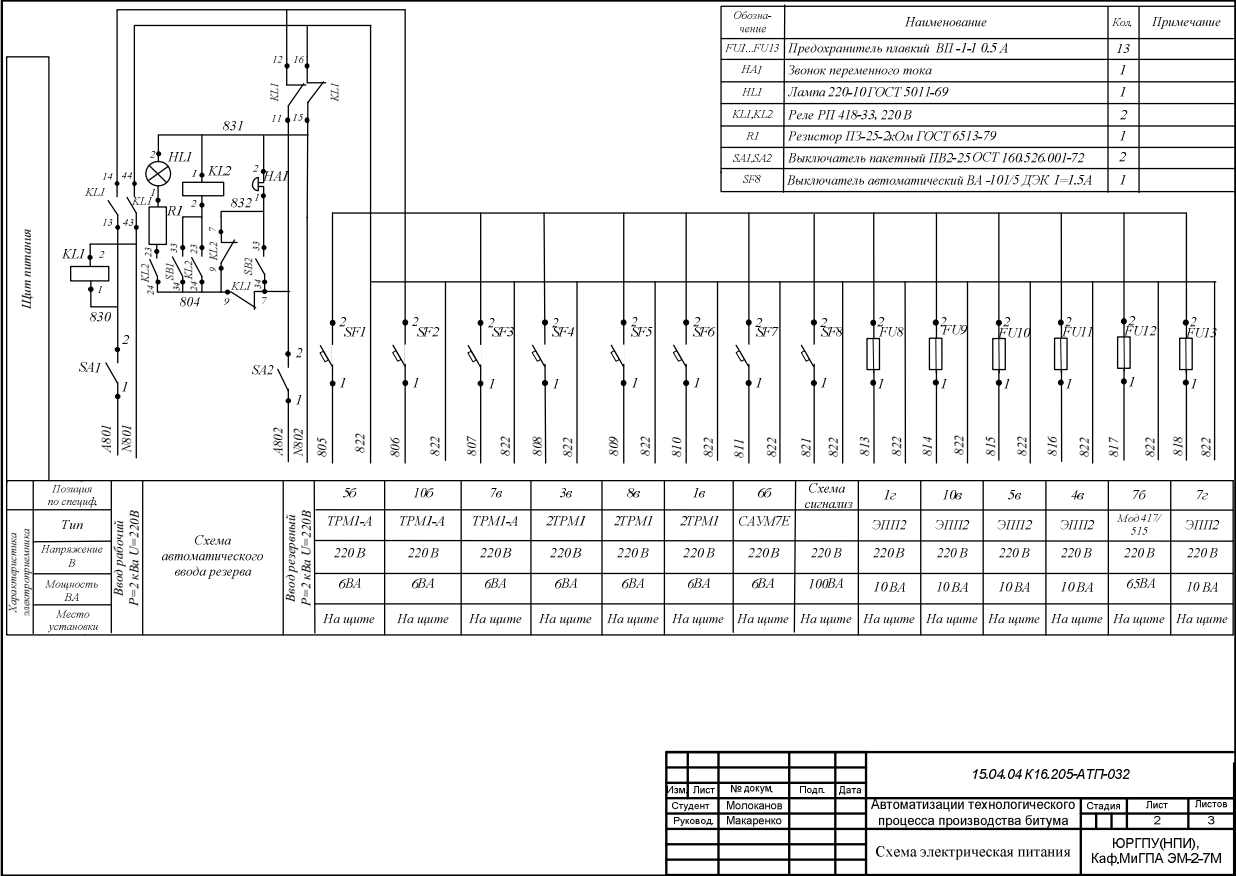


Рисунок 6 - Пример выполнения схемы электропитания

В схемах электропитания установок автоматизации следует применять имеющееся на автоматизируемом объекте напряжение, которое может быть использовано без дополнительного преобразователя.

Вопрос о необходимости резервирования систем электроснабжения следует решать с учетом конкретного автоматизируемого объекта. Автоматическое включение резерва (АВР) питания следует предусматривать для надежной работы цепей сигнализации блокировки, управления и т.п., обеспечивающих автоматическое включение резервных цепей питания.

Схема питания должна обеспечивать включение и отключение электроприемников в нормальном режиме работы, надежное отсо-

единение электроприемников, линий и участка сетей для ревизий и ремонтных работ, защиту от всех видов коротких замыканий и защиту от перегрузки.

При необходимости применения АВР питание к щитам и аппаратуре подается двумя вводами от независимых распределительных устройств. Каждый ввод должен быть рассчитан на 100%-ю нагрузку.

Автоматический резервный ввод питания в зависимости от типа способа проводки рекомендуется осуществлять по схемам, представленным на рис.4. 4 [4, с.50]; рис.7.12 [6, с.111].

4. Принципиальные пневматические схемы

Принципиальные пневматические схемы определяют полный состав технических средств пневмоавтоматики, предназначенных для решения задач контроля, регулирования, питания, их взаимосвязь друг с другом с учетом последовательности работы и принципа действия.

В связи с отсутствием стандартных условных изображений пневматических средств автоматизации в принципиальных схемах используют упрощенные начертания этих средств в виде прямоугольников с указанием внутри или вблизи от них условного обозначения или заводского типа устройства. Как правило, в прямоугольниках указывают также номера присоединительных штуцеров приборов и устройств для подключения импульсных, командных и питающих линий связи в соответствии с их заводской маркировкой. Номера присоединительных штуцеров проставляют на границе прямоугольника в окружности.

Элементы, составляющие на схеме функциональные группы или комплектующие в виде блоков, могут выделяться тонкими пунктирными линиями с указанием их обозначений или наименований.

Переключающие устройства изображают на схемах в развернутом виде в отключенном положении. Их показывают также в выбранном рабочем положении с указанием режима, для которого изображены на схеме элементы переключающих устройств.

Для удобства чтения и облегчения работы с принципиальными пневматическими схемами вторичные приборы со встроенными станциями управления и отдельные переключающие устройства могут быть даны в развернутом виде. Отдельные элементы (позиционеры, пневмо-кнопки, пневмотумблеры, контакты пневмореле и т.п.) могут быть

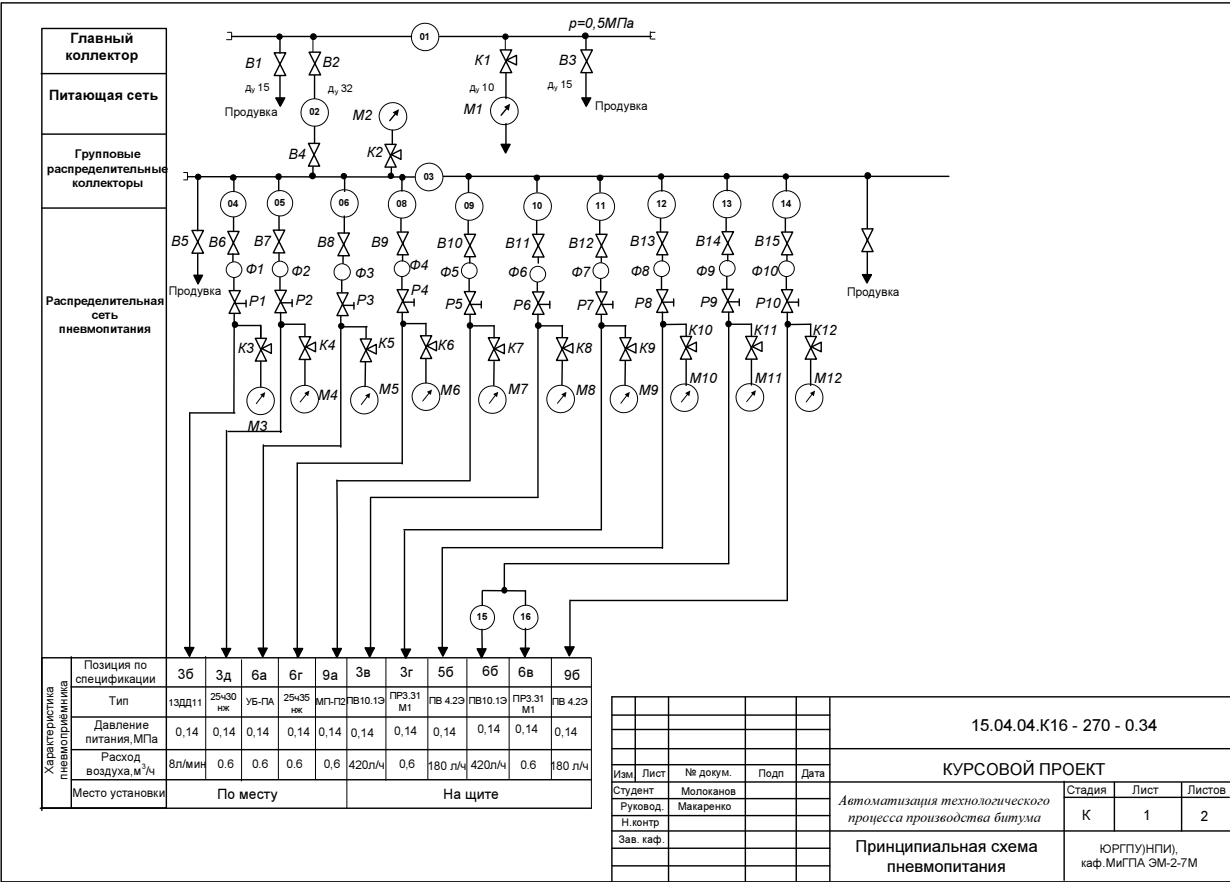
изображены так же, как аналогичные им электрические устройства. Исполнительные механизма и регулирующие органы представлены условными обозначениями по ГОСТ 21.208-2013.

В разрабатываемых принципиальных пневматических схемах могут применяться сокращенные позиционные обозначения приборов и средств пневмоавтоматики [4.с.94; 3.с.152].

Трубные линии связи на принципиальных пневматических схемах показывают сплошной основной линией, а встречающиеся в некоторых схемах электрические цепи - пунктирной. Маркировку трубных линий связи в принципиальных схемах выполняют в виде порядковых цифровых обозначений. Все номера, присвоенные пневматическим линиям связи в принципиальных схемах, сохраняют во всех остальных схемах проекта.

4.1. Схемы пневмопитания

На принципиальных пневматических схемах питания показывают принятую для данной системы автоматизации схему обеспечения энергией сжатого воздуха пневматических приборов, средств



автоматизации и вспомогательной аппаратуры.

Рисунок 7 - Пример выполнения принципиальной пневматической схемы питания

Для надежной работы систем пневмоавтоматики должна быть предусмотрена специальная воздухоподготовка, а также бесперебойность подачи сжатого воздуха в систему питания, что обеспечивается аварийным запасом сжатого воздуха в ресиверах и резервными компрессорными установками.

Схемы пневмопитания должны обеспечивать удобство эксплуатации воздухопроводов и аппаратуры, возможность отключения отдельных участков сети для осмотра и ремонта, рациональное построение сети (радиальное, магистральное и др.).

На схемах пневмопитания с помощью условных графических изображений показывают: главный, цеховые и групповые распределительные коллекторы; сеть воздухопроводов от главного коллектора до пневмоприемников; групповые и индивидуальные редукторы давления воздуха и блоки питания; групповые и индивидуальные фильтры; контрольные манометры; запорную и Переключающую арматуру; резервные и продувочные штуцера.

Пневмоприемники на схемах условно изображают в виде таблицы, в которой указывают их наименование, тип и маркировку в соответствии со схемой автоматизации.

На схемах пневмопитания [4, рис.7.3, с.144] установлен следующий порядок расположения вспомогательной аппаратуры по направлению питания: запорный орган, воздушный фильтр, редуктор, контрольный манометр с трехходовым краном.

4.2. Схемы контроля и управления

На принципиальных пневматических схемах для контуров управления изображают:

1. Приборы и средства автоматизации, входящие в состав контуров управления (датчики, преобразующие контролируемую или регулируемую величину в унифицированный пневматический сигнал, вторичные измерительные приборы; регулирующие и вычислительные устройства; преобразователи, переключающие устройства, исполнительные устройства).

2. Пневматические командные линии связи и линии пневмопитания.

3. Линии подвода электропитания.

4. Перечень элементов (приборов, средств автоматизации и т.д.), используемых в схеме.

5. Необходимые пояснения к схеме.

Технологическое и инженерное оборудование на принципиальных пневматических схемах для контуров управления не изображают.

Принципиальные схемы датчиков, преобразующих контролируемую или регулируемую величину в унифицированный сигнал, вторичных измерительных приборов, регулирующих и вычислительных устройств внутри прямоугольников не показывают.

Пневматические линии связи на принципиальных пневматических схемах изображают сплошными тонкими линиями.

Импульсные линии связи, подводящие контролируемые и регулируемые среды к измерительным приборам, датчикам и регуляторам, на принципиальных пневматических схемах не изображают.

Данные о средствах пневмоавтоматики, изображенных на принципиальных схемах, записывают в перечень элементов.

Примеры выполнения принципиальной пневматической схемы приведены в литературе [4, рис.5.1 - 5.8, с.96; 6, рис. 6. 3, с.94; 3.рис. 5.1 - 5. 8,с. 152].

5. Проектирование щитов

В состав технической документации на щиты и пульты автоматизации технологических процессов включают общие виды составных и единичных щитов, выполняемых в масштабе [1,с. 182], таблицы соединений и подключения, спецификацию щитов и пультов С02.

5.1. Чертежи общих видов щитов

Чертежи общих видов щитов, стативов, пультов разрабатывают на единичные и составные щиты.

Чертеж общего вида составного щита должен содержать:

- перечень составных частей [3,рис. 9.1,табл. 9. 2,с. 272];
- вид спереди [4,рис.9.3,с. 184; 6,рис. 17.5,с.273; 3.рис. 9. 3,с. 274].

Чертеж общего вида единичного щита должен содержать:

- перечень составных частей [4,рис. 9.8,9.9,с.190; 6,рис. 17.12. с. 281; 3, табл. 9.1, с. 271];
- вид спереди и фрагменты вида (при необходимости) [4,рис. 9.1,с.183; 6,рис.17.4,с.275;3,рис. 9. 2,с. 273];
- вид на внутренние плоскости и фрагменты вида (при необходимости) [4,рис.9.4,с.185; 6,рис. 17. 6,с. 275; 3,рис.9.4, с.275];
- технические требования [4, с.187; 6,с.279; 3,с.269];

— таблицу надписей (на табло и в рамках) [4,рис.9.7, с. 188; 6,рис. 17.10,с. 280; 3, рис. 9. 6,с.276].

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Прим.		
		<u>Документация</u>				
		Таблица соединений				
		Таблица подключения				
		<u>Стандартные изделия</u>				
1		Щит ЩПК-1-3Л-1-2200*600*600-УХЛ-4-IP00-ОСТ 13.36-76	1			
2		Щит ЩПК-1-3Л-1-2200*600*600-УХЛ-4-IP00-ОСТ 13.36-76	1			
3		Скоба С3600 ТК3-125-81	2			
4		Рейка Р800-ТК3-101-81	2			
		<u>Прочие изделия</u>				
5	7в,8в	Вторичный показывающий и регистриру- ющий прибор типа Диск 250-4221	2			
6	3в,6в	Вторичный пневматический прибор типа ПВ10.1 П	2			
7	5б,6б	Вторичный пневматический прибор типа ПВ2.2	2			
8	1б, 2б	Показывающий и регистрирующий вторичный прибор типа А-100-3001	2			
Должн.	Фамилия	Подп.	Дата	15.04.04 К.17-АТХ		
Студент	Диденко					
Консулт						
Руковод.	Макаренко					
				Курсовой проект		
				Проект системы автоматизации процесса умягчения котловой воды		
Н.контр.				стадия	лист	листов
Зав.каф.	Герасименко					
				К	1	9
Перечень составных частей				ЮРГПУ(НПИ),каф.Миф ПА ЭМ-2-7М		

Рисунок 8 - Пример заполнения перечня составных частей

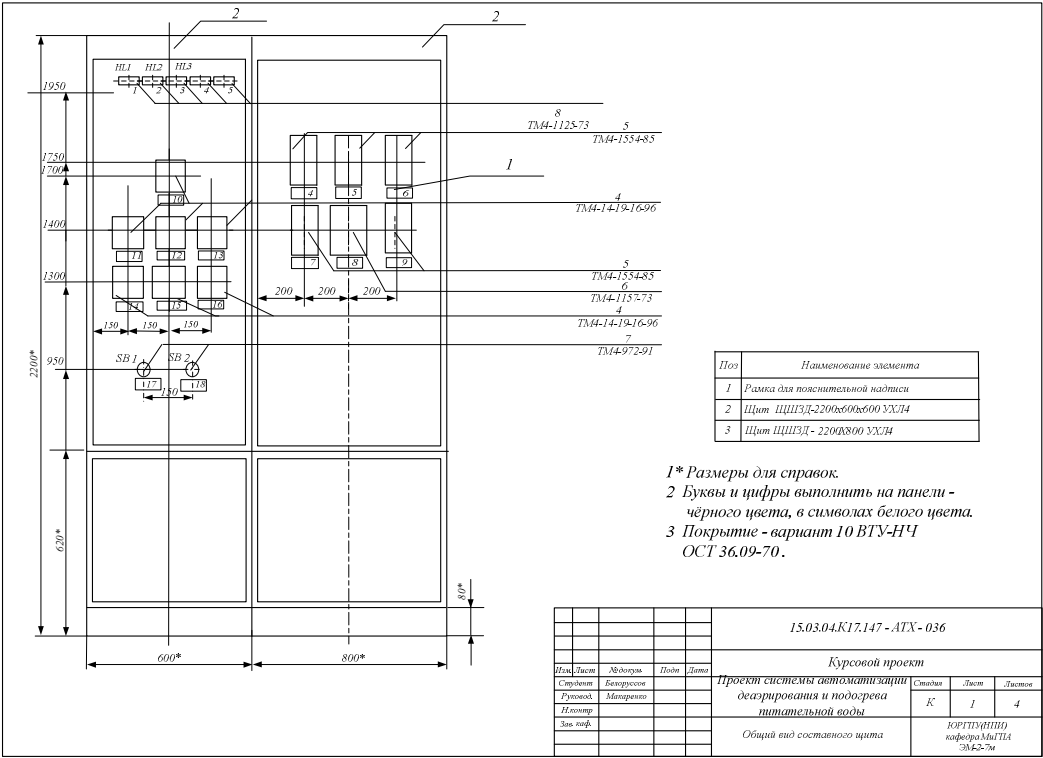


Рисунок 9 - Пример выполнения чертежа «Внешний вид щита»

На чертежах общих видов щиты, приборы, средства автоматизации, аппараты, элементы крепления внутри щитовой аппаратуры изображают

упрощенно в виде внешних очертаний сплошными линиями.

Шкафам, панелям, поворотным рамам, а также приборам и средствам автоматизации, аппаратуре, линиям и символам мнемосхем, вводам электрических и трубных проводок и т.д., установленным на фасадах и внутри щитов, присваивают номера позиций в порядке записи их в перечень составных частей.

На виде спереди единичного щита показывают приборы, средства автоматизации, элементы мнемосхем, рамки с поясняющими надписями. На виде спереди единичного щита для приборов, аппаратуры и вводов под полкой линии-выноски, на которой проставлен номер позиции, указывают обозначение установочного чертежа [5,табл.11.1,с. 345; 6,прил. 21,с. 385; 4,табл.17.6, с.414], выбранного из справочника в соответствии с предполагаемой установкой.

5.2. Вид на внутренние плоскости щита

На чертеже вида на внутренние плоскости щита боковые стенки, поворотные конструкции изображают условно развернутыми в плоскости чертежа. Над изображением помещают заголовок (рисунок 10) "Вид на внутренние плоскости (развернуто)" [4,рис. 9. 4, с.185; 6,рис.17. 66,с. 276; 3,рис.9.4,с.275].

Вид на внутренние плоскости щита (развернуто)

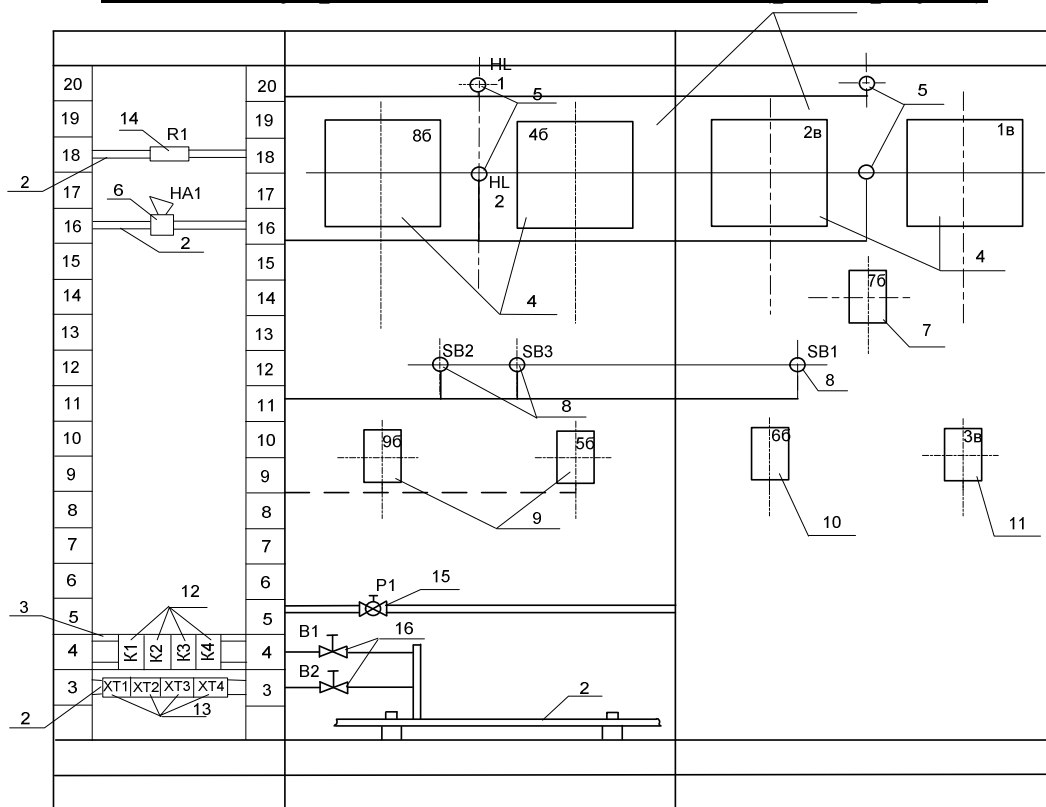


Рисунок 10 - Пример выполнения чертежа «Вид на внутренние

плоскости щита»

На внутренних плоскостях щитов, поворотных рамах, дверях показывают:

1. Установленные на них приборы, электроаппаратуру и пневмоаппаратуру.

2. Изделия для монтажа электропроводок: блоки зажимов, рейки с наборными зажимами, колодки маркировочные и т. п.

3. Изделия для монтажа трубных проводок: трубопроводную арматуру, сборки переборочных соединителей и т. п.

4. Элементы для крепления внутрищитовой аппаратуры (рейки, скобы, угольники и т.п. элементы, которые крепятся непосредственно к стойкам щита).

5. Дециметровые шкалы стоек щитов, которые наносятся на стойки условно и служат для координации установленной внутри щитов аппаратуры.

6. Жгуты электрических и трубных проводок. При этом сплошной линией изображают жгуты электропроводок, штрих-пунктирной линией - жгуты измерительных цепей, штриховой линией - потоки трубных проводок [4,рис.9.5,с.186; 6,рис. 17. 9,с.279].

При изображении приборов, электроаппаратуры, пневмоаппаратуры, блоков зажимов, вентилях и т. п. над ними или справа от них указывают:

1) для приборов - позиции по спецификации;
2) для электроаппаратуры и пневмоаппаратуры - позиционные обозначения по принципиальным схемам;

3) для изделий, не указанных в схемах, предусмотрены следующие буквенные позиционные обозначения:

ХТ -рейки с наборными зажимами; П -сборки переборочных соединителей для трубных проводок; Х -штепсельные разъемы; КП - краны; В -вентили, запорные; Р -стабилизаторы давления воздуха; Ф - фильтры воздуха; М -манометры.

К буквенным обозначениям должны добавляться порядковые номера, начиная с единицы, в пределах каждой группы изделий, обозначаемых одинаковыми буквами [4,рис.9.б,с.186; 6,рис17.8, с. 279; 7, рис. 9.5, с.276].

5.3. Таблицы соединения и подключения

Для выполнения монтажных работ разрабатывают два вида таблиц:

соединений - для прокладки линий связи и подключений для присоединения проводников к приборам и аппаратам.

Таблицу подключений заполняют в следующем порядке:

1. В графе "Вид контакта" проставляют позицию прибора по спецификации или условное обозначение контактов (для реле: 3- замыкающий, Р - размыкающий, К - катушка).

2. В графах "Вывод" проставляют номера выводов приборов и аппаратов.

3. В графах "Проводник" против соответствующих номеров выводов указывают маркировку проводов, подключаемых к выводу.

Соединение проводов				
Проводник	Откуда идет	Куда идет	Данные провода	Примечание
101	X5/1	ХТ1/1	429	
102	X5/2	ХТ1/2	451	
103	X5/3	ХТ1/3	452	
111	X5/1	ХТ1/4	453	
112	X5/2	ХТ1/5	461	
113	X5/3	ХТ1/6	462	
121	X5/1	ХТ1/7	463	
122	X5/2	ХТ1/8	471	
123	X5/3	ХТ1/9	472	
131	X5/1	ХТ1/10	473	
132	X5/2	ХТ2/1	481	
133	X5/3	ХТ2/2	482	
402	K1:14	HA1:1	483	
404	SB2:4	K1:A		
405	K1:Б	K1:13		
406	SB3:6	K1:13		
407	K1:14	K1:A		
408	P1	K2:11		
	K2:12	VD1:-		
409	P1	K2:A		
410	K2:Б	VD4:-		
15.04.14.К - 270 - ТБ4				
КУРСОВОЙ ПРОЕКТ				
Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Студент	Молоканов			
Руковод.	Макаренко			
Исполн.				
Зав. кафе.				
Автоматизация технологического процесса производства битума			Стадия	Лист
			П	1
Таблица соединений			Листов	3
			ЮРГПУ(НПИ), Каф.ММГПА, ЭМ-27М	

Рисунок 11 - Пример заполнения таблицы соединений

[illegible]

Рисунок 12 - Пример заполнения таблицы подключений (Маленькая)

№ над- писи	Таблица надписи на табло и в рамках	Кол- во	№ над- писи	Продолжение табл.	Кол- во
	Рамка 122x52				
1	Уровень pH в фильтрационном чане	1			
2	Расход хмеля	1			
3	Температура раствора в заторном чане	1			
4	Температура сусла в сусловарочном	1			
	котле				
5	Уровень раствора в заторном чане	1			
6	Уровень сусла в фильтрационном чане	1			
7	Уровень сусла в сусловарочном	1			
	котле				
	Рамка 66x26				
8	Проверка световой сигнализации	1			
9	Проверка звуковой сигнализации	1			
10	Отключение сигнализации	1			
	Табло ТСБ-2				
11	Верхний уровень в заторном чане	1			
12	Верхний уровень в фильтрационном	1			
	чане				
13	Верхний уровень в сусловарочном	1			
	котле				

Рисунок 13 - Пример заполнения таблицы надписей

6. Схема внешних электрических и трубных проводок

Схемы соединений и подключений внешних проводок выполняют на основании следующих материалов:

схем автоматизации технологических процессов; принципиальных, электрических и пневматических схем;

эксплуатационной документации на приборы и средства

автоматизации, применяемые в проекте;

таблиц соединений и подключений проводок щитов;

чертежей расположения технологического оборудования. Схемы соединений внешних проводок должны содержать:

- первичные, внешитовые и групповые установки приборов;
- щиты, пульты, стивы и пр.;
- внешние электрические и трубные проводки;
- защитное заземление (зануление) систем автоматизации;
- технические требования и перечень элементов. Датчики, исполнительные механизмы и другие средства автоматизации с электрическими входами и выходами изображают монтажными символами по заводским инструкциям.

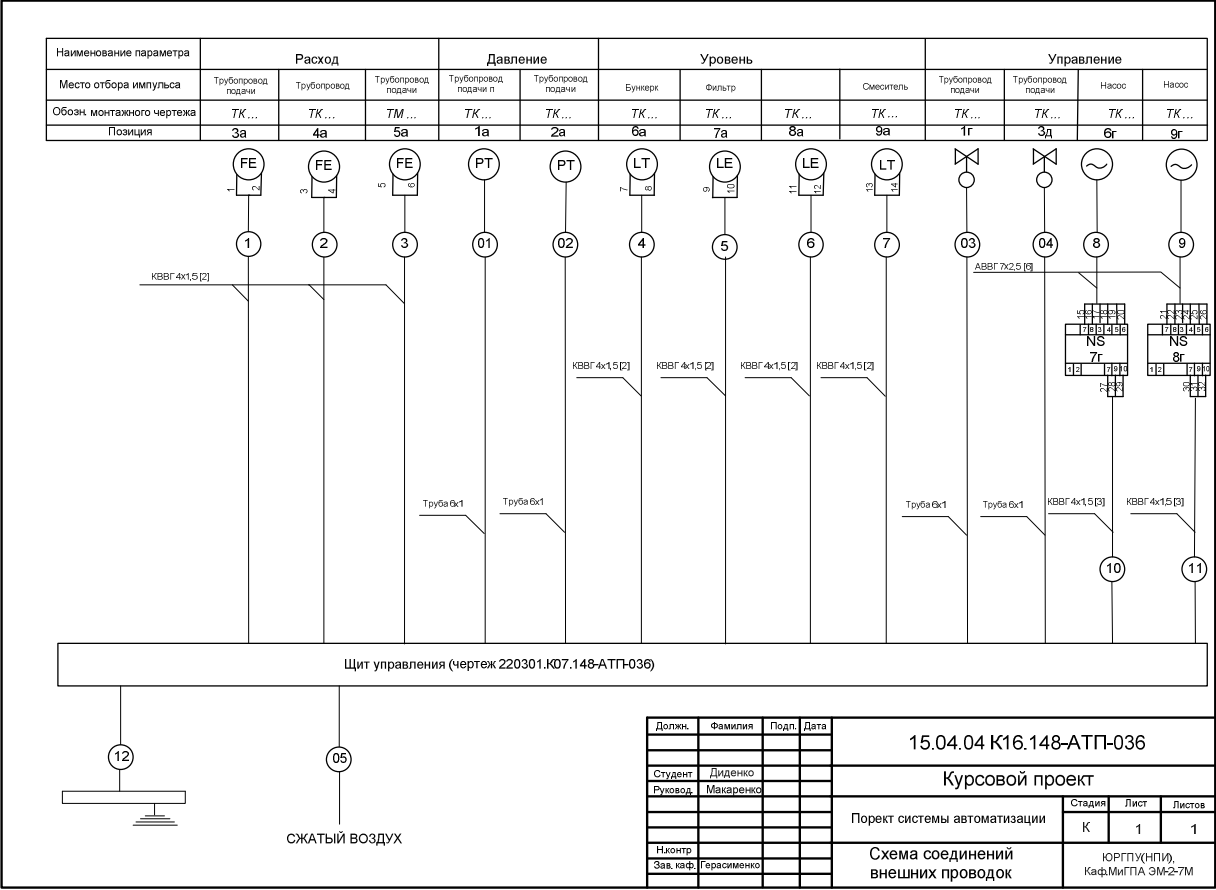


Рисунок 14 - Пример выполнения схемы соединений внешних проводок

Щиты, пульты, стивы изображают в виде прямоугольников [4, рис. 13.2,с.313; 6, рис. 13.9, с. 211]. Внутри прямоугольников указывают наименование щита, пульта, стива, а под ним - обозначение таблицы подключения данного щита.

Внешние приборы (датчики, электроконтактные манометры и т.п.) и групповые установки приборов располагают на поле чертежа между таблицей с поясняющими надписями и прямоугольниками, изображающими щиты, пульты, стативы.

Внешние и внешние приборы, групповые установки приборов, щиты, стативы, пульты соединяют между собой электрическими и пневматическими кабелями, проводами и жгутами проводов, а также трубопроводами, которые показывают на схемах отдельными сплошными линиями.

Для соединения и разветвления кабелей и пневмокабелей на схемах соединений показывают соответственно электрические и пневматические коробки [4,рис.13.1, 13.6, с. 313; 6,рис. 13.12, с.212]. Электрические соединительные коробки изображают в виде прямоугольника, внутри которого размещают сборки зажимов и показывают подключение к ним жил кабелей (проводов) с соответствующей маркировкой.

Для каждой внешней проводки приводят ее техническую характеристику:

- для проводов - марку, сечение, длину;
- для кабелей -марку, количество и сечение жил;
- для металлокабелей - тип и длину;
- для трубы - диаметр, толщину стенки и длину;
- для пневмокабелей - марку, количество труб, их диаметр, толщину стенки и длину.

Контрольным кабелям и защитным трубам, в которых проложены жгуты проводов, присваивают порядковые номера: 1,2, и т.д.

Трубным проводкам (импульсным, командным, питающим, дренажным и т.п.) присваивают порядковые номера с добавлением перед ними индекса "0": 01, 02, 03 и т.д.

Примеры обозначений приведены в литературе [4,рис. 13.9, с.317; 6,рис.13. 5,с. 210; 7,рис. 13. 5,с.389].

Порядковые номера проводкам присваивают на схеме соединений сверху вниз (при расположении щитов, пультов снизу поля чертежа), снизу вверх (при расположении щитов, пультов в средней части чертежа), и слева направо. Нумерация внешних проводок должна быть сквозной в пределах документа.

- Технические требования к схемам соединений внешних

проводок должны содержать:

- ссылки на схемы автоматизации, на основании которых указаны позиции приборов на схемах соединений;
- указания по защитному заземлению электроустановок;
- указания о том, что длины кабелей даны с учетом 6% -й надбавки на изгибы, повороты и отходы.
- Технические требования размещают на первом листе схемы.
- На схеме соединений внешних проводок приводят перечень элементов, в который включают:
 - соединительные коробки;
 - кабели, провода, пневмокабели;
 - запорную арматуру, трубопроводы, металлорукава;
 - материалы зануления проводников и узлы присоединения их к оборудованию и т.п.

Примеры выполнения схем внешних проводок приведены в справочной литературе [4,рис. 13.1,13.4,13. 6,13.10,с. 312-318; 6,рис.13. 21,с. 222].

7. Планы расположения средств автоматизации, электрических и трубных проводок

Чертеж плана расположения должен содержать планы и разрезы производственных помещений и наружных установок с размещением и координацией приборов и средств автоматизации, щитов, пультов, агрегатных комплексов и др., а также потоков электрических, и трубных проводок.

Чертежи выполняются на основании следующих материалов:

- архитектурно-строительных чертежей объекта, цеха;
- чертежей с размещением технологического оборудования и основных технологических трубопроводов с отборными и приемными устройствами, закладными конструкциями, туннелями, каналами, проемами и пр.;
- схем автоматизации;
- схем или таблиц соединений внешних проводок;
- чертежей общих видов щитов, пультов и т.п.

На чертежах планов расположения должны быть указаны методы крепления проводок к элементам конструкций зданий и способы прохода

их через стены.

Чертежи планов расположения должны содержать:

- контуры зданий объекта с расположением технологического, сантехнического и другого оборудования и трубопроводов;
- приборы, щиты, пульты; внешние электрические и трубные проводки; технические требования; перечень составных частей.

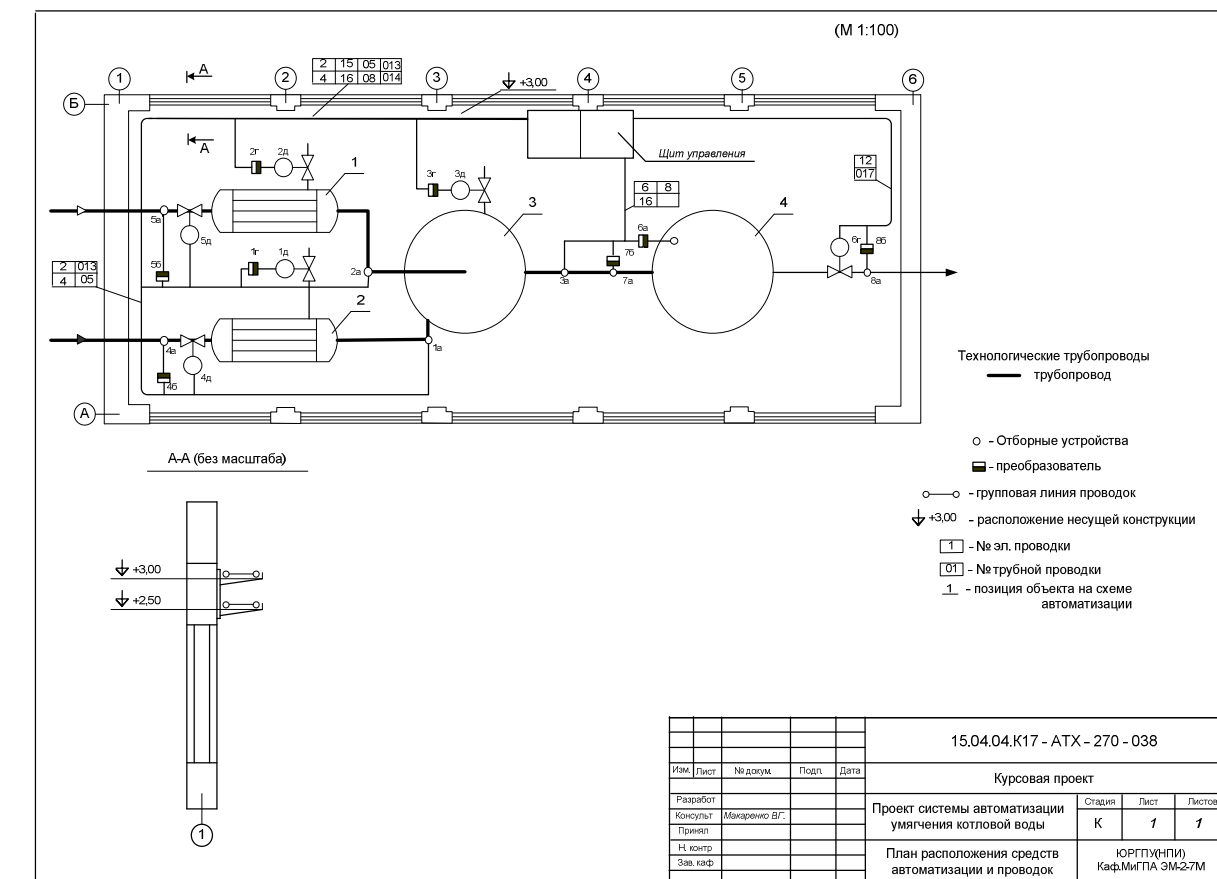


Рисунок 15 - Пример выполнения схемы «План расположения средств автоматизации и проводок»

Технологическое и другое оборудование, а также трубопроводы обязательно должны быть показаны в следующих случаях:

- при размещении на них приборов и средств автоматизации;
- при расположении возле агрегатов щитов, пультов, в случаях, когда вблизи оборудования и трубопроводов размещают любые приборы, средства автоматизации и потоки внешних проводок с целью их оптимального размещения.

На вводах основных технологических трубопроводов рекомендуется указывать наименование и адрес транспортируемого газа, жидкости и т.п.

Над изображением планов и разрезов зданий и сооружений наносят надписи с указанием их местонахождения и масштаба, например:

"План на отм. 0,000" "Разрез 1 - 1" М 1 : 100 М 1 : 50

Условное графическое обозначение отборных устройств, первичных измерительных преобразователей (датчиков), встраиваемых в технологическое оборудование и трубопроводы, представляет собой окружность диаметром 2 мм.

Внешние приборы, исполнительные механизмы, электроаппаратура и другое оборудование, устанавливаемое вне щитов, изображают в виде прямоугольника [4, рис. 13.19, с.326].

На чертежах около условных графических обозначений приборов и средств автоматизации указывают их позиции в соответствии со схемой автоматизации [6, рис. 14. 6, с. 227].

Щиты, пульты, групповые и индивидуальные установки приборов изображают в виде прямоугольников с учетом масштаба разрабатываемого чертежа плана расположения. [4, рис. 13.19, с. 326; 6,рис.14.10,14.11.с.229].

Соединительные и протяжные коробки [6,рис. 14. 7,14. 8,с. 228], внешние проводки, короба, лотки, мосты и т. д. изображают на чертежах планов расположения условными графическими обозначениями [4.табл. 13.1,с.327; 6,табл.14.2,с. 230; 7,табл. 13.1,13.2,с.398].

На чертеже плана расположения средств автоматизации, электрических и трубных проводок связи должны иметь номера в соответствии со схемой внешних проводок. Номера кабелей, проводов и труб проставляют в прямоугольниках, которые располагают под полкой линии-выноски, предназначенной для записи позиции на монтажные материалы и изделия по перечню составных частей [4,рис.13.20,с.328; 6,рис.14. 30,с. 245; 7, рис.13.12,с. 401].

Нумерацию электрических и трубных проводок указывают в следующих местах потока проводки:

- в начальной и конечной точках - у средств автоматизации, щитов, пультов, соединительных коробок и т.д.
- в месте ответвления проводки от потоков;
- при изменении количества кабелей, проводов, труб в потоке;
- при переходе в смежное помещение или на другой этаж;
- в месте обрыва потока;
- при большой протяженности потока.

Потоки электрических и трубных проводок на чертежах должны

быть закоординированы [4, табл. 13. 3,с.330; 6,рис. 14.13, с.231; 7,рис.13.11,с. 397].

Применяемым для монтажа проводок узлам крепления, а также изделиям для прокладки этих проводок и материалам присваивают условно номера позиций, которые наносят на полках-выносах, проводимых от изображений потоков электрических и трубных проводок.

Технические требования должны содержать:

— ссылки на строительные и технические чертежи, в которых реализованы задания на размещение элементов автоматизации, закладные конструкции, туннели, каналы, проемы и т. п., с указанием обозначений этих чертежей и предприятия-разработчика;

— указания о совместной прокладке электрических проводок;

— ссылки на схемы соединений внешних проводок, на основании которых выполнялись чертежи расположения.

Перечень составных частей должен включать:

— мосты, короба, лотки;

— кабельные конструкции;

— трубные блоки;

— проходы проводок через стены и перекрытия зданий и сооружений;

— чертежи установки и крепления конструкций для прокладки проводок;

— монтажные изделия и материалы.

Примеры выполнения планов расположения средств автоматизации и проводок приведены в литературе [4,рис.13.24, с. 332; 6, рис. 14.31, с.247; 7,рис. 13.14,с. 404].

8. Спецификации оборудования

В курсовом проекте разрабатывают спецификацию оборудования (СО1) (рисунок 17) и спецификацию щитов и пультов (рисунок 18) (СО2). Обе спецификации выполняются по форме, приведенной на рис. 16.1 [4,с.395].

Каждая спецификация выполняется с основной надписью на первом листе по форме 3 [4,рис. 16. 3,с. 395; 6,рис.1.1а.с.9], на последующих листах (рисунок 16) по форме 4 [4,рис. 1. 3.с.14; 6, рис.1.16, с. 9].

Должн.	Фамилия	Подп.	Дата	15.04.04.K17.049-АТХ-030	Лист
Студент	Белоруссов				2
Руковод.	Макаренко				

Рисунок 16 - Пример заполнения надписи на второй и последующих листах спецификации

Раздел спецификации оборудования "Оборудование и материалы, поставляемые заказчиком" записывают в виде заголовка и подчеркивают.

Данный раздел состоит из подразделов, которым присваиваются следующие номера и наименования:

1.1. Приборы и средства автоматизации

Раздел составляют на основании функциональной и принципиальных схем. При этом приборы и средства автоматизации рекомендуется перечислять сгруппированными в следующие параметрические группы: температура, давление и разряжение, расход, количество и уровень, состав и качество вещества, прочие приборы, комплектные устройства.

Позиция	Наименование и техническая характеристика оборудования и материалов, завод изготовитель (для импортного оборудования-страна фирма)	Тип, марка оборудования. Обозначение документа и опросного листа	Единица измерения		Код завода-изготовителя	Код оборудования, материалов	Цена единицы, руб	Количество	Масса ед. оборудования																																								
			Наименование	Код																																													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																								
	Оборудования и материалы, поставляемые заказчиком																																																
	Регулирование расхода горячего битума																																																
1а	Диафрагма камерная в комплекте с разделительными сосудами	ДКС-10-100-а/б-1						1																																									
	Изготовитель ЗАО "Манометр" г. Москва	ГОСТ 26969-86																																															
1б	Преобразователь давления. Предел допустимой погрешности 0,5%	Метран						1																																									
	Допустимое рабочее давление 16 МПа. Выходной сигнал 4-20 мА.	-22-ДД-Ex-2440																																															
	Изготовитель ЗАО "Манометр" г. Москва																																																
1в	Вторичный прибор со встроенным регулятором	Диск-250						1																																									
	Входной сигнал 4-20 мА. Питание 220В / 50Гц.																																																
	Изготовитель "Теплоприбор" г. Челябинск																																																
1г	Пускатель магнитный реверсивный. Входной сигнал 24÷ 6В	ПБР-2М						1																																									
	Питание 220 / 50Гц. Потребляемая мощность 10 ВА																																																
	Изготовитель "Электроприбор" г. Челябинск																																																
1д	Исполнительный механизм	МЭО-40/63-						1																																									
	Питание 220 / 50Гц. Потребляемая мощность 40 ВА	-0.25-80																																															
	Изготовитель "Электроприбор" г. Челябинск																																																
	Клапан затворный																																																
	Питание 220 / 50Гц. Диаметр условного прохода - 100 мм.	32ч902р						1																																									
	Изготовитель НПО "Армхиммаш" г. Ереван																																																
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td colspan="5">15.04.04 К16.205-АТТ-032</td></tr> <tr> <td>Студент</td><td>Молоканов</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3">Автоматизации ТПП</td><td>Стадия</td><td>Лист</td></tr> <tr> <td>Руковод.</td><td>Макаренко</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3">производства битума</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3">Заказная спецификация на приборы и средства автоматизации</td><td colspan="2">ЮРГПУ(НПИ), Каф.МигПА ЭМ-2-7М</td></tr> </table>										Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.04.04 К16.205-АТТ-032					Студент	Молоканов				Автоматизации ТПП			Стадия	Лист	Руковод.	Макаренко				производства битума			2	3						Заказная спецификация на приборы и средства автоматизации			ЮРГПУ(НПИ), Каф.МигПА ЭМ-2-7М	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.04.04 К16.205-АТТ-032																																												
Студент	Молоканов				Автоматизации ТПП			Стадия	Лист																																								
Руковод.	Макаренко				производства битума			2	3																																								
					Заказная спецификация на приборы и средства автоматизации			ЮРГПУ(НПИ), Каф.МигПА ЭМ-2-7М																																									

Рисунок 17 - Пример заполнения спецификации оборудования

1.2. Электроаппаратура.

Исходными материалами для составления раздела являются принципиальные электрические схемы- Принятые в этих схемах

позиционные обозначения электроаппаратуры сохраняются и в спецификации.

1.3. Трубопроводная арматура.

В сводном виде сюда заносят следующие виды трубопроводной арматуры: регулирующие органы, поставляемые арматурными заводами; запорную арматуру с электрическими, пневматическими и гидравлическими приводами; запорную арматуру с ручным приводом.

1.4. Кабели и провода.

Включают все кабели и линии связи, прокладываемые вне щитов и пультов. В спецификацию заносят в следующем порядке: силовые кабели, контрольные кабели, экранированные провода и кабели, кабели и провода связи, установочные провода, компенсационные провода. Кабели и провода включают в спецификацию в соответствии с указанным перечислением в порядке возрастания числа жил и сечения.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1.2 Электроаппаратура							1	
K1	Реле 220В, 1А, ТУ 16-523.488-74	РП-256-У4							
K2-K5	Реле 220В, ТУ 16-523.072-75	РП-12						3	
SВ1-SВ3	Кнопка, ГОСТ 5.1245-72	КЕ-011							
НЛ1-НЛ3	Табло световое, ТУ 16-535.424-70	ТСМ						13	
VD1-VD8	Диод кремневый ШБ3.362.002ТУ	Д226						1	
HA1	Сирена сигнальная, ТУ 16-539.383-70	СС-1						1	
								2	
	1.3 Трубопроводная арматура							13	
4Д	Регулирующий пневмоклапан, Рязанский завод "Теплоприбор".	25ч30нк						1	
7Д	Регулирующий пневмоклапан, Рязанский завод "Теплоприбор".	25ч30нк						1	
K1-K4	Кран трехходовой контрольный	КТК							
P1, P2	Редуктор давления	РДВ-1М						1	
B1-B4	Вентиль запорный, муфтовый	32Б3к						4	
B4-B15	Вентиль запорный, муфтовый	32Б3к						3	
Ф1, Ф2	Фильтр воздуха	ФМ-2М						4	
	1.4 Кабели и провода							8	
1-4	Контрольный кабель из поливинилхлорида	КРВБГ 4*1						1	
	1.5 Материалы и монтажные изделия								
01-05	Труба оцинков. водогазопроводная ГОСТ 3262 – 75 усл. проход15 мм								
								1	
								1	
	Щиты								
2	Шкафной щит дт 3.622.102-16	ЩПК-2						4	
1	Рейка дт 203ТК-101-23	Р600						2	
								4	
								11	
								2	
								67м	
								70м	
Должн. Студент Фамилия Белоруссов Подп. Рукавой Дата Макаренко									15.04.04.К17.049-АТХ-030
									Лист 2

Рисунок 18 - Пример заполнения спецификации оборудования

1.5. Материалы и монтажные изделия.

Составляют в сводном виде в следующем порядке: трубы, черные металлы, цветные металлы, монтажные изделия.

Исходными материалами являются схемы внешних электрических и трубных проводок, планы расположения средств автоматизации, электрических и трубных проводок, монтажные схемы щитов и пультов.

Правила заполнения спецификации СО1 приведены в литературе

[4,п. 16. 6,с. 394; 2,пп.17.36-17.77,с.264] Наименование каждого подраздела записывают в графе 2 и не подчеркивают.

В спецификацию щитов и пультов СО2 включают все щиты и пульты и их вспомогательные элементы, предусмотренные проектом автоматизации. Правила заполнения спецификации СО2 приведены в справочниках [4,п.9.4,с.198; 6,пп.17.131-17.132,с. 282].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП [Текст] : метод. пособие в 2-х томах. -СПб: Издательство ДЕАН, 2010. - 552 с.
2. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП [Текст] : учебн. –практ. пособие. – М.: Инфра - Инженерия, 2008. - 928 с.
3. Федоров Ю.Н. Порядок создания, модернизации и сопровождения АСУТП [Текст] : метод. пособие. – М.: Инфра - Инженерия, 2011. - 576 с.
4. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / А.С. Ключев и др.- М.:Энергоатомиздат, 1990.
5. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / А. С. Ключев [и др.];, - под ред. А.С. Ключева. - М. : Альянс, 2008. - 464с.
6. Емельянов А. И., Капник О.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справ. пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1983. 400 с.
7. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справ. пособие /Ключев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А.Х; под ред. А.С.Ключева. М.: Энергия, 1980. 512с.
8. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справ. пособие/Ключев А.С. и др. - М.: Энергоатомиздат, 1989. 368 с.
9. Монтаж средств измерений и автоматизации: Справ. /Алексеев К А. и др.; под ред.А. С. Ключева. М.: Энергоатомиздат,1988. 488с.
10. Монтаж приборов и средств автоматизации: Справ. /Алексеев К.А. и др.; под ред. А.С.Ключева М.: Энергия, 1979. 728с.
11. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля /Ключев А.С. и др. ; под ред. А.С.Ключева. М.: Энергоатомиздат, 1991. 432с.
8. Справочник по автоматизации котельных /Фаерштейн Л. М., Этинген Л. С., Гохбойм Г. Г.; под ред. Л. М. Фаерштейна М.:Энергоатомиздат, 1985. 296 с.
12. Автоматизация технологических процессов. Проектирование автоматизированных систем: учебное пособие / А. И. Бабин, О. А. Гусев, Ю. Н. Чесноков. - Екатеринбург, 2002. - 130 с.
13. ГОСТ 21.208-2013 СПДС. Автоматизация технологических

процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. М.: Стандартинформ, 2014.

Учебно-методическое издание

Макаренко Виктор Григорьевич

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию для
направления подготовки
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Редактор *Н.А.Юшко*

Подписано в печать 27.07.2017г.

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл.печ.л. 2,32, Уч.изд.л. 2,5. Тираж 50 экз. Заказ_____

Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова
Редакционно-издательский отдел ЮРГПУ(НПИ)
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Отпечатано в ИД Политехник
346428, г. Новочеркасск, ул. Первомайская, 166.
idp-npi@mail.ru

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ**

Методические указания
к практическим занятиям

Новочеркасск
ЮРГПУ (НПИ)
2017

УДК 004.9:658.51:66.0 (076.5)

Рецензент - О.Г. Тюрин, доктор технических наук, профессор

Корнелюк О.А.

Технологические процессы потенциально опасных производств: методические указания к практическим занятиям / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2017. – 24 с.

Рассмотрены основные аспекты проектирования интеллектуальных автоматизированных систем. На примере технологических процессов переработки высокоэнергетических материалов в изделия показано, как на практике можно осуществить интеллектуализацию управления опасным технологическим процессом.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям бакалаврской и магистерской подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств», «Энергетическое машиностроение», а также может быть полезно инженерам и специалистам по обслуживанию автоматизированного оборудования технологических комплексов широкого назначения.

УДК 004.9:658.51:66.0 (076.5)

©Южно-Российский
государственный
политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова,
2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Практическое занятие № 1 Технологический процесс и оборудование потенциально опасных производств. Структурная схема. Типовые технологические процессы: сущность и назначение. Структурные схемы и оборудование для их реализации.....	5
...	5
Практическое занятие № 2 Потенциально опасный технологический процесс как объект управления. Основные технологические параметры контроля и регулирования.....	8
Практическое занятие № 3 Цели и задачи автоматизации потенциально опасных технологических процессов и производств. Обобщенные структурные схемы и особенности систем автоматического контроля и регулирования технологических параметров и систем управления технологическими процессами потенциально опасных производств.....	11
Практическое занятие № 4 Основные принципы и направления автоматизации потенциально опасных технологических процессов и производств.....	4
Практическое занятие № 5 Разработка типовых схем автоматизации потенциально опасных технологических процессов.....	8
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	2
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	3

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время создано и функционирует масса производственных процессов, участие человека в которых крайне нежелательно. Это, в частности, производства твердых ракетных топлив, боеприпасов, взрывчатых веществ, высокотоксичных, ядовитых медицинских препаратов, а также ядерная энергетика и множество других пожаро-взрывоопасных химических технологий гражданского и специального назначения. Поэтому магистральный путь современной науки и техники – передать максимальное количество функций управления от человека, как ненадежного субъективного фактора, системам комплексной автоматизации. Наиболее актуальным и перспективным в этом плане является создание автоматизированных систем принятия решений, способных объективно оценить технологическую ситуацию, спрогнозировать ее возможное развитие и выработать оптимальное целенаправленное управляющее воздействие на ТП. Одним из возможных способов решения данной задачи является всесторонняя интеллектуализация управления. Интеллектуальная система управления технологическим процессом – это система, сохраняющая при изменениях в ТП и внешней среде способность эффективно решать свои задачи. Дисциплина «Технологические процессы потенциально опасных производств» дает конкретный ответ на вопрос – как сделать управление интеллектуальным, раскрывает сущность, а также объем работ, которые надо выполнить для его построения.

В пособии рассмотрены типовые технологические процессы и оборудование, основные технологические параметры, особенности их контроля и регулирования, принципы автоматизации потенциально опасных технологических процессов и производств. Большое внимание уделено методологическим основам управления потенциально опасными технологическими процессами, а также практическая реализация этой методологии на примере построения интеллектуального управления взрыво- и пожароопасным производством изделий из высокоэнергетических материалов как наиболее представительным видом из класса сложных и потенциально опасных технологий.

Практическое занятие № 1

Технологический процесс и оборудование потенциально опасных производств. Структурная схема. Типовые технологические процессы, сущность и назначение.

Структурные схемы и оборудование для их реализации

Высокоэнергетические материалы (ВЭМ) представляет собой полимерные композиционные материалы, которые содержат неорганические окислители – основные источники кислорода, полимерные горючие – связующие, пластификаторы, высоко теплотворное металлическое горючее и другие добавки, придающие необходимые эксплуатационные свойства топливам в зависимости от их назначения. В качестве неорганических окислителей обычно используют перхлорат аммония (ПХА). Полимерные горючие – связующие (ПГС) – источники тепла или тепла и газов, которые выделяются при их взаимодействии с окислителями. ПГС, как правило, это высокомолекулярные полимеры с большим содержанием пластификатора. Горючим веществом является высокодисперсный порошок алюминия, частицам которого придается сферическая форма, благоприятная для реологических характеристик топливной массы. В качестве пластификаторов используются дибутилфтолат, дибутилсебацат, трансформаторное масло и другие. Регулирование скорости горения топлива возможно за счет введения катализаторов и ингибиторов горения, например, фторида лития.

Основными узлами современной технологической схемы процесса приготовления ВЭМ являются процессы подготовки и дозирования порошкообразного перхлорат аммония, жидко-вязких компонентов ПГС и смеси пластификаторов, металлического горючего,

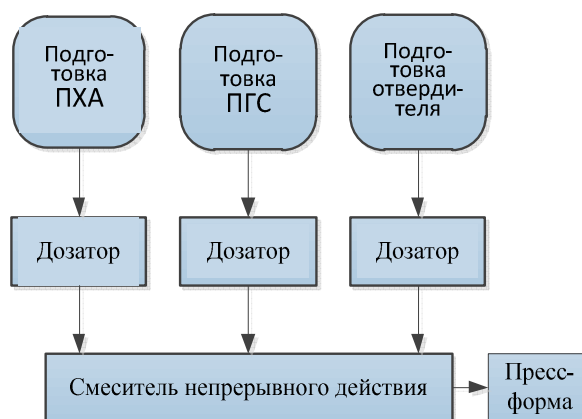


Рисунок 1.1 Упрощенная схема технологического процесса

дозирование всех компонентов в смесителе непрерывного действия (СНД) и формование изделия за счет нагнетания топливной массы в пресс-форму. Упрощенная блок-схема технологического процесса приведена на рис.1. 1.

На фазе подготовки ПХА проводятся операции дробления и протирки, сушки, разделение на фракции с разными размерами частиц. Частицы, размеры которых отличаются от заданных, измельчаются с помощью струйно-вихревых мельниц. Набранные в заданных соотношениях навески фракций загружаются в бункер дозатора, в который вводятся негорючие порошкообразные компоненты. Полученная рабочая смесь порошков циклически дозируется в СНД на приготовление топливной массы.

Подготовка полимерного горючего связующего заключается в смешении каучука с пластификаторами, отверждающими добавками, катализаторами, стабилизаторами горения и другими компонентами. Для каждой конкретной рецептуры устанавливается оптимальный температурно-временной режим этой операции, число оборотов ротора смесителя, коэффициент заполнения аппарата.

На стадии получения топливных масс обеспечивается точная дозировка предварительно подготовленных компонентов в смеситель непрерывного действия (СНД), где производится тщательное механическое смешение компонентов, и развиваются сложные физико-механические процессы взаимодействия между ними с образованием различных смесей. В результате получается однородная масса, обладающая комплексом реологических характеристик. Из смесителя топливная масса шнеком нагнетается в пресс-форму. Заполненная пресс-форма отсоединяется от аппарата СНД, транспортируется на фазу отверждения, а на ее место подсоединяется новая, обеспечивая непрерывный режим процесса изготовления изделий.

Основное назначение рассмотренного процесса – получить монолитный однородный по химическому составу, скорости горения и физико-химическим свойствам заряд. Для этого

необходимо обеспечить стабильное заданное процентное соотношение всех компонентов топлива, строго определенную загрузку топливной массы в смесителях, температуру топливной массы и другие параметры. Важнейшие требования при этом – безопасность ведения процесса, надежность работы оборудования, а также эффективные экономические показатели процесса.

Известны различные способы получения ВЭМ, из которых наиболее часто встречаются: метод свободного литья (вакуумная заливка), метод литья под давлением (шнекование) и метод проходного прессования. В любом случае процесс начинается с подготовки исходных компонентов. Для получения топливных масс методом литья под давлением компоненты дозируются в смеситель непрерывного действия, который состоит из предварительного и вакуумного смесителей. Предварительный смеситель имеет цилиндрическую форму, внутри которой располагается шнек. Топливная масса, продвигаясь вдоль оси шнека, перемешивается, нагревается и подается в вакуумный смеситель. Здесь создается разрежение, благодаря чему из массы удаляются воздух и другие газообразные продукты. Вакуумный смеситель по конструкции аналогичен предварительному, но отличается меньшими размерами. Он также имеет рубашку, а в шнеке – полость для подачи технологической воды. В рубашки корпусов смесителей и в полость шнека подается вода заданной температуры. Для каждого конкретного состава во всех контролируемых точках устанавливаются допустимые пределы колебаний температуры. Патрубок шнека вакуумного смесителя заканчивается переходником, к которому подсоединяется пресс-форма. Из этого смесителя топливная масса с помощью шнека нагнетается в пресс-форму. По окончании заполнения пресс-формы она дистанционно отключается от аппарата СНД и транспортируется на фазу отверждения изделий.

Задание

Для более детального ознакомления с процессом процесс переработки высокоэнергетических материалов в изделия с

использованием открытых источников [1, 2, 3] подготовить в письменной форме описание технологического процесса, основного оборудования и сущности, происходящих в нем процессов.

1. Пояснить физико-химическую сущность технологии производства и переработки высокоэнергетических материалов в изделия.

2. Вычертить технологическую схему производства высокоэнергетических материалов методом литья под давлением.

3. Пояснить сущность процесса шнекового отжима топливной массы.

4. Описать суть процессов в сушильно-пластифицирующем шнеке.

5. Пояснить суть процессов в формующем шнеке.

Работа выполняется в письменной форме (допускается оформление и в печатном виде) на стандартных листах формата А4. Объем выполненной работы порядка 4-5 страниц. Время на выполнение – 4 часа.

Практическое занятие № 2

Потенциально опасный технологический процесс как объект управления. Основные технологические параметры контроля и регулирования

Под управлением понимается процесс организации целенаправленного воздействия на объект, в результате которого он переходит в требуемое (целевое) состояние. Что касается потенциально опасных ТП, то в большинстве своем это непрерывные и непрерывно-периодические процессы получения веществ и смесей и переработки их в изделия, сопровождающиеся, как правило, интенсивным тепло-и газовыделением. К потенциально опасным относятся также дискретные процессы и операции, связанные с механической и термической обработкой пожаро-взрывоопасных материалов и изделий.

Главное, определяющее отличие потенциально опасных ТП от неопасных: протекание в двух принципиально отличных режимах - нормального функционирования и предаварийном, а при определенных условиях они могут входить в аварийный режим. Режим нормального функционирования определяется тем, что характеризующие его «опасные» величины параметров (температуры, давления и др.) находятся в регламентных пределах, оборудование и системы управления исправны, а значения опасных параметров поддерживаются с помощью последних автоматически или вручную оператором ТП. В предаварийном режиме значения опасных величин параметров возрастают и выходят за регламентные границы. В прежнее состояние они возвращаются лишь применением специальных защитных воздействий; если возврат не удастся, то наступает неуправляемый предаварийный, т.е. аварийный режим (аварийная ситуация).

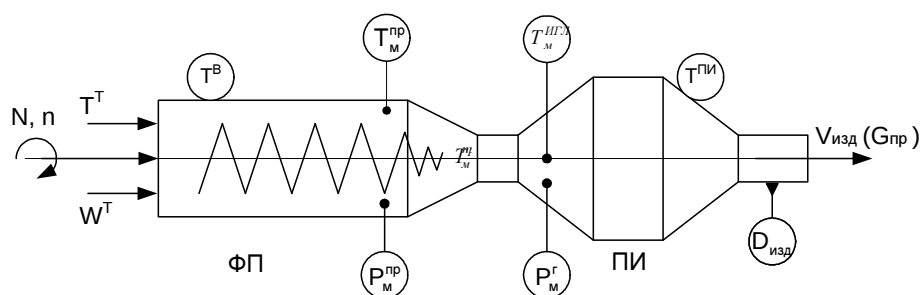
Однако в случае реализации современного требования повышения эффективности производства путем интенсификации функционирования ТП, особенно потенциально опасных, возникает качественно другая ситуация, связанная с наступлением указанных режимов. Дело в том, что границы зон интенсивного протекания и неустойчивости у этих ТП общие. Причем, интенсивность протекания процессов снижается по мере того, как зона их функционирования отдаляется от границы неустойчивости. Другого пути нет, так как зона неустойчивости чревата выходом ТП в аварийный режим с непредсказуемыми последствиями. Поэтому при составлении технологических регламентов стремятся выбирать режимы, отдаляющие процесс от границ неустойчивости, а это снижает интенсивность его протекания и, как следствие, технико-экономическую эффективность.

Тогда применительно к технологическим процессам смысл интенсификации заключается в повышении интенсивности ТП с целью улучшения технико-экономических результатов их функционирования, прежде всего, обеспечения максимально

возможной производительности. Естественно, достичь этого можно путем форсирования технологических режимов, приводящего к росту температур, давлений, скоростей протекания реакций и других внутренних локальных процессов, что в случае потенциально опасных ТП порождает указанную проблемную ситуацию.

С точки зрения загорания ВЭМ характеризуются критическими параметрами теплового взрыва - критической температурой $T_{кр}$. В качестве первого критерия безопасности принимается $T_{кр}$ – максимально допустимая температура массы в пресс-инструменте, при которой за время нахождения массы в нём не происходит её загорание. $T_{кр}$ находится экспериментально. Для управления по этому критерию необходим контроль текущей температуры $T_{игл}$ массы с помощью измерителя температуры, устанавливаемого в головке иглодержателя пресс-инструмента.

Вторым критерием безопасности $T_{м}^{без}$ является температура начала интенсивного разложения $T_{кр}^{раз}$. Она определяется для каждого состава ВЭМ на этапе его разработки. Разогрев массы до начала интенсивного разложения происходит в шнековых прессах (причём, в любых из трёх) в следующих случаях: «срыв массы с рифов», отсутствие питания в бункере, падение удельной производительности. Воспламенение в формующих прессах из-за превышения температуры интенсивного разложения – наиболее распространенная причина аварий на заводах отрасли.



Информация Рисунок 2.1. Схема процесса формования изделий из ВЭМ из ВЭМ приведена на рис. 2.1.

Таким образом, для контроля процесса по критериям безопасности определяются технологические параметры:

T_M^{np} и $T_M^{игл}$ - температура массы на выходе из пресса и в горловине пресс-инструмента (ПИ);

T^T и W^T - температура и влажность таблетки на входе в формующий пресс (ФП);

T^B и $T^{ни}$ - температура воды в рубашке винта (корпуса) пресса и ПИ; P_M^{np} и $P_M^Г$ - давление массы на выходе из пресса и в горловине ПИ;

N и n – мощность привода и скорость вращения винта n об/мин пресса; $V_{изд}(G_{np})$ – скорость выхода изделия из ФП (производительность);

$D_{изд}$ - диаметр изделия.

Задание

Для потенциально опасного производства, каким является процесс переработки высокоэнергетических материалов в изделия, определить основные технологические параметры контроля и регулирования, которые обеспечивают выполнение критерия безопасности в основном оборудовании. Пути уменьшения возникновения аварийных ситуаций рассмотрены в работе [1].

1. Вычертить упрощенную схему формующего пресса, определить параметры, обеспечивающие его безопасную работу и способы их регулирования.

2. Вычертить упрощенную схему пресс-пластифицирующего аппарата, определить параметры, обеспечивающие его безопасную работу и способы их регулирования.

3. Вычертить упрощенную схему отжимного пресса, определить параметры, обеспечивающие его безопасную работу и способы их регулирования.

Работа выполняется в письменной форме (допускается оформление и в печатном виде) на стандартных листах формата А4. Объем выполненной работы порядка 5-6 страниц. Время на выполнение – 4 часа.

Практическое занятие № 3

Цели и задачи автоматизации потенциально опасных технологических процессов и производств. Обобщенные структурные схемы и особенности систем автоматического контроля и регулирования технологических параметров и систем управления технологическими процессами потенциально опасных производств

При реализации главной цели - повышения эффективности ТП, наряду с необходимостью постоянного совершенствования технологии и оборудования, наиболее важным целевым направлением представляется интенсификация функционирования процесса, предполагающая стремление обеспечить максимально возможную на данный момент, с точки зрения состояния технологии и техники, производительность оборудования и заданное качество продукции. С учетом этого обстоятельства, требование обеспечения безопасности при управлении потенциально опасными ТП, по существу, вступает в противоречие с целевыми составляющими интенсификации – производительностью и качеством, являясь своего рода тормозом или ограничителем самой интенсификации.

Проведенный системный анализ позволил сформулировать обобщенную технологическую цель управления потенциально опасными ТП по трем антагонистическим целевым показателям: *достижение максимальной производительности при одновременном обеспечении безопасности производства и заданного качества продукции.*

Для ее реализации необходимо осуществлять комплексную автоматизацию, основу которой составляют АСУТП – автоматизированные системы управления технологическими процессами. Они создаются на базе современных программно-технических комплексов (ПТК), в состав которых входит контроллерное (ПЛК) и компьютерное (ПК) оборудование, позволяющее построить эффективные многоуровневые распределенные системы и практически вывести человека-

оператора из контура управления. Фактически создаются новые информационные технологии, широко востребованные во всех сферах человеческой деятельности.

Управление потенциально опасным ТП по данным критериям возможно с применением АСУТП, построенной на современных контроллерах и персональных компьютерах. Такая система способна в автоматическом режиме решает задачи управления, как отдельными технологическими аппаратами, так и процессом переработки в целом.

Система, как правило, строится на базе современного программно-технического комплекса (ПТК) и имеет двухуровневую структуру: на нижнем реализуется контроль и регулирование отдельных технологических параметров; на верхнем – управление процессом в целом. Структурно-функциональная схема АСУТП приведена на рис. 3.1.

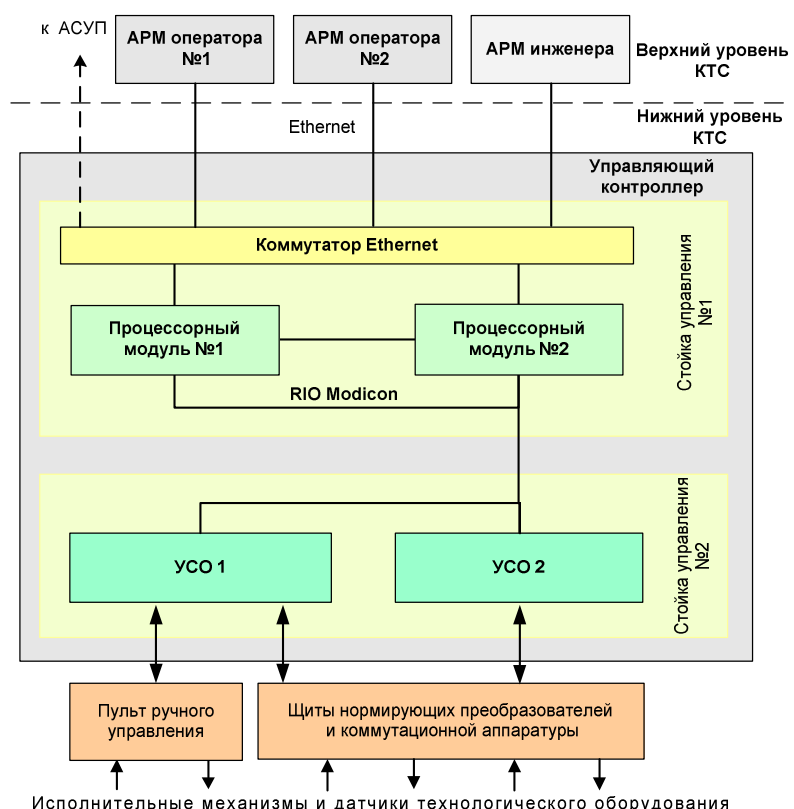


Рисунок 3.1 Структура комплекса технических средств (КТС) АСУТП переработки ВЭМ

Технические средства АСУТП выбраны, исходя из требований обеспечения высокой надежности, в том числе возможности работы в режиме "горячего" резервирования, открытости аппаратной структуры и ПО.

В состав ПТК входят:управляющий контроллер с процессорными модулями №1, №2, работающими в режиме "горячего" резервирования, и УСО 1, УСО 2, обеспечивающие ввод сигналов от датчиков и вывод сигналов управления;АРМ оператора №1 и №2, АРМ инженера;датчики, измерительные приборы, пусковая и коммутационная аппаратура.

Все АРМ и управляющий контроллер объединены в единую локальную вычислительную сеть (ЛВС), выполненную на базе Ethernet 10/100 и обеспечивающую оперативный обмен информацией между верхним и нижним уровнем ПТК.

Локальная сеть нижнего уровня, соединяющая процессорные модули управляющего контроллера и стойки УСО, построена на базе интерфейса удаленного ввода/вывода (RIO Modicon).

Управляющая система (верхний уровень) оснащается современными компьютерами в составе АРМ оператора и инженера и служит для визуального отображения хода технологического процесса, расчёта по моделям оптимальных режимов и уставок регулирования, автоматического и дистанционного управления исполнительными механизмами и аппаратами в соответствии с алгоритмами и программами, обеспечивая оптимизацию ТП одновременно по трём критериям – производительности, безопасности и качеству.

В качестве системного программного обеспечения (ПО) используется SCADA-система Citect, работающая под управлением операционной системы Windows.

Задание

Рассмотреть структурную схему и особенности системы автоматического контроля и регулирования технологических параметров и систем управления технологического процесса переработки ВЭМ в изделия методом литья под давлением [1].

1. Вычертить структуру комплекса технических средств АСУТП переработки ВЭМ.

2. Пояснить состав, назначение и выполняемые функции элементов.

Работа выполняется в письменной форме (допускается оформление и в печатном виде) на стандартных листах формата А4. Объем выполненной работы порядка 5-6 страниц. Время на выполнение – 4 часа.

Практическое занятие № 4

Основные принципы и направления автоматизации потенциально опасных технологических процессов и производств

Система управления потенциально опасных технологических процессов и производств получает и перерабатывает большой объем оперативной, аналитической и расчетной информации, необходимой для принятия объективных и оптимальных решений по управлению:

по свойствам перерабатываемого состава и характеристикам изготавливаемых изделий (реологии, термохимии и т. д.), вводимых перед началом переработки в программу управления;

первичная информация, поступающая непосредственно с работающего оборудования: температура обогревающей воды (входящей и отходящей), температура массы в бункере прессы, прессе и пресс-инструменте, давление массы в прессе и пресс-инструменте, токовые нагрузки и энергозатраты на электроприводах, производительность, скорость движения изделия, геометрия, монолитность и внешний вид изделия и др.;

вторичная информация (расчетная) по критериям безопасности и качества (температура массы на выходе из прессы T_M^{PAC} , удельная производительность прессы, коэффициент производительности, удельные энергозатраты, критическая

температура теплового воспламенения и другие параметры, входящие в модели безопасности и качества).

Расчетные и регистрируемые фактические значения параметров сравниваются с расчетными или заранее установленными критическими значениями, и по их разнице программа предусматривает соответствующие управляющие шаги.

Программа управления предусматривает несколько взаимосвязанных подпрограмм последовательного выполнения того или иного заказа:

- ввод информации по характеристикам состава и необходимых данных по изделию;

- подготовка оборудования к работе;

- пуск оборудования в работу с выводом на стабильный режим;

- рабочий режим с корректировкой на максимальную производительность, обеспечивающую необходимые безопасность и качество;

- подпрограмма «аварийный режим», включающаяся в случае превышения одного из критериев безопасности;

- завершение работы (плановое).

Вводимая информация по выполняемому заказу включает следующие данные:

- индекс состава и его химический состав;

- экспериментальные данные по термораспаду;

- критические параметры теплового самовоспламенения ($d_{кр}$, $\tau_{инд}$, $T_{кр}$);

- экспериментальные данные по реологическим характеристикам ($\eta=f(\gamma)$; k , n , $\tau = f(T)$; $\sigma_{ср} = f(T)$;) и др.;

- критическое значение dP/dt по результатам определения на моделях канала винта;

- значения фактических технологических и критических параметров качества и безопасности во время предыдущего изготовления этих изделий (если данные изделия готовились ранее).

Программа исходной информации после ввода вышеперечисленных данных предусматривает анализ всего объема экспериментальных данных применительно к математическим моделям качества и безопасности.

По результатам исследования аутогезии $\sigma_A = f(\gamma, P, T)$ определяется оптимальный пресс-инструмент, обеспечивающий максимальное приближение к необходимым параметрам по γ и P . По реологическим характеристикам определяются напорность прессы dP/dl и максимально развиваемое прессом давление P_{MAX} как функция температуры. Определяется температурный режим, при котором получаются максимальные dP/dl и P_{MAX} . Затем сравниваются оптимальные температуры в прессе и пресс-инструменте и выбирается окончательно температура массы (расчетная) на выходе из прессы, обеспечивающая в наибольшей степени удовлетворение требованиям по максимальной аутогезии и напорности прессы и минимальному термораспаду (скорости и газовой выделению).

По результатам этих расчетов определяются рекомендуемые температуры обогрева оборудования и все прогнозируемые технологические параметры (P , T_m , $E_{уд}$, $Q_{уд}$ и др.).

Подпрограмма «Подготовка оборудования к работе и пуск блока в работу» вступает в действие с момента подачи команды оператором. Она предусматривает пуск всего оборудования на холостом ходу с проверкой регулировки чисел оборотов, токовых нагрузок на приводах, давлений в насосах обогревающих систем. В случае соответствия проверяемых параметров допустимым значениям технологическое оборудование останавливается до момента повышения температуры обогрева технологических аппаратов до заданного уровня, после чего по команде «Загрузка блока» производится последовательное включение технологических аппаратов и синхронизация их производительности по показаниям уровнемеров загрузочных бункеров. Причем первоначальная производительность устанавливается из расчета половины максимально

прогнозируемой. После загрузки формующего пресса и выхода на стабильный режим по нагрузкам и давлениям производительность предыдущих фаз, начиная с начальной, повышается шагами - на $1/4$ от максимальной, причем каждый последующий шаг совершается после стабилизации работы формующего пресса.

Подпрограмма «Рабочий режим» вступает в действие с момента выхода изделия из втулки пресс-инструмента, определения скорости движения изделия и его качества по сплошности, внешнему виду и геометрическим размерам. В соответствии с заложенными в программу моделями и алгоритмами, предусматривающими определенные корректировки технологических параметров, влияющих на критерии безопасности и качества, производится корректировка технологических режимов.

Во всех случаях приоритет имеют критерии безопасности, при приближении к критическим значениям которых программа предусматривает корректировку технологических режимов с целью существенного отхода от критических значений.

Важнейшим параметром, почти однозначно определяющим возможность воспламенения массы в прессе или пресс-инструменте, является температура массы на выходе из пресса. Причиной ее повышения является диссипативный разогрев вследствие падения удельной производительности (скорость сдвига возрастает) или возрастания вязкости массы (снижение температуры полуфабриката в бункере).

Учитывая исключительную важность этого параметра, его уровень определяется параллельно несколькими способами: непосредственным замером температуры датчиками, установленными в головной части втулки и в иглодержателе, а также расчетным путем по величине удельных энергозатрат и интенсивности теплоотвода.

Подпрограмма «Аварийный режим» вступает в действие, когда продолжение работ по «Рабочему режиму» не исключает возможность аварии. Этот режим почти всегда вызывается форс-

мажорными обстоятельствами:отключение электроэнергии, воды, теплоносителя;выход из строя привода аппарата, насосов, узлов технологической схемы;возникновение аварийных ситуаций вследствие ошибок обслуживающего персонала.

Подпрограмма «Окончание работы» предусматривает разгрузку блока в автоматическом режиме после получения команды от оператора и сигнала уровнемера первого питающего бункера. Программа предусматривает подачу в каждый технологический аппарат (за исключением транспортных и сушилки, если она имеется) инертной негорючей массы для вытеснения «боевой». Подача инертной массы из специальных, заполненных ею бункеров, производится после опорожнения питающего бункера (показания уровнемера) и падения токовой нагрузки на приводе рабочего органа аппарата.

Задание

В основу интеллектуального управления потенциально опасным производством, позволяющего реализовать многоцелевое управление,положентри противоречивых критерия – достижение максимальной производительности при обеспечении безопасности производства и качества продукции. Пояснить основные принципы и направления управления потенциально опасным технологическим процессомв режимах нормального функционирования (рабочий режим), предаварийном, штатном пуске и останове технологического оборудования [1]:

1. Режим подготовки оборудования, пуска блока в работу и вывода в рабочий режим.
2. Аварийный режимв случае возникновения форс-мажорных обстоятельств.
3. Режим окончания работы и подачи в каждый технологический аппарат инертной негорючей массы.

Работа выполняется в письменной форме (допускается оформление и в печатном виде) на стандартных листах формата А4. Объем выполненной работы порядка 5-6 страниц. Время на выполнение – 4 часа.

Практическое занятие № 5

Разработка типовых схем автоматизации потенциально опасных технологических процессов

АСУТП строится как двухуровневая иерархическая интегрированная система, соответствующая структуре автоматизируемого объекта. Архитектура построения выбрана с учетом пространственного распределения объектов управления и компонентов системы и предусматривает возможность наращивания технических и программных средств (рис.5.1).

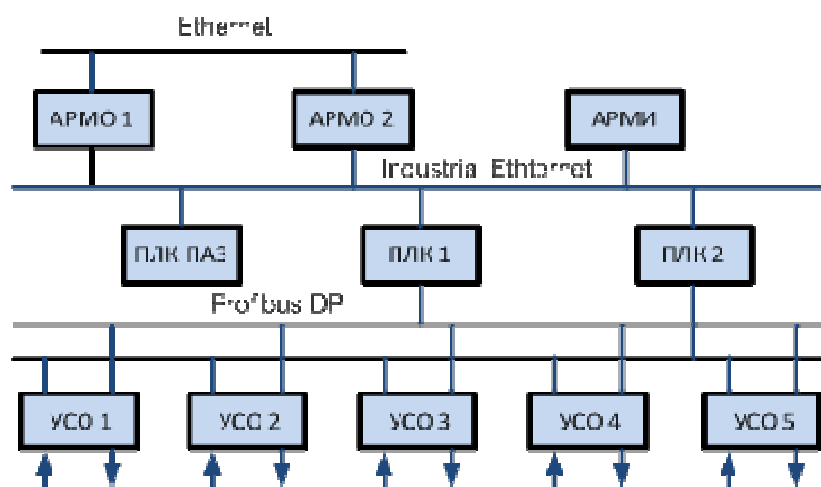


Рисунок 5.1 Структурная схема комплекса технических средств АСУТП переработки ВЭМ

Технические средства АСУТП выбраны, исходя из требований обеспечения высокой надежности, в том числе возможности работы в режиме "горячего" резервирования, открытости аппаратной структуры и ПО.

В состав ПТК входят: управляющий контроллер с процессорными модулями (ПЛК 1, 2), работающими в режиме "горячего" резервирования, и УСО, обеспечивающие ввод сигналов от датчиков и вывод сигналов управления; АРМ оператора №1 и №2, АРМ инженера; датчики, измерительные приборы, пусковая и коммутационная аппаратура.

Все АРМ и управляющий контроллер объединены в единую локальную вычислительную сеть (ЛВС), выполненную на базе Ethernet 10/100 и обеспечивающую оперативный обмен информацией между верхним и нижним уровнем ПТК. Локальная

сеть нижнего уровня, соединяющая процессорные модули управляющего контроллера и стойки УСО, построена на базе интерфейса удаленного ввода/вывода (ProfibusDP).

Модульно адаптируемый управляющий контроллер выполнен на базе фирмы SchneiderElectric или Siemense. Контроллерное оборудование этого типа специально предназначено для систем управления с самыми высокими требованиями к качеству и надёжности. Выбранные модули обладают высоким быстродействием, возможностью создавать на их основе управляющие структуры, работающие в режиме "горячего" резервирования, а также исключительно высокой надёжностью работы.

Управляющий контроллер состоит из двух идентичных процессорных модулей, которые работают в режиме "горячего" резервирования, повышая надёжность функционирования ПТК. Функции обоих модулей полностью идентичны друг другу, что обеспечивает непрерывность управления ТП при автоматическом переходе работы с одного процессорного модуля на другой при отказе одного из модулей.

В шасси стоек УСО установлены модули для подключения управляющего контроллера к датчикам и исполнительным механизмам технологического оборудования: модули ввода аналоговых и дискретных сигналов, а также модули вывода. К модулям ввода аналоговых сигналов подключены выходы электронных блоков и нормирующих преобразователей датчиков и измерителей.

Для обеспечения работы ЛВС на базе Ethernet установлен коммутатор, через который процессорные модули соединены с АРМО и АРМИ.

АРМы оператора выполнены на базе высокопроизводительных промышленных ПК, для отображения информации используются высококонтрастные LCD-мониторы Samsung и информационное табло-мнемосхема на базе ЖК-панелей. Для повышения надёжности функционирования в

условиях нестабильности питающего напряжения АРМы оператора оснащены блоками бесперебойного питания.

АРМ инженера представляет собой компьютер офисного исполнения с установленным комплексом инструментальных и отладочных программных средств и связано с АРМ оператора через Ethernet, а для обеспечения оперативной настройки и переконфигурирования ПО нижнего уровня с процессорными модулями управляющего контроллера по интерфейсу последовательного обмена. АРМ инженера может использоваться также как тренажёр в процессе обучения операторов.

Функционально задачи, решаемые ПО, распределены между АРМ и управляющим контроллером, образуя иерархическую структуру подсистем ПО с чётким разделением функций. Все подсистемы ПО верхнего уровня реализованы с использованием SCADA-системы.

Подсистема ввода-вывода информации обеспечивает формирование массивов исходных данных ТП на основании введенных оператором значений, массивов входных и выходных данных для информационного обеспечения всех подсистем верхнего уровня и массивов значений выходных сигналов для модулей контроллера.

Подсистема визуализации представляет ТП в виде экранных форм, отображая на экране монитора АРМ оператора в виде схематических изображений с цветовым кодированием состояния оборудования и значений параметров ТП.

Подсистема дистанционного управления обеспечивает управление технологическим оборудованием с помощью органов управления, отображаемых на экране монитора АРМ при выборе режима ДУ.

Подсистема управления ТП выполняет функции обработки данных о ходе ТП, полученных от контроллера, а также расчет и мониторинг производительности и показателей качества и безопасности ТП.

Подсистема безопасности ТП обеспечивает непрерывный контроль параметров и показателей безопасности ТП с целью упреждающего определения по разработанной модели зон состояния ТП и недопущения выхода параметров за заданные пределы.

Подсистема управления качеством делает оценку качества продукции на всех промежуточных стадиях ТП по разработанной модели качества; ведет расчёт параметров ТП и управляющих воздействий для достижения максимальной производительности при обеспечении требуемого качества готового изделия.

Подсистема справочной информации предназначена для формирования по запросу оператора на экране монитора АРМ информации о работе технических средств ПТК.

Подсистема генерации документов формирует журналы событий и действий оператора с выводом на печатающее устройство с заданной периодичностью или по запросу.

Подсистема регистрации событий формирует журнал событий, в котором отражаются изменения параметров ТП, переключения режимов работы технологического оборудования, срабатывание технологических блокировок и защит, тревоги, формируемые подсистемой безопасности ТП и срабатывание системы пожаротушения.

Подсистема архивирования информации формирует архив технологических параметров и событий; обеспечивает запись сформированного архива на энергонезависимый носитель (оптический компакт-диск) после завершения ТП.

Средствами прикладного ПО автоматически обеспечиваются функции "горячего" резервирования АРМ. Одно из АРМ в локальной сети верхнего уровня является основным и осуществляет управление ТП, выступая в роли сервера ввода/вывода, который организует связь с оборудованием нижнего уровня через коммутатор по сети Ethernet. Второе АРМ в это время находится в резерве, получая всю информацию о ТП от сервера ввода/вывода, но не участвуя в процессе управления. В

случае выхода из строя основного АРМ происходит автоматическое переключение управления на резервное, становящееся, тем самым, сервером ввода/вывода. Это обеспечивает непрерывность процесса мониторинга и управления ходом ТП.

Задание

Рассмотреть реализацию варианта автоматизированной системы управления технологическим процессом переработки ВЭМ в изделия методом литья под давлением и сформулировать принципы положенные в основу ее разработки [1]:

1. Вычертить структурную схему комплекса технических средств АСУТП переработки ВЭМ.
2. Пояснить состав и назначение технических средств верхнего уровня.
3. Пояснить состав и назначение технических средств нижнего уровня.
4. Пояснить структуру и функциональное назначение программного обеспечения.

Работа выполняется в письменной форме (допускается оформление и в печатном виде) на стандартных листах формата А4. Объем выполненной работы порядка 5-6 страниц. Время на выполнение – 4 часа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время создано и функционирует масса производственных процессов, участие человека в которых крайне нежелательно. Это, в частности, производства твердых ракетных топлив, боеприпасов, взрывчатых веществ, высокотоксичных, ядовитых медицинских препаратов, а также ядерная энергетика и множество других пожаро-взрывоопасных химических технологий гражданского и специального назначения.

В пособии рассмотрены основные аспекты проектирования интеллектуальных автоматизированных систем. На примере технологических процессов переработки высокоэнергетических материалов в изделия показано, как на практике можно осуществить интеллектуализацию управления опасным технологическим процессом.

Большое внимание уделено методологическим основам управления потенциально опасными технологическими процессами, а также практическая реализация этой методологии на примере построения интеллектуального управления взрыво- и пожароопасным производством изделий из высокоэнергетических материалов как наиболее представительным видом из класса сложных и потенциально опасных технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тюрин О.Г., Кальницкий В.С., Жегров Е.Ф. Управление потенциально опасными технологиями. – М.: - Инфра-Инженерия, 2011. – 288 с.

2. Фиошина М.А., Русин Д.Л. Основы химии и технологии порохов и твердых ракетных топлив: учеб.пособие. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: РХТУ им. Д.И Менделеева, 2004. – 264 с.

3. Жегров Е.Ф., Милехин Ю.М., Берковская Е.В. Химия и технология баллистных порохов, твердых ракетных и специальных топлив. Т. 2. Технология: монография – М.: РИЦ МГУП им. И. Федорова, 2011. – 551 с.

4. Закгейма А.Ю. Общая химическая технология и производств. М.: Логос, 2012.-304с. [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.knigafund.ru>.

5. Волчкевич, Л.И. Автоматизация производственных процессов: [Электронный ресурс]: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2007. – 384 с.: доступ http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=726.

6. Петров, А.В. Моделирование процессов и систем [Электронный ресурс]: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2015. – 288 с.: доступ http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=68472.

Учебно-методическое издание

Корнелюк Олег Александрович

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПОТЕНЦИАЛЬНО
ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Методические указания
к практическим занятиям

Редактор *Н.А. Юшко*

Подписано в печать 22.08.2017

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 1,39. Уч.- изд. л. 1,5. Тираж 50 экз. Заказ

Южно-Российский государственный политехнический
университет
(НПИ) имени М. И. Платова.

Редакционно-издательский отдел ЮРГПУ (НПИ)
346428, Г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Отпечатано в ИД «Политехник»
346428, г. Новочеркасск, ул. Первомайская, 166
Idp-npi@mail.ru

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И.Платова

И.Н. Сысоева

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ**

ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

(направления подготовки
15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
и 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»)

Новочеркасск
ЮРГПУ (НПИ)
2017

УДК 006 (076.5)

Рецензент – профессор, д-р. техн. наук М.Э. Шошиашвили

Сысоева И.Н.

Метрология, стандартизация и сертификация: Методические указания по выполнению лабораторных работ(направления подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 15.03.06 «Мехатроника и робототехника») / И.Н. Сысоева; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова.- Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2017.- 22 с. - 50 экз.

Методические указания составлены в соответствии с учебным планом и рабочей программой по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» для направлений подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», направленность «Мехатроника».

УДК 006 (076.5)

© Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, 2017

Содержание

Введение	4
Лабораторная работа №1	5
«Измерение основных гидравлических величин. Приборы для измерения давлений»	
Лабораторная работа №2	7
«Измерение основных гидравлических величин. Приборы для измерения скоростей и расходов жидкостей»	
Лабораторная работа №3	10
«Измерение основных гидравлических величин. Приборы для измерения длины»	
Лабораторная работа №4	14
«Определение класса точности и цены деления измерительных приборов»	
Лабораторная работа №5	16
«Определение физической величины прямым и косвенным измерением. Обработка результатов измерений»	
Библиографический список	21

Введение

Дисциплина относится к вариативной части блока Б1 учебного плана.

Дисциплиной предполагается изучение вопросов метрологии, стандартизации и сертификации применительно к автоматизации технологических процессов и производств и мехатронных систем. Знания, полученные студентами при изучении материалов теоретической и семинарской части дисциплины, используются при изучении последующих дисциплин и выполнении курсовых проектов и выпускной квалификационной работы.

Цель преподавания дисциплины – приобретение студентами знаний в области метрологии, стандартизации и сертификации, необходимых для решения задач обеспечения единства измерений и получения достоверной информации о параметрах контролируемых процессов повышения качества продукции.

Задача при изучении дисциплины:

- приобретение умений использования методов метрологии, стандартизации и сертификации средств автоматизации и управления, программных средств, аппаратно-программных комплексов и мехатронных систем.

Наименование тем лабораторных занятий

№	Наименование тем занятий	Литература
1	«Измерение основных гидравлических величин. Приборы для измерения давлений»	[1 – 4]
2	«Измерение основных гидравлических величин. Приборы для измерения скоростей и расходов жидкостей»	[1 – 4]
3	«Измерение основных гидравлических величин. Приборы для измерения длины»	[1 – 4]
4	«Определение класса точности и цены деления измерительных приборов»	[1 – 5]
5	«Определение физической величины прямым и косвенным измерением. Обработка результатов измерений»	[1 – 5]

Лабораторная работа №1

**ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.
ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЙ**

Цель работы: изучить конструкции и принцип действия приборов для измерения давлений.

Теория

При измерении гидравлических величин возникают ошибки, которые характеризуются абсолютными и относительными погрешностями.

Абсолютная погрешность $\Delta = A - x$ представляет собой разницу между истинным A и измеренным x значениями величины.

Относительная погрешность $\delta = \pm \Delta/A$ определяется как отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины. Предельная относительная погрешность измерения $\delta_{\max}$ не может быть меньше класса точности прибора.

Класс точности прибора $K = (\Delta_{\max}/N)100\%$ выражает максимально допустимую абсолютную погрешность $\Delta_{\max}$ в процентах от предельного значения N шкалы прибора.

В зависимости от класса точности приборы делятся по назначению [1-4]:

- рабочие ($K=0,5 - 6$);
- контрольные ($K=0,1 - 0,5$);
- образцовые (эталонные) ($K=0,01 - 0,05$).

По виду отсчетного устройства могут быть:

- показывающие;
- самопишущие;
- интегрирующие (суммирующие).

Измерительные приборы устанавливаются непосредственно в месте замера или на расстоянии от него (дистанционные приборы).

Приборы для измерения давления в соответствии с ГОСТ 2405-88 делятся на:

- *манометры избыточного давления*, служащие для измерения разности между абсолютным давлением и давлением окружающей среды (обычно атмосферным);
- *вакуумметры*, предназначенные для измерения разности между давлением

окружающей среды (обычно атмосферным) и абсолютным давлением;

- *мановакуумметры*, являющиеся одновременно манометром избыточного давления и вакуумметром;
- *дифференциальные манометры (дифманометры)*, служащие для измерения разности давлений;
- *манометры абсолютного давления*, используемые для измерения давления, отсчитываемого от абсолютного нуля;
- *барометры*, служащие для измерения атмосферного давления.

По принципу действия и типу рабочего органа приборы для измерения давления делятся на *жидкостные, деформационные, электрические, тепловые, радиоизотопные* и др.

Значения давлений, измеряемых двухтрубными манометрами, могут быть посчитаны по формулам:

- манометрическое давление $p_m = p - p_a = \rho gh - \rho' gh'$;
- вакуум $p_v = p_a - p = \rho gh + \rho' gh'$;
- разность (перепад) давлений $\Delta p = p_1 - p_2 = \rho gh - \rho' gh = (\rho - \rho') gh$.

Значения манометрического давления, вакуума или разности давлений, P_a , измеренных микроманометром, могут быть вычислены по формуле:

$$p_m (p_v \text{ или } \Delta p) = \rho gh = \rho g \frac{l \cdot \sin \alpha}{1000},$$

где l – показания прибора, отсчитанное по наклонной шкале, мм; ρ – плотность рабочей жидкости, находящейся в приборе, кг/м³.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться под руководством преподавателя с устройством и принципом действия измерительных приборов.

2. Ответить на вопросы:

А) Какое вещество используется в качестве рабочей жидкости в жидкостных приборах для измерения давления с целью повышения точности и чувствительность прибора?

Б) За счет каких конструктивных особенностей микроманометра повышается точность прибора?

В) Какой, как правило, класс точности прибора у манометра с упруго-деформационным рабочим органом?

3. Сделать выводы по работе.

ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ И РАСХОДОВ ЖИДКОСТЕЙ

Цель работы: изучить конструкции и принцип действия приборов для измерения скоростей и расходов.

Теория

Для измерения расходов жидкостей применяют расходомеры – устройства, состоящие из преобразователя расхода, непосредственно воспринимающего скорость или расход потока и преобразующего их в другую величину удобную для измерения; измерительного прибора и соединительного устройства, передающего выходной сигнал преобразователя прибору.

Преобразователи скорости и расхода (а следовательно, и расходомеры) основаны на самых разных принципах: переменного перепада давления, переменного уровня, обтекания, тахометрическом, силовом, тепловом, электромагнитном, оптическом, ультразвуковом и др. [1 - 4].

Расходомеры переменного перепада давления

Принцип их действия основан на перепаде давления в зависимости от скорости или расхода вещества.

Расходомеры с напорным устройством основаны на зависимости перепада давления, создаваемого напорным устройством в результате перехода кинетической энергии в потенциальную, от скорости жидкости. Наиболее распространенным видом такого преобразователя является *дифференциальная трубка Пито*, представляющая собой объединенные конструктивно трубку Пито и трубку статического давления (пьезометр).

Если установить носик дифференциальной трубки Пито вдоль оси потока навстречу направлению движения, а оба штуцера подключить к дифманометру, то последний покажет разность полного и статического давлений (динамическое давление) в месте установки носика трубки $\Delta p = p - p_{cm} = p_0$. Скорость в этой точке потока можно вычислить по формуле $u = \sqrt{2\Delta p / \rho}$.

Расходомеры с сужающимися устройствами (*диафрагмами, соплами, трубами Вентури, коллекторами*) основанными на зависимости от расхода перепада давления, образующегося в сужающем устройстве в результате

преобразования части потенциальной энергии в кинетическую. Они применяются для измерения расходов капельных жидкостей и газов. Трубки Вентури используют также в качестве преобразователя расхода.

Расходомеры переменного уровня основаны на зависимости между расходом и высотой уровня капельной жидкости при свободном истечении ее через отверстие в дне или боковой стенке сосуда.

Расходомеры обтекания

Принцип действия основан на перемещении тела, воспринимающего динамическое давление обтекающего его потока, от расхода жидкости.

Ротаметр представляет собой вертикальную слегка коническую стеклянную трубку, внутри которой под действием динамического давления восходящего потока на определенной высоте удерживается поплавков (противодействующей является только сила тяжести поплавка). Чем больше расход жидкости, тем выше поднимается поплавок в трубке, на наружную поверхность которой нанесена шкала расхода.

Расходомеры флажкового типа представляют собой поворотную лопасть или диск, установленный в трубопроводе. Они применяются в качестве реле расхода.

Тахометрические расходомеры

Расходомеры основаны на зависимости от расхода жидкости скорости движения тела, установленного в потоке. У ***турбинных расходомеров*** рабочим органом служит аксиальная или тангенциальная турбинка (крыльчатка). Они обычно применяются для измерения количества, расходов и скоростей капельных жидкостей (водомеры, мазутомеры, гидрометрические вертушки). Для измерения скорости воздуха широко применяются анемометры: чашечные (от 4 до 20 м/с) и крыльчатые (от 0,3 до 8 м/с).

Расходомеры, основанные на принципе наполнения

Принцип основан на заполнении мерного бака или некоторой части его объема либо на определении взвешиванием масса жидкости, заполнившей бак или его часть за время T . Мерный бак используют в ряде случаев для измерения плотности жидкости.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться под руководством преподавателя с устройством и принципом действия измерительных приборов.

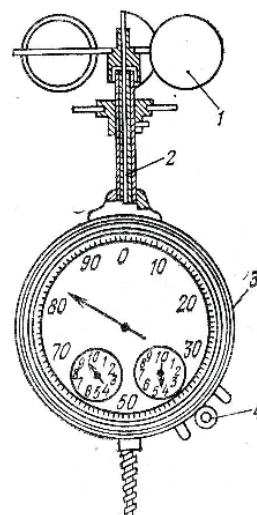
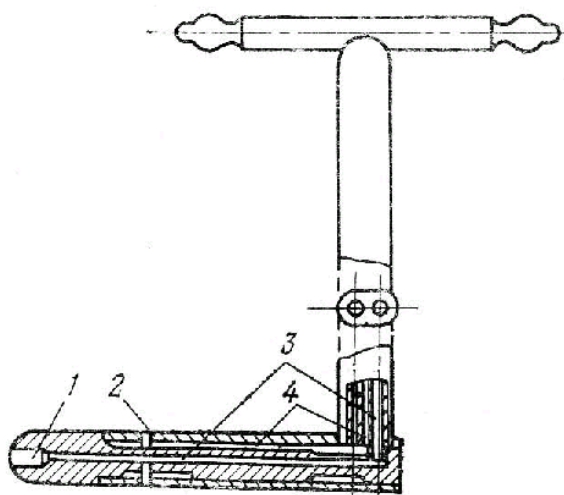
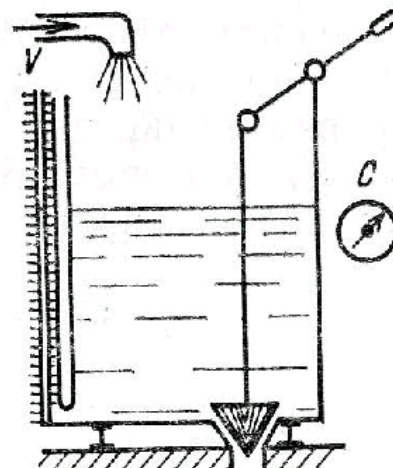
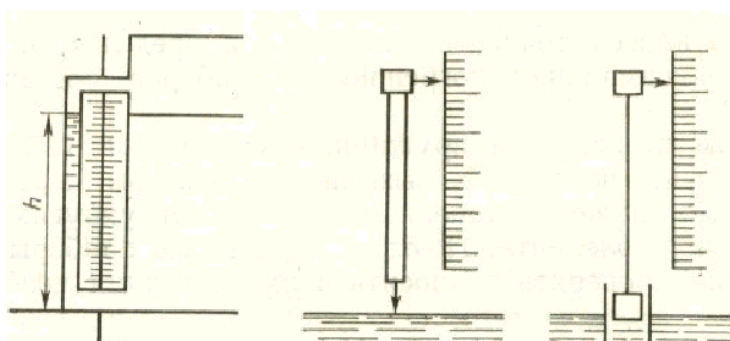
2. Ответить на вопросы:

А) Для чего нужны тарировочные графики или таблицы при измерениях ротаметрами?

Б) Что произойдет с крыльчатым анемометром, если им измерять скорость воздушного потока 15 м/с?

В) Какие физические величины можно определить с помощью мерного бака?

3. Указать названия приборов, приведенных на картинках.



4. Сделать выводы по работе.

Лабораторная работа №3

**«ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.
ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ»**

Цель работы: изучить конструкции и принцип действия приборов для измерения длины.

Теория

Масштабная линейка. В повседневной практике для измерения длины пользуются стальными масштабными линейками, разделенными на сантиметры и миллиметры. Первые несколько сантиметров часто имеют полумиллиметровые деления [1 - 4].

Глазомерная ошибка при отсчете по линейке составляет несколько десятых долей миллиметра. По этой причине при помощи линейки можно производить измерения с точностью $\pm 0,5$ мм, т.е. с возможной максимальной ошибкой в 0,5 мм в большую или меньшую сторону. Для измерений с более высокой точностью применяют другие измерительные инструменты: штангенциркуль, микрометр и т.д.

Штангенциркуль состоит из прочной негнущейся масштабной линейки М, разделенной на сантиметры и миллиметры. В начале линейки укреплены неподвижные губки А и А'. По линейке перемещается движок Д, составляющий одно целое с губками Е и Е'. Эти губки параллельны губкам А и А' и могут подходить к ним вплотную. Движок можно закреплять в нужном положении винтом В.

В вырезе движка имеется скос С, край которого приходится против делений масштабной линейки. На нем нанесены деления несколько меньшего масштаба, чем деления основной шкалы. Это дополнение к масштабной линейке позволяет повысить точность измерений и является линейным нониусом.

Линейным нониусом называется небольшая дополнительная линейка, скользящая вдоль основной масштабной линейки. Шкала нониуса строится так, чтобы m делений нониуса соответствовали $m - 1$ делению основной шкалы. Обозначим цену деления основной шкалы через x_0 , а шкалы нониуса — через x . Тогда очевидно, что $m x = (m - 1) x_0$, откуда $x = x_0 - x_0 / m$.

Разность между ценой деления основной шкалы и ценой деления нониуса $\Delta x = x_0 - x = x_0 / m$ называется точностью нониуса.

Как следует из выражения для Δx , точность нониуса равна цене деления шкалы масштабной линейки, деленной на число делений нониуса.

Шкалы штангенциркуля наносятся таким образом, что при сдвинутых губках нуль шкалы нониуса и нуль основной шкалы совпадают. При измерении шкалы штангенциркулем предмет помещают между губками, которые сдвигают до соприкосновения с предметом и закрепляют их в таком положении зажимным винтом В; затем производится отсчет длины с помощью нониуса. Губки А'Е' служат для измерения внутренних размеров предметов.

Оптические длиномеры служат для измерения линейных размеров различных деталей как абсолютным (от 0 до 100 мм), так и относительным (свыше 100 мм) методом.

Выпускаются вертикальные и горизонтальные длиномеры. Принцип работы этих приборов основан на использовании точной стеклянной миллиметровой шкалы длиной 100 мм и спирального микроскопа для отсчета долей делений основной шкалы.

Вертикальный оптический длиномер предназначен для разнообразных измерений с высокой точностью наружных и внутренних линейных размеров изделий методом непосредственной оценки и относительным методом. С помощью длиномера производят измерения цилиндрических и резьбовых калибров изделий прямоугольной формы, внутренних диаметров гладких и резьбовых колец, диаметров шариков и проволочек, листовых материалов и других деталей. В конструкции длиномера соблюден принцип продольного компарирования: измеряемая длина является прямолинейным продолжением миллиметровой шкалы прибора.

Горизонтальный длиномер предназначен для разнообразных измерений с высокой точностью наружных и внутренних линейных размеров изделий методом непосредственной оценки и относительным методом. С помощью длиномера производят измерения цилиндрических и резьбовых калибров изделий прямоугольной формы, внутренних диаметров гладких и резьбовых колец, диаметров шариков и проволочек, листовых материалов и других деталей. В конструкции длиномера соблюден принцип продольного

компарирования: измеряемая длина является прямолинейным продолжением миллиметровой шкалы прибора.

Микрометр представляет собой массивную стальную скобу, на концах находятся друг против друга неподвижный упор *A* и микрометрический винт *B*. Винт вращается во втулке, вдоль которой снаружи нанесена шкала с делениями через 0,5 мм. Шаг винта обычно бывает равен 0,5 мм. На винт насажен барабан *C*, край которого при вращении винта перемещается относительно шкалы, нанесенной на втулке. По краю барабана нанесена шкала, подразделяющая окружность барабана на 50 равных делений. На конце винта имеется приспособление *Tr* для вращения, называемое трещеткой. Вращение передается от трещетки к винту посредством трения, вследствие чего при достижении определенной силы нажима винта на упор или на измеряемый предмет дальнейшее вращение винта прекращается.

Если винт и упор привести в соприкосновение с помощью трещетки, край барабана придется против нулевого деления шкалы, нанесенной на втулке, а нулевое деление шкалы барабана совпадает с продольной чертой, нанесенной на втулке. Если затем повернуть винт на один оборот, то между винтом и упором образуется просвет в 0,5 мм. При этом нулевое деление шкалы барабана снова совпадает с чертой на втулке, край же барабана окажется против первого полумиллиметрового деления шкалы, нанесенной на втулке. Если бы винт был повернут не на полный оборот, а лишь на одно деление барабана (т.е. на 1/50 часть оборота), то просвет между винтом и упором составил бы всего 0,01 мм.

При работе с микрометром измеряемый предмет зажимается с помощью трещетки между упором и винтом, после чего по шкале втулки отсчитывается целое или полуцелое число миллиметров; к этому отсчету должно быть добавлено число сотых долей миллиметра, отсчитанное по шкале барабана. Из сказанного следует, что точность отсчета по микрометру составляет 0,01 мм.

Предназначены для измерения наружных размеров изделий. Измерительные поверхности микрометра оснащены твёрдым сплавом. Прибор укомплектован одной установочной мерой для диапазона измерений до 300 мм и двумя установочными мерами - свыше 300 мм.

Порядок выполнения работы

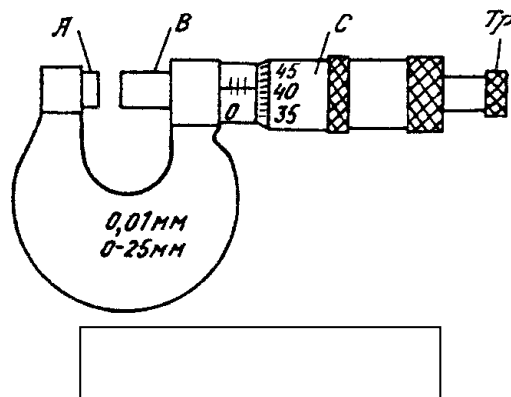
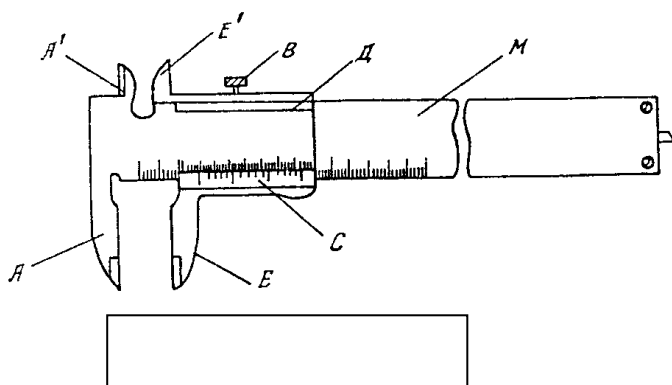
1. Ознакомиться под руководством преподавателя с устройством и принципом действия измерительных приборов.

2. Ответить на вопросы:

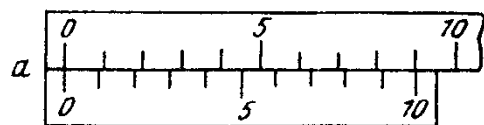
А) Как определить точность нониуса?

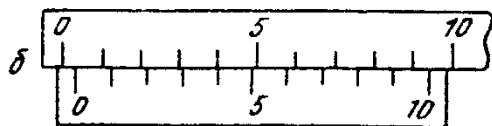
Б) Что определяет название прибору «Микрометр»?

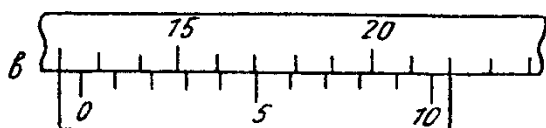
3. Указать названия приборов, приведенных на картинках.



4. Определить значения длины на шкалах нониуса, приведенных на картинках:







5. Сделать выводы по работе.

Лабораторная работа №4

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ТОЧНОСТИ И ЦЕНЫ ДЕЛЕНИЯ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

Цель работы: научиться определять класс точности и цену деления измерительных приборов.

Теория

Класс точности измерительного прибора — это обобщенная характеристика, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами, влияющими на точность, значения которых установлены в стандартах на отдельные виды средств измерений. Класс точности средств измерений характеризует их свойства в отношении точности, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых при помощи этих средств [1 - 4].

Цена деления измерительного прибора — это разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы

Обработка опытных данных

1. На стенде гидравлическом СГ1 при испытаниях определены параметры [5], представленные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Параметры измерений

Измеряемая величина	Прибор	Обозначение	Единица измерения	
			На приборе	Используемая
Частота вращения насоса	тахометр	n_n	об/мин	об/мин
Частота вращения гидромотора	тахометр	n_m	об/мин	об/мин
Давление насоса	манометр	P_{18}	кгс/см ²	МПа
Давление гидромотора	манометр	P_{17}	кгс/см ²	МПа
Подача насоса	ротаметр	Q_n	дел.шк.	л/мин
Сила тока	амперметр	I	А	А

2. Для измерительных приборов определяются класс точности и цена деления прибора и данные заносятся в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Сводная таблица результатов

Определяемый параметр	n_n , об/мин	n_m , об/мин	P_{18} , кгс/см ²	P_{17} , кгс/см ²	Q_n , л/мин	I , А
Класс точности						
Цена деления						

3. Класс точности прибора определяется по циферблату прибора.

Цена деления малой шкалы тахометра 250 об/мин, большой 5 об/мин. Частота вращения вала гидравлической машины определяется как сумма показания малой и большой шкал.

Цена деления шкалы манометра и амперметра определяется по циферблату прибора.

Цена деления для ротаметра определяется по тарифовочной таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Тарифовочная таблица

Деление шкалы	0	9	18	27	35	43	50	57	63	69	75	82	90	96	100
Расход, л/мин	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15,6

4. Сделать выводы по работе.

Лабораторная работа №5

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПРЯМЫМ И
КОСВЕННЫМ ИЗМЕРЕНИЕМ.
ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ**

Цель работы: научиться определять физическую величину прямым и косвенным измерением и осуществлять оценку результатов измерений.

Теория

Прямые измерения — это такие измерения, при которых искомое значение физической величины определяется непосредственно путём сравнения с мерой этой величины. Например, прямым является измерение длины рулеткой или линейкой [1 - 4].

Косвенные измерения — измерения, при которых значение величины находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

В качестве истинного значения при многократных измерениях параметра выступает *среднее арифметическое значение* $X_{\text{ср}}$.

$$X_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i, \quad (5.1)$$

где n – число измерений, X_i – измеренная величина.

Погрешность измерения — отклонение измеренного значения величины от её истинного (действительного) значения. Погрешность измерения является характеристикой точности измерения.

Абсолютная погрешность Δ приближенного значения - это модуль разности точного значения и приближенного значения. Абсолютную погрешность можно применять для сравнения точности приближений одинаковых величин, а если сравниваются точности приближения различных величин, тогда одной абсолютной погрешности недостаточно.

$$\Delta = X_i - X_{\text{ис}}, \quad (5.2)$$

где $X_{\text{ис}}$ – истинное значение измеренной величины, $X_{\text{ис}} = X_{\text{ср}}$.

Относительная погрешность измерения δ — отношение абсолютной погрешности измерения к опорному значению измеряемой величины, в качестве которого может выступать, в частности, её истинное или действительное значение:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X_i}. \quad (5.3)$$

Среднее квадратическое отклонение σ характеризует среднее отклонение всех вариантов вариационного ряда от средней арифметической величины. Поскольку отклонения вариантов от средней, имеют значения с «+» и «-», то при суммировании они взаимоуничтожаются. Чтобы избежать этого, отклонения возводятся во вторую степень, а затем, после определенных вычислений, производится обратное действие — извлечение корня квадратного. Поэтому среднее отклонение именуется квадратическим.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - X_{\text{ср}})^2} \quad (5.4)$$

Для оценки рассеяния отдельных результатов X_i измерения относительно среднего $X_{\text{ср}}$ определяют СКО σ_x :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - X_{\text{ср}})^2} \text{ при } n \geq 20; \quad (5.5)$$

или

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - X_{\text{ср}})^2} \text{ при } n < 20. \quad (5.6)$$

Проведение работы

1. На стенде гидравлическом СГ1 собрать схему [5].
2. По указателям тахометров определить частоты вращения насоса и гидромотора.
3. Снять показания манометров и ротаметра.
4. Плавным движением ручки реостата увеличить нагрузку на валу гидромотора так, чтобы давление перед гидромотором увеличилось на 0,5 – 1 МПа.
5. Ручку реостата выводим на нуль и повторяем испытания.
6. Результаты замеров заносятся в протокол испытаний гидропривода (табл. 5.1).
7. Определяют значение момента на валу гидромотора по формуле 5.7.

Таблица 5.1 – Протокол испытаний

N _{оп}	Результаты прямых измерений								Результаты косвенных измерений	
	Частота вращения насоса n _н , об/мин	Частота вращения гидро-мотора n _м , об/мин	Давление насоса P _н		Давление на гидромоторе P _{гм}		Подача насоса Q _н		Сила тока I, А	Момент на валу гидро-мотора M _{гм} , Н·м
			кгс/см ²	МПа	кгс/см ²	МПа	дел. шк	л/мин		
1										
2										
3										
4										
5										
1а										
2а										
3а										
4а										
5а										

Момент на валу гидромотора, Н·м:

$$M_{гм} = \frac{1}{2\pi} q_n (p_n - p_{гм}), \quad (5.7)$$

где q_n – рабочий объем гидромотора, см³/об, $q_n = 9$.

Обработка опытных данных

1. Определить среднее арифметическое значение по формуле (5.1) для всех полученных физических величин. Результаты занести в таблицу 5.2.
2. Определить абсолютную погрешность по формуле (5.2) для всех полученных физических величин. Результаты занести в таблицу 5.3.
3. Определить относительную погрешность по формуле (5.3) для всех полученных физических величин. Результаты занести в таблицу 5.3.
4. Определить среднее квадратическое отклонение по формуле (5.4) для всех полученных физических величин. Результаты занести в таблицу 5.4.
5. Определить СКО рассеяние отдельных результатов по формуле (5.5) или (5.6) для всех полученных физических величин. Результаты занести в таблицу 5.4.
6. Сделать выводы по работе.

Таблица 5.2

№ оп.	Результаты прямых измерений								Результаты косвенных измерений	
	Частота враще- ния насоса p_n , об/мин	Частота враще- ния гидро- мотора p_m , об/мин	Давление насоса P_n		Давление на гидромоторе $P_{гм}$		Подача насоса Q_n		Сила тока I , А	Момент на валу гидро- мотора $M_{гм}$, Н·м
			кгс/см ²	МПа	кгс/см ²	МПа	дел. шк	л/мин		
Среднее арифметическое $X_{ср}$										
1										
2										
3										
4										
5										

Таблица 5.3

№ оп.	Результаты прямых измерений									Результаты косвенных измерений
	Частота враще- ния насоса p_n , об/мин	Частота враще- ния гидро- мотора p_m , об/мин	Давление насоса P_n		Давление на гидромоторе $P_{гм}$		Подача насоса Q_n		Сила тока I , А	Момент на валу гидро- мотора $M_{гм}$, Н·м
			кгс/см ²	МПа	кгс/см ²	МПа	дел .шк	л/мин		
Абсолютная погрешность Δ										
1										
2										
3										
4										
5										
1а										
2а										
3а										
4а										
5а										
Относительная погрешность δ										
1										
2										
3										
4										
5										
1а										
2а										
3а										
4а										
5а										

Таблица 5.4

№ оп.	Результаты прямых измерений									Результаты косвенных измерений
	Частота враще- ния насоса p_n , об/мин	Частота враще- ния гидро- мотора p_m , об/мин	Давление насоса P_n		Давление на гидромоторе $P_{гм}$		Подача насоса Q_n		Сила тока I , А	Момент на валу гидро- мотора $M_{гм}$, Н·м
			кгс/см ²	МПа	кгс/см ²	МПа	дел .шк	л/мин		
Опытное среднее квадратическое отклонение σ										
1										
2										
3										
4										
5										
1а										
2а										
3а										
4а										
5а										
СКО рассеяние отдельных результатов σ_x										
1										
2										
3										
4										
5										
1а										
2а										
3а										
4а										
5а										

Библиографический список

1. Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: учебник для бакалавров / А.Г. Сергеев, В.В. Терегеря. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2014 – 833-69.
2. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии М.: Издательство стандартов, 1972г. 312с.
3. Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: учебник для вузов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – 2-е изд., стер. – М.: Высш.шк., 2010 – 791с.
4. РГМ29-99 ГСИ. Метрология. Термины и определения.
ГОСТ 8.207-76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов измерений.
5. Сысоева И.Н. Гидропривод горных машин [Текст]: Методические указания к проведению лабораторной работы "Изучение конструкций и принципа действий объёмных гидropередач и испытание гидropередачи вращательного движения с объёмным регулированием" / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2007. 16 с.

Учебно-методическое издание

Сысоева Ирина Николаевна

**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

(направления подготовки

15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
и 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»)

Редактор Н.А. Юшко

Подписано в печать 25.07.2017.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,25. Тираж 50. Заказ №

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

имени М.И. Платова

Редакционно издательский отдел ЮРГПУ (НПИ)

346428, г.Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Отпечатано в ИД «Политехник»

346428, г. Новочеркасск, ул. Первомайская, 166.

idp-npi@mail.ru

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И.Платова

И.Н. Сысоева

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ

*Учебно-методическое пособие
для практических занятий*

(направления подготовки
15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
и 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»)

Новочеркасск
ЮРГПУ (НПИ)
2017

УДК 006 (076.5)

Рецензент – профессор, д-р. техн. наук М.Э. Шошиашвили

Сысоева И.Н.

Метрология, стандартизация и сертификация: учебно-методическое пособие для практических занятий (направления подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 15.03.06 «Мехатроника и робототехника») / И.Н. Сысоева; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова.- Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ) , 2017.- 24 с. - 50 экз.

Учебно-методическое пособие содержит основные теоретические положения, примеры выполнения практических работ и задания для их проведения. Составлено в соответствии с учебными планами и рабочими программами по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» для направлений подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», направленность «Мехатроника».

УДК 006 (076.5)

© Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, 2017

Содержание

Введение	4
Практическая работа №1	5
« Определение физической величины по шкале измерений »	
Практическая работа №2	8
« Определение уравнения связи производной единицы ФВ через единицы системы СИ »	
Практическая работа №3	10
« Определение множителей кратных и дольных единиц ФВ »	
Практическая работа №4	12
« Выбор метода измерения »	
Практическая работа №5	14
« Определение погрешностей измерений.	
Выявление и исключение грубых погрешностей (промахов) »	
Практическая работа №6	17
« Определение характеристик посадок »	
Практическая работа №7	20
« Определение уровня стандартизации и унификации »	
Библиографический список	23

Введение

Дисциплина относится к вариативной части блока Б1 учебного плана.

Дисциплиной предполагается изучение вопросов метрологии, стандартизации и сертификации применительно к автоматизации технологических процессов и производств и мехатронных систем. Знания, полученные студентами при изучении материалов теоретической и семинарской части дисциплины, используются при изучении последующих дисциплин и выполнении курсовых проектов и выпускной квалификационной работы.

Цель преподавания дисциплины – приобретение студентами знаний в области метрологии, стандартизации и сертификации, необходимых для решения задач обеспечения единства измерений и получения достоверной информации о параметрах контролируемых процессов повышения качества продукции.

Задача при изучении дисциплины:

- приобретение умений использования методов метрологии, стандартизации и сертификации средств автоматизации и управления, программных средств, аппаратно-программных комплексов и мехатронных систем.

Наименование тем практических занятий:

№	Наименование тем занятий	Литература
1	«Определение физической величины по шкале измерений»	[1 – 3]
2	«Определение уравнения связи производной единицы ФВ через единицы системы СИ»	[1 – 3]
3	«Определение множителей кратных и дольных единиц ФВ»	[1 – 3]
4	«Выбор метода измерения»	[1 – 3]
5	«Определение погрешностей измерений. Выявление и исключение грубых погрешностей (промахов)»	[1 – 3]
6	«Определение характеристик посадок»	[1 – 2]
7	«Определение уровня стандартизации и унификации»	[1 – 2]

Практическая работа №1

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПО ШКАЛЕ
ИЗМЕРЕНИЙ**

Теоретические положения

Технологическая деятельность человека связана с измерением различных физических величин.

Физическая величина – это характеристика одного из свойств физического объекта (явления или процесса), общая в качественном отношении многим физическим объектам, но в количественном отношении индивидуальная для каждого объекта [1-3].

Размер физической величины – это количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина».

Значение физической величины Q – это оценка ее величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц или числа по принятой для нее шкале. Определяется в соответствии с основным уравнением измерения

$$Q = q \cdot [Q],$$

где q – числовое значение ФВ,

$[Q]$ – единица измерения ФВ.

Например, 120 мм – значение линейной величины; 75 кг – значение массы тела, НВ 190 – число твердости по Бринеллю.

Измерением физической величины называют совокупность операций, выполняемых с помощью технического средства, хранящего единицу, или воспроизводящую шкалу физической величины, заключающихся в сравнении (в явном или в неявном виде) измеряемой величины с ее единицей или шкалой с целью получения значения этой величины в форме, наиболее удобной для использования.

В теории измерений принято, в основном, пять типов шкал: наименования, порядка, интервалов, отношений и абсолютная. Практическая реализация шкал конкретных свойств достигается путем стандартизации единиц измерений, шкал и (или) способов и условий их однозначного воспроизведения. Понятие неизменной для любых точек шкалы единиц измерений имеет смысл только для шкал отношений и интервалов (разностей). В шкалах порядка можно говорить только о числах, приписанных конкретным

проявлениям свойства. Говорить о том, что такие числа отличаются в такое-то число раз или на столько-то процентов, нельзя. Для шкал отношений и разностей иногда не достаточно установить только единицу измерений. Так, даже для таких величин, как время, температура, сила света (и другие световые величины), которым в Международной системе единиц (SI) соответствуют основные единицы – секунда, Кельвин и кандела, практические системы измерений опираются так же на специальные шкалы. Кроме того, сами единицы SI в ряде случаев базируются на фундаментальных физических константах.

Шкала измерений количественного свойства является шкалой физической величины. *Шкала физической величины* – это упорядоченная последовательность значений физической величины, принятая по соглашению на основании результатов точных измерений.

В теории измерений принято, в основном, различать пять типов шкал: наименований, порядка, разностей (интервалов), отношений и абсолютные.

1. *Шкалы наименований (шкала классификации)* характеризуются только отношением эквивалентности (равенства). Примером такой шкалы является распространённая классификация (оценка) цвета по наименованиям (атласы цветов до 1000 наименований).

2. *Шкалы порядка (шкала рангов)* - это расположенные в порядке возрастания или убывания размеры измеряемой величины. Расстановка размеров в порядке их возрастания или убывания с целью получения измерительной информации по шкале порядка называется ранжированием. Примером являются шкала вязкости Энглера, 12-балльная шкала Бофорта для измерения силы морского ветра, шкала Мооса для определения твердости минералов и т.д.

3. *Шкалы разностей (интервалов)* отличаются от шкал порядка тем, что по шкале интервалов можно уже судить не только о том, что размер больше другого, но и на сколько больше. Шкалы отношений описывают свойства, к множеству самих количественных проявлений которых применимы отношения эквивалентности, порядка и суммирования, а следовательно, вычитания и умножения. В шкале отношений существует нулевое значение показателя свойства. Примером является шкала длин. Любое измерение по шкале

отношений заключается в сравнении неизвестного размера с известным и выражении первого через второй в кратном или дольном отношении.

Перевод одной шкалы интервалов $Q = Q_{01} + q_1[Q]_1$ в другую $Q = Q_{02} + q_2[Q]_2$ осуществляется по формуле

$$q_1 = \left(q_2 - \frac{Q_{02} - Q_{01}}{[Q]_1} \right) \cdot \frac{[Q]_1}{[Q]_2}. \quad (1.1)$$

4. *Шкалы отношений.* Эти шкалы описывают свойства эмпирических объектов, которые удовлетворяют отношениям эквивалентности, порядка и аддитивности (шкалы второго рода – аддитивные), а в ряде случаев и пропорциональности (шкалы первого рода – пропорциональные). Их примерами являются шкалы массы (второго рода), термодинамической температуры (первого рода). Шкалы отношений – самые совершенные, так как описываются основным уравнением метрологии.

5. *Абсолютные шкалы* обладают всеми признаками шкал отношений, но в них дополнительно существует естественное однозначное определение единицы измерения. Такие шкалы соответствуют относительным величинам (отношения одноимённых физических величин, описываемых шкалами отношений). К таким величинам относятся коэффициент усиления, ослабления и т. п. Среди этих шкал существуют шкалы, значения которых находятся в пределах от 0 до 1 (коэффициент полезного действия, отражения и т.п.).

Пример. Шкала Фаренгейта является шкалой интервалов. На ней Q_0 – температура смеси льда, поваренной соли и нашатыря, Q_1 – температура человеческого тела. Единица измерения – градус Фарингейта:

$$[Q_F] = \frac{(Q_1 - Q_0)}{96} = 1^\circ\text{F}.$$

Температура таяния льда, соли и нашатыря оказалась равной 32°F , а температура кипения воды 212°F .

По шкале Цельсия Q_0 – температура таяния льда, Q_1 – температура кипения воды. Градус Цельсия:

$$[Q_C] = \frac{(Q_1 - Q_0)}{100} = 1^\circ\text{C}.$$

Требуется получить формулу для перехода от одной шкалы к другой.

Решение. Формула для перехода определяется в соответствии с выражением (1.1). Значение разности температур по шкале Фарингейта точкой кипения воды и точкой таяния льда составляет $212^\circ\text{F} - 32^\circ\text{F} = 180^\circ\text{F}$. По шкале Цельсия интервал температур равен 100°C . Следовательно, 100°C -

180°F и отношение размеров единиц

$$\frac{[Q]_1}{[Q]_2} = \frac{^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{F}} = \frac{100}{180} = \frac{5}{9}.$$

Числовое значение интервала между началами отчета по рассматриваемым шкалам, измеряемого в градусах Фарингейта ($[Q]_1 = ^{\circ}\text{F}$), равно 32. Переход от температуры по шкале Фарингейта к температуре по шкале Цельсия производится по формуле

$$t = \frac{5}{9} \cdot (t_F - 32).$$

Задания

1. Получить формулу для перехода от шкалы Кельвина к шкале Цельсия.
2. Определить температуру жидкости по шкале Кельвина, если известно, что температура по шкале Цельсия равна 45°C.

Практическая работа №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРАВНЕНИЯ СВЯЗИ ПРОИЗВОДНОЙ ЕДИНИЦЫ ФВ ЧЕРЕЗ ЕДИНИЦЫ СИСТЕМЫ СИ

Теоретические положения

Согласованная Международная система единиц физических величин была принята в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам весам. Международная система - *СИ (SI)*, SI - начальные буквы французского наименования *Systeme International*. В системе предусмотрен перечень из семи основных единиц: метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела, моль и двух дополнительных: радиан, стерадиан, а также даны приставки для образования кратных и дольных единиц [1-3].

Основные единицы СИ:

- *метр, м*, равен длине пути, проходимого светом в вакууме за 1/299.792.458 долю секунды;
- *килограмм, кг*, равен массе международного прототипа килограмма;
- *секунда, с*, равна 9.192.631.770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия 133;

– *ампер*, A , равен силе не изменяющегося во времени электрического тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызывает на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н;

– *кельвин*, K , равен $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды;

– *моль*, *моль*, равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде 12 массой 0.012 кг;

– *кандела*, cd , равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ степени Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Существует два типа уравнений взаимосвязей между свойствами объектов:

1. *Уравнения связи между величинами* – уравнения, отражающие законы природы, в которых под буквенными символами понимаются ФВ. Они могут быть записаны в виде, не зависящем от набора единиц измерений входящих в них ФВ:

$$Q = K \cdot X^a \cdot Y^b \cdot Z^x.$$

Коэффициент K не зависит от выбора единиц измерений, он определяет связь между величинами.

Пример. Площадь треугольника S равна произведению основания L на высоту h :

$$S = 0,5Lh.$$

Коэффициент $K=0,5$ определен формой фигуры, а не выбором единиц измерения.

2. *Уравнения связи между числовыми значениями физических величин* – уравнения, в которых под буквенными символами понимают числовые значения величин, соответствующие выбранным единицам. Вид этих уравнений зависит от выбранных единиц измерения:

$$Q = K_e \cdot K \cdot X^a \cdot Y^b \cdot Z^x \dots,$$

где K_e – числовой коэффициент, зависящий от выбранной системы единиц.

Пример. Уравнение связи между числовыми значениями площади треугольника и его геометрическими размерами имеет вид при условии, что площадь измеряется в квадратных метрах, а основание и высота в миллиметрах:

$$S = 0,5Lh, \text{ т. е. } K_e = 1$$

или

$$S = 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot Lh, \text{ т. е. } K_e = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{мм}^2.$$

Задания

1. Получить уравнение связи между величинами для определения площади круга.
2. Получить уравнение связи между числовыми значениями объёма бака, м^3 , если его стороны измерены в сантиметрах.
3. Определить чему соответствует значение избыточного давления в единицах системы СИ, если известно, что показания манометра соответствуют 25 кгс/см^2 .
4. Определить для температуры $22,5^\circ\text{C}$ значение коэффициента кинематической вязкости масла индустриального 30 в единицах системы СИ, если известно, что при $t=20^\circ\text{C}$ кинематическая вязкость равна 1,8 Ст, а при $t=40^\circ\text{C}$ равна 0,56 Ст.

Практическая работа №3 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ МНОЖИТЕЛЕЙ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ ФВ»

Теоретические положения

Различают кратные и дольные единицы ФВ [1-3].

Кратная единица – это единица ФВ, в целое число раз превышающая системную или внесистемную единицу.

Пример. Единица длины километр равна 10^3 м, т.е. кратна метру.

Дольная единица – единица ФВ, значение которой в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы.

Пример. Единица длины миллиметр равна 10^{-3} м, т.е. является дольной метру.

Существуют приставки для образования кратных и дольных единиц,

которые приведены в табл.3.1.

Таблица 3.1 - Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	Множитель	Приставка	Обозначение приставки
10^{18}	экса	Э	10^{-1}	деци	д
10^{15}	пета	П	10^{-2}	санتي	с
10^{12}	тера	Т	10^{-3}	милли	м
10^9	гига	Г	10^{-6}	микро	мк
10^6	мега	М	10^{-9}	нано	н
10^3	кило	к	10^{-12}	пико	п
10^2	гекто	г	10^{-15}	фемто	ф
10^1	дека	да	10^{-18}	атто	а

Задания

1. Определить чему соответствуют множители и приставки для образования десятичных дольных и кратных значений ФВ: мощности 20000 Вт, давления 60000000 Па; 800000 Па, длины 15000 м; 0,6 м; 0,023 м; 0,00015 м и т.д.
2. Известно, что показания манометра соответствуют 0,6 МПа. Определить чему соответствуют множители и приставки для образования десятичного кратного значения избыточного давления.
3. Известно, что показания мерного бака соответствуют 5 л. Определить чему соответствуют множители и приставки для образования десятичных дольного и кратного значения объёма.
4. Определить чему соответствуют множители и приставки для образования десятичных дольных и кратных значений ФВ, входящих в формулу определения силы давления жидкости на крышку определяется по формуле, Н

$$P_D = \rho g h_c F,$$

где ρ – плотность воды, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с², $g=9,81$;

h_c – глубина погружения центра тяжести крышки, м;

F – площадь крышки, м²,

если показания уровнемера (здесь h_c) соответствует 23 см; известны длина крышки 60 мм, высота 120 мм, плотность жидкости $\rho=1,15$ г/см³.

Практическая работа №4

ВЫБОР МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Теоретические положения

На выбор вида измерений оказывает влияние ряд факторов: физический характер измеряемой величины, требуемая точность измерения, необходимая скорость измерения, условия и режим измерений и т.д.

По способу получения результата существуют прямые (непосредственные), косвенные, совокупные, совместные, динамические измерения. Наиболее часто используют прямые и косвенные измерения [1-3].

Прямые измерения — это такие измерения, при которых искомое значение физической величины определяется непосредственно путём сравнения с мерой этой величины. Уравнение прямого измерения: $y = C \cdot x$, где C – цена деления измерительного прибора.

Пример. Прямым является измерение длины рулеткой или линейкой, температуры термометром, силы динамометром и т.д..

Косвенные измерения — измерения, при которых значение величины находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Уравнение прямого измерения: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где x_i – i -ый результат прямого измерения.

Пример. Объём параллелепипеда находят путем умножения трех линейных величин (длины, ширины и высоты), электрическое сопротивление – путем деления падения напряжения на величину силы электрического тока.

В соответствии с РМГ 29-99 различают следующие методы прямых измерений:

1. *Метод непосредственной оценки*, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора. **Пример.** Измерение давления пружинным манометром, массы – весами, силы электрического тока – амперметром.
2. *Метод сравнения с мерой*, где измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. **Пример.** Измерение массы на рычажных весах с уравниванием гирей; измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнением с ЭДС параллельного элемента.
3. *Метод дополнения*, если значение измеряемой величины дополняется

мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению. **Пример.** Измерение массы на рычажных весах с уравниванием гирями обеих чаш.

4. *Дифференциальный метод* характеризуется измерением разности между измеряемой величиной и известной величиной, воспроизводимой мерой. Метод позволяет получить результат высокой точности при использовании относительно грубых средств измерения. **Пример.** Требуется измерить длину стержня x , если известна длина l , причем $l < x$. Тогда $x = l + a$, где a – измеряемая величина. Действительные значения a_d будут отличаться от измеренного a на величину погрешности Δ : $a_d = a \pm \Delta = a \cdot \left(1 \pm \frac{\Delta}{a}\right)$. Тогда $x = l + a \pm \Delta = (l + a) \cdot \left(1 \pm \frac{\Delta}{l+a}\right)$. Поскольку $l \gg a$, то $\frac{\Delta}{l+a} \ll \frac{\Delta}{a}$. Пусть $\Delta = 0,1$ мм; $l = 1000$ мм; $a = 10$ мм. Тогда $\frac{0,1}{1010} = 0,0001$ (0,01%) $\ll \frac{0,1}{10} = 0,01$ (1%).

5. *Нулевой метод* аналогичен дифференциальному, но разность между измеряемой величиной и мерой сводится к нулю. При этом нулевой метод имеет то преимущество, что мера может быть во много раз меньше измеряемой величины. **Пример.** Неравноплечие весы, для которых справедливо $F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$, где F_1 и F_2 – силы приложенные к плечам весов; l_1 и l_2 – плечи весов. В электротехнике – это мосты для измерения индуктивности, ёмкости, сопротивления, для которых справедливо $r_1 \cdot r_2 = r_x \cdot r_3$, откуда $r_x = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_3}$, где r_1, r_2, r_3 и r_x – электрические сопротивления. Совпадение сравнимых величин регистрируется нуль-индикатором.

6. *Метод замещения* – метод сравнения с мерой, в которой измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. **Пример.** Взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов.

Существуют и другие методы измерений.

Задания

1. Определить какой метод измерения скорости жидкости следует использовать, если известно, что показания мерного бака соответствуют 5 л, внутренний диаметр трубопровода 20 мм, а время заполнения бака составило по показаниям секундомера 8,7 с. Чему будет равна скорость жидкости в трубопроводе?

2. Определить значение момента на валу гидромотора по формуле $M_{\text{ГМ}} = \frac{1}{2\pi} q_{\text{м}} (p_{\text{н}} - p_{\text{ГМ}})$, где $q_{\text{м}}$ – рабочий объем гидромотора, $\text{см}^3/\text{об}$, $q_{\text{м}} = 9$. Если известны показания манометров $p_{\text{н}} = 20,5 \text{ кгс/см}^2$ и $p_{\text{ГМ}} = 17 \text{ кгс/см}^2$. Каким методом измерений получен результат?
3. Имея штангенциркуль и макеты деталей машин, определить по заданию преподавателя значения линейных размеров прямым и косвенным методами.

Практическая работа №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ. ВЫЯВЛЕНИЕ И ИСКЛЮЧЕНИЕ ГРУБЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ (ПРОМАХОВ)

Теоретические положения

Оценка погрешности измерений – одно из важных мероприятий по обеспечению единства измерений [1 - 3].

Погрешность измерения $\Delta x_{\text{изм}}$ — отклонение измеренного значения x величины от её истинного $x_{\text{и}}$ (действительного $x_{\text{д}}$) значения:

$$\Delta x_{\text{изм}} = x - x_{\text{д}}.$$

Качество измерений характеризуется: точностью, достоверностью, правильностью, сходимостью и воспроизводимостью измерений. *Точность измерительного прибора* – это метрологическая характеристика прибора, определяемая погрешностью измерения, в пределах которой можно обеспечить использование данного измерительного прибора.

Точность измерения зависит от погрешностей возникающих в процессе их проведения:

– *абсолютная погрешность измерения* – разность между значением величины, полученным при измерении, и ее истинным значением, выражаемая в единицах измеряемой величины $\Delta = x - x_{\text{и}}$;

– *относительная погрешность измерения* – отношение абсолютной погрешности, измерения к истинному значению измеряемой величины, определяемая по формуле:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} 100\% \text{ или } \delta = \pm \frac{\Delta}{x_{\text{и}}} 100\%;$$

– *приведенная погрешность* $\gamma = \pm \frac{\Delta}{x_N} 100\%$, где x_N – нормированное значение величины. Например, $x_N = x_{max}$, где x_{max} – максимальное значение измеряемой величины.

В зависимости от характера проявления, причин возникновения и возможностей устранения различают следующие виды погрешностей:

– *систематическая погрешность измерения* Δ_c – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или изменяющаяся по определенному закону при повторных измерениях одной и той же величины. Систематическая погрешность может быть исключена с помощью поправки;

– *случайная погрешность* $\Delta_{сл}$ – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины случайным образом;

– *грубая погрешность измерения (промах)* – погрешность, значение которой существенно выше ожидаемой, возникает из-за ошибочных действий оператора, неисправности СИ или резких изменений условий измерений.

Случайная и систематическая составляющие погрешности измерения проявляются одновременно, так что общая погрешность при их неизменности $\Delta = \Delta_c + \Delta_{сл}$.

Критерии для оценки промахов:

1. *Критерий 3σ* . Надежен при числе измерений n от 20 до 50. Считается, что результат, возникающий с вероятностью $P \leq 0,003$, малореален и его можно квалифицировать промахом, т.е. сомнительный результат x_i отбрасывается, если $|\bar{x} - x_i| > 3\sigma$. Величины $\bar{x}$ и σ вычисляют без учета x_i .

2. *Критерий Романовского*. Применяется при числе измерений $n < 20$. Вычисляется отношение $\left| \frac{\bar{x} - x_i}{\sigma} \right| = \beta$ и полученное значение β сравнивается с теоретическим β_T – при выбранном уровне значимости P по табл. 5.1.

Таблица 5.1 - Уровни значимости $\beta_T = f(n)$

Вероятность Р	Число измерений						
	n=4	n=6	n=8	n=10	n=12	n=15	n=20
0,01	1,73	2,16	2,43	2,62	2,75	2,90	3,08
0,02	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,05	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78
0,10	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

Пример. При диагностировании топливной системы автомобиля результаты пяти измерений расхода топлива составили 22, 24, 26, 28 и 48 л/100км. Последний результат ставим под сомнение.

$$\bar{x} = \frac{22+24+26+28}{4} = 25 \text{ л/100 км};$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{3^2 + 1^2 + (-1)^2 + (-3)^2}{4 - 1}} = 2,6 \text{ л/100 км}.$$

Поскольку $n < 20$, то по критерию Романовского при $P=0,01$ и $n=4$ $\beta_r=1,73$:

$$\beta = \frac{|25 - 48|}{2,6} = 8,80 > 1,73.$$

Критерий свидетельствует о необходимости отбрасывания последнего результата измерений.

3. *Критерий Шовине.* Используется, если число измерений n до 10. Промахом считается результат x_i , если разность $|\bar{x} - x_i|$ превышает значения σ , приведенные ниже в зависимости от числа измерений:

$$|\bar{x} - x_i| > \begin{cases} 1,6\sigma \text{ при } n = 3; \\ 1,7\sigma \text{ при } n = 6; \\ 1,9\sigma \text{ при } n = 8; \\ 2,0\sigma \text{ при } n = 10. \end{cases}$$

Пример. Измерение силы тока дало следующие результаты: 10,07; 10,08; 10,10; 10,12; 10,13; 10,15; 10,16; 10,17; 10,20; 10,40 А. Необходимо проверить, не является ли промахом значение 10,40 А?

После обработки результатов измерений получаются $\bar{x} = 10,16$ А ; $\sigma=0,094$ А. Так как число опытов равно 10, то по критерию Шовине $|10,16 - 10,40|=0,24 > 2 \cdot 0,094$. Поэтому результат 10,40 является промахом.

Задания

1. Определить погрешности абсолютные, относительные и приведенные для значений силы тока: 10,07; 10,08; 10,10; 10,12; 10,13; 10,15; 10,16; 10,17; 10,20; 10,40 А.
2. Определить теоретическое β_r для числа опытов $n=18$ и вероятности $P=0,05$. Следует использовать интерполяцию.
3. При испытаниях гидропривода вращательного действия манометр на входе в гидромотор дал следующие результаты: 54,5; 55; 54; 56; 55; 23 кгс/см². Осуществить проверку результатов измерений на промахи

Практическая работа №6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСАДОК

Теоретические положения

В соответствии с Единой системой допусков и посадок (ЕСДП) в соединении элементов двух деталей одна из них является внутренней (охватывающей), другая - наружной (охватываемой) [1, 2]. В системе допусков и посадок гладких соединений всякий наружный элемент условно называется *валом* и обозначается строчными буквами латинского алфавита, а внутренний элемент называется *отверстием* и обозначается заглавными буквами латинского алфавита.

Номинальный размер – размер (D для отверстия, d для вала), который служит началом отсчета отклонений и относительно которого определяются предельные размеры. Является основным размером детали или их соединений, назначается исходя из расчетов на прочность, износостойкость, жесткость и т.д. и на основании конкретных конструктивных, технологических и эксплуатационных соображений. Значения номинальных размеров, полученных расчетным путем, округляют (как правило, в большую сторону).

Действительный размер – размер (D_d для отверстия, d_d для вала), установленный измерением с допустимой погрешностью. Так как на практике не возможно изготовить деталь с абсолютно точными требуемыми размерами и измерить их без внесения погрешности.

Предельные размеры детали - два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер годной детали. Диапазон рассеивания действительных размеров, определяется наименьшим предельным размером ($D_{\min}$, $d_{\min}$) и наибольшим предельным размером ($D_{\max}$, $d_{\max}$). Сравнение действительного размера с предельными дает возможность судить о годности деталей.

Предельное отклонение размера – это алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения.

Верхнее отклонение (ES – для отверстия, es – для вала) – алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами:

$$ES = D_{\max} - D, \quad es = d_{\max} - d.$$

Нижнее отклонение (EI – для отверстия, ei – для вала) – алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами:

$$EI = D_{min} - D, ei = d_{min} - d.$$

Отклонение является положительным, если предельный или действительный размер больше номинального, и отрицательным, если указанные размеры меньше номинального.

Пример. Известен размер отверстия $\varnothing 45^{+0,025}_{-0,050}$. Номинальный размер $D=45$, предельные размеры $D_{max} = 45,025$, $D_{min} = 44,950$, верхнее отклонение $ES=+0,025$, нижнее отклонение $EI=-0,050$.

Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или абсолютное значение алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями называется *допуском* на размер T (TD – для отверстия, Td – для вала):

$$TD = D_{max} - D_{min}, Td = d_{max} - d_{min}.$$

Допуск всегда положительная величина. Он определяет допускаемое поле рассеивания действительных размеров годных деталей в партии, т.е. заданную точность изготовления. Чем меньше допуск, тем выше требуемая точность детали, при этом стоимость изготовления увеличивается.

Посадкой называется характер соединения деталей, определяемый разностью между размерами отверстия и вала.

Если размер отверстия больше размера вала, то их разность называется зазором S , тогда $S = D - d$.

Если размер отверстия меньше размера вала, то их разность называется натягом N , тогда $N = d - D$.

Посадка с зазором характеризуется наибольшим, наименьшим и средним зазором, которые определяются:

$$S_{max} = D_{max} - d_{min} = ES - ei,$$

$$S_{min} = D_{min} - d_{max} = EI - es,$$

$$S_{cp} = \frac{S_{max} - S_{min}}{2}.$$

Посадка с натягом характеризуется наибольшим, наименьшим и средним натягом, которые определяются:

$$N_{max} = d_{max} - D_{min} = es - EI,$$

$$N_{min} = d_{min} - D_{max} = ei - ES,$$

$$N_{cp} = \frac{N_{max} - N_{min}}{2}.$$

Переходная посадка – посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга.

Допуск посадки – разность между наибольшим и наименьшим допускаемыми зазорами (допуск зазора TS в посадках с зазором) или наибольшим и наименьшим допускаемым натягами (допуск натяга TN в посадках с натягом), в переходных посадках допуск посадки – сумма наибольшего натяга и наибольшего зазора, взятых по абсолютному значению:

$$TS = S_{max} - S_{min}; \quad TN = N_{max} - N_{min}; \quad Tn = N_{max} + S_{max};$$

или

$$TS = TD + Td; \quad TN = TD + Td; \quad Tn = TD + Td.$$

Пример. Посадка $\varnothing 40^{+0,03}_{-0,08}$, где 40 – номинальный размер, мм, общий для отверстия и вала.

Задания

1. Определить характеристики посадки $\varnothing 25 \frac{H7}{p6}$; $\varnothing 50 \frac{H7}{e9}$; $\varnothing 63 \frac{H8}{k8}$. Результаты решения занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Характеристики посадки

Посадка	Отклонение, мкм				Допуск, мкм			Зазоры, мкм		Натяги, мкм	
	Вал		Отверстие								
	es	ei	ES	EI	Td	TD	TS, TN	S _{max}	S _{min}	N _{max}	N _{min}

2. Зарисовать эскизы соединения сопрягаемых деталей $\varnothing 25 \frac{H7}{p6}$; $\varnothing 50 \frac{H7}{e9}$; $\varnothing 63 \frac{H8}{k8}$.
3. Начертить схему расположения полей допусков, сопрягаемых по посадке $\varnothing 25 \frac{H7}{p6}$; $\varnothing 50 \frac{H7}{e9}$; $\varnothing 63 \frac{H8}{k8}$ деталей.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ И УНИФИКАЦИИ

Теоретические положения

Стандартизация - это плановая деятельность по установлению обязательных правил, норм и требований [1, 2]. Является наивысшей степенью унификации.

Унификация – это приведение объектов одинакового функционального назначения к единообразию (например, к оптимальной конструкции) по установленному признаку и рациональное сокращение числа этих объектов на основе данных об их эффективной применяемости. При унификации устанавливают минимально необходимое, но достаточное число типов, видов, типоразмеров, изделий, сборочных единиц и деталей, обладающих высокими показателями качества и полной взаимозаменяемостью.

Унификация помогает выделить отдельные образцы, прототипы которых в тех или иных размерах и параметрических вариантах применяют во многих изделиях.

Эффективность работ по унификации характеризуется уровнем унификации.

Под *уровнем унификации и стандартизации изделий* понимают насыщенность их соответственно унифицированными и стандартными составными частями (детальями, узлами, механизмами), и наиболее часто для их расчета используются коэффициенты применяемости и повторяемости.

Коэффициент применяемости $K_{пр}$ показывает уровень применяемости составных частей, т.е. уровень использования во вновь разрабатываемых конструкциях деталей, узлов, механизмов, применявшихся ранее в предшествовавших аналогичных конструкциях. Рассчитывают по количеству типоразмеров, по составным частям изделия или в стоимостном выражении:

1. Показатель уровня стандартизации и унификации по числу типоразмеров определяется по формуле:

$$K_{пр.т} = \frac{n - n_0}{n} 100,$$

где n – общее число типоразмеров; n_0 – число оригинальных типоразмеров, которые разработаны впервые для данного изделия.

2. Показатель уровня стандартизации и унификации по составным частям изделия

определяется по формуле:

$$K_{\text{пр.ч}} = \frac{N - N_0}{N} 100,$$

где N – общее число составных частей изделия; N_0 – число оригинальных составных частей изделия.

3. Показатель уровня стандартизации и унификации по стоимостному выражению определяется по формуле:

$$K_{\text{пр.с}} = \frac{C - C_0}{C} 100,$$

где C – стоимость общего числа составных частей изделия; C_0 – стоимость числа оригинальных составных частей изделия.

Более полную характеристику уровня унификации изделия даёт комплексный показатель – *коэффициент применяемости*:

$$K_{\text{пр.к}} = \frac{A_{\text{у.в}} \cdot C_{\text{у}} + A_{\text{у.т}}}{A_{\text{д.в}} \cdot C_{\text{т}} + A_{\text{д.т}} \cdot h} 100,$$

где $C_{\text{у}}$ – средняя стоимость веса материала унифицированных деталей; $C_{\text{т}}$ – средняя стоимость веса материала изделия в целом; h – средняя стоимость нормо-ч; $A_{\text{у.в}}$ – вес всех унифицированных деталей в изделии; $A_{\text{у.т}}$ – суммарная трудоёмкость изготовления унифицированных деталей; $A_{\text{д.в}}$ – общий вес изделия; $A_{\text{д.т}}$ – полная трудоёмкость изготовления изделия.

Коэффициент повторяемости составных частей в общем числе составных частей данного изделия $K_{\text{п}}$, %, характеризует уровень унификации и взаимозаменяемость составных частей изделия определенного типа:

$$K_{\text{п}} = \frac{N-n}{N-1} 100,$$

где N – общее число составных частей изделия; n – общее число оригинальных типоразмеров.

Среднюю повторяемость составных частей в изделии характеризует *коэффициент повторяемости*:

$$K_{\text{сп}} = \frac{N}{n}.$$

Пример. Определить уровень стандартизации и унификации продольнообрабатывающего станка по коэффициенту применяемости (по числу типоразмеров, по составным частям изделия и в стоимостном выражении), а также уровень унификации и взаимозаменяемости по коэффициенту повторяемости составных частей и среднюю повторяемость составных частей

данного изделия.

Общее число типоразмеров $n=1657$, число оригинальных типоразмеров $n_0=203$, общее число деталей $N=5402$, оригинальных $N_0=620$, стоимость всех деталей $C=85000$ руб., оригинальных – $C_0=27200$ руб.

$$K_{\text{пр.т}} = [(1657 - 203)/1657] \cdot 100 = 87,7\%;$$

$$K_{\text{пр.ч}} = [(5402 - 620)/5402] \cdot 100 = 88,5\%;$$

$$K_{\text{пр.с}} = [(85000 - 27200)/85000] \cdot 100 = 68\%;$$

$$K_{\text{п}} = [(5402 - 1657)/(5402 - 1)] \cdot 100 = 69,3\%;$$

$$K_{\text{сп}} = 5402/1657 = 3,2.$$

Задания

1. Имея спецификацию к сборочному чертежу технологической машины, определить по заданию преподавателя значения коэффициентов применяемости и повторяемости
2. Определить уровень стандартизации и унификации, если известно, что в спецификации имеется в графе стандартные изделия 15 позиций, а общее число позиций равно 21.

Библиографический список

1. Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: учебник для бакалавров / А.Г. Сергеев, В.В. Терегеря. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2014 – 833-69.
2. Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: учебник для вузов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – 2-е изд., стер. – М.: Высш.шк., 2010 – 791с.
3. РГМ29-99 ГСИ. Метрология. Термины и определения.
ГОСТ 8.207-76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов измерений.

Учебно-методическое издание

Сысоева Ирина Николаевна

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ

Учебно-методическое пособие для практических занятий
(направления подготовки

15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
и 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»)

Редактор Н.А. Юшко

Подписано в печать 25.07.2017.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 50. Заказ №

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

имени М.И. Платова

Редакционно издательский отдел ЮРГПУ (НПИ)

346428, г.Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Отпечатано в ИД «Политехник»

346428, г. Новочеркасск, ул. Первомайская, 166.

idp-npi@mail.ru