

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**по дисциплине «Автоматизированное управление техническими
системами»**

Направление подготовки 15.04.04

«Автоматизация технологических процессов и производств»

Направленность (профиль) «Информационно-управляющие системы»

Форма обучения - очно-заочная

Год начала обучения 2022

Реализуется в 2 семестре

Невинномысск 2022

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ по дисциплине «Автоматизированное управление техническими системами» для студентов направления подготовки 15.04.04 — Автоматизация технологических процессов и производств. Они составлены в соответствии с требованиями ФГОС ВО направления подготовки магистров.

В методических указаниях излагаются цель и задачи лабораторного практикума. Приведены содержание и требования к оформлению отчетов по лабораторным работам. Даны рекомендации по обработке данных экспериментов.

Методические указания могут быть полезны при выполнении НИР и использованы в курсовом проектировании.

Составитель: канд. техн. наук, доцент Болдырев Д.В.

Ответственный редактор: канд. техн. наук, доцент Евдокимов А.А.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Лабораторная работа 1

Идентификация технологических объектов управления

Лабораторная работа 2

Определение оптимальных параметров настройки регулятора по критерию равной степени затухания и построение процесса регулирования в линейной АСР с запаздыванием

Лабораторная работа 3

Синтез АСР температуры в объекте регулирования

Лабораторная работа 4

Синтез АСР на основе критерия максимальной степени устойчивости

Лабораторная работа 5

Исследование каскадных САУ

Список рекомендуемой литературы

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Автоматизированное управление техническими системами» ставит своей целью формирование следующих компетенций будущего магистра по направлению подготовки 15.04.04 — Автоматизация технологических процессов и производств.

Код	Формулировка
ОПК-11	Способен разрабатывать современные методы исследования автоматизированного оборудования в машиностроении;

Главными задачами дисциплины являются: ознакомление студентов со схемами автоматизации типовых технологических процессов и производств; приобретение практических навыков проектирования локальных АСР; изучение состава, основных функций и видов обеспечения автоматизированных систем управления технологическими процессами.

В результате освоения дисциплины студент должен:

- знать современное состояние и тенденции развития автоматизации технологических процессов и производств; принципы организации и архитектуру автоматических и автоматизированных систем контроля и управления для технологических процессов и производств; методы и средства разработки математического, лингвистического, информационного обеспечения систем автоматизации и управления;
- уметь использовать принципы, методы и способы выбора и конфигурирования технических и программных средств при создании систем автоматизации и управления;
- владеть современными методами автоматизации технологических процессов и производств, разработки систем автоматизации и управления с использованием компьютерной техники; методами рационального выбора средств технологического оснащения, автоматизации технологических процессов и производств; методами математического моделирования при разра-

ботке и совершенствовании программно-технических средств и систем автоматизации технологических процессов и производств.

Лабораторный практикум носит исследовательский характер и состоит из двух взаимосвязанных частей:

- исследование и математическое описание реальных объектов управления на примерах лабораторных установок и макетов (часть 1);
- автоматизация промышленных установок и технологических процессов как объектов управления (часть 2).

При выполнении данной части практикума должны быть сформированы следующие компетенции: ОПК-11.

Целью выполнения лабораторного практикума является освоение студентами современных методов и средств автоматизации объектов управления промышленного назначения.

Главными задачами лабораторного практикума являются:

- получение математической модели реального объекта управления по результатам экспериментальных исследований;
- приобретение практических навыков составления функциональных схем реальных систем управления.

Лабораторные работы выполняются бригадным методом по 3-4 студента в группе. Старший бригады распределяет комплексную работу и руководит проведением исследований.

Защита работы — индивидуальная по всем разделам комплексного задания. Степень индивидуализации определяет преподаватель.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
УПРАВЛЕНИЯ

1.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Овладение процедурой определения по кривой разгона коэффициентов дифференциального уравнения объекта второго порядка методом наименьших квадратов на ПЭВМ.

1.2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.2.1. Технологическое описание

На рисунке 1.1 представлена схема автоматизации процесса регулирования уровня воды в резервуаре.

Спецификация

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		1-1	УБ-П	Уровнемер	1	
		1-2	ПЭ-55М	Преобразователь пневмоэлектрический	1	
		1-3	ПВ 10.1Э	Прибор вторичный	1	0 ÷ 1,6 м
		1-4	ЭП-1324	Преобразователь электропневматический	1	
		1-5	ПР 3.31	Регулятор пневматический	1	
		1-6	25 с48нж, НО	Клапан регулирующий	1	

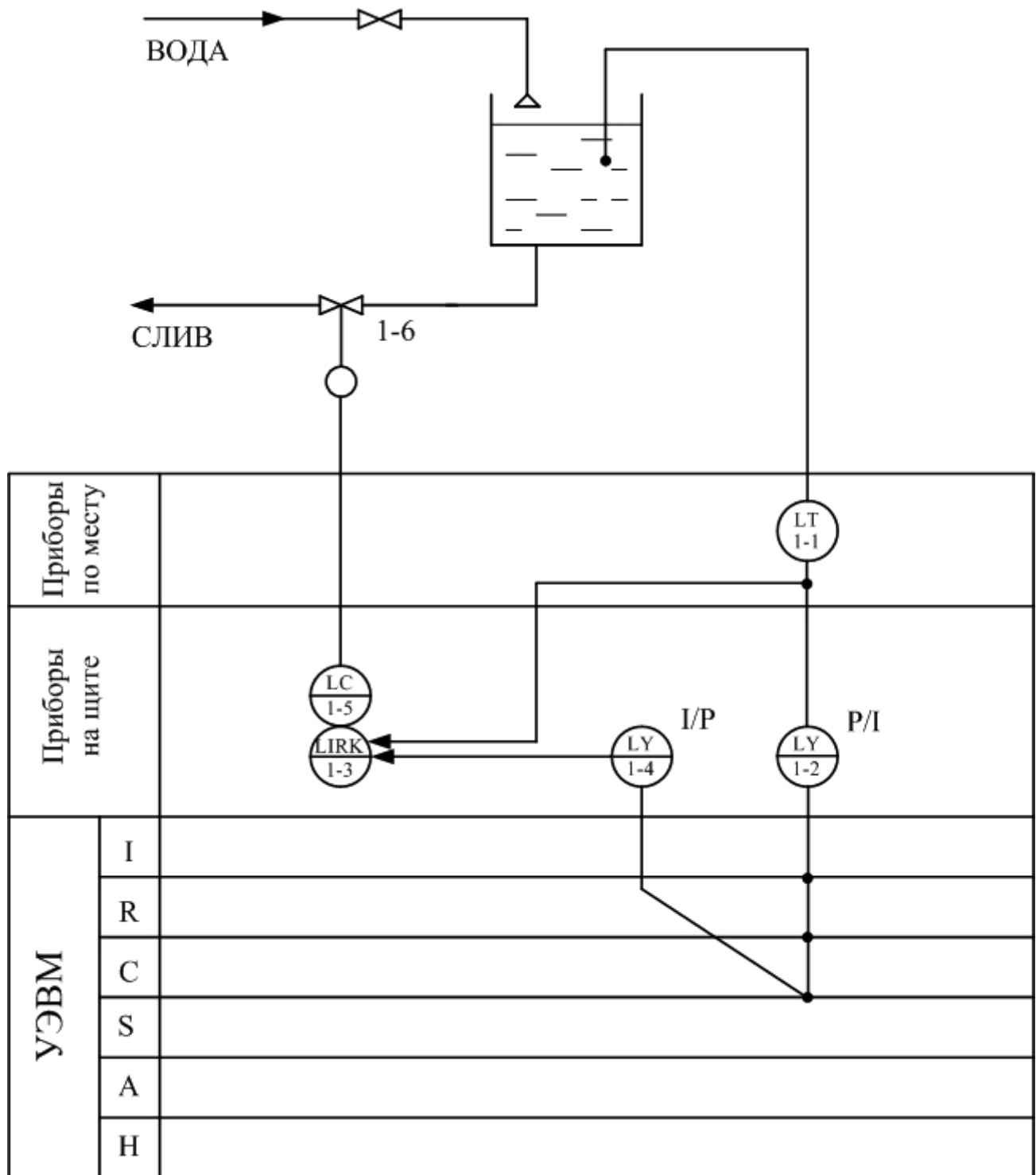


Рисунок 1.1 – Схема автоматизации процесса регулирования уровня воды в резервуаре

На схеме показано, что в резервуар поступает из водопровода вода, расход которой задается оператором с помощью вентиля, а уровень в резервуаре регулируется при помощи пневматического клапана путем свободного течения. В исследуемой системе объектом регулирования является резервуар, уровень жидкости в котором контролируется при помощи буйкового уровнемера. Уровнемер (поз. 1-1) преобразует величину уровня жидкости в резервуаре в пневматический сигнал на выходе с уровнем $0,2..1 \text{ кгс/см}^2$; пневмоэлектрический преобразователь (поз. 1-2) преобразует величину давления в выходной стандартный токовый сигнал $0..5 \text{ мА}$; электропневматический преобразователь (поз. 1-4) в соответствии с уровнем входного токового сигнала $0..5 \text{ мА}$ выдает пневматический сигнал на вторичный прибор (поз. 1-3), который регистрирует и распределяет пневматические сигналы. Вторичный прибор служит для ручного управления и визуального контроля работы АСР уровня. Сигнал с него поступает на пневматический ПИ-регулятор (поз. 1-5), который осуществляет преобразование пневматического сигнала в соответствии с заданным коэффициентом усиления и постоянной времени интегрирования и воздействует на клапан (поз. 1-6).

1.2.2. Пояснения к алгоритму метода наименьших квадратов

В основе современных методов анализа, проектирования и расчета автоматических систем регулирования (АСР) лежит использование моделей, которые описывают свойства и характеристики систем, существенные для решаемых задач управления. Традиционными являются аналитические методы построения моделей. Однако усложнение решаемых задач, расширение круга и увеличение размерности объектов, процессов и систем явились объективными стимулами развития идентификации как специальной методики построения моделей реальных объектов и систем по результатам их экспериментального исследования.

Идентификацией называется определение параметров и структуры математической модели, обеспечивающих наилучшее совпадение выходных координат модели и процесса при одинаковых входных воздействиях.

Отсюда следует, что процедура идентификации распадается на следующие три этапа:

- Выбор структуры модели на основании имеющейся априорной информации об исследуемом процессе и некоторых эвристических соображений.
- Выбор критерия близости объекта и модели, основанный на специфике задачи.
- Определение параметров модели, оптимальных с точки зрения выбранного критерия близости.

Идентификация предполагает, во-первых, использование априорной информации об объекте при определении структуры модели (**структурная идентификация**), и, во-вторых, обработку данных измерения для получения необходимой апостериорной информации (**параметрическая идентификация**).

Структуру модели выбирают на основе широко используемого в инженерной практике анализа и расчета реальных систем — класса линейных и линеаризованных уравнений.

В общем виде динамическая характеристика объекта с сосредоточенными параметрами и с одним входным сигналом $x_{вх}(t)$ и выходным сигналом $x_{вых}(t)$ описывается обыкновенным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами:

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n x_{вых}(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x_{вых}(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx_{вых}(t)}{dt} + a_0 x_{вых}(t) = \\ = b_m \frac{d^m x_{вх}(t-\tau)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x_{вх}(t-\tau)}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx_{вх}(t-\tau)}{dt} + b_0 x_{вх}(t-\tau), \end{aligned} \quad (1)$$

с начальными условиями

$$\left. \frac{d^{n-1} x_{\text{ВЫХ}}}{dt} \right|_{t=0} = x_{\text{ВЫХ}}^{n-1}(0), \dots, \left. \frac{dx_{\text{ВЫХ}}}{dt} \right|_{t=0} = x_{\text{ВЫХ}}^{(1)}(0); x_{\text{ВЫХ}}(0) = x_{\text{ВЫХ}}^{(0)}(0) \quad (2)$$

и заданными функциями $x_{\text{ВХ}}(t), \dots, \frac{d^m x_{\text{ВХ}}(t)}{dt^m}$.

Для единообразия при последующей обработке (например, графическом выводе) входные и выходные величины в уравнении (1) записываются в виде отношений с диапазоном изменения от 0 до 1:

$$x_{\text{ВХ}}(t) = \frac{x_{\text{ВХ}}(t) - x_{\text{ВХ}}^{\text{НОМ}}(0)}{x_{\text{ВХ}}^{\text{НОМ}}(\infty) - x_{\text{ВХ}}^{\text{НОМ}}(0)}; \quad x_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{x_{\text{ВЫХ}}(t) - x_{\text{ВЫХ}}^{\text{НОМ}}(0)}{x_{\text{ВЫХ}}^{\text{НОМ}}(\infty) - x_{\text{ВЫХ}}^{\text{НОМ}}(0)},$$

где $x_{\text{ВХ}}(t), x_{\text{ВЫХ}}(t)$ — текущие абсолютные значения экспериментально снятых входного и выходного сигналов;

$x^{\text{НОМ}}(0), x^{\text{НОМ}}(\infty)$ — номинальные значения, соответствующие измеряемым величинам в равновесном (установившемся) состоянии.

В этом случае постоянные коэффициенты $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0, b_m, b_{m-1}, \dots, b_0$, подлежащие определению, безразмерны или имеют размерность времени в степени, равной порядку производной соответствующего сигнала.

Метод наименьших квадратов позволяет определять оптимальные, в смысле максимального значения адекватности, коэффициенты передаточной функции объекта управления по его кривой разгона.

Многие непрерывные объекты управления могут быть описаны с достаточной для практики точностью дифференциальным уравнением второго порядка вида:

$$a_2 \frac{d^2 x}{dt^2} + a_1 \frac{dx}{dt} + x = b_1 \frac{df}{dt} + f, \quad (3)$$

где a_1, a_2, b_1 — коэффициенты, зависящие от параметров объектов;

x — выходная (регулируемая) величина;

f — входное воздействие.

Умножим обе части уравнения (3) на dt и проинтегрируем от 0 до t (t — произвольный момент времени):

$$a_2 \int_0^t \frac{d^2 x}{dt^2} dt + a_1 \int_0^t \frac{dx}{dt} dt + \int_0^t x \cdot dt = b_1 \int_0^t \frac{df}{dt} dt + \int_0^t f \cdot dt.$$

Получим:

$$a_2 \cdot \left(\frac{dx}{dt} - \dot{x}(0) \right) + a_1 \cdot (x - x(0)) + \int_0^t x \cdot dt = b_1 \cdot (f(t) - f(0)) + \int_0^t f \cdot dt. \quad (4)$$

Так как в начальный момент $x(0) = 0$, $f(t) = 1$, $f(0) = 1$ (ввиду того, что переходная функция получается в результате единичного воздействия на вход объекта управления), то коэффициент b_1 выпадает из рассмотрения и уравнение (4) принимает вид:

$$a_2 \cdot \left(\frac{dx}{dt} - \dot{x}(0) \right) + a_1 \cdot x + \int_0^t x dt = \int_0^t f dt. \quad (5)$$

Введем обозначения:

$$x_1 = \int_0^t x dt; \quad f_1 = \int_0^t f dt. \quad (6)$$

Тогда получим

$$a_2 \cdot \left(\frac{dx}{dt} - \dot{x}(0) \right) + a_1 \cdot x + x_1 = f_1. \quad (7)$$

Умножим обе части уравнения (7) на dt и проинтегрируем еще раз по dt от 0 до t . Тогда с учетом начальных условий будем иметь:

$$a_2 \cdot (x - \dot{x}(0) \cdot t) + a_1 \int_0^t x dt + \int_0^t x_1 dt = \int_0^t f_1 dt. \quad (8)$$

Введем обозначения:

$$x_2 = \int_0^t x_1 dt; \quad f_2 = \int_0^t f_1 dt; \quad x_3 = x - \dot{x}(0) \cdot t. \quad (9)$$

Теперь получим следующее соотношение, справедливое для любого момента времени t :

$$a_2 \cdot x_3 + a_1 \cdot x_1 + x_2 = f_2. \quad (10)$$

Оптимальными оценками коэффициентов a_1 и a_2 будут те, которые доставляют минимум функции невязки:

$$Q = \int_0^{T_0} (a_2 \cdot x_3 + a_1 \cdot x_1 + x_2 - f_2)^2 dt, \quad (11)$$

где T_0 — продолжительность разгона объекта управления.

Введем обозначения:

$$x(i) = x((i-1) \cdot t). \quad (12)$$

Оптимальные оценки a_1 и a_2 параметров математической модели объекта управления (параметров передаточной функции объекта) найдем путем минимизации Q по этим параметрам, т. е. из системы нормальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial a_1} = \sum_{I=1}^N x_1^2(I) a_1 + \sum_{I=2}^N x_1(I) \cdot x_3(I) a_2 - \sum_{I=2}^N (f_2(I) - x_2(I)) \cdot x_1(I) = 0; \\ \frac{\partial Q}{\partial a_2} = \sum_{I=2}^N x_1(I) x_3(I) a_1 + \sum_{I=2}^N x_3^2(I) a_2 - \sum_{I=2}^N (f_2(I) - x_2(I)) \cdot x_3(I) = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Введем обозначения:

$$G_1 = \sum_{I=2}^N x_1^2(I);$$

$$G_2 = \sum_{I=2}^N x_1(I) \cdot x_3(I);$$

$$G_3 = \sum_{I=2}^N x_3^2(I);$$

$$G_4 = \sum_{I=2}^N (f_2(I) - x_2(I)) \cdot x_1(I);$$

$$G_5 = \sum_{I=2}^N (f_2(I) - x_2(I)) \cdot x_3(I).$$

Получим систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} G_1 \cdot a_1 + G_2 \cdot a_2 &= G_4 \\ G_2 \cdot a_1 + G_3 \cdot a_2 &= G_5 \end{aligned} \right\}, \quad (14)$$

откуда находятся оценки коэффициентов:

$$a_1 = (G_4 \cdot G_3 - G_2 \cdot G_5) / (G_1 \cdot G_3 - G_2 \cdot G_2),$$

$$a_2 = (G_1 \cdot G_5 - G_2 \cdot G_4) / (G_1 \cdot G_3 - G_2 \cdot G_2). \quad (15)$$

Коэффициент b_1 определяется по формуле:

$$b_1 = a_2 \cdot \dot{x}(I), \quad (16)$$

где $\dot{x}(i)$ — начальное значение производной переходной функции, определяемое по экспериментальной кривой разгона.

Показатель адекватности найденной математической модели (передаточной функции) определяется расхождением между переходной функцией, рассчитанной по модели, и экспериментальной кривой разгона. Чем меньше расхождение, тем выше показатель адекватности.

В качестве показателя адекватности математической модели принимается выражение:

$$AQ = 1 - \frac{\sum_{k=1}^N |x(k) - x_n(k)|}{\sum_{k=1}^N |x(k)|}. \quad (17)$$

При таком выборе, чем меньше отношение среднего значения модуля отклонения к среднему значению модуля ординат кривой разгона, тем выше показатель адекватности.

Значение показателя адекватности не меньше 0,95 может считаться приемлемым для инженерных расчетов.

1.2.3. Определение динамических характеристик по переходным функциям

Переходной функцией объекта $h(t)$ называется кривая изменения выходной величины $x(t)$, то есть когда

$$x(t) = \begin{cases} x_0 + A, & \text{при } t \geq 0; \\ x_0, & \text{при } t < 0. \end{cases} \quad (18)$$

где A — постоянная величина;

x_0 — начальное значение входной величины при $t = 0$.

Если объект линейный, то выбор начальных значений x_0 и y_0 не влияет на его динамические свойства, и поэтому принимают $x_0 = y_0 = 0$, и ступенчатую функцию определяют как изменение входной величины по закону

$$x(t) = \begin{cases} A, & \text{при } t \geq 0, \\ 0, & \text{при } t < 0, \end{cases} \quad (19)$$

а переходную функцию $h(t)$ рассматривают как решение независимого дифференциального уравнения, описывающего динамические свойства объекта при нулевых начальных условиях и ступенчатом возмущении.

Переходная функция $h(t)$ связана интегральным соотношением с импульсной (весовой) функцией $g(t)$:

$$h(t) = \int_0^{\infty} g(t) dt. \quad (20)$$

Импульсная функция $g(t)$ объекта — это кривая изменения во времени выходной величины $y(t)$ при входном возмущении типа дельта-функции $\delta(t)$:

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & \text{при } t = 0, \\ 0, & \text{при } t \neq 0. \end{cases} \quad (21)$$

Преобразование по Лапласу дельта-функции $L\{\delta(t)\} = 1$, поэтому $L\{g(t)\} = W(p)$, то есть является передаточной функцией объекта.

Экспериментально $g(t)$ найти невозможно, но ее можно вычислить путем дифференцирования переходной функции:

$$g(t) = \frac{dh(t)}{dt}. \quad (22)$$

Для экспериментального определения переходной функции объект выводят в установившееся состояние, при котором выходная величина $y(t) = y_0 = \text{const}$, а $y'(t)$ и $y''(t)$ равны 0, и наносят испытательное воздействие требуемой формы, например, ступенчатый скачкообразный сигнал с амплитудой A . С момента нанесения возмущения производится регистрация выходной величины $y(t)$ и запись основных возмущающих величин объекта. Регистрация

выходной величины идет до тех пор, пока она не прекратит свое изменение, а при наличии в объекте интегрирующих элементов — после установления постоянной скорости интегрирования $y(t)$. Для проверки линейности объекта в динамике подобные эксперименты проводятся несколько раз при различных знаках и амплитудах аperiodических входных воздействий. Максимальное значение амплитуды испытательного сигнала выбирается с учетом ограничений технологическими условиями и нелинейности статической характеристики, а минимальное — с учетом уровня действующих помех и класса точности измерительной аппаратуры.

Аналогично снимаются экспериментальные кривые при входном воздействии типа прямоугольный импульс или прямоугольная волна, которые можно преобразовать в переходные функции. С целью идентификации переходные функции, полученные при различных величинах испытательного сигнала, перестраиваются в единичные переходные функции $h_i(t)$:

$$h_i^0(t) = \frac{h_i(t)}{A_i}. \quad (23)$$

Если разброс между функциями $h^0(t)$ соизмерим с точностью измерения величин $x(t)$ и $y(t)$, то для математической обработки выбирается одна из переходных функций. В противном случае производится усреднение $h_i^0(t)$ по множеству номеров i , то есть определяется усредненная единичная переходная функция $h^0(t)$:

$$h^0(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i^0(t). \quad (24)$$

В инженерной практике используются различные методы обработки и аппроксимации экспериментальных переходных функций. Все они основываются на предположении, что полученная переходная функция является решением линейного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами и нулевыми начальными условиями. Но большинство промышленных объектов являются объектами с распределенными параметрами и их динамические свойства описываются дифференциальными уравнениями в

частных производных. Поэтому точная аппроксимация экспериментальных переходных функций уравнением вида

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + y(t) = k \left[b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + x(t) \right] \quad (25)$$

возможна лишь при условии, что $n, m \rightarrow 0$. Но так как распределенность параметров объекта проявляется в основном в медленном изменении $h(t)$, при малых значениях t , то при практических расчетах время запаздывания переходной функции аппроксимируют звеном чистого запаздывания, передаточная функция которого $W(p) = e^{-p\tau}$ также имеет бесконечное число полюсов.

Введение запаздывания преобразует исходное уравнение в вид:

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + y(t) = k \left[b_m \frac{d^m x(t-\tau)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x(t-\tau)}{dt^{m-1}} + \dots + x(t-\tau) \right] \quad (26)$$

и позволяет аппроксимировать экспериментальные переходные функции с точностью, достаточной для практики, уравнениями 1-3-го порядков.

Передаточная функция объекта в этом случае может быть представлена следующим уравнением:

$$W(p) = ke^{-p\tau} \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + 1}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + 1} = ke^{-p\tau} W_0(p). \quad (27)$$

Для промышленных объектов порядок числителя передаточной функции всегда меньше или равен порядку знаменателя, т.е. $m \leq n$.

В зависимости от предполагаемой структуры аппроксимирующего дифференциального уравнения используются различные методы определения коэффициентов $a_n, a_{n-1}, \dots, b_m, b_{m-1}, \dots$. Выбор структуры искомой передаточной функции $W(p)$ производят в зависимости от формы экспериментальной переходной функции. Если $h(0) = 0$, а $h'(0) \rightarrow 0$, то порядок числителя передаточной функции на единицу меньше порядка знаменателя. Если $h(0) = h'(0) = h''(0) = 0$, то порядок числителя по крайней мере на две единицы

меньше порядка знаменателя. И, наконец, $h(0) = h'(0) = h''(0) = 0$, то можно принимать $b_m = b_{m-1} = \dots = b_0 = 0$.

1.3. ЗАДАНИЕ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

По заданной технологической схеме и натурной лабораторной установке:

1. Составить функциональную схему автоматизации.
2. Составить спецификацию КИПиА с указанием основных параметров.
3. Экспериментально снять кривую разгона объекта регулирования.
4. Определить по кривой разгона коэффициенты дифференциального уравнения объекта второго порядка методом наименьших квадратов на ПЭВМ.
5. Сделать отчет о проделанной работе.

Для снятия кривой разгона требуется предварительно наполнить резервуар до указанного преподавателем уровня. Это можно сделать следующим образом:

- открыть кран для заполнения резервуара водой;
- задать значение уровня;
- снять разгонную характеристику.

Далее для единообразия при последующей обработке выходные величины записать в виде отношений с диапазоном изменения от 0 до 1. По экспериментальным данным $x(I)$ строится кривая разгона объекта.

В оперативную память ПЭВМ вводятся данные $x(I)$ и в соответствии с алгоритмом метода наименьших квадратов производится оценивание параметров a_1 , a_2 , b_1 , вычисление ординат переходной функции и показателя адекватности AQ .

1.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель лабораторной работы.
2. Программа исследований.
3. Схема автоматизации.
4. Спецификация.
5. Исходные данные $x(t)$ в виде таблицы и графика кривой разгона.
6. Результаты выполнения на ПЭВМ вычислительной процедуры; показателя адекватности AQ ; ординаты переходной функции $y(t)$, рассчитанные по математической модели, в виде таблицы и графика в той же системе координат, что и кривая разгона $x(t)$.

1.5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте краткое описание работы технологического аппарата (объекта регулирования), рассматриваемого в лабораторной работе.
2. Перечислите используемые средства автоматизации, дайте их краткую характеристику.
3. Что понимается под идентификацией?
4. Какой вид имеет дифференциальное уравнение объекта второго порядка?
5. Какой критерий оптимальности используется при оценке коэффициентов уравнения второго порядка?
6. Какой физический смысл имеет показатель адекватности математической модели объекта?
7. Что понимается под адекватностью модели объекта?
8. Как производится получение кривой разгона экспериментальным методом (активный эксперимент)?
9. Как осуществляется приведение кривой разгона к нормированной?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ
НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА ПО КРИТЕРИЮ РАВНОЙ
СТЕПЕНИ ЗАТУХАНИЯ И ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕССА
РЕГУЛИРОВАНИЯ В ЛИНЕЙНОЙ АСР С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

2.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Овладение частотным методом и процедурой выделения области устойчивости в пространстве параметров настройки регуляторов.
- Овладение методом и процедурой определения оптимальных параметров настройки изодромного регулятора, обеспечивающих заданную степень затухания и минимизирующих первую интегральную оценку качества процесса регулирования на ПЭВМ.
- Исследование метода построения процесса регулирования, основанного на связи переходной функции с вещественной частотной характеристикой линейной автоматической системы с запаздыванием по каналу регулирующего воздействия.

2.2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Передаточная функция замкнутой одноконтурной системы (рисунок 1) по отношению к возмущающему воздействию $f(t)$ имеет вид:

$$W_c(p) = \frac{W_f(p)}{1 \pm W_o(p) \cdot W_p(p)}, \quad (1)$$

где $W_f(p)$ — передаточная функция объекта по отношению к возмущению $f(t)$; $W_o(p)$ — передаточная функция объекта по отношению к управляющему воздействию; $W_p(p)$ — передаточная функция регулятора.

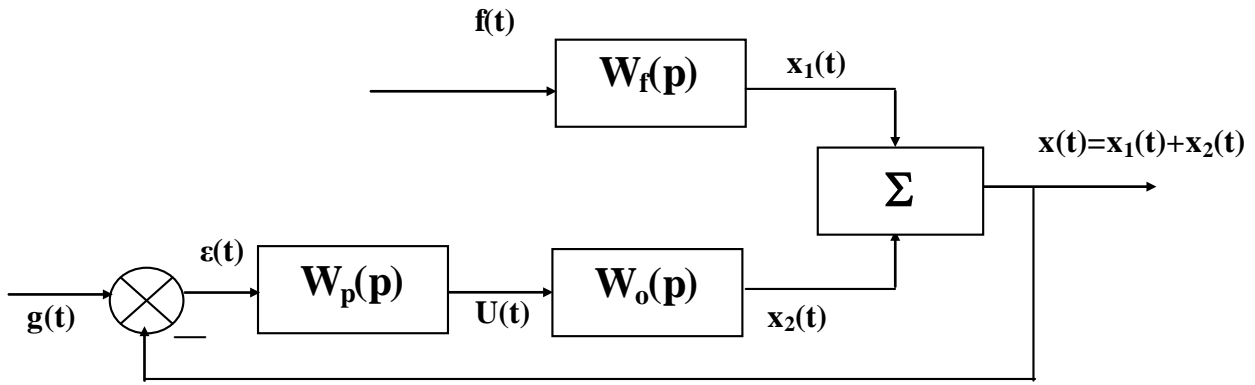


Рисунок 1 — Структурная схема АСР

Передаточная функция

- изодромного регулятора (ПИ-регулятора) имеет вид:

$$W_p(p) = \pm \frac{C_1 p + C_0}{p} \quad (2)$$

- непрерывного ПИД-регулятора имеет вид:

$$W_p(p) = \pm \frac{C_2 p^2 + C_1 p + C_0}{p}, \quad (3)$$

где C_0 , C_1 , C_2 — настроечные параметры регулятора.

Для устойчивости системы знак передаточной функции регулятора выбирается противоположным знаком передаточной функции объекта по отношению к управлению $W_o(p)$, если обратная связь положительна и, наоборот, при отрицательной обратной связи знаки передаточных функций $W_o(p)$ и $W_p(p)$ должны быть одинаковы.

Подставим в (1) передаточную функцию ПИ-регулятора (2). Получим:

$$W_c(p) = \frac{W_f(p)}{1 + W_o(p) \cdot \frac{C_1 p + C_0}{p}} \quad (4)$$

Тогда изображение по Лапласу переходной функции системы будет равно

$$X(p) = \frac{1}{p} \cdot W_f(p) = \frac{W_f(p)}{p + W_o(p) \cdot (C_1 p + C_0)}. \quad (5)$$

Форма переходной функции зависит от корней характеристического уравнения системы

$$p + W_o(p) \cdot (C_1 p + C_0) = 0, \quad (6)$$

которые в свою очередь зависят от выбора параметров настройки изодромного регулятора C_1 и C_0 . Эти параметры должны быть в определенном смысле оптимальны.

Имеется много подходов к выбору оптимальных параметров настройки регулятора. Один из самых популярных состоит в выборе параметров по заданной степени затухания

$$\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1}, \quad (7)$$

где A_1 — первая амплитуда; A_3 — третья амплитуда процесса регулирования.

Степень затухания ψ и показатель колебательности m связаны соотношением

$$\psi = 1 - e^{-2\pi m}, \quad (8)$$

где $2\pi m$ — логарифмический декремент затухания.

При исследовании систем на устойчивость часто представляет интерес не только факт существования устойчивости или неустойчивости, но и определение пределов изменения значений одного или нескольких параметров в области, внутри которой система сохраняет устойчивость.

Методика построения областей была разработана Ю.И. Неймарком и называется методом D-разбиения плоскости параметров.

Метод D-разбиения заключается в разделении пространства параметров на области с равным числом l правых корней ($l=0, 1, 2, \dots$). Границей области будут такие значения неизвестных параметров, при которых хотя бы пара комплексно-сопряженных корней лежит на мнимой оси.

Неизвестные параметры системы управления, соответствующие границе устойчивости, определяются из характеристического уравнения замкнутой системы управления при $p = j\omega$.

Для одноконтурной системы управления с передаточной функцией разомкнутой системы

$$W(p) = W_0(p)W_p(p) = ke^{-p\tau_0}(C_1p+C_0)/((a_2p^2+a_1p+1)p) \quad (9)$$

характеристическое уравнение имеет вид:

$$D(p) = a_2p^3+a_1p^2+p+C_1ke^{-p\tau_0}p+C_0ke^{-p\tau_0} = 0. \quad (10)$$

Подставив $p = j\omega$ и, разделяя полученное уравнение на вещественную и мнимую части, получим (учитывая $e^{-jx} = \cos x - j\sin x$):

$$\begin{aligned} -a_1\omega^2 + C_0k(\cos \omega\tau_0 - j\sin \omega\tau_0) - ja_2\omega^3 + j\omega + j\omega C_1k(\cos \omega\tau_0 - j\sin \omega\tau_0) &= 0, \\ \begin{cases} C_1\omega k \sin \omega\tau_0 + C_0k \cos \omega\tau_0 - a_1\omega^2 = 0; \\ C_1\omega k \cos \omega\tau_0 - C_0k \sin \omega\tau_0 - a_2\omega^3 + \omega = 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (11)$$

Решение полученной системы уравнения приводит к следующему выражению:

$$C_1 = \frac{1}{k}(a_1\omega \sin \omega\tau + a_2\omega^2 \cos \omega\tau - \cos \omega\tau), \quad (12)$$

$$C_0 = \frac{1}{k}(-a_2\omega^3 \sin \omega\tau + a_1\omega^2 \cos \omega\tau + \omega \sin \omega\tau). \quad (13)$$

Значения C_0, C_1 при изменении частоты от 0 до ∞ дадут границу области устойчивости. Для выделения области устойчивости нужно нанести штриховку слева от границы области устойчивости, если определитель системы положителен, и справа, если определитель отрицателен.

Для полученной системы (11) определитель равен:

$$\Delta = \begin{vmatrix} k\omega \sin \omega\tau_0 & k \cos \omega\tau_0 \\ k\omega \cos \omega\tau_0 & -k \sin \omega\tau_0 \end{vmatrix} = -k^2\omega. \quad (14)$$

Для определения неизвестных параметров системы регулирования, обеспечивающих требуемую степень затухания переходного процесса, в ха-

ракурсивное уравнение (10) делается подстановка $p = j\omega - m\omega$, что обеспечивает требуемое отношение мнимой и вещественной составляющих корней характеристического уравнения. В результате преобразования получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} C_1 k \omega \sin \omega \tau e^{m\omega \tau} - C_1 k m \omega \cos \omega \tau e^{m\omega \tau} + k C_0 \cos \omega \tau e^{m\omega \tau} + A_1 &= 0, \\ C_1 k \omega \cos \omega \tau e^{m\omega \tau} + C_1 k m \omega \sin \omega \tau e^{m\omega \tau} - C_0 k \sin \omega \tau e^{m\omega \tau} + A_2 &= 0, \end{aligned} \quad (15)$$

где $A_1 = 3a_2 m \omega^3 - a_2 m^3 \omega^3 - a_1 \omega^2 + a_1 m^2 \omega^2 - m\omega = a_2 m \omega^3 (3 - m^2) + a_1 \omega^2 (m^2 - 1) - m\omega$,

$A_2 = -a_2 \omega^3 + 3a_2 m^2 \omega^3 - 2a_1 m \omega^2 + \omega = a_2 \omega^3 (3m^2 - 1) - 2a_1 m \omega^2 + \omega$.

Решение системы уравнений (15) имеет вид:

$$\begin{aligned} C_1 &= -\frac{1}{k} e^{-m\omega \tau} [A_1 \sin \omega \tau + A_2 \cos \omega \tau]; \\ C_0 &= -\frac{1}{k} e^{-m\omega \tau} [(A_1 m + A_2) \sin \omega \tau - (A_2 m + A_1) \cos \omega \tau]. \end{aligned} \quad (16)$$

При изменении частоты от 0 до ∞ получим линию равной степени затухания в плоскости параметров C_0, C_1 , вдоль которой степень затухания переходного процесса одинакова (рисунок 3), но различны значения динамической ошибки. Поэтому для выбора оптимальной точки на этой линии необходимо дополнительно привлечь к рассмотрению какой-либо другой критерий оптимальности, например, первую интегральную оценку качества процесса регулирования (см. рисунок 2).

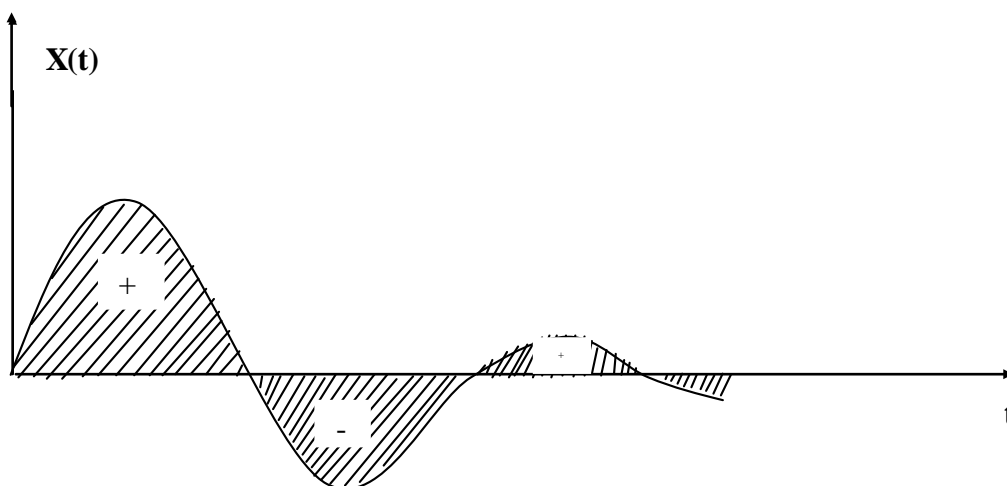


Рисунок 2 — Первая интегральная оценка

Первая интегральная оценка имеет следующий вид:

$$I_1 = \int_0^{\infty} x(t) dt. \quad (17)$$

Чем меньше ее значение при заданной степени затухания $\psi(m)$, тем выше качество процесса регулирования. Первая интегральная оценка легко определяется по изображению переходной функции. Действительно,

$$I_1 = \lim_{p \rightarrow 0} \int_0^{\infty} x(t) \cdot e^{-pt} dt = \lim_{p \rightarrow 0} X(p) = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{W_f(p)}{p + W_o(p) \cdot (C_1 p + C_0)} = \frac{W_f(0)}{W_o(0) \cdot C_0}. \quad (18)$$

Из (18) следует, что, при прочих равных условиях, первая интегральная оценка принимает минимальное значение на линии равного затухания, когда параметр C_0 достигает максимума.

Оптимальным параметрам будет соответствовать точка правее вершины (точка А).

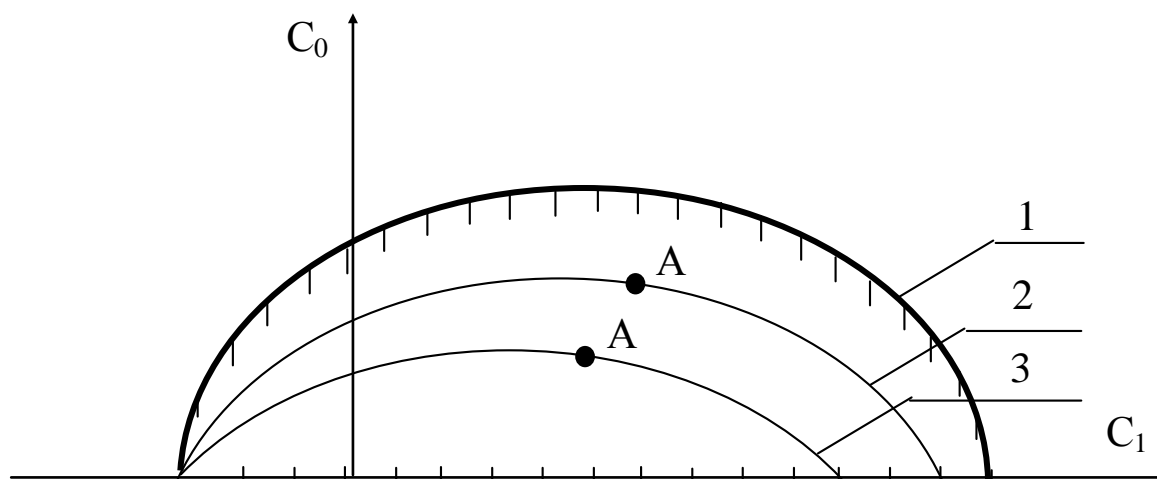


Рисунок 3 — Разбиение области устойчивости в плоскости параметров настройки ПИ-регулятора: 1 — граница области устойчивости ($m = 0$); 2 — кривая равной степени затухания ($m = 0,221$); 3 — кривая равной степени затухания ($m = 0,366$)

Как видно из рисунка 3, в интересующем нас интервале $0 \leq \omega \leq \omega_1$ параметр $C_0(m, \omega)$ — выпуклая, унимодальная функция ω . В силу этого для нахождения максимума $C_0(m, \omega)$ целесообразно использовать метод после-

довательного поиска экстремума с адаптацией длины шага $\Delta\omega$. Блок-схема алгоритма такого поиска представлена на рисунке 4.

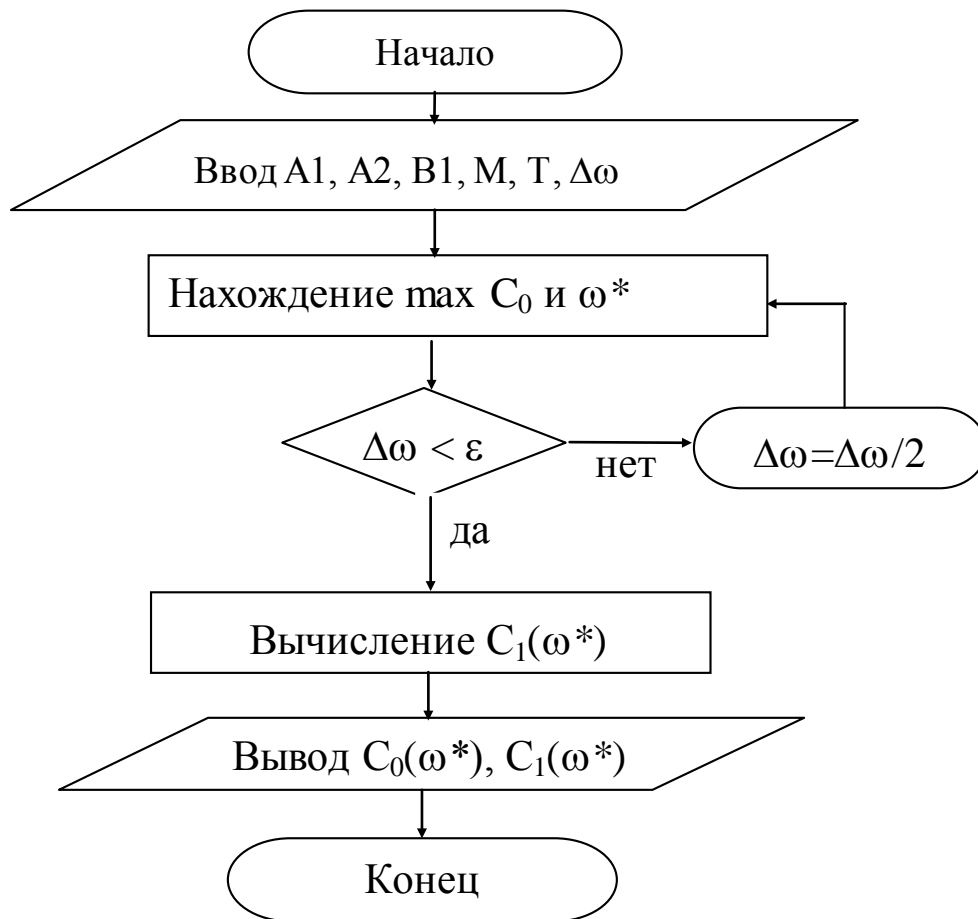


Рисунок 4 — Блок-схема алгоритма

При определении значений параметров настройки в случае применения ПИД-регулятора необходимо в (1) подставить передаточную функцию регулятора (3). В этом случае получим:

$$W_c(p) = \frac{W_f(p)}{1 + W_o(p) \cdot \frac{C_2 p^2 + C_1 p + C_0}{p}} \quad (19)$$

или

$$W_c(p) = \frac{W_f(p)}{1 + \frac{ke^{-\tau_0 p}}{a_2 p^2 + a_1 p + 1} \cdot \frac{C_2 p^2 + C_1 p + C_0}{p}} \quad (20)$$

Характеристическое уравнение примет вид:

$$ke^{-\tau p}(C_2 p^2 + C_1 p + C_0) + p(a_2 p^2 + a_1 p + 1) = 0. \quad (21)$$

Подставив в уравнение (21) $p = j\omega$ и, разделяя полученное уравнение на вещественную и мнимую части, получим (учитывая $e^{-jx} = \cos x - j \sin x$):

$$-kC_2 \omega^2 \cos \omega \tau_0 + kC_0 \cos \omega \tau_0 + kC_1 \omega \sin \omega \tau_0 - a_1 \omega^2 = 0, \quad (22)$$

$$kC_1 \omega \cos \omega \tau_0 + kC_2 \omega^2 \sin \omega \tau_0 - kC_0 \sin \omega \tau_0 - a_2 \omega^3 + \omega = 0. \quad (23)$$

Решение уравнений (22) и (23) относительно C_1 или C_0 при $p = j\omega$ имеет вид:

$$C_1(\omega) = +\frac{1}{k} [a_1 \omega \sin \omega \tau_0 + a_2 \omega^2 \cos \omega \tau_0 - \cos \omega \tau_0] \quad (24)$$

$$C_0(\omega) = -\frac{1}{k} [a_2 \omega^3 \sin \omega \tau_0 - \omega \sin \omega \tau_0 - a_1 \omega^2 \cos \omega \tau_0 - kC_2 \omega^2] \quad (25)$$

Параметры системы управления, обеспечивающие требуемую степень затухания переходного процесса, определяются из выражений:

$$C_1(\omega) = -\frac{1}{\omega k} e^{-m\omega \tau_0} [A_1 \sin \omega \tau_0 + A_2 \cos \omega \tau_0] + 2C_2 m \omega. \quad (26)$$

$$C_0(\omega) = -\frac{1}{k} e^{-m\omega \tau_0} [(A_1 m - A_2) \sin \omega \tau_0 + (A_2 m + A_1) \cos \omega \tau_0] + C_2 \omega^2 (m^2 + 1), \quad (27)$$

где $A_1 = a_2 m \omega^3 (3 - m^2) + a_1 \omega^2 (m^2 - 1) - m\omega$; $A_2 = a_2 \omega^3 (3m^2 - 1) - 2a_1 m \omega^2 + \omega$.

В автоматических системах регулирования с запаздыванием по каналу регулирования переходный процесс определяется выражением:

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \operatorname{Re}(\omega) \frac{\sin \omega t}{\omega} d\omega, \quad (28)$$

где $\operatorname{Re}(\omega)$ — вещественная частотная характеристика (ВЧХ) замкнутой автоматической системы;

$h(t)$ — переходная функция.

Как правило, интегрирование в правой части (28) встречает непреодолимые математические трудности. Поэтому практически всегда в указанном случае ординаты переходной функции находятся путем интегрирования выражения (28) численными методами.

Вещественная частотная характеристика системы $Re(\omega)$ — убывающая функция аргумента ω .

График вещественной частотной характеристики автоматической системы регулирования с передаточной функцией (2) имеет вид, представленный на рисунке 5.

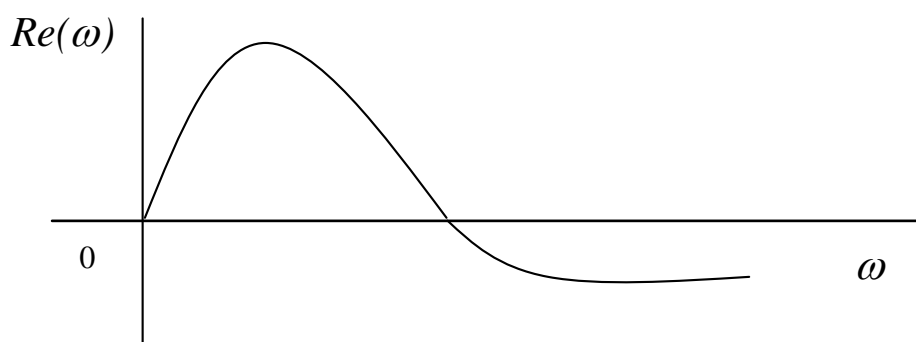


Рисунок 5 — График вещественной частотной характеристики

Численное интегрирование в бесконечном интервале, как это предписывает выражение (28), невозможно. Поэтому верхний предел интегрирования ограничивают частотой среза, в качестве которой принимается частота, начиная с которой модуль вещественной частотной характеристики становится и остается меньше наперед выбранного значения малой величины. В качестве последней может быть принято 5% максимальной ординаты ВЧХ. Таким образом, вначале необходимо найти по графику максимальное значение ординаты ВЧХ, т.е. $\max Re(\omega)$, а затем определить значение $Re(\omega_{cp}) = 0,05 \max Re(\omega)$.

Далее строим график переходного процесса системы по формуле:

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\omega_{cp}} \operatorname{Re}(\omega) \frac{\sin \omega t}{\omega} d\omega, \quad (29)$$

где ω_{cp} — частота среза, определенная по графику вещественной частотной характеристики автоматической системы регулирования

При практическом использовании АСР к ним предъявляются не только требования устойчивости. Наряду с этим важны другие динамические свойства, которые в общей совокупности характеризуют качество процесса регулирования. К таким динамическим свойствам относятся:

- а) поведение системы в начальный момент сразу после приложения возмущения;
- б) характер поведения регулируемой величины в переходном режиме;
- в) поведение системы при приближении к новому установившемуся состоянию;
- г) длительность перехода системы из одного установившегося состояния в другое.

Если при рассмотрении устойчивости АСР величина возмущающего воздействия и состояние системы, предшествующее ее переходному режиму (покой, равномерное движение и т. п.), не являются определяющими (так как изучалось предельное состояние системы, на которое они не оказывают влияния), то при исследовании качества переходных процессов эти факторы имеют решающее значение.

Основные показатели качества процесса регулирования линейных систем следующие:

1. **Время переходного процесса t_n** 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.

2. **Статическая ошибка регулирования** — отклонение регулируемой величины от заданного значения по окончании переходного процесса.

3. **Максимальное отклонение** $\max x(t)$ — отклонение, вызванное возмущением, определяется величиной A_1 .

4. **Перерегулирование** — максимальное отклонение, вычисленное относительно нового установившегося значения $X_{уст}$, пропорционального или равного заданному воздействию $X_{зд}$:

$$\sigma = \frac{\Delta X_{\max} - X_{уст}}{X_{уст}} \cdot 100\%.$$

В большинстве случаев требуется, чтобы перерегулирование не превышало 10-30%.

5. **Колебательность переходного процесса** — оценивается отношением соседних максимумов A_2/A_1 и выражается в %. Переходный процесс обычно должен иметь 1-2 колебания, но допускается до 3-4 колебаний.

6. **Степень затухания** — отношение разности двух соседних положительных максимумов переходного процесса к первому из соседних максимумов:

$$\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = 1 - \frac{A_3}{A_1},$$

где A_1 и A_3 — амплитудные значения ординат процесса регулирования.

2.3. ЗАДАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Работа выполняется на ПЭВМ каждым студентом самостоятельно. Значения коэффициентов a_1 , a_2 , b_1 передаточной функции объекта управления берутся из отчета о выполнении лабораторной работы «Идентификация технологических объектов управления».

Для построения области устойчивости в плоскости настроечных параметров регулятора необходимо ввести значение показателя колебательности $m = 0$.

Для построения кривой равной степени затухания ввести значения показателя колебательности $m = 0,221$ и (или) $m = 0,366$.

1. На одном из терминалов отлаживается программа «WINMNC».
2. В оперативную память ЭВМ вводятся данные a_1 , a_2 , b_1 , H_1 , T , M .
3. На экран дисплея выводятся и распечатываются на принтере значения параметров системы управления:
 - соответствующие границе устойчивости;
 - обеспечивающие требуемую степень затухания переходного процесса.
4. Определяются оптимальные параметры настройки исследуемого регулятора.
5. Строится ВЧХ и рассчитывается переходный процесс.
6. Определяются показатели качества процесса регулирования.

2.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель лабораторной работы.
2. Программа исследований.
3. Результаты расчета области устойчивости и кривой равной степени затухания в плоскости настроечных параметров регулятора (тип регулятора задается устно преподавателем).
4. Графики выделения области устойчивости в пространстве параметров настройки регулятора и кривых равной степени затухания.
5. График ВЧХ.
6. График кривой переходного процесса.

2.5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как рассчитываются параметры настройки непрерывного регулятора?
2. Что такое степень затухания процесса регулирования?
3. Какая существует зависимость между степенью затухания и степенью колебательности?

4. Какой геометрический смысл имеет первая интегральная оценка качества процесса регулирования?
5. Какова связь между переходной функцией и ВЧХ системы?
6. Что такое частота среза?
7. Как определить частоту среза по графику ВЧХ?
8. Как определяется продолжительность процесса регулирования?
9. Как определяется перерегулирование?
10. Как определяется статическая ошибка регулирования?
11. Что такое колебательность и ее оценка?
12. Как определяется максимальное динамическое отклонение?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

СИНТЕЗ АСР ТЕМПЕРАТУРЫ В ОБЪЕКТЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ

3.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Практическое изучение работы технологического аппарата (объекта регулирования), составление схемы автоматизации, выбор и обоснование средств автоматизации.
- Выбор регулятора, расчет его настроек и построение переходного процесса в АСР.

3.2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Пусть заданы следующие исходные данные:

$$K_{об} = 0,55 \frac{^{\circ}\text{C}}{\% \text{ х.и.м.}}; T_{об} = 10 \text{ мин}; \tau = 4 \text{ мин}; X_1 = 9 \text{ }^{\circ}\text{C}; \Delta_q = 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}; t_p = 50 \text{ мин};$$

$$\frac{X_2}{X_1} \cdot 100\% = 10\%; \varphi = 10\% \text{ х.и.м.}; X_{вх}(t) = \varphi; X_{вых}(t) = \Delta\theta_{вых}(t).$$

Расчет переходной характеристики объекта регулирования

Согласно заданию, объект регулирования представляет собой инерционное звено первого порядка с запаздыванием, и при скачкообразном воздействии на входную величину изменение выходной величины называют переходной характеристикой:

$$X_{вых}(t) = k_{об} X_{вх}(t) \left(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T_{об}}}\right);$$
$$\Delta\theta_{вых}(t) = k_{об} \varphi \left(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T_{об}}}\right) = 5,5 \left(1 - e^{-\frac{t-4}{10}}\right).$$

Задаваясь разными значениями t , получаем $\Delta\theta_{вых}(t)$ и строим переходную характеристику объекта регулирования (рисунок 1).

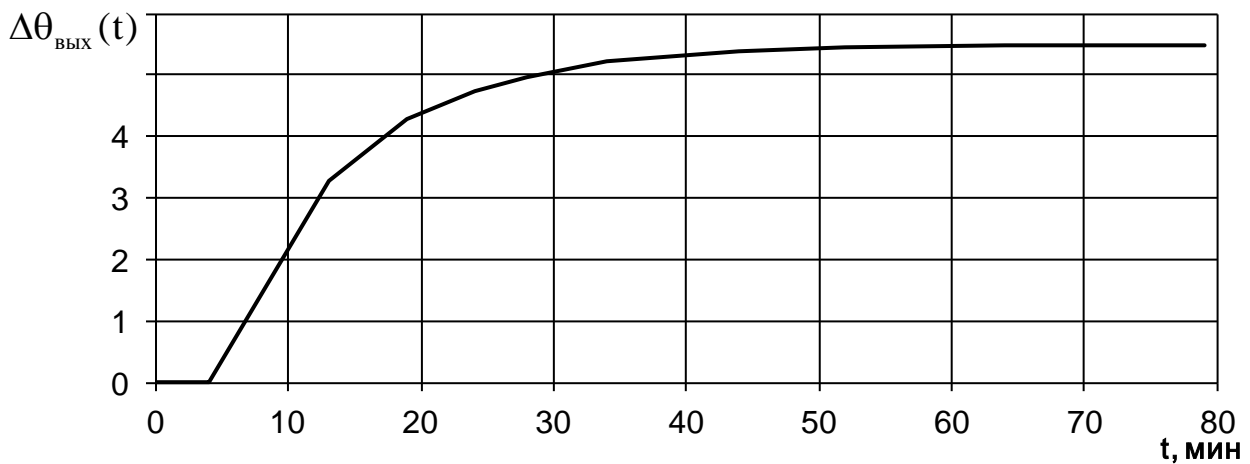


Рисунок 1 – Переходная характеристика объекта регулирования

Выбор регулятора для АСР

При выборе регулятора прежде всего определяется необходимый вид регулирования — непрерывный, позиционный или импульсный. Для этого вычисляют отношение времени запаздывания τ к постоянной времени $T_{об}$. Если это отношение меньше 0,2, то выбирают позиционный вид регулирования; если отношение находится в пределах от 0,2 до 1, то выбирают непрерывный вид регулирования; если отношение больше 1, то выбирают импульсный регулятор. Так как в рассматриваемом случае отношение $\tau / T_{об}$ равно 0,4, то для АСР подходит непрерывный вид регулирования.

Далее необходимо определить закон регулирования непрерывного регулятора (П, ПИ, И или ПИД). Для этого сначала определяют вид типового переходного процесса, который должен иметь место в АСР. Если заданная величина перерегулирования равна 0, то выбирают апериодический переходный процесс; если эта величина находится в пределах от 10 до 30, то выбирают переходный процесс с 20-процентным перерегулированием; если же перерегулирование больше 30, то выбирают процесс с $\min \int_0^{\infty} X_{вых}^2(t) dt$. В данном случае выбираем переходный процесс с 20%-ным перерегулированием $((X_2 / X_1)100\% = 10\%)$.

Для определения закона регулирования регулятора рассчитывается динамический коэффициент регулирования:

$$R_g = \frac{X_1}{k_{об} \cdot \varphi}$$

В рассматриваемом случае этот коэффициент равен:

$$R_g = \frac{9}{0,55 \cdot 10} = 1,64.$$

По графику (рисунок 2) для переходного процесса с 20%-ным перерегулированием для отношения $\tau/T_{об}$, равного 0,4, находим, что все кривые (т.е. все законы регулирования) обеспечивают величину R_g меньшую допустимой (1,64). Следовательно, в АСР с этой точки зрения могут быть использованы все четыре закона регулирования.

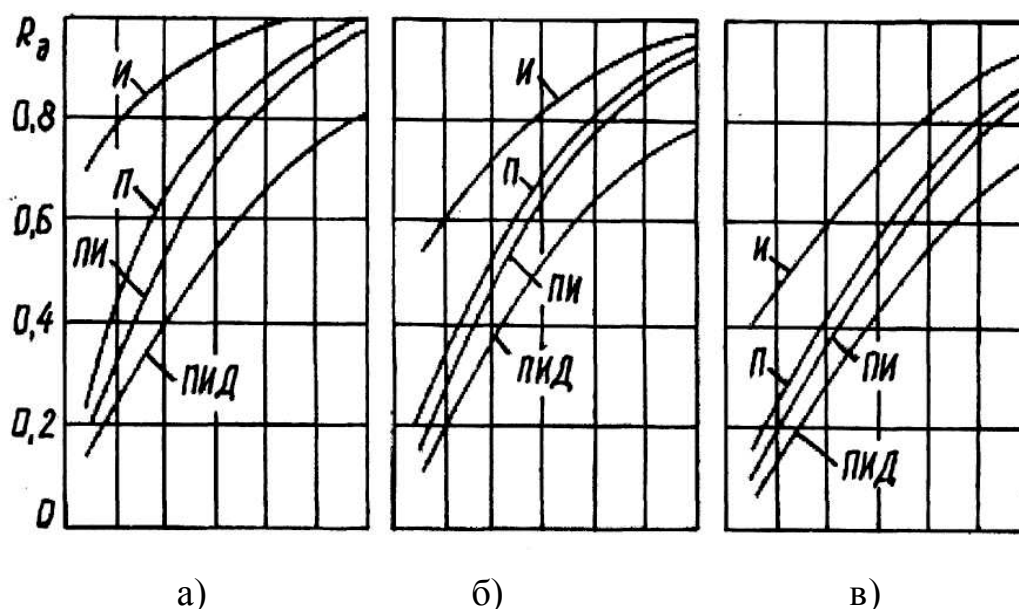


Рисунок 2 – Динамические коэффициенты регулирования на статических объектах: а — апериодический процесс; б — процесс с 20%-ным перерегулированием; в — процесс с $\min \int_0^{\infty} X_{вых}^2(t) dt$

Теперь определяем, при каком законе регулирования обеспечивается допустимое время регулирования. Вычисляем относительное время регули-

рования t_p/τ при помощи графиков (рисунок 3) и находим, что отдельные регуляторы (П, И, ПИ, ПИД) обеспечивают его величину соответственно равной 7, 27, 12, 8 (или время регулирования соответственно равно 28, 108, 48, 32 мин).

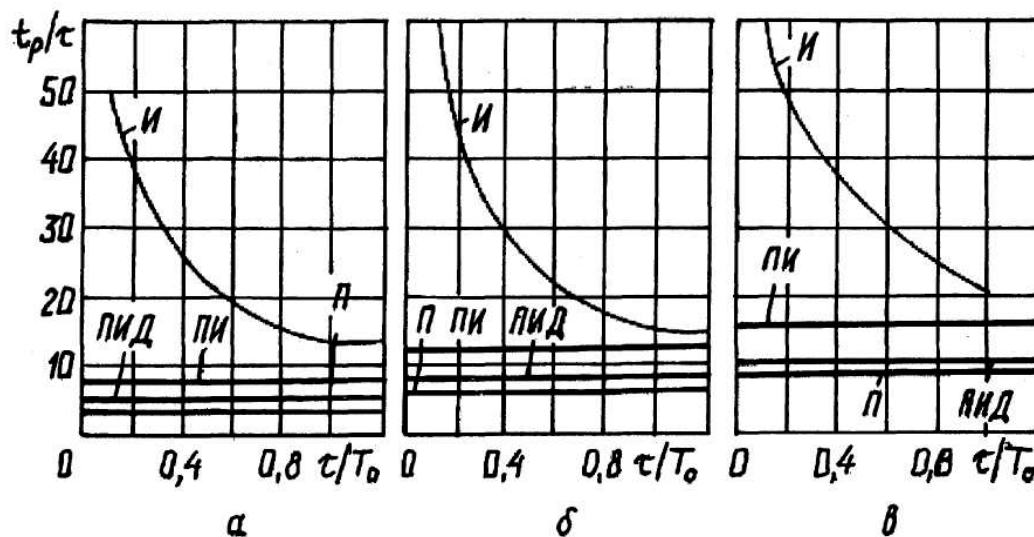


Рисунок 3 – Время регулирования на статических объектах: а — апериодический процесс; б — процесс с 20%-ным перерегулированием; в — процесс с $\min \int_{\infty}^0 X_{\text{ВЫХ}}^2(t)dt$

Следовательно, из общего числа регуляторов, которые могут быть применены в АСР, следует исключить И-регулятор. Так как в АСР должен быть использован самый простой и дешевый регулятор, а из оставшихся таким является П-регулятор, то определим величину остаточного отклонения регулируемого параметра, которую обеспечивает этот регулятор. В соответствии с графиками (рисунок 4) определяем, что для кривой процесса с 20%-ным перерегулированием при $\tau/T_{06} = 0,4$ значение относительного остаточного отклонения $\Delta^l = y_{\text{ст}} = 39\%$. Затем из формулы $\Delta^l = (\Delta / k_{06}\phi)100\%$ после преобразования определим:

$$\Delta = \frac{\Delta^l}{100\%} \cdot k_{06} \cdot \phi = \frac{39}{100} \cdot 0,55 \cdot 10 = 2,14^\circ \text{С}.$$

Значение $\Delta = 2,14^{\circ}\text{C}$ больше заданного $\Delta_g = 0,5^{\circ}\text{C}$, следовательно, и П-регулятор не может быть применен в АСР.

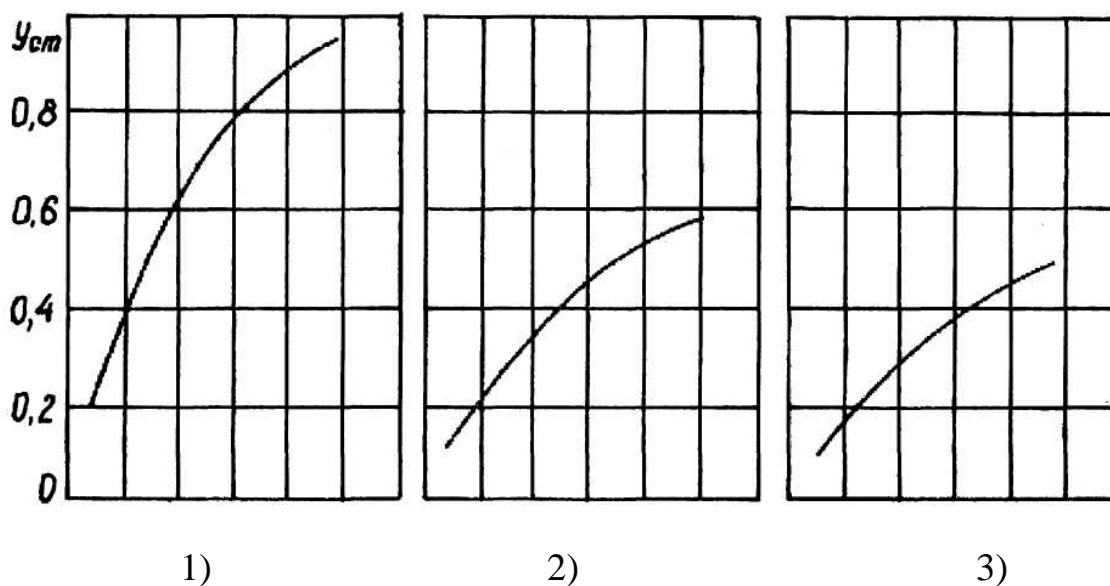


Рисунок 4 — Остаточное отклонение на статических объектах:
 1 — аperiodический процесс; 2 — процесс с 20%-ным перерегулированием;
 3 — процесс с $\min \int_0^{\infty} X_{\text{ВЫХ}}^2(t) dt$

Из оставшихся ПИ и ПИД-регуляторов, которые обеспечивают остаточное отклонение $\Delta = 0$ (так как в их законах регулирования присутствует интегрирующая составляющая), наиболее простым и дешевым является ПИ-регулятор. Следовательно, этот регулятор и должен быть применен в проектируемой АСР.

Расчет настроек регулятора

Расчет коэффициентов, входящих в передаточную функцию регулятора, может быть произведен при помощи графиков или при помощи формул из таблицы 1. В нашем примере используем табличные формулы и получим следующие значения коэффициентов:

$$K_p = \frac{0,7 \cdot T_{\text{ОБ}}}{k_{\text{ОБ}} \cdot \tau} = \frac{0,7 \cdot 10}{0,55 \cdot 4} = 3,18 \frac{\% \text{ х.и.м.}}{^{\circ}\text{C}},$$

$$T_{\text{П}} = 0,7 \cdot T_{\text{об}} = 7 \text{ мин.}$$

В итоге мы получаем выражение для передаточной функции регулятора и значение всех коэффициентов, входящих в эту функцию:

$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{иp}}\right) = 3,18 \cdot \left(1 + \frac{1}{7p}\right).$$

Для других типов регуляторов передаточные функции имеют вид:

$$W_p(p) = K_p \text{ (П-регулятор); } W_p(p) = \frac{1}{T_{иp}} \text{ (И-регулятор);}$$

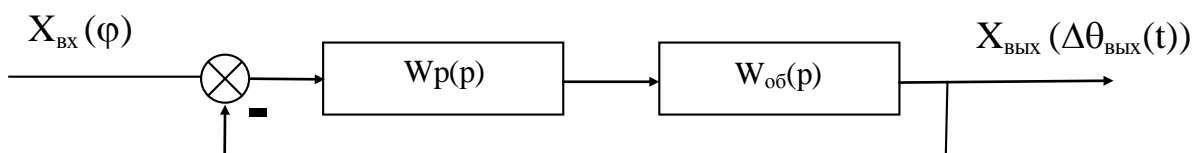
$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{иp}} + T_{дp}\right) \text{ (ПИД-регулятор).}$$

Таблица 1

Тип регулятора	Апериодический переходной процесс с минимальным временем регулирования	Переходной процесс с 20%-ным перерегулированием	Переходной процесс с минимальной квадратичной площадью отклонения
1	2	3	4
П	$K_p = \frac{0,3 \cdot T_{об}}{k_{об} \cdot \tau}$	$K_p = \frac{0,7 \cdot T_{об}}{k_{об} \cdot \tau}$	$K_p = \frac{0,9 \cdot T_{об}}{k_{об} \cdot \tau}$
И	$T_{и} = 4,5 \cdot k_{об} \cdot T_{об}$	$T_{и} = 1,7 \cdot k_{об} \cdot T_{об}$	$T_{и} = 1,7 \cdot k_{об} \cdot T_{об}$
ПИ	$K_p = \frac{0,6 \cdot T_{об}}{k_{об} \cdot \tau}$ $T_{и} = 0,6 \cdot T_{об}$	$K_p = \frac{0,7 \cdot T_{об}}{k_{об} \cdot \tau}$ $T_{и} = 0,7 \cdot T_{об}$	$K_p = \frac{T_{об}}{k_{об} \cdot \tau}$ $T_{и} = T_{об}$
ПИД	$K_p = \frac{0,95 \cdot T_{об}}{k_{об} \cdot \tau}$ $T_{д} = 2,4 \cdot \tau$ $T_{и} = 0,4 \cdot \tau$	$K_p = \frac{1,2 \cdot T_{об}}{k_{об} \cdot \tau}$ $T_{д} = 2,0 \cdot \tau$ $T_{и} = 0,4 \cdot \tau$	$K_p = \frac{1,4 \cdot T_{об}}{k_{об} \cdot \tau}$ $T_{д} = 1,3 \cdot \tau$ $T_{и} = 0,5 \cdot \tau$

Проверка правильности выбора регулятора

Структурная схема проектируемой АСР имеет вид:



В соответствии с этой схемой общая передаточная функция АСР следующая:

$$W(p) = \frac{W_{\text{ОБ}}(p) \cdot W_{\text{Р}}(p)}{1 + W_{\text{ОБ}}(p) \cdot W_{\text{Р}}(p)} = \frac{\frac{k_{\text{ОБ}}}{T_{\text{ОБ}}p + 1} \cdot e^{-\tau p} \cdot \frac{K_{\text{Р}} T_{\text{ИР}} p + K_{\text{Р}}}{T_{\text{ИР}} p}}{1 + \frac{k_{\text{ОБ}}}{T_{\text{ОБ}}p + 1} \cdot e^{-\tau p} \cdot \frac{K_{\text{Р}} T_{\text{ИР}} p + K_{\text{Р}}}{T_{\text{ИР}} p}} =$$

$$= \frac{k_{\text{ОБ}} e^{-\tau p} (K_{\text{Р}} T_{\text{ИР}} p + K_{\text{Р}})}{T_{\text{ИР}} p (T_{\text{ОБ}} p + 1) + k_{\text{ОБ}} e^{-\tau p} (K_{\text{Р}} T_{\text{ИР}} p + K_{\text{Р}})} = \frac{k_{\text{ОБ}} e^{-\tau p} (K_{\text{Р}} T_{\text{ИР}} p + K_{\text{Р}})}{k_{\text{ОБ}} (K_{\text{Р}} T_{\text{ИР}} p + K_{\text{Р}}) + T_{\text{ИР}} p (T_{\text{ОБ}} p + 1) e^{-\tau p}}$$

Для проверки правильности выбора регулятора необходимо воспользоваться методом построения переходного процесса АСР, определить качественные показатели по полученной кривой и сравнить их с заданными.

Составление схемы автоматизации

Пример схемы автоматизации теплообменника смешения изображен на рисунке 5:

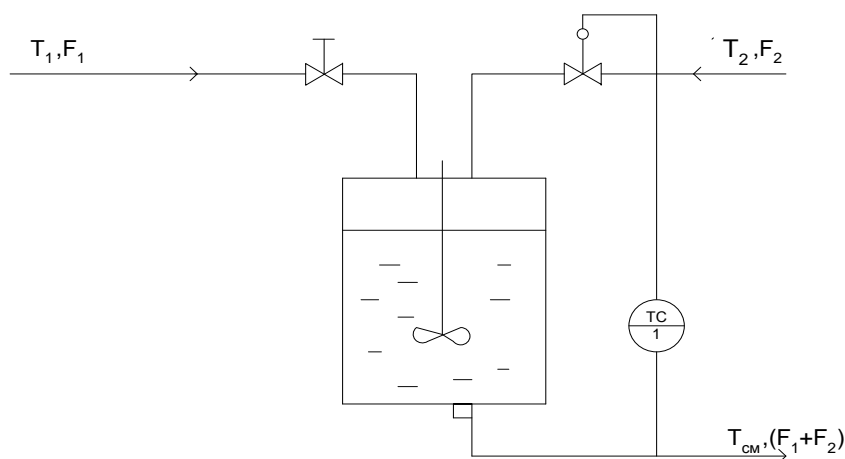


Рисунок 5 – Схема автоматизации теплообменника смешения

Регулирование теплообменников смешения заключается в поддержании постоянства температуры $T_{\text{см}}$ суммарного потока на выходе. Входными величинами теплообменника являются расходы жидкостей на входе (F_1 и F_2) и их температуры (T_1 и T_2). Если $T_2 > T_{\text{см}} > T_1$, а также если удельные теплоемкости и плотности жидкостей обоих потоков одинаковы, то зависимость $T_{\text{см}}$ от входных величин находится из уравнения теплового баланса (потери пренебрегаем):

$$T_{\text{см}} = T_1 + \frac{F_2}{F_1 + F_2} (T_2 - T_1).$$

Температуру $T_{\text{см}}$ обычно стабилизируют посредством изменения расхода одного из входных потоков с помощью одноконтурной АСР температуры (поз. 1).

Температура в аппарате измеряется термопарой типа ТХК (поз. 1-1), сигнал с которой поступает на преобразователь Ш-705 (поз. 1-2) для усиления и нормирования. Операции контроля и регулирования реализуются программным путем. Регулирующее воздействие поступает на электропневматический преобразователь ЭПП-1 (поз. 1-3), а затем в виде сигнала $0,2 \dots 1$ кгс/см² на исполнительный механизм (поз. 1-4), который перемещает плунжер регулирующего клапана, изменяющего подачу одного из входных потоков в аппарат таким образом, чтобы устранить нежелательное отклонение температуры.

Схема автоматизации развернутая приведена на рисунке 6.

Спецификация

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		1-1	ТХК	Преобразователь термоэлектрический	1	
		1-2	Ш-705	Преобразователь нормирующий	1	гр.ХК; - 50÷200 ⁰ С
		1-3	ЭПП-1	Преобразователь электропневматический	1	
		1-4	25 с 48 нж	Клапан регулирующий	1	

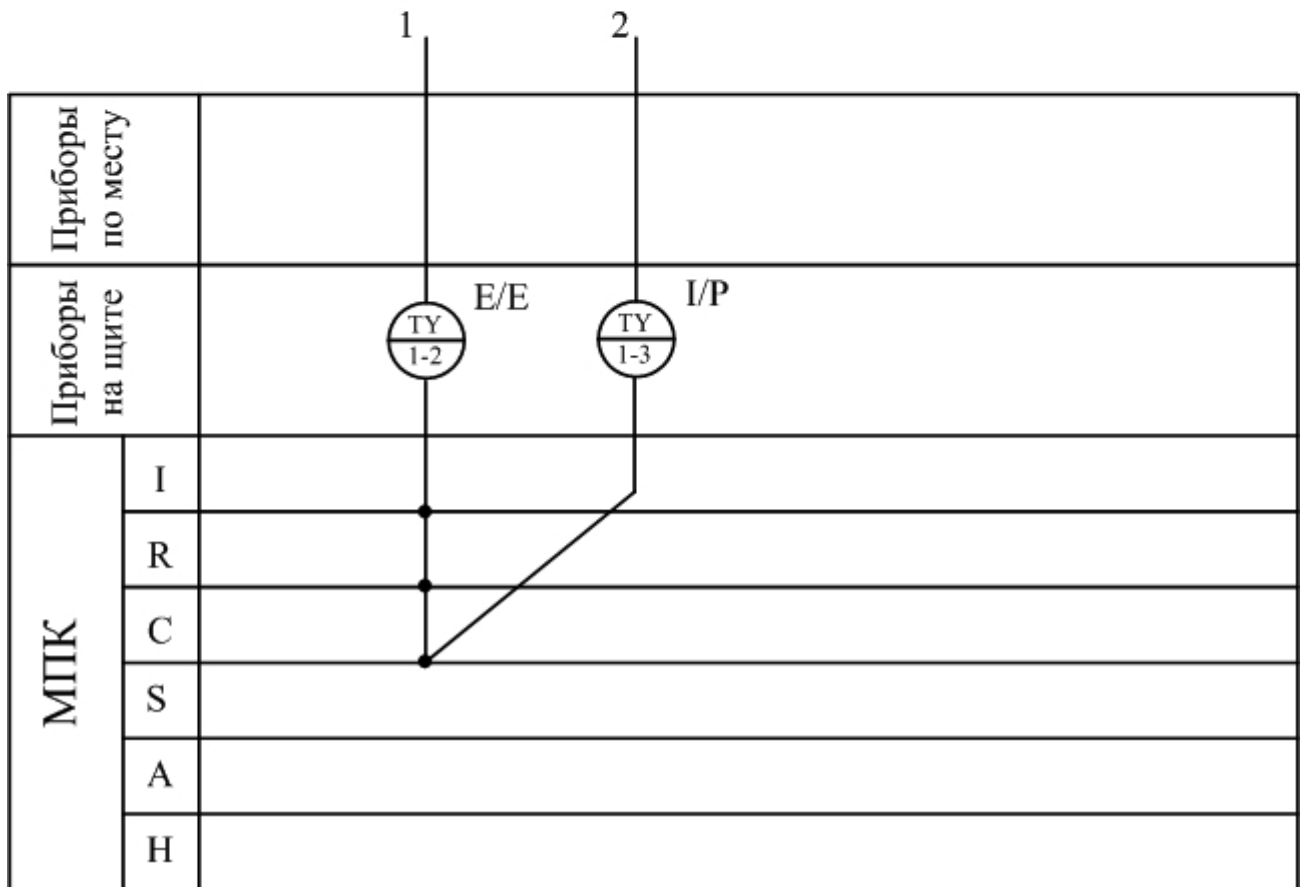
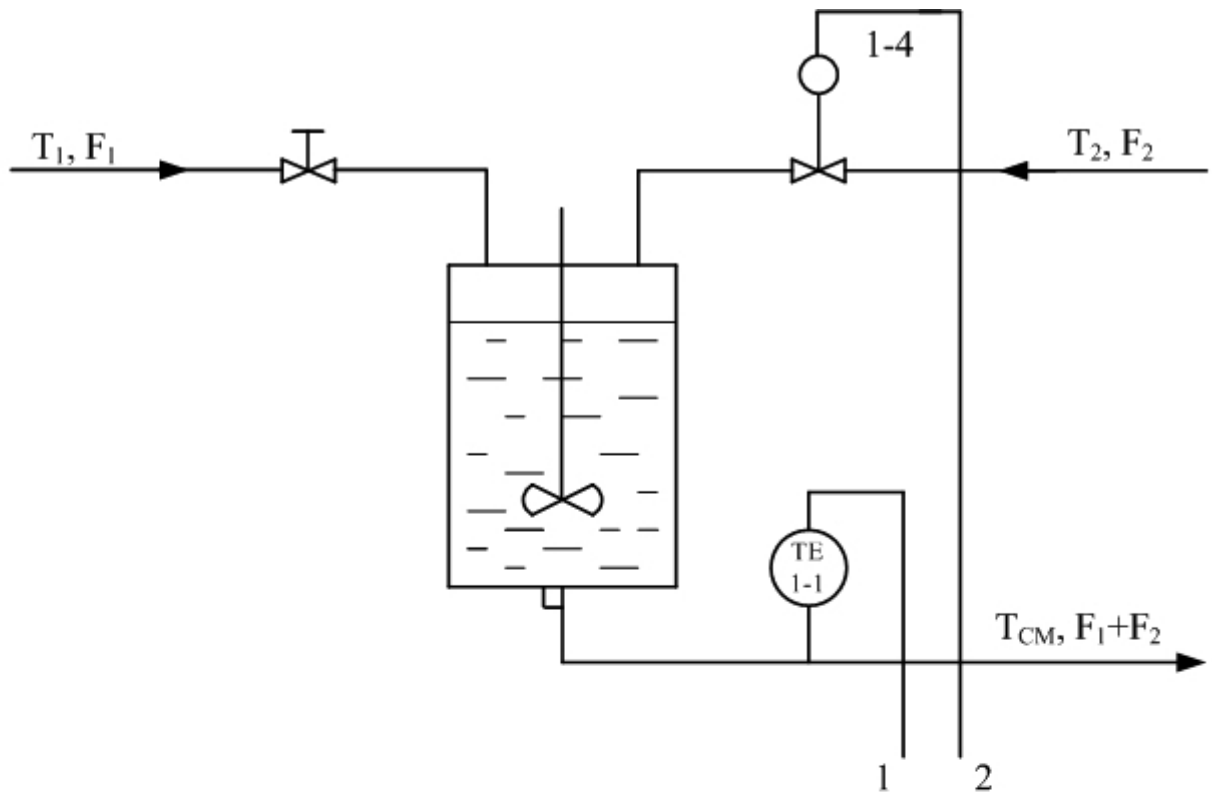


Рисунок 6 – Схема автоматизации (развернутая)

3.3. ЗАДАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Дать краткое описание работы технологического аппарата (объекта регулирования) и указать номинальные значения регулируемого параметра.
2. Рассчитать переходную характеристику объекта регулирования.
3. Определить вид автоматического регулятора, который следует использовать в АСР, и рассчитать его настройки.
4. Определить передаточную функцию АСР.
5. Построить характеристику переходного процесса АСР и оценить по ней качество процесса регулирования.
6. Составить схему автоматизации объекта регулирования.
7. Привести спецификацию на средства автоматизации.

Исходные данные:

1. Объект регулирования представляет собой инерционное звено первого порядка с запаздыванием и характеризуется следующими параметрами:

- коэффициент передачи $K_{об}$, $\frac{^{\circ}\text{C}}{\% \text{ хода исполнительного механизма}}$;
- постоянная времени $T_{об}$, мин.;
- время запаздывания τ , мин.

Вид технологического аппарата, используемого в качестве объекта регулирования, выбирается по последней цифре шифра зачетной книжки студента из таблицы 2.

2. Требуемые показатели качества работы системы регулирования:

- максимальное динамическое отклонение X_1 , $^{\circ}\text{C}$;
- допустимое остаточное отклонение Δ_q , $^{\circ}\text{C}$;
- время регулирования t_p , мин.;
- перерегулирование $\frac{X_2}{X_1} \cdot 100$, %.

3. Величина возмущающего воздействия φ , (% х.и.м.).

Значения $K_{об}$, $T_{об}$, τ , X_1 выбираются из таблицы 3 по последней цифре суммы последних трех цифр шифра зачетной книжки студента (например, три последние цифры 765, следовательно, их сумма равна 18, значит в этом случае необходимо из таблицы 3 взять в качестве исходных данных значения вышеуказанных коэффициентов для варианта 8).

Значения Δ_q , $t_p \cdot \frac{X_2}{X_1} \rho$ выбираются из таблицы 4 по последней цифре шифра зачетной книжки студента.

Таблица 2

№ варианта	Объект регулирования	Регулируемая величина, °С	Регулирующее воздействие, % х.и.м.
1	2	3	4
1	теплообменник смешения	температура потока на выходе	расход одного из входных потоков
2	кожухотрубный теплообменник	температура продукта на выходе	расход пара
3	кожухотрубный теплообменник	температура продукта на выходе	расход конденсата
4	трубчатая печь	температура технологического потока на выходе	расход топлива
5	кожухотрубный теплообменник	температура продукта на выходе	расход продукта на байпасной линии
6	ректификационная колонна	температура низа колонны	расход греющего пара
7	барабанная сушилка	температура воздуха на входе в барабан	расход вторичного воздуха в камеру смешения
8	аппарат с кипящим слоем	температура в слое псевдоожигенного материала	расход влажного материала в сушилку
9	аппарат с кипящим слоем	температура воздуха на входе в сушилку	расход топливного газа в топку
10	кожухотрубный теплообменник	температура в аппарате	расход пара

Таблица 3

№ вариан-та	$K_{об}$	$T_{об}$	τ	X_1
1	0,6	5	3	10
2	0,4	7	4	8
3	0,4	9	3	7
4	0,5	12	5	8
5	0,6	11	4	10
6	0,4	13	5	9
7	0,6	14	5	10
8	0,7	10	6	9
9	0,5	8	4	7
10	0,5	6	3	9

Таблица 4

№ вариан-та	Δ_q	t_p	% х.и.м.	$\frac{X_2}{X_1} \cdot 100\%$
1	0,5	50	10	10
2	1,2	55	15	15
3	1,8	60	18	20
4	0,7	65	12	30
5	1,5	70	20	35
6	0,8	75	15	20
7	1	80	10	40
8	0,6	85	18	35
9	1,6	90	12	10
10	2	95	20	20

3.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель лабораторной работы.
2. Программа исследований.
3. Оценка качества процесса регулирования проектируемой АСР.
4. Схема автоматизации.
5. Спецификация.

3.5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте краткое описание работы технологического аппарата (объекта регулирования), рассматриваемого в лабораторной работе.
2. Как определяется переходная характеристика объекта регулирования?
3. Как производится выбор регулятора и закона регулирования?
4. Как рассчитываются параметры настройки непрерывного регулятора?
5. Перечислите используемые средства автоматизации, дайте их краткую характеристику.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

СИНТЕЗ АСР НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ

4.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Овладение методикой расчета оптимальных параметров настройки регуляторов на основе критерия максимальной степени устойчивости переходных процессов.

4.2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Синтез систем автоматического управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности осуществляется в большинстве случаев с использованием интегральных критериев качества.

Наиболее распространенными являются улучшенные интегральные квадратичные критерии, отражающие качество переходных процессов в системе:

$$J_k = \int_{t_0}^{t_1} [E^2(t) + j_1(E^{(1)}(t))^2 + \dots + j_k(E^{(k)}(t))^2] dt, \quad (1)$$

где $E(t)$ — сигнал ошибки; $j_i, i = 1, k$ — весовые коэффициенты (определяются проектировщиком системы); t_0, t_1 — моменты начала и конца работы системы.

Приравнивая в (1) весовые коэффициенты нулю, получим один из наиболее распространенных на практике критерий минимума интеграла квадрата ошибки:

$$J_0 = \int_{t_0}^{t_1} E^2(t) dt. \quad (2)$$

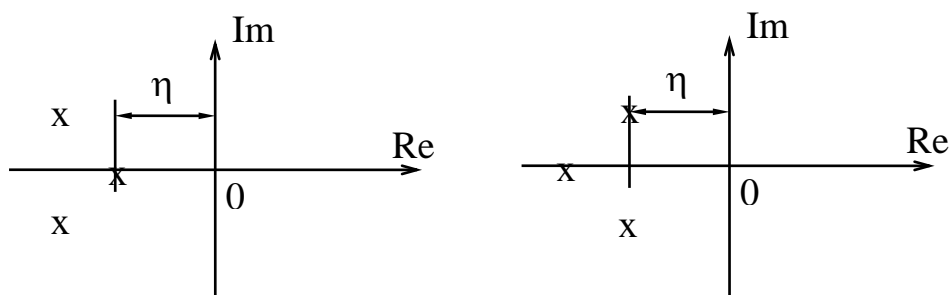
Критерии (1), (2) обладают рядом существенных недостатков. Во-первых, их применяют, если имеется информация о входных воздействиях.

Во-вторых, использование критерия (2) даже при управлении объектами не-высокого порядка может привести к слабозатухающим переходным процес-сам. Критерий вида (1) лишен последнего недостатка, однако для его вычис-ления требуются достоверные значения производных сигналов высокого по-рядка, что в условиях действия интенсивных помех представляет собой от-дельную и сложную техническую проблему. Кроме того, ошибочный выбор значений весовых коэффициентов может свести на нет преимущества крите-рия (1). В-третьих, синтез закона управления, минимизирующего интеграль-ные критерии, требует значительных вычислительных затрат и приводит к увеличению объема памяти микропроцессорных вычислительных устройств. Указанных недостатков лишен критерий максимальной степени устойчиво-сти. Его использование однозначно определяет параметры регулятора неза-висимо от входных воздействий.

Степенью устойчивости называется минимальное значение абсолют-ных величин вещественных частей корней характеристического уравнения замкнутой системы:

$$h = \min |\operatorname{Re} p_k|, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

На плоскости корней степень устойчивости представляет собой рассто-яние от мнимой оси до ближайшего к ней корня или пары чисто мнимых корней (рисунок 1).



а) аperiodическая б) колебательная

Рисунок 1 – Степень устойчивости

В том случае, когда ближайшим к мнимой оси является вещественный корень (рисунок 1,а) **степень устойчивости** называют **апериодической**. Если ближе всех к мнимой оси расположена пара **сопряженных комплексных корней** (рисунок 1,б), степень устойчивости называют **колебательной**.

Рассмотрим случай апериодической степени устойчивости, когда ближайший к мнимой оси корень $p_1 = -h$. В этом случае уравнение для переходного процесса будет иметь вид:

$$y_n(t) = C_1 \cdot e^{-h \cdot t} + \sum_{k=2}^n C_k \cdot e^{p_k \cdot t}, \quad (4)$$

где p_2, \dots, p_n — корни характеристического уравнения; C_1, C_2, \dots, C_k — произвольные постоянные.

Если выполняется условие:

$$|\operatorname{Re} p_k| \gg h, \quad k = 2, 3, \dots, n, \quad (5)$$

т. е. корни p_2, p_3, \dots, p_n значительно дальше удалены от мнимой оси, чем корень $p_1 = -h$, то составляющие переходного процесса (4) затухают значительно быстрее первой составляющей и приближенно можно записать, что

$$y_n(t) \approx C_1 \cdot e^{-h \cdot t}. \quad (6)$$

Следовательно, при выполнении условия (5) переходный процесс в АСР весьма близок к обычной экспоненте. Так как экспонента практически затухает за время, равное трем ее постоянным времени, то для времени переходного процесса системы регулирования можно написать приближенное соотношение:

$$t_n \approx \frac{3}{h}. \quad (7)$$

Полученная формула справедлива и в том случае, когда ближайшими к мнимой оси являются комплексно-сопряженные корни, если все остальные корни характеристического уравнения удалены от мнимой оси на расстояние, значительно большее, чем h .

Таким образом, корневая оценка качества (3) может служить приближенной мерой быстродействия АСР. Чем больше h , тем меньше время переходного процесса в системе и тем выше быстродействие АСР.

Многие промышленные объекты управления могут быть описаны моделью вида:

$$W_0(p) = \frac{k_0 \cdot \exp(-\tau p)}{T_0 p + 1}, \quad (8)$$

где k_0 — коэффициент усиления; T_0 — постоянная времени; τ — запаздывание.

Рассмотрим замкнутую систему для случая, когда объект описывается передаточной функцией (8). Найдем выражения для параметров настройки следующих законов регулирования: И-, ПИ-, ПД-, ПИД-законов. Для названных законов управления характеристические уравнения замкнутых систем имеют следующий вид:

И-закон

$$D_{\text{и}}(\lambda) = (T_0 \cdot \lambda + 1) \cdot \lambda \cdot \exp(\tau \cdot \lambda) + k_0 \cdot k_{\text{и}} = 0, \quad (9)$$

ПИ-закон

$$D_{\text{пи}}(\lambda) = (T_0 \cdot \lambda + 1) \cdot \lambda \cdot \exp(\tau \cdot \lambda) + k_0 \cdot (k_{\text{и}} + k_{\text{п}} \cdot \lambda) = 0, \quad (10)$$

ПД-закон

$$D_{\text{пд}}(\lambda) = (T_0 \cdot \lambda + 1) \cdot \exp(\tau \cdot \lambda) + k_0 \cdot (k_{\text{п}} + k_{\text{д}} \cdot \lambda) = 0, \quad (11)$$

ПИД-закон

$$D_{\text{пид}}(\lambda) = (T_0 \cdot \lambda + 1) \cdot \lambda \cdot \exp(\tau \cdot \lambda) + k_0 \cdot (k_{\text{и}} + k_{\text{п}} \cdot \lambda + k_{\text{д}} \cdot \lambda^2) = 0. \quad (12)$$

Определим максимальную степень устойчивости для указанных выше законов. При этом продифференцируем (9) один, (10) и (11) два, (12) три раза. Тогда получаем:

для И - закона

$$\dot{D}_{\text{и}}(\lambda) = [\tau \cdot T_0 \cdot \lambda^2 + (\tau + 2 \cdot T_0) \cdot \lambda + 1] \cdot \exp(\tau \cdot \lambda) = 0; \quad (13)$$

для ПИ - закона

$$\dot{D}_{\text{ПИ}}(\lambda) = [\tau \cdot T_0 \cdot \lambda^2 + (\tau + 2 \cdot T_0) \cdot \lambda + 1] + k_0 \cdot k_{\text{П}} = 0; \quad (14)$$

$$\ddot{D}_{\text{ПИ}}(\lambda) = [\tau^2 \cdot T_0 \cdot \lambda^2 + (\tau^2 + 4 \cdot \tau \cdot T_0) \cdot \lambda + 2 \cdot (\tau + T_0)] \cdot \exp(\tau \cdot \lambda) = 0, \quad (15)$$

для ПД - закона

$$\dot{D}_{\text{ПД}}(\lambda) = [\tau \cdot T_0 \cdot \lambda + \tau + T_0] \cdot \exp(\tau \cdot \lambda) + k_0 \cdot k_{\text{Д}} = 0; \quad (16)$$

$$\ddot{D}_{\text{ПД}}(\lambda) = [\tau^2 \cdot T_0 \cdot \lambda + \tau^2 + 2 \cdot \tau \cdot T_0] \cdot \exp(\tau \cdot \lambda) = 0, \quad (17)$$

для ПИД - закона

$$\dot{D}_{\text{ПИД}}(\lambda) = [\tau \cdot T_0 \cdot \lambda^2 + (\tau + 2 \cdot T_0) \cdot \lambda + 1] \cdot \exp(\tau \cdot \lambda) + k_0 \cdot (k_{\text{П}} + 2 \cdot k_{\text{Д}} \cdot \lambda) = 0; \quad (18)$$

$$\ddot{D}_{\text{ПИД}}(\lambda) = [\tau^2 \cdot T_0 \cdot \lambda^2 + (\tau^2 + 4 \cdot \tau \cdot T_0) \cdot \lambda + 2 \cdot (\tau + T_0)] \cdot \exp(\tau \cdot \lambda) + 2 \cdot k_0 \cdot k_{\text{Д}} = 0; \quad (19)$$

$$D_{\text{ПИД}}^{(3)}(\lambda) = [\tau^3 \cdot T_0 \cdot \lambda^2 + (\tau^3 + 6 \cdot \tau^2 \cdot T_0) \cdot \lambda + 3 \cdot \tau^2 + 6 \cdot \tau \cdot T_0] \cdot \exp(\tau \cdot \lambda) = 0. \quad (20)$$

Из выражений (13), (15), (17), (20) в результате замены λ на $-J$ и приравнивая к нулю выражений, заключенных в квадратные скобки, получаем соотношения для максимальной степени устойчивости, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 — Выражение для критерия максимальной степени устойчивости и параметров настройки регулятора

Вид закона регулирования	Выражение для критерия максимальной степени устойчивости	Выражение для параметров настройки регулятора
И	$J_{\text{и}} = \frac{1}{\tau} + \frac{1}{2 \cdot T_0} - \sqrt{\frac{1}{\tau^2} + \frac{1}{4 \cdot T_0^2}}$	$k_{\text{и}} = \frac{1}{k_0} \cdot (1 - T_0 \cdot J_{\text{и}}) \cdot J_{\text{и}} \cdot \exp(-\tau \cdot J_{\text{и}})$
ПИ	$J_{\text{пи}} = \frac{2}{\tau} + \frac{1}{2 \cdot T_0} - \sqrt{\frac{2}{\tau^2} + \frac{1}{4 \cdot T_0^2}}$	$k_{\text{п}} = \frac{1}{k_0} \cdot [(\tau + 2 \cdot T_0) \cdot J_{\text{пи}} - \tau \cdot T_0 \cdot J_{\text{пи}}^2 - 1] \cdot \exp(-\tau \cdot J_{\text{пи}});$ $k_{\text{и}} = \frac{1}{k_0} \cdot [(\tau + T_0) - \tau \cdot T_0 \cdot J_{\text{пи}}] \cdot J_{\text{пи}}^2 \cdot \exp(-\tau \cdot J_{\text{пи}})$

ПД	$J_{\text{ПД}} = \frac{2}{\tau} + \frac{1}{T_0}$	$k_d = \frac{T_0}{k_0} \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T_0} - 2\right);$ $k_n = \frac{1}{k_0} \cdot \left(\frac{4 \cdot T_0}{\tau} + 1\right) \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T_0} - 2\right)$
ПИД	$J_{\text{ПИД}} = \frac{3}{\tau} + \frac{1}{2 \cdot T_0} - \sqrt{\frac{3}{\tau^2} + \frac{1}{4 \cdot T_0^2}}$	$k_d = \frac{1}{2 \cdot k_0} \cdot [\tau^2 \cdot (J_{\text{ПИД}} - T_0 \cdot J_{\text{ПИД}}^2) - 2 \cdot \tau \cdot (1 - 2 \cdot T_0 \cdot J_{\text{ПИД}}) - 2 \cdot T_0] \cdot \exp(-\tau \cdot J_{\text{ПИД}})$ $k_n = \frac{1}{k_0} \cdot [-\tau^2 \cdot T_0 \cdot J_{\text{ПИД}}^3 + (\tau^2 + 3 \cdot \tau \cdot T_0) \cdot J_{\text{ПИД}}^2 - \tau \cdot J_{\text{ПИД}} - 1] \cdot \exp(-\tau \cdot J_{\text{ПИД}});$ $k_i = \frac{1}{2 \cdot k_0} \cdot [-\tau^2 \cdot T_0 \cdot J_{\text{ПИД}}^4 + (\tau^2 + 2 \cdot \tau \cdot T_0) \cdot J_{\text{ПИД}}^3 + 4 \cdot T_0 \cdot J_{\text{ПИД}}^2 - 4 \cdot J_{\text{ПИД}}] \cdot \exp(-\tau \cdot J_{\text{ПИД}})$

4.3. УКАЗАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Используя результаты лабораторной работы «Идентификация технологических объектов управления», построить график переходной характеристики и определить по нему параметры передаточной функции объекта (K_0 , T_0 , τ).

2. Рассчитать оптимальные параметры настройки регуляторов на основе критерия максимальной степени устойчивости переходных процессов.

Пункты 1, 2 выполняются студентами до прихода в лабораторию.

3. Собрать исследуемую схему АСР (рисунок 2) с использованием программно-реализованных функциональных блоков пакета моделирования на ПЭВМ. Получить график переходного процесса и оценить показатели качества переходного процесса.

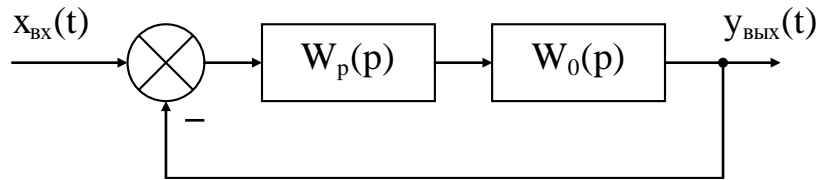


Рисунок 2 – Структурная схема АСР

4.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Структурная схема АСР.
2. График кривой разгона объекта по каналу регулирования.
3. Расчет оптимальных по степени устойчивости параметров настройки типовых регуляторов.
4. Схема моделирования АСР, составленная с использованием программно-реализованных функциональных блоков пакета моделирования на ПЭВМ.
5. График кривой переходного процесса в системе с:
 - ПИ-регулятором;
 - ПД-регулятором;
 - ПИД-регулятором;
 - И-регулятором.

Тип регулятора указывается устно преподавателем.

6. Оценка показателей качества переходного процесса.

4.5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте методы оценки качества переходных процессов.
2. Что называется степенью устойчивости системы?
3. Что такое апериодическая, колебательная степень устойчивости?
4. Как определяется колебательность системы?
5. Как найти время переходного процесса t_n ?

6. В чем сущность выбора оптимальных по степени устойчивости параметров настройки регулятора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

ИССЛЕДОВАНИЕ КАСКАДНЫХ САУ

5.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение методов расчета замкнутых контуров каскадной САУ и исследование показателей качества управления в системе.

5.2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Удовлетворительное качество регулирования в простейших одноконтурных системах с использованием стандартных законов регулирования можно обеспечить лишь при благоприятных динамических характеристиках объекта. Однако большинству промышленных объектов свойственно значительное чистое запаздывание и большие постоянные времени. В таких случаях даже при оптимальных настройках регуляторов одноконтурные АСР характеризуются большими динамическими ошибками, длительными переходными процессами. Для повышения качества регулирования необходим переход от одноконтурных АСР к более сложным системам, использующим дополнительные (корректирующие) импульсы по возмущениям или вспомогательным выходным координатам. Такие системы, кроме обычного стандартного регулятора, содержат вспомогательные регулирующие устройства — динамические компенсаторы или дополнительные регуляторы.

В зависимости от характера корректирующего импульса различают следующие многоконтурные САУ:

- каскадные — двухконтурные замкнутые САУ, построенные на базе двух стандартных регуляторов и использующие кроме основной выходной координаты дополнительный промежуточный выход (рисунок 1,2);

- комбинированные, сочетающие обычный замкнутый контур регулирования с дополнительным каналом, по которому через динамический компенсатор вводится импульс по возмущению;

- с дополнительным импульсом по производной от промежуточной выходной координаты.

Как правило, каскадную систему применяют в следующих случаях:

- 1) если необходимый канал регулирования обладает большим запаздыванием, и улучшить качество регулирования можно с помощью другой регулируемой величины (или можно получить информацию о той же регулируемой величине, но из другой точки, с меньшим запаздыванием), быстрее воспринимающей те возмущения, которые должны быть скомпенсированы разрабатываемой системой;

- 2) если необходимо, чтобы задание по контуру стабилизации величины X_1 изменилось в соответствии с другой переменной X_2 ;

- 3) если необходимо существенно увеличить быстродействие системы либо ее коэффициент усиления, а возможности одноконтурной АСР уже исчерпаны.

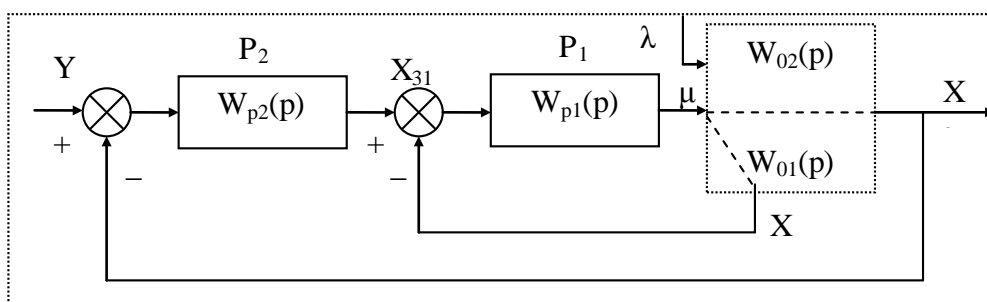


Рисунок 1 – Каскадная САУ со стабилизирующим регулятором (вариант 1)

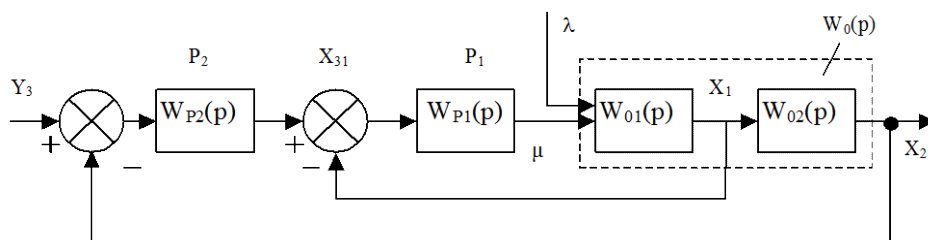


Рисунок 2 – Каскадная САУ со стабилизирующим регулятором (вариант 2)

Каскадные САУ имеют два замкнутых контура (внутренний — менее инерционный со стабилизирующим регулятором P_1 и внешний — более инерционный с корректирующим регулятором P_2). Последнее обстоятельство позволяет осуществлять исследования и расчет замкнутых контуров следующими способами.

Первый способ. Первоначально исследуют одноконтурную систему, содержащую внутренний малоинерционный контур, включающий передаточные функции $W_{01}(p)$, $W_{p1}(p)$. При этом выбирают закон управления внутреннего контура, определяют оптимальные параметры настройки регулятора P_1 , области устойчивости. При известных параметрах регулятора P_1 исследование всей системы в целом приводится к исследованию одноконтурной системы. При этом в состав эквивалентного объекта входит внутренний малоинерционный контур и передаточная функция $W_{02}(p)$.

Для выбранного закона управления определяют оптимальные параметры настройки регулятора P_2 и качественные показатели управления по основной регулируемой величине.

Второй способ. В том случае, если инерционность внутреннего и внешнего контуров различна, и во внутреннем контуре отсутствует запаздывание (что позволяет коэффициент K_{p1} внутреннего контура выбирать достаточно большим), можно рекомендовать первоначально определить закон управления и выбрать оптимальные параметры настройки регулятора P_2 внешнего инерционного контура. Система приводится к одноконтурной, передаточная функция объекта в которой имеет вид:

для структуры, приведенной на рисунке 1:

$$\begin{aligned} W_0(p) &= \frac{W_{p1}(p)}{1 + W_{p1}(p) \cdot W_{01}(p)} \cdot W_{02}(p) = \frac{K_{p1} \cdot W_{p1}^*(p)}{1 + K_{p1} \cdot W_{p1}^*(p)} \cdot W_{02}(p) = \\ &= \frac{W_{p1}^*(p)}{1/K_{p1} + W_{p1}^*(p) \cdot W_{01}(p)} \cdot W_{02}(p), \end{aligned}$$

где $W_{p1}(p) = K_{p1} \cdot W_{p1}^*(p)$.

Считая, что $1/K_{p1} \approx 0$, получаем

$$W_0(p) \approx \frac{W_{02}(p)}{W_{01}(p)};$$

для структуры, приведенной на рисунке 2:

$$\begin{aligned} W_0(p) &= \frac{W_{p1}(p) \cdot W_{01}(p)}{1 + W_{p1}(p) \cdot W_{01}(p)} \cdot W_{02}(p) = \frac{K_{p1} \cdot W_{p1}^*(p) \cdot W_{01}(p)}{1 + W_{p1}^*(p) \cdot W_{01}(p)} \cdot W_{02}(p) = \\ &= \frac{W_{p1}^*(p) \cdot W_{01}(p) \cdot W_{02}(p)}{1/K_{p1} + W_{p1}^*(p) \cdot W_{01}(p)} \approx W_{02}(p). \end{aligned}$$

После нахождения параметров регулятора P_2 определяют закон управления и оптимальные параметры настройки стабилизирующего регулятора P_1 , приводя схему к одноконтурному виду и предполагая, что все $W_{p1}(p)$, $W_{01}(p)$, $W_{02}(p)$ известны и входят в состав эквивалентного объекта. Далее исследуют всю систему в целом.

Отметим особенности выбора законов регулирования для стабилизирующего и корректирующего регуляторов.

Выбор законов регулирования в процессе упрощенного расчета САУ осуществляют на основе **априорного правила**: стабилизирующий регулятор P_1 должен быть статическим с П- или ПД-законом регулирования; корректирующий регулятор P_2 должен быть для объекта с самовыравниванием астатическим с ПИ- или ПИД-законом регулирования.

Приведенное правило справедливо особенно в том часто встречающемся при регулировании химико-технологических процессов случае, когда в каскадной САУ требуется обеспечить достаточно жесткую стабилизацию основной регулируемой величины X_2 , а промежуточная (вспомогательная) регулируемая величина X_1 может изменяться в широком диапазоне. Пренебрежение этим правилом и применение в каскадной САУ статического объекта, например, двух астатических регуляторов, приводит к ухудшению устойчивости и качества переходных процессов в системе.

Использование в стабилизирующем контуре регулятора P_1 с интегральной составляющей иногда бывает оправдано, если этот контур обладает небольшим коэффициентом усиления.

5.3. ЗАДАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Работа выполняется на ПЭВМ каждым студентом самостоятельно. Задание варианта расчета каскадной САУ со стабилизирующим регулятором (вариант 1 или вариант 2), задание численных значений параметров передаточных функций объектов для внешнего и внутреннего контуров каждый студент получает от преподавателя. Студент самостоятельно выбирает законы регулирования и обосновывает свой выбор при защите отчета.

2. В соответствии с вариантом задания студент приводит систему к одноконтурной и преобразует передаточную функцию объекта в соответствующую эквивалентной.

Данный этап выполняется студентом до начала лабораторных занятий.

3. Определяют оптимальные параметры настройки регулятора внутреннего контура.

4. При известных параметрах регулятора внутреннего контура определяют оптимальные параметры настройки регулятора внешнего контура.

5. С использованием программно-реализованных функциональных блоков набирают модель всей САУ в соответствии с вариантом задания и определяют качественные показатели управления по основной регулируемой величине .

6. С помощью имитационного эксперимента проверяют качество регулирования с выбранными настройками и при необходимости корректируют параметры настройки регулятора.

5.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать:

1. Исходные данные в виде структурной схемы каскадной САУ со стабилизирующим регулятором, передаточные функции объектов для внутреннего и внешнего контуров, численные значения передаточных функций объекта.
2. Схему моделирования каскадной САУ.
3. Расчет передаточной функции эквивалентного объекта в каскадной САУ.
4. Расчет численных значений оптимальных параметров настроек регуляторов внутреннего и внешнего контуров каскадной САУ.
5. Графики переходных процессов по внутренней (вспомогательной) регулируемой величине и по основной регулируемой величине.
6. Анализ полученных результатов.

5.5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких соображений выбирают каскадные САУ в схемах автоматизации химико-технологических процессов?
2. Приведите структурные схемы каскадных САУ.
3. Какую последовательность проектирования можно рекомендовать для расчета каскадной САУ?
4. Какое правило существует для выбора закона регулирования в процессе упрощенного расчета каскадной САУ?

Таблица 1 – Исходные данные

Номер варианта	Параметры передаточной функции					
	Внутреннего контура $W_{01}(p) = \frac{K}{T_1 p + 1}$		Внешнего контура $W_{02}(p) = \frac{K e^{-p\tau}}{T_2 p^2 + T_1 p + 1}$			
	K	T ₁	K	T ₁	T ₂	τ
1	1	0,25	1	3,14	1,52	0,5
2	1	0,50	1	3,15	1,45	1,0
3	1	0,25	1	2,88	1,25	0,5
4	1	0,25	1	3,16	1,44	0,5
5	1	0,25	1	1,92	0,78	0,5
6	1	0,25	1	2,88	1,43	0,5
7	1	0,75	1	5,73	2,70	0,5
8	1	0,50	1	3,95	1,59	1,0
9	1	1,00	1	4,02	1,64	2,0
10	1	1,00	1	4,18	1,65	2,0
11	1	0,75	1	3,69	1,43	1,5
12	1	0,75	1	3,99	1,55	1,5
13	1	0,75	1	3,88	1,55	1,5
14	1	0,75	1	3,82	1,50	1,5
15	1	0,75	1	3,56	1,30	1,5
16	1	1,00	1	3,16	1,40	2,0
17	1	1,00	1	3,39	1,25	2,0
18	1	0,75	1	3,46	1,25	1,5
19	1	1,00	1	5,64	2,57	2,0
20	1	1,00	1	5,92	2,44	2,0
21	1	0,50	1	2,93	1,10	1,0
22	1	0,25	1	1,88	0,56	0,5
23	1	0,25	1	2,19	0,89	0,5
24	1	0,25	1	2,24	1,06	0,5
25	1	0,50	1	4,36	1,98	1,0

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Схиртладзе, А. Г. Автоматизация технологических процессов и производств : учебник / А. Г. Схиртладзе, А. В. Федотов, В. Г. Хомченко. — Саратов : Вузовское образование, 2015. — 459 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/37830.html>. — Режим доступа: для авторизированных пользователей

2. Гаврилов, А. Н. Системы управления химико-технологическими процессами. Часть 1 : учебное пособие / А. Н. Гаврилов, Ю. В. Пятаков. — Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014. — 220 с. — ISBN 978-5-00032-042-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/47452.html>. — Режим доступа: для авторизированных пользователей

3. Гаврилов, А. Н. Системы управления химико-технологическими процессами. Часть 2 : учебное пособие / А. Н. Гаврилов, Ю. В. Пятаков. — Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014. — 200 с. — ISBN 978-5-00032-044-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/47451.html>. — Режим доступа: для авторизированных пользователей

Дополнительная литература

1. Русецкий, А. М. Автоматизация и управление в технологических комплексах / Русецкий А. М. - Минск : Белорусская наука, 2014. - 376 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-985-08-1774-7

2. Шишмарев, В. Ю. Автоматизация технологических процессов : учебное пособие / В. Ю. Шишмарев. - 2-е изд., стер. - М : Академия, 2006. - 352 с. : ил. - Доп. МО РФ. - Библиогр.: с. 346. - ISBN 5-7695-3545-8

3. Основы автоматизации производственных процессов : Учебник / М.Ю. Прахова и др. — М. : Академия, 2012.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
**«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НЕВИННОМЫССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ФИЛИАЛ)**

Методические указания к самостоятельной работе

**«АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ
СИСТЕМАМИ»**

Направление подготовки 15.04.04

«Автоматизация технологических процессов и производств»

Направленность (профиль) «Информационно-управляющие системы»

Форма обучения - очно-заочная

Год начала обучения 2022

Реализуется в 2 семестре

Невинномысск, 2022

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО в части содержания и уровня подготовки выпускников направления подготовки 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Методические указания содержат рекомендации по организации самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Автоматизированное управление техническими системами».

Составитель	доцент кафедры ИСЭА Д.В. Болдырев
-------------	-----------------------------------

Ответственный редактор	доцент кафедры ИСЭА А.А. Евдокимов
------------------------	------------------------------------

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ».....	5
1.1. Подготовка к лабораторным занятиям.....	7
1.2. Самостоятельное изучение материала тем.....	8
2. ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ».....	11
3. КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ И ОТЧЕТНОСТЬ ПО НИМ.....	12
ЛИТЕРАТУРА.....	14

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Автоматизированное управление техническими системами» ставит своей целью формирование следующих компетенций будущего магистра по направлению подготовки 15.04.04 — Автоматизация технологических процессов и производств.

Код	Формулировка
ОПК-11	Способен разрабатывать современные методы исследования автоматизированного оборудования в машиностроении;

Главными задачами дисциплины являются: ознакомление студентов со схемами автоматизации типовых технологических процессов и производств; приобретение практических навыков проектирования локальных АСР; изучение состава, основных функций и видов обеспечения автоматизированных систем управления технологическими процессами.

В результате освоения дисциплины студент должен:

- знать современное состояние и тенденции развития автоматизации технологических процессов и производств; принципы организации и архитектуру автоматических и автоматизированных систем контроля и управления для технологических процессов и производств; методы и средства разработки математического, лингвистического, информационного обеспечения систем автоматизации и управления;
- уметь использовать принципы, методы и способы выбора и конфигурирования технических и программных средств при создании систем автоматизации и управления;
- владеть современными методами автоматизации технологических процессов и производств, разработки систем автоматизации и управления с использованием компьютерной техники; методами рационального выбора средств технологического оснащения, автоматизации технологических процессов и производств; методами математического моделирования при разра-

ботке и совершенствовании программно-технических средств и систем автоматизации технологических процессов и производств.

Методические указания предназначены для выполнения самостоятельной работы по дисциплине «Автоматизированное управление техническими системами» с учетом требований ФГОС ВО для направления подготовки 15.04.04 — Автоматизация технологических процессов и производств. Они способствуют лучшему усвоению студентами теоретических положений и обеспечивает приобретение практических навыков по исследованию элементов и систем автоматического регулирования и управления.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ»

Самостоятельная работа студентов (далее — СРС) является неотъемлемой составляющей образовательного процесса в Университете и является обязательной для каждого студента. Основная цель СРС — освоение в полном объеме образовательной программы и последовательное формирование компетенций эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности. Самостоятельная работа конкретна по своей предметной направленности и сопровождается непрерывным контролем и оценкой ее результатов.

Количество часов, отводимое на самостоятельную работу, определяется учебным планом направления подготовки 15.04.04.

Содержательно самостоятельная работа студентов определяется ФГОС ВО направления подготовки 15.04.04, программой и учебно-методическим комплексом дисциплины «Автоматизированное управление техническими системами».

Методика организации самостоятельной работы студентов зависит от структуры, характера и особенностей дисциплины «Автоматизированное управление техническими системами», объема часов на ее изучение, вида заданий для СРС, индивидуальных возможностей студентов и условий учебной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов определяются содержанием дисциплины «Автоматизированное управление техническими системами», степенью подготовленности студентов. Они могут быть тесно связаны с теоретическим курсом и иметь учебный или учебно-исследовательский характер. Форму самостоятельной работы студентов определяют кафедра ИСЭА при разработке программы дисциплины «Автоматизированное управление техническими системами».

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

СРС, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

В учебном процессе выделяют аудиторную и внеаудиторную самостоятельную работу.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине «Автоматизированное управление техническими системами» выполняется на учебных занятиях (лекциях, практических, лабораторных занятиях и консультациях) под руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов выполняется во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве и контроле преподавателя, но без его непосредственного участия. СРС включает в себя:

- подготовку к аудиторным занятиям (лекциям, практическим, лабораторным) и выполнение соответствующих заданий;

- работу над отдельными темами учебных дисциплин (модулей) в соответствии с учебно-тематическими планами;
- выполнение курсового проекта;
- подготовку ко всем видам промежуточных и итоговых контрольных испытаний.

1.1. Подготовка к лабораторным занятиям

Для того чтобы лабораторные занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнение и решение задач проводятся по рассмотренному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться студентом на лабораторных занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций, задач. При этих условиях студент не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении задач нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если студент видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы (задачи). Решение проблемных задач или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждой учебной задачи должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с выводом. Полученный ответ следует проверить способами,

вытекающими из существа данной задачи. Полезно также (если возможно) решать несколькими способами и сравнить полученные результаты. Решение задач данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

1.2. Самостоятельное изучение материала тем

Конспект — наиболее совершенная и наиболее сложная форма записи. Слово «конспект» происходит от латинского «*conspectus*», что означает «обзор, изложение». В правильно составленном конспекте обычно выделено самое основное в изучаемом тексте, сосредоточено внимание на наиболее существенном, в кратких и четких формулировках обобщены важные теоретические положения.

Конспект представляет собой относительно подробное, последовательное изложение содержания прочитанного. На первых порах целесообразно в записях ближе держаться тексту, прибегая зачастую к прямому цитированию автора. В дальнейшем, по мере выработки навыков конспектирования, записи будут носить более свободный и сжатый характер.

Конспект книги обычно ведется в тетради. В самом начале конспекта указывается фамилия автора, полное название произведения, издательство, год и место издания. При цитировании обязательная ссылка на страницу книги. Если цитата взята из собрания сочинений, то необходимо указать соответствующий том. Следует помнить, что четкая ссылка на источник — непереносимое правило конспектирования. Если конспектируется статья, то указывается, где и когда она была напечатана.

Конспект подразделяется на части в соответствии с заранее продуманным планом. Пункты плана записываются в тексте или на полях конспекта. Писать его рекомендуется четко и разборчиво, так как небрежная запись с течением времени становится малопонятной для ее автора. Существует пра-

вило: конспект, составленный для себя, должен быть по возможности написан так, чтобы его легко прочитал и кто-либо другой.

Формы конспекта могут быть разными и зависят от его целевого назначения (изучение материала в целом или под определенным углом зрения, подготовка к докладу, выступлению на занятии и т.д.), а также от характера произведения (монография, статья, документ и т.п.). Если речь идет просто об изложении содержания работы, текст конспекта может быть сплошным, с выделением особо важных положений подчеркиванием или различными значками.

В случае, когда не ограничиваются переложением содержания, а фиксируют в конспекте и свои собственные суждения по данному вопросу или дополняют конспект соответствующими материалами их других источников, следует отводить место для такого рода записей. Рекомендуется разделить страницы тетради пополам по вертикали и в левой части вести конспект произведения, а в правой свои дополнительные записи, совмещая их по содержанию.

Конспектирование в большей мере, чем другие виды записей, помогает вырабатывать навыки правильного изложения в письменной форме важные теоретических и практических вопросов, умение четко их формулировать и ясно излагать своими словами.

Таким образом, составление конспекта требует вдумчивой работы, затраты времени и труда. Зато во время конспектирования приобретаются знания, создается фонд записей.

Конспект может быть текстуальным или тематическим. В текстуальном конспекте сохраняется логика и структура изучаемого произведения, а запись ведется в соответствии с расположением материала в книге. За основу тематического конспекта берется не план произведения, а содержание какой-либо темы или проблемы.

Текстуальный конспект желательно начинать после того, как вся книга прочитана и продумана, но это, к сожалению, не всегда возможно. В первую

очередь необходимо составить план произведения письменно или мысленно, поскольку в соответствии с этим планом строится дальнейшая работа. Конспект включает в себя тезисы, которые составляют его основу. Но, в отличие от тезисов, конспект содержит краткую запись не только выводов, но и доказательств, вплоть до фактического материала. Иначе говоря, конспект — это расширенные тезисы, дополненные рассуждениями и доказательствами, мыслями и соображениями составителя записи.

Как правило, конспект включает в себя и выписки, но в него могут войти отдельные места, цитируемые дословно, а также факты, примеры, цифры, таблицы и схемы, взятые из книги. Следует помнить, что работа над конспектом только тогда будет творческой, когда она не ограничена текстом изучаемого произведения. Нужно дополнять конспект данными из другими источниками.

В конспекте необходимо выделять отдельные места текста в зависимости от их значимости. Можно пользоваться различными способами: подчеркиваниями, вопросительными и восклицательными знаками, репликами, краткими оценками, писать на полях своих конспектов слова: «важно», «очень важно», «верно», «характерно».

В конспект могут помещаться диаграммы, схемы, таблицы, которые придадут ему наглядность.

Составлению тематического конспекта предшествует тщательное изучение всей литературы, подобранной для раскрытия данной темы. Бывает, что какая-либо тема рассматривается в нескольких главах или в разных местах книги. А в конспекте весь материал, относящийся к теме, будет сосредоточен в одном месте. В плане конспекта рекомендуется делать пометки, к каким источникам (вплоть до страницы) придется обратиться для раскрытия вопросов. Тематический конспект составляется обычно для того, чтобы глубже изучить определенный вопрос, подготовиться к докладу, лекции или выступлению на семинарском занятии. Такой конспект по содержанию приближает-

ся к реферату, докладу по избранной теме, особенно если включает и собственный вклад в изучение проблемы.

2. ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ»

На первом этапе необходимо ознакомиться с рабочей программой дисциплины, в которой рассмотрено содержание тем дисциплины лекционного курса, взаимосвязь тем лекций с лабораторными и практическими занятиями, темы и виды самостоятельной работы. По каждому виду самостоятельной работы предусмотрены определённые формы отчетности.

Технологическая карта самостоятельной работы студента очно-заочной формы обучения

Коды реализуемых компетенций	Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
				СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
2 семестр						
ОПК-11	Подготовка к лекции	Самостоятельно изученный теоретический материал	Собеседование	1,14	0,06	1.20
ОПК-11	Подготовка к лабораторной работе	Самостоятельно изученный теоретический материал	Собеседование	3,42	0,18	3.60
ОПК-11	Самостоя-	Самостоя-	Собесе-	49,59	2,61	52.20

	тельное изучение литературы	тельно изученный теоретический материал	дование			
Итого за семестр				54,15	2,85	57,00
Итого				54,15	2,85	57,00

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ И ОТЧЕТНОСТЬ ПО НИМ

Рейтинговая оценка знаний студентов очно-заочной формы обучения не предусмотрена.

Промежуточная аттестация

Процедура зачета с оценкой осуществляется в соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования в СКФУ — программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры — в СКФУ.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет зна-

ния только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Отметка «неудовлетворительно» выставляется также, если обучающийся после начала экзамена отказался его сдавать.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Схиртладзе, А. Г. Автоматизация технологических процессов и производств : учебник / А. Г. Схиртладзе, А. В. Федотов, В. Г. Хомченко. — Саратов : Вузовское образование, 2015. — 459 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/37830.html>. — Режим доступа: для авторизованных пользователей

2. Гаврилов, А. Н. Системы управления химико-технологическими процессами. Часть 1 : учебное пособие / А. Н. Гаврилов, Ю. В. Пятаков. — Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014. — 220 с. — ISBN 978-5-00032-042-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/47452.html>. — Режим доступа: для авторизованных пользователей

3. Гаврилов, А. Н. Системы управления химико-технологическими процессами. Часть 2 : учебное пособие / А. Н. Гаврилов, Ю. В. Пятаков. — Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014. — 200 с. — ISBN 978-5-00032-044-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/47451.html>. — Режим доступа: для авторизованных пользователей

Дополнительная литература

1. Русецкий, А. М. Автоматизация и управление в технологических комплексах / Русецкий А. М. - Минск : Белорусская наука, 2014. - 376 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-985-08-1774-7

2. Шишмарев, В. Ю. Автоматизация технологических процессов : учебное пособие / В. Ю. Шишмарев. - 2-е изд., стер. - М : Академия, 2006. - 352 с. : ил. - Доп. МО РФ. - Библиогр.: с. 346. - ISBN 5-7695-3545-8

3. Основы автоматизации производственных процессов : Учебник / М.Ю. Прахова и др. — М. : Академия, 2012.