



**Негосударственное частное образовательное учреждение
высшего образования
«Технический университет УГМК»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНИХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Направление подготовки	22.03.02 Metallurgy
Профиль подготовки	Metallurgy of non-ferrous metals
Уровень высшего образования	Applied Bachelor

Рассмотрено на заседании кафедры Metallurgy
Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма
2021

Задания и методические указания к выполнению домашней работы составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Автоматизация металлургических процессов».

Код направления и уровня подготовки	Название направления	Реквизиты приказа Министерства образования и науки Российской Федерации об утверждении и вводе в действие ФГОС ВО	
		Дата	Номер приказа
22.03.02	Металлургия	04.12.2015	1427

Автор – разработчик /Дата создания/	Гольцев В.А., к.т.н., доцент	
Эксперт	Скопов Геннадий Вениаминович, главный специалист Управления стратегического планирования ООО «УГМК-Холдинг», д-р техн. наук	
Заведующий кафедрой «Металлургия» /Дата утверждения/	Мастюгин Сергей Аркадьевич, д-р техн. наук, доцент	
Продолжительность модуля/дисциплины:	72 часа (2 ЗЕ)	
Место проведения	Учебные аудитории Технического университета УГМК	
Цель модуля/дисциплины:	После завершения дисциплины, обучающиеся будут способны сопровождать и эксплуатировать системы автоматизации металлургических объектов и технологий на основе изучения элементов теории автоматического регулирования, принципов построения систем и элементной базы средств контроля.	

ДОМАШНЯЯ РАБОТА «ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ»

Содержание домашней работы (какие графические работы и расчеты должны быть выполнены):

- идентификация объекта управления (подбор структуры модели и определение численных значений ее параметров, проверка адекватности модели);
- синтез системы автоматического регулирования (подбор закона регулирования, расчет параметров настройки регулятора, обеспечивающие получение заданных качественных показателей переходного процесса);
- анализ системы автоматического регулирования (проверка работоспособности АСР с помощью критериев устойчивости и оценка качества регулирования по рассчитываемой кривой переходного процесса)

Исходные данные для расчета:

(задаются по вариантам)

Возмущающее воздействие, Δx , %	Максимальное возмущающее воздействие, Δx_{max} , %	Показатели качества регулирования			
		Тип переходного процесса	$\Delta y_1(\tau)$	Δy_{cm}	τ_p
5	10	апериодический	26	8	360

Методика выполнения домашней работы

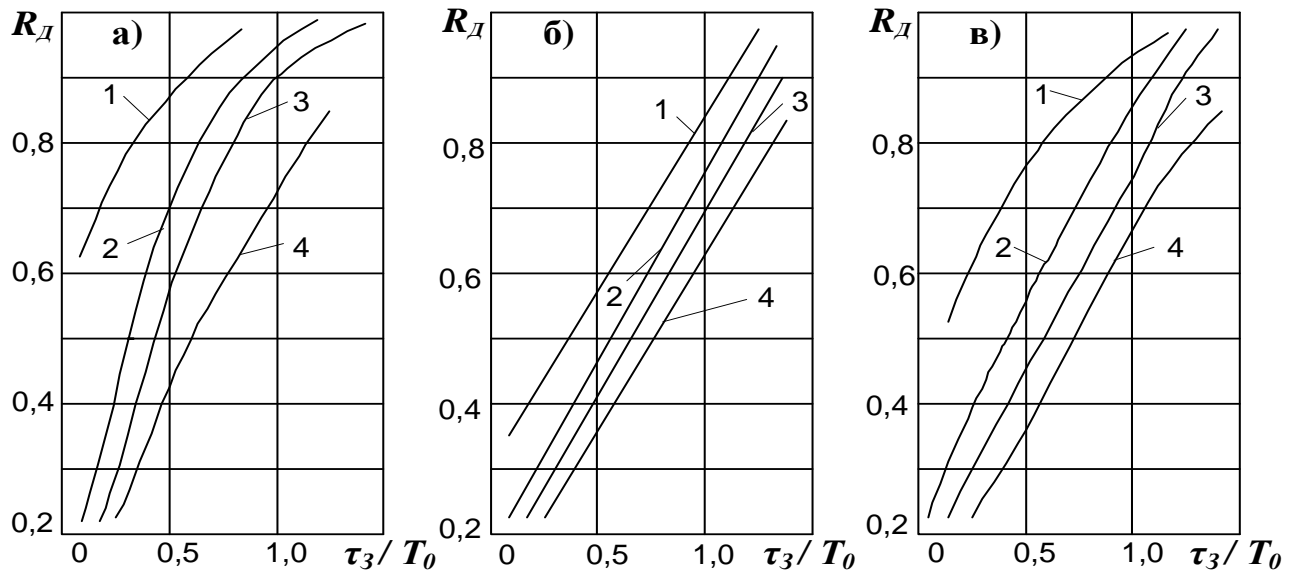
Выбор закона регулирования

Инженерный метод выбора закона регулирования (метод А. П. Копеловича) основывается на представлении реальных промышленных объектов регулирования в виде последовательно соединенных типовых звеньев: апериодического и чистого запаздывания. Эта задача была решена в разделе «Объект регулирования» при выполнении структурно-параметрической идентификации объекта регулирования.

Далее произведите выбор закона регулирования по методике Копеловича в следующем порядке.

1. Рассчитайте отношение τ_3 / T_0 и ориентировочно выберите по нему тип регулятора: при $\tau_3 / T_0 \leq 0,2$ можно выбрать позиционный регулятор, при $\tau_3 / T_0 > 0,2$ выбирается регулятор непрерывного действия.

2. Если выбран регулятор непрерывного действия, то следует определить реализуемый им закон регулирования. Это производится по специально рассчитанным графикам, которые изображены на рисунке 1. По приведенным на рисунке 2 зависимостям $R_d = f(\tau_3 / T_0)$ в соответствии с указанным в варианте задания типовым переходным процессом выберите простейший регулятор, обеспечивающий при данном τ_3 / T_0 не превышение допустимого значения величины R_d , которое было рассчитано ранее.



а – для аperiodического переходного процесса; б – для процесса с $\sigma = 20\%$; в – для процесса с $\min \int \Delta Y^2(\tau) d\tau$; 1 – И-регулятор; 2 – П-регулятор; 3 – ПИ-регулятор; 4 – ПИД-регулятор.

Рисунок 1 – Графики для выбора закона регулирования

3. В случае если выбран П-регулятор, необходимо проверить его по допустимой статической ошибке $\Delta Y_{ст}$. Это выполняется с использованием графика зависимости $\Delta Y_{ст} = f(\tau_3 / T_0)$, изображённого на рисунке 3. Абсолютное значение статической ошибки находят по формуле:

$$\Delta Y_{ст} = \left(\frac{\Delta y_{ст}}{\Delta y_{\infty}} \right) \cdot \Delta Y_{\infty}, \quad (1)$$

где $\left(\frac{\Delta y_{ст}}{\Delta y_{\infty}} \right)$ – отношение, определённое по ординате графика на рисунке 2;

ΔY_{∞} – отклонение параметра, соответствующее максимальному возмущающему воздействию (ΔY_{∞} – было рассчитано ранее при определении R_d).

Если полученная величина $\Delta Y_{ст}$ превышает допустимое значение, указанное в исходных данных, то следует вернуться к рисунку 4 и выбрать ближайший более сложный закон регулирования.

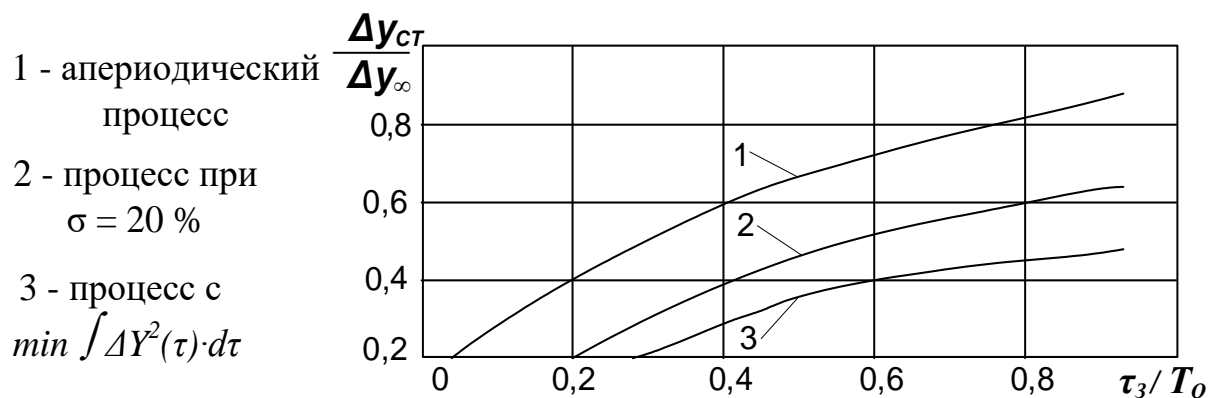


Рисунок – 2 Зависимость статической ошибки регулирования от τ_3/T_0

4. По приведенным на рисунке 3 зависимостям $\tau_p / \tau_3 = f(\tau_3 / T_0)$ определите обеспечиваемое выбранным регулятором время регулирования τ_p .

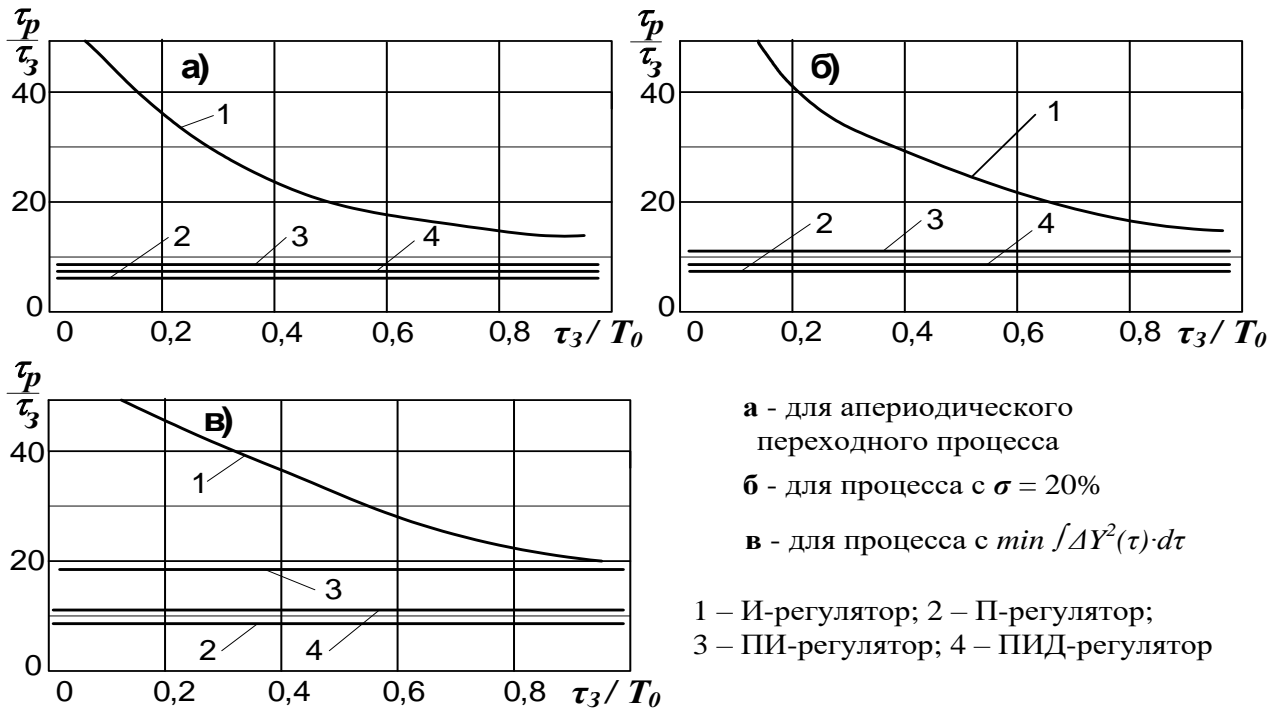


Рисунок 3 – Зависимость времени регулирования от τ_3/T_0

Если полученное время больше заданного, то следует вернуться к рисунку 3 и выбрать ближайший более сложный закон регулирования, а затем снова выполнить проверку по времени регулирования.

Регулятор, удовлетворяющий заданному времени регулирования, принимается окончательно.

Расчет оптимальных значений параметров настройки регулятора

Формулы для расчета оптимальных значений параметров настройки регулятора сведены в таблицу 1. Выберите из таблицы соответствующие Вашим условиям формулы и произведите по ним расчет параметров настройки.

Таблица 1 – Формулы для расчета оптимальных настроек регулятора

Закон регулирования	Тип переходного процесса		
	апериодический	$\sigma = 20\%$	$\min \int_0^{\infty} \Delta y^2(\tau) d\tau$
И	$K_p = \frac{1}{4,5K_{об}T_0}$	$K_p = \frac{1}{1,7K_{об}T_0}$	$K_p = \frac{1}{1,7K_{об}\tau_3}$
П	$K_p = \frac{0,3}{K_{об} \cdot \tau_3 / T_0}$	$K_p = \frac{0,7}{K_{об} \cdot \tau_3 / T_0}$	$K_p = \frac{0,9}{K_{об} \cdot \tau_3 / T_0}$
ПИ	$K_p = \frac{0,6}{K_{об} \cdot \tau_3 / T_0}$; $Tu = 0,8\tau_3 + 0,5T_0$	$K_p = \frac{0,7}{K_{об} \cdot \tau_3 / T_0}$; $Tu = \tau_3 + 0,3T_0$	$K_p = \frac{1,0}{K_{об} \cdot \tau_3 / T_0}$; $Tu = \tau_3 + 0,35T_0$
ПИД	$K_p = \frac{0,95}{K_{об} \cdot \tau_3 / T_0}$; $Tu = 2,4\tau_3$; $Tд = 0,4\tau_3$	$K_p = \frac{1,2}{K_{об} \cdot \tau_3 / T_0}$; $Tu = 2,0\tau_3$; $Tд = 0,4\tau_3$	$K_p = \frac{1,4}{K_{об} \cdot \tau_3 / T_0}$; $Tu = 1,3\tau_3$; $Tд = 0,5\tau_3$

Исследование синтезированной АСР

Под параметрической областью устойчивости АСР понимается совокупность значений параметров настройки автоматического регулятора, при которой обеспечивается устойчивая работа АСР.

Такие характеристики рассчитываются путем решения системы уравнений, которая характеризует критическое состояние АСР на грани устойчивости при использовании критерия Найквиста-Михайлова.

Решение рассматриваемой задачи реализуется с помощью программы «Расчет параметрической области устойчивости». В компьютер вводятся данные о динамических свойствах объекта (τ_3 , T_0 , $K_{об}$) и указывается анализируемый вариант комплектования системы с использованием П-, ПИ- или ПИД- регулятора. Результаты расчета выдаются в виде таблицы и графика, которые отражают функциональную зависимость положения границы области устойчивости конкретной системы от параметров настройки регулятора (вид графика приведен на рис. 4). Рассчитываемые параметрические области устойчивости являются основным ориентиром правильного выбора настроек регулятора при проведении исследований. Естественно, что настройки следует выбирать в пределах области устойчивости, исходя из заданных требований к качеству регулирования. При приближении «рабочей точки» к границе устойчивости, переходный процесс в системе будет колебательным и продолжительным.

Выбранные значения параметров настройки регулятора используются далее для анализа работы системы методом математического моделирования.

С помощью программы «Расчет переходного процесса» рассчитывается кривая, описывающая изменение отклонения регулируемого параметра $\Delta Y(\tau)$ в процессе регулирования и позволяющая оценивать устойчивость и качество регулирования.

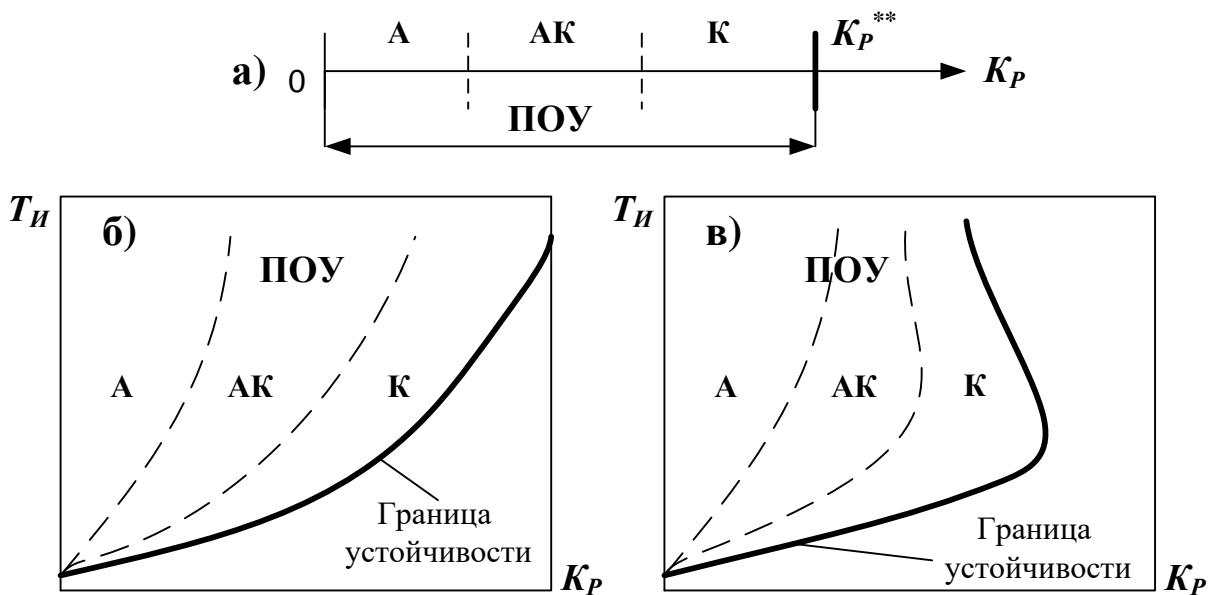


Рисунок 4 – Параметрические области устойчивости систем
 а – с П- регулятором, б – с ПИ- регулятором, в – с ПИД-регулятором;
 «А» - зона аperiodического переходного процесса; «АК» - зона аperiodического переходного процесса с небольшими колебаниями; «К» - зона колебательного переходного процесса

Качество регулирования определяется динамическими свойствами объекта управления, величиной внешнего воздействия (возмущающего - ΔZ или изменения задания - ΔU), выбранным законом регулирования и найденными параметрами настройки регулятора. Влияние этих факторов на устойчивость системы и качество регулирования изучается при выполнении исследования работы АСР. Результаты расчета выдаются в виде графика (рис. 5) и таблицы.

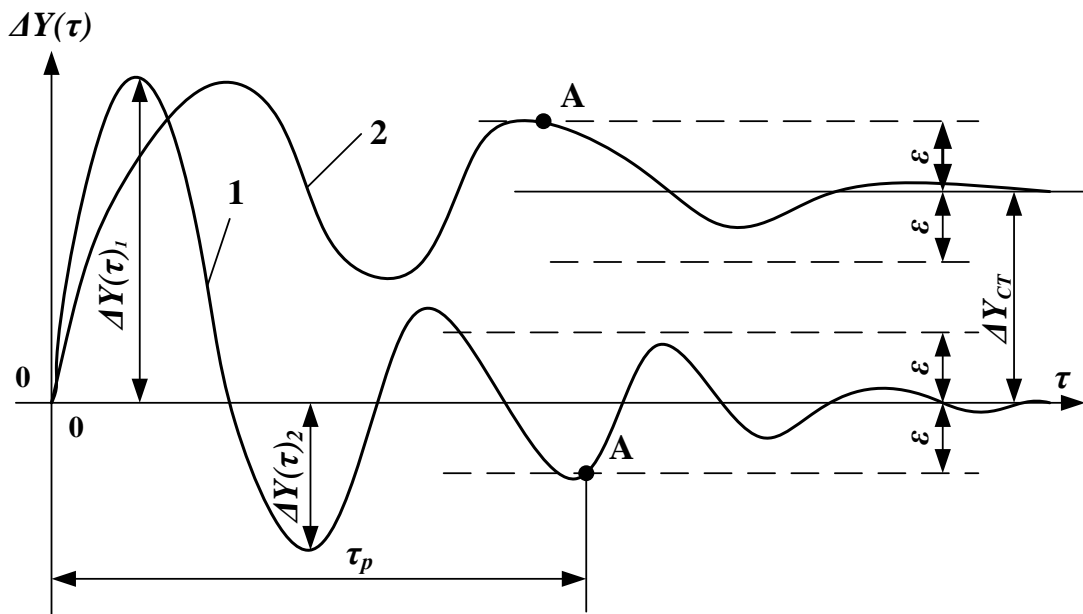


Рисунок 5 – График переходного процесса регулирования
 1 – при использовании ПИ- или ПИД-регулятора, 2 – при использовании П-регулятора; А – точка, принимаемая за окончание переходного процесса в системе

При исследовании систем автоматического регулирования принято анализировать не только ее временные, но и частотные характеристики, которые определяются с помощью программы «Расчет частотных характеристик». Полученные результаты выдаются в виде таблицы, где указываются значения амплитудно-частотных $A(\omega)$ и фазо-частотных $\varphi(\omega)$ характеристик объекта, регулятора и условно разомкнутой системы.

По этим данным на плоскости комплексного переменного строятся годографы (графики) амплитудно-фазовых частотных характеристик объекта $W(j\omega)_{OB}$, регулятора $W(j\omega)_P$ и условно разомкнутой системы $W(j\omega)_{ACP}$. На рис.6 показано построение $W(j\omega)_{ACP}$.

Основой построения таких годографов является выбор нужного масштаба реальной оси координат, отмеченной символом $Re(\omega)$. Ориентиром могут служить значение K_{OB} или $A(\omega)_{OB}$ при $\omega=0$, выбранное значение параметра настройки регулятора K_P и нужная величина безразмерного отрезка, равного единице (рис.3). Принятый масштаб реальной шкалы используется для определения длины векторов $A(\omega)_{OB}$, $A(\omega)_P$ и $A(\omega)_{ACP}$. Их положение на графиках в принятой системе полярных координат определяется значениями $\varphi(\omega)_{OB}$, $\varphi(\omega)_P$ и $\varphi(\omega)_{ACP}$, которые характеризуют величины углов в градусах, откладываемых от положительного направления реальной оси. При $\varphi(\omega) < 0$ угол откладывается по часовой стрелке, а если $\varphi(\omega) > 0$ - то против часовой стрелки.

Годограф амплитудно-фазовой частотной характеристики условно разомкнутой системы $W(j\omega)_{ACP}$ используется для оценки устойчивости системы по критерию Найквиста-Михайлова. Если система устойчива, то годограф $W(j\omega)_{ACP}$ не должен охватывать критическую точку с координатами $\{-1; j0\}$.

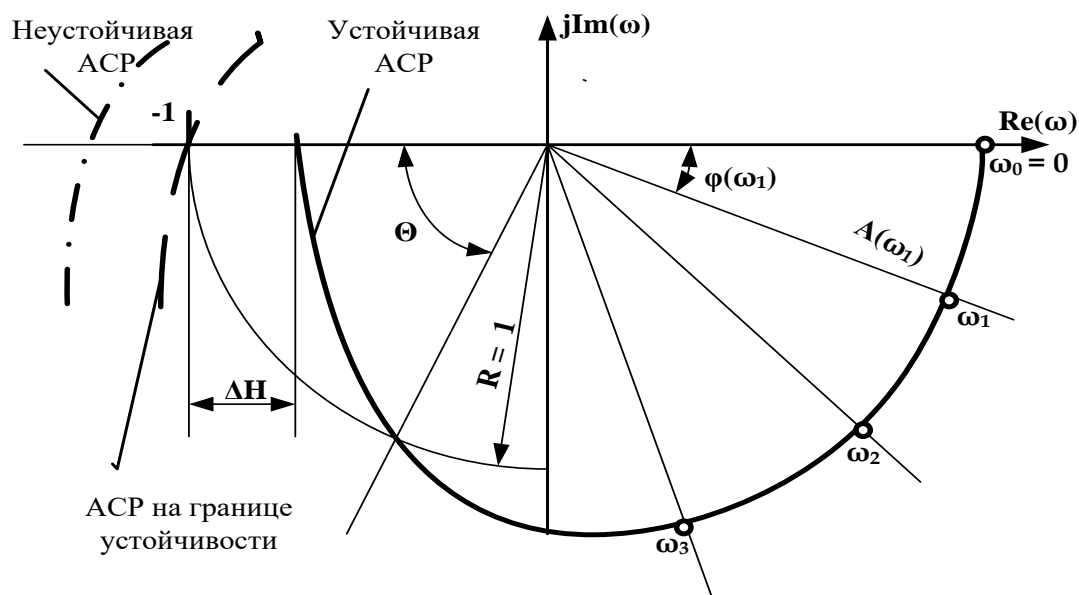


Рисунок 6 – Амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы регулирования $W(j\omega)_{ACP}$

По расположению этого годографа на плоскости комплексного переменного, как показано на рис.6, определяются запасы устойчивости системы по модулю ΔH и по фазе Θ . При оптимальных значениях настроек регулятора эти показатели должны быть в пределах: $\Delta H = 0,2 \dots 0,8$ и $\Theta = 30 \dots 70$ градусов.

Исследование АСР с помощью программного продукта CAP_SUN

На данном этапе исследований будет выполнен анализ работы различных типов регуляторов с идентифицированным объектом, и выбор лучшего варианта.

Все выведенные на экран результаты в виде текстовых сообщений, таблиц и графиков необходимо сохранить для формирования пояснительной записки.

Исходные данные, необходимые для выполнения исследования, были получены на этапах идентификации объекта и синтеза АСР. Для удобства использования внесите эти данные в табл.1.

Таблица 1 - Исходные данные для исследования АСР

Регулируемый параметр, единицы измерения, заданное значение	Возмущающее (задающее) воздействие	Параметры модели объекта регулирования			Значения параметров настройки регуляторов		
	$Z (U)$	$K_{об}$	T_0	τ_3	K_P	$T_{И}$	T_D

Расчет параметрической области устойчивости

1. Найдите и откройте папку с пакетом прикладных программ для исследования АСР.
2. Из появившегося меню с помощью клавиши F1 выберите программу «Расчет параметрической области устойчивости».
3. Следуя запросам и указаниям, которые высвечиваются на экране монитора, введите через клавиатуру исходные данные. Вариант работы системы – «стабилизация».
4. После получения всех исходных данных компьютер выполнит расчет, и на экране появятся результаты в виде таблицы, а затем рисунка. Сохраните их для подготовки пояснительной записки.
5. Внимательно изучите информацию, помещенную рядом с рисунком. Пользуясь рисунком на экране, приблизительно оцените расположение точки, соответствующей рассчитанным оптимальным значениям параметров настройки регулятора.
6. Наметьте какую-либо точку **вне области устойчивости** недалеко от границы и **запишите ее координаты**.
7. Рассчитайте варианты для всех возможных типов регуляторов.

Расчет переходного процесса регулирования

Целью этой части работы является определение показателей качества регулирования в синтезированной системе и ознакомление с характером переходного процесса в неустойчивой АСР. Порядок выполнения исследований следующий.

1. Вызовите меню пакета прикладных программ и с помощью клавиши F2 выберите программу «Расчет переходного процесса в системе».
2. Введите через клавиатуру исходные данные, при этом значение времени регулирования t_P укажите в 1,5 раза больше, чем было получено расчетом ранее.
3. Ознакомьтесь с выведенными на экран результатами расчета, скопируйте их.
4. На экране монитора высвечивается кривая переходного процесса в системе, а ниже указываются координаты двух экстремальных точек $\{T1; X1\}$, и $\{T2; X2\}$.
5. Обратите внимание на величину $2\epsilon_{ps}$ (2ϵ). Так обозначена зона нечувствительности регулятора, которая будет использована для определения фактического времени регулирования.
6. Для более четкого изображения кривой переходного процесса при вызове следующего за графиком видеокadra выдаются цифровые данные в виде таблицы.
7. Вновь вызовите с помощью клавиши F2 программу «Расчет переходного процесса в системе» для исследования неустойчивого режима работы АСР.

8. Введите через клавиатуру исходные данные, изменив при этом значения параметров настройки регулятора на те, которые были выбраны Вами вне параметрической области устойчивости.
9. Ознакомьтесь с выведенными на экран результатами расчета, скопируйте их.
10. Повторите расчеты для всех типов регулятора.

Расчет частотных характеристик системы

Целью этой части работы является ознакомление с порядком построения частотных характеристик объекта, регулятора и системы регулирования, а также анализ устойчивости синтезированной АСР с помощью критерия Найквиста-Михайлова.

1. Вызовите меню пакета прикладных программ и с помощью клавиши F3 выберите программу «Расчет частотных характеристик системы».
2. Введите исходные данные с оптимальными значениями параметров настройки регулятора.
3. Ознакомьтесь с выведенными на экран в виде таблицы результатами расчета, скопируйте их.
4. Повторно вызовите программу «Расчет частотных характеристик системы». Введите исходные данные со значениями параметров настройки регулятора вне области устойчивости. Скопируйте результаты расчета.
5. Повторите расчеты для всех типов регуляторов.

Оформление домашней работы

В пояснительную записку должны быть включены следующие разделы:

1. Идентификация объекта управления (подбор структуры модели и определение численных значений ее параметров, проверка адекватности модели).
2. Синтез системы автоматического регулирования (подбор закона регулирования, расчет параметров настройки регулятора, обеспечивающие получение заданных качественных показателей переходного процесса).
3. Анализ системы автоматического регулирования (проверка работоспособности АСР с помощью критериев устойчивости и оценка качества регулирования по рассчитываемой кривой переходного процесса).
4. Выводы по проведенной работе.