

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Методические рекомендации для  
самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

**Б1.Б.14 Автоматика**

**Направление подготовки 35.03.06 Агроинженерия**

**Профиль образовательной программы Технический сервис в АПК**

**Форма обучения очная**

## **СОДЕРЖАНИЕ**

|                                                                                        |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1. Организация самостоятельной работы.....</b>                                      | <b>3</b> |
| <b>2. Методические рекомендации по самостоятельному изучению вопросов.....</b>         | <b>4</b> |
| <b>3. Методические рекомендации по подготовке к занятиям.....</b>                      | <b>5</b> |
| <b>4. Методические рекомендации по выполнению индивидуальных домашних заданий.....</b> | <b>6</b> |

# 1. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

## 1.1. Организационно-методические данные дисциплины

| № п.п. | Наименование темы                                                                                | Общий объем часов по видам самостоятельной работы |                          |                                       |                                         |                             |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
|        |                                                                                                  | подготовка курсового проекта (работы)             | подготовка реферата/эссе | индивидуальные домашние задания (ИДЗ) | самостоятельное изучение вопросов (СИВ) | подготовка к занятиям (ПкЗ) |
| 1      | 2                                                                                                | 3                                                 | 4                        | 5                                     | 6                                       | 7                           |
| 1      | Предмет и значение дисциплины. Классификация автоматических систем управления.                   |                                                   |                          |                                       | 4                                       | 2                           |
| 2      | Понятие о типовых входных воздействиях. Статические и динамические характеристики.               |                                                   |                          |                                       | 4                                       | 4                           |
| 3      | Классификация технических средств автоматики.                                                    |                                                   |                          |                                       | 4                                       | 2                           |
| 4      | Классификация датчиков. Логические и цифровые элементы и микроконтроллеры автоматики..           |                                                   |                          |                                       | 4                                       | 4                           |
| 5      | Регуляторы. П-, И-, ПИ- и ПИД-законы регулирования                                               |                                                   |                          |                                       | 4                                       | 4                           |
| 6      | Преобразование структурных схем САУ. Необходимые и достаточные условия устойчивости линейных САУ |                                                   |                          | 2                                     | 4                                       | 4                           |
| 7      | Алгебраические и частотные критерии устойчивости. Точность работы САУ                            |                                                   |                          | 2                                     | 4                                       | 4                           |
| 8      | Производственный процесс и его автоматизация                                                     |                                                   |                          | 2                                     | 4                                       | 4                           |
| 9      | Построение структуры и передаточной функции по заданной электрической схеме цепи                 |                                                   |                          |                                       | 4                                       | 4                           |

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСОВ**

### **2.1 Основные виды систем автоматизации производства: автоматический контроль, автоматическая защита, дистанционное и автоматическое управление.**

При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на основных видах систем автоматизации производства.

### **2.2 Воздействия и сигналы**

При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на воздействиях и сигналах.

### **2.3 Обратные связи и их назначение**

При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на обратных связях и их назначении.

### **2.4 Устройство и принцип действия, статические и динамические характеристики датчиков температуры, давления, перепада давления и разряжения, уровня, расхода, количества, состава и свойств материалов.**

При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на устройстве и принципе действия, статических и динамических характеристиках датчиков температуры и давления.

### **2.5 Выбор датчиков**

При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на выборе датчиков.

### **2.6 Взаимосвязь разных форм представления динамических характеристик САУ.**

При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на взаимосвязи разных форм представления динамических характеристик САУ.

### **2.7 Передаточные функции систем автоматического управления.**

При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на передаточных функциях систем автоматического управления.

### **2.8 Определение показателей надежности автоматических систем.**

При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на определении показателей надежности автоматических систем.

### **2.9 Определения показателей надежности средств автоматизации**

При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на определении показателей надежности средств автоматизации.

### **3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

#### **ПО ПОДГОТОВКЕ К ЗАНЯТИЯМ**

##### **3.1 Предмет и значение дисциплины. Классификация автоматических систем управления.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на предмете и значении дисциплины. Классификация АСУ. Основные виды САП: автоматический контроль, автоматическая защита, дистанционное и автоматическое управление.

##### **3.2 Понятие о типовых входных воздействиях. Статические и динамические характеристики.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на основу аналитического определения динамических характеристик систем, а так же на статическая систему и астатическая систему

##### **3.3 Классификация технических средств автоматики.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на классификацию технических средств автоматики.

##### **3.4 Классификация датчиков. Логические и цифровые элементы и микроконтроллеры автоматики.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на классификацию датчиков, логические и цифровые элементы, а так же микроконтроллерах автоматики.

##### **3.5 Регуляторы. П-, И-, ПИ- и ПИД-законы регулирования.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на регуляторы, на П-, И-, ПИ- и ПИД- законы регулирования.

##### **3.6 Преобразование структурных схем САУ. Необходимые и достаточные условия устойчивости линейных САУ.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на преобразованиях структурных схем САУ, на необходимых и достаточных условиях устойчивости линейных САУ.

##### **3.7 Алгебраические и частотные критерии устойчивости. Точность работы САР.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на алгебраических, частотных критериях устойчивости и на точности работы САР.

##### **3.8 Производственный процесс и его автоматизация**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на производственный процесс и его автоматизацию.

##### **3.9 Построение структуры и передаточной функции по заданной электрической схеме цепи**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на построение структуры и передаточной функции по заданной электрической схеме цепи

#### **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ**

Индивидуальные домашние задания выполняются в форме расчетно-графической работы.

##### **2.1 Темы индивидуальных домашних заданий**

1. Расчет корректирующего фильтра входных сигналов

##### **2.2 Содержание индивидуальных домашних заданий**

Таблица 1. Распределение заданий

| Последняя<br>цифра<br>зачетной<br>книжки | Номера вариантов |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------------------------------|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0                                        | 1                | 11 | 21 | 31 | 41 | 51 | 61 | 71 | 81 |
| 1                                        | 2                | 12 | 22 | 32 | 42 | 52 | 62 | 72 | 82 |
| 2                                        | 3                | 13 | 23 | 33 | 43 | 53 | 63 | 73 | 83 |
| 3                                        | 4                | 14 | 24 | 34 | 44 | 54 | 64 | 74 | 84 |
| 4                                        | 5                | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 | 65 | 75 | 85 |
| 5                                        | 6                | 16 | 26 | 36 | 46 | 56 | 66 | 76 | 86 |
| 6                                        | 7                | 17 | 27 | 37 | 47 | 57 | 67 | 77 | 87 |
| 7                                        | 8                | 18 | 28 | 38 | 48 | 58 | 68 | 78 | 88 |
| 8                                        | 9                | 19 | 29 | 39 | 49 | 59 | 69 | 79 | 89 |
| 9                                        | 10               | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |

##### **2.3 Порядок выполнения заданий**

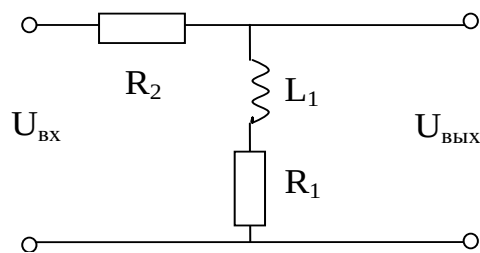
1. Проводим расчет корректирующего фильтра входных сигналов
2. Определение амплитудно-частотной характеристики системы
3. Определение устойчивости
4. Построение переходного процесса системы управления
5. Заключение

##### **2.4 Пример выполнения задания**

###### **1 Расчет корректирующего фильтра входных сигналов.**

- 1.1 Вывод передаточной функции фильтра.

Схема №1



Исходные данные:  $R_1=0,5 \text{ МОМ}$ ;

$R_2=0,48 \text{ МОМ}$ ;

$L_1=90 \text{ Гн}$ .

Составим уравнения контурных токов, используя второй закон Кирхгофа:

$$U_{\hat{a}x}(t) = R_2 I_1(t) + L_1 P \cdot I_1(t) + R_1 I_1(t);$$

$$U_{\hat{a}u_x}(t) = I_1(t) \cdot L_1 P + I_1(t) \cdot R_1;$$

Запишем уравнения в операторной форме:

$$U_{\hat{a}x}(t) = (R_2 + L_1 P + R_1) I_1(t);$$

$$U_{\hat{a}u_x}(t) = (L_1 P + R_1) I_1(t);$$

Передаточную функцию запишем в виде:

$$W(P) = \frac{U_{\text{вых}}(P)}{U_{\text{вх}}(P)} = \frac{(L_1 P + R_1) I_1(t)}{(R_2 + L_1 P + R_1) I_1(t)} = \frac{L_1 P + R_1}{R_2 + L_1 P + R_1} = \frac{90P + 0.5}{0.48 + 90P + 0.5} = \frac{90P + 0.5}{90P + 0.98};$$

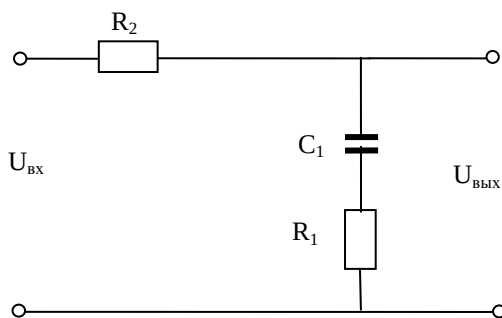
## 1.2 Амплитудно-частотная функция фильтра.

Схема № 2.

Исходные данные:  $R_1=1 \text{ МОМ}$ ;  $R_2=0,8 \text{ МОМ}$ ;

$R_3=0,2 \text{ МОМ}$ ;  $R_4=0,2 \text{ МОМ}$ ;

$C_2=0,85 \text{ мкФ}$ ;  $C_1=2,01 \text{ мкФ}$ .



Определим эквивалентное сопротивление:  $R_{\text{э}2} = R_2$ ;  $R_{\text{э}1} = \frac{R_1 C_1 P + 1}{C_1 P}$ ;

Составим уравнения контурных токов, используя второй закон Кирхгофа:

$$U_{\text{вх}}(t) = R_{\text{э}1} I_1(t) + R_{\text{э}2} I_1(t);$$

$$U_{\text{вых}}(t) = R_{\text{э}2} I_1(t);$$

Запишем уравнения в операторной форме:

$$U_{\text{ex}}(P) = R_{\text{э1}} I_1(P) + R_{\text{э2}} I_1(P);$$

$$U_{\text{блх}}(P) = R_{\text{э2}} I_1(P);$$

Выразим ток  $I_1$  из первого уравнения:

$$I_1(P) = \frac{U_{\text{ex}}(P)}{R_{\text{э1}} + R_{\text{э2}}};$$

Уравнение передаточной функции составим из условия:

$$U_{\text{блх}}(P) = R_{\text{э2}} \cdot \frac{U_{\text{ex}}(P)}{R_{\text{э1}} + R_{\text{э2}}};$$

Передаточную функцию запишем в виде:

$$W(P) = \frac{U_{\text{блх}}(P)}{U_{\text{ex}}(P)} = \frac{R_{\text{э2}}}{R_{\text{э1}} + R_{\text{э2}}} = \frac{\frac{R_1 C_1 P + 1}{C_1 P}}{\frac{R_2 P + 1}{P} + \frac{R_1 C_1 P + 1}{C_1 P}} = \frac{R_1 C_1 P + C_1}{(R_1 + R_2) C_1 P + C_1}$$

Подставим значения параметров схемы в уравнение передаточной функции.

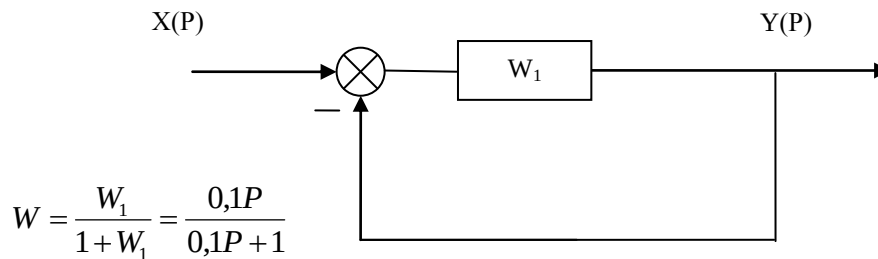
$$W(P) = \frac{1,708P + 2,01}{3,075P + 2,86}$$

### 1.3 Определение передаточной функции блока управления

Схема № 3.

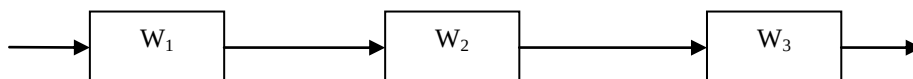
Исходные данные:

$$W_1 = 0,1P$$



### 1.4 Определение передаточной функции системы.

Найдем передаточную функцию всей цепи:



Передаточная функция последовательно соединенных звеньев равна произведению передаточных функций каждого звена:

$$W(P) = W_1(P) \cdot W_2(P) \cdot W_3(P)$$



$$W = \frac{90P + 0,5}{90P + 0,98} \cdot \frac{1,708P + 2,01}{3,075P + 2,86} \cdot \frac{0,1P}{0,1P + 1} =$$

$$= \frac{0,397P^3 + 0,638P^2 + 0,201P}{1,201P^3 + 13,435P^2 + 14,532P + 2,86}$$

## 2. Определение амплитудно-частотной характеристики системы

В передаточной функции системы заменим  $P$  на  $j\omega$  и подставим в следующую формулу:

$$A(\omega) = W(j\omega) \cdot W(-j\omega) =$$

$$= \frac{0,397(j\omega)^3 + 0,638(j\omega)^2 + 0,201(j\omega)}{1,201(j\omega)^3 + 13,435(j\omega)^2 + 14,532(j\omega) + 2,86} \cdot \frac{0,397(-j\omega)^3 + 0,638(-j\omega)^2 + 0,201(-j\omega)}{1,201(-j\omega)^3 + 13,435(-j\omega)^2 + 14,532(-j\omega) + 2,86}$$

$$= \frac{0,157\omega^6 + 0,247\omega^4 + 4,04 \cdot 10^{-2}\omega^2 +}{1,44\omega^6 + 145,593\omega^4 + 134,33\omega^2 + 8,179}$$

Амплитудно-частотную характеристику строим в осях  $[A(\omega); \omega]$ :

Таблица 1

| $\omega$    | 0 | 0,5                 | 1                    | 2                    | 10                  |
|-------------|---|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| $A(\omega)$ | 0 | $5,5 \cdot 10^{-4}$ | $1,53 \cdot 10^{-3}$ | $4,78 \cdot 10^{-3}$ | $5,4 \cdot 10^{-2}$ |

Продолжение таблицы 1

| $\omega$    | 40  | 100   | 500   |
|-------------|-----|-------|-------|
| $A(\omega)$ | 0,1 | 0,108 | 0,109 |

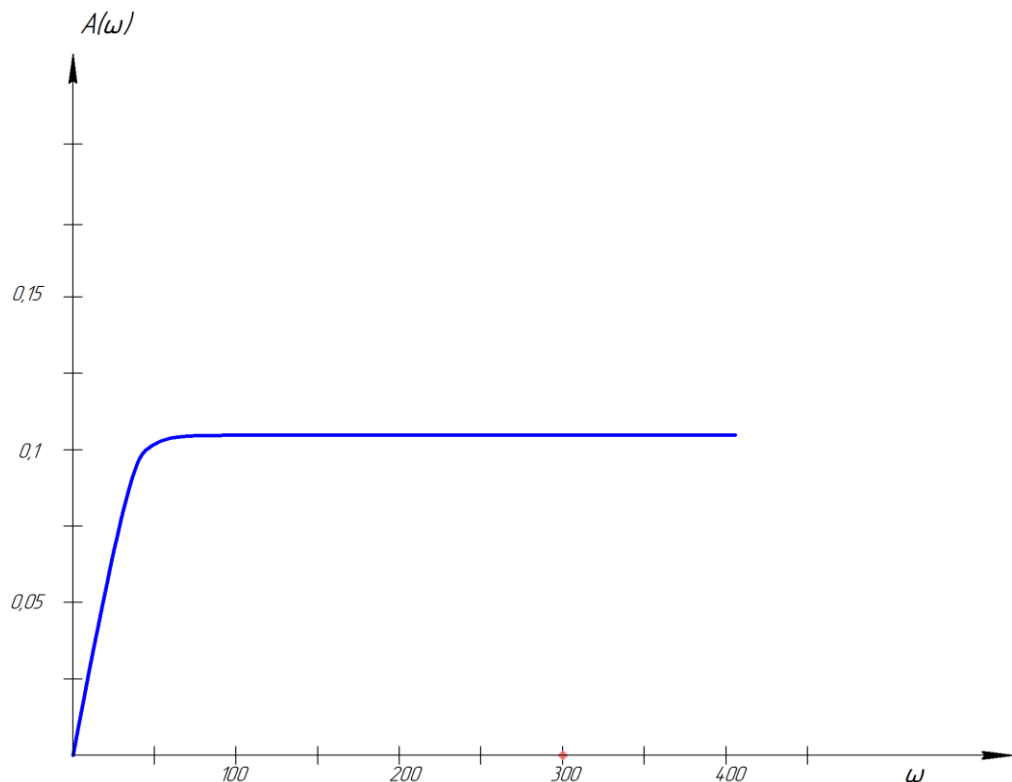


Рисунок 1. Амплитудно-частотная характеристика системы управления

### 3. Определение устойчивости.

#### 3.1. Алгебраический критерий.

##### Критерий Гурвица.

Критерий Гурвица формирует условие устойчивости автоматических систем управления в виде определителей.

Для устойчивости системы третьего порядка с уравнением

$$1,201P^3 + 13,435P^2 + 14,532P + 2,86 = 0$$

кроме того, чтобы были положительны все коэффициенты, требуется выполнение еще условия – положительность всех определителей Гурвица, получаемых из квадратной матрицы коэффициентов.

$$\Delta_2 = 191,802 > 0$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 13,435 & 2,86 \\ 1,201 & 14,532 \end{vmatrix} = 191,802$$

Вывод: т.к. выполняются все условия для определения устойчивости седьмого порядка: все коэффициенты в уравнение больше нуля,  $\Delta_2$  также больше нуля, следовательно, система будет устойчивой

#### 3.2 Частотный критерий Найквиста.

##### Критерий устойчивости Найквиста.

Передаточную функцию всей системы запишем в виде:

$$W_{\text{общ}} = \frac{0.397P^3 + 0.638P^2 + 0.201P}{1.201P^3 + 13.435P^2 + 14.532P + 2.86}$$

В передаточной функции всей системы заменим P на j $\omega$ :

$$\begin{aligned} W_{\text{общ}} &= \frac{0.397(j\omega)^3 + 0.638(j\omega)^2 + 0.201j\omega}{1.201(j\omega)^3 + 13.435(j\omega)^2 + 14.532j\omega + 2.86} = \\ &= \frac{-0.397j\omega^3 - 0.638\omega^2 + 0.201j\omega}{-1.201j\omega^3 - 13.435\omega^2 + 14.532j\omega + 2.86} = \\ &= \frac{(-0.638\omega^2) + j \cdot (-0.397\omega^3 + 0.201\omega)}{(-13.435\omega^2 + 2.86) + j \cdot (-1.201\omega^3 + 14.532\omega)} \end{aligned}$$

Найдем Re( $\omega$ ) и Im( $\omega$ ):

$$\begin{aligned} \text{Re}(\omega) &= \frac{(-0.638\omega^2) \cdot (-13.435\omega^2 + 2.86) + (-0.397\omega^3 + 0.201\omega) \cdot (-1.201\omega^3 + 14.532\omega)}{(-13.435\omega^2 + 2.86)^2 + (-1.201\omega^3 + 14.532\omega)^2} = \\ &= \frac{0.4768\omega^6 + 2.561\omega^4 + 1.096\omega^2}{1.442\omega^6 + 145.6\omega^4 + 134.3\omega^2 + 8.18}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Im}(\omega) &= \frac{(-0.397\omega^3 + 0.201\omega) \cdot (-13.435\omega^2 + 2.86) - (-0.638\omega^2) \cdot (-1.201\omega^3 + 14.532\omega)}{(-13.435\omega^2 + 2.86)^2 + (-1.201\omega^3 + 14.532\omega)^2} = \\ &= \frac{4.567\omega^5 + 5.436\omega^3 - 0.5749\omega}{1.442\omega^6 + 145.6\omega^4 + 134.3\omega^2 + 8.18}. \end{aligned}$$

Таблица 2.

|          |   |           |       |       |       |       |       |       |
|----------|---|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\omega$ | 0 | 0,5       | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 10    |
| Re       | 0 | 8,68·10-3 | 0,014 | 0,026 | 0,04  | 0,058 | 0,078 | 0,173 |
| Im       | 0 | 0,022     | 0,037 | 0,064 | 0,089 | 0,111 | 0,128 | 0,159 |

Продолжение таблицы 2

|          |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\omega$ | 15    | 20    | 25    | 30    | 40    | 50    | 100   | 200   |
| Re       | 0,233 | 0,267 | 0,287 | 0,299 | 0,312 | 0,318 | 0,327 | 0,33  |
| Im       | 0,146 | 0,127 | 0,109 | 0,095 | 0,075 | 0,061 | 0,031 | 0,016 |

Продолжение таблицы 2

|          |       |            |            |            |            |            |
|----------|-------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $\omega$ | 300   | 400        | 500        | 1000       | 104        | 105        |
| Re       | 0,33  | 0,33       | 0,33       | 0,331      | 0,331      | 0,331      |
| Im       | 0,011 | 7,911·10-3 | 6,331·10-3 | 3,166·10-3 | 3,167·10-4 | 3,167·10-5 |

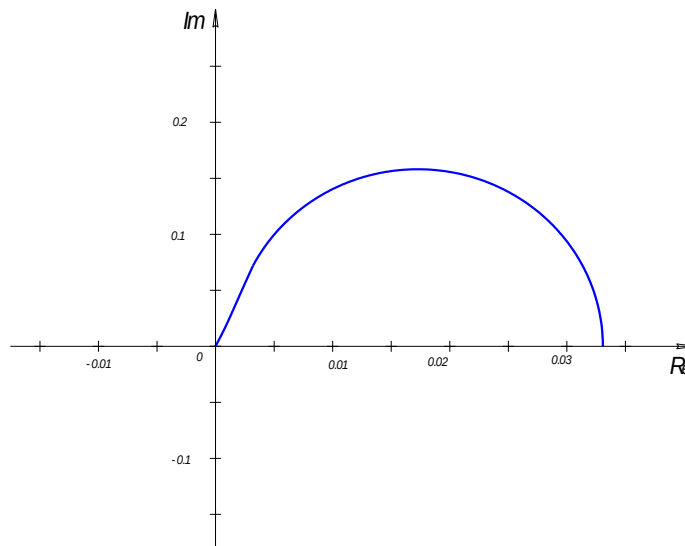


Рисунок 2 Амплитудно-фазочастотная характеристика автоматической системы управления.

Вывод: автоматическая система управления будет устойчивой, т.к. согласно критерию Найквиста автоматическая система управления, устойчивая в разомкнутом состоянии, будет устойчивой и в замкнутом состоянии, если амплитудно-фазочастотная характеристика  $W(j\omega)$  этой системы в разомкнутом состоянии не охватывает точку с координатами  $(-1;j0)$ .

#### 4. Построение переходного процесса системы управления.

Для передаточной функции системы управления

$$W = \frac{0,397P^3 + 0,638P^2 + 0,201P}{1,201P^3 + 13,435P^2 + 14,532P + 2,86}$$

Найдем корни характеристического уравнения системы управления.

$$1,201P^3 + 13,435P^2 + 14,532P + 2,86 = 0$$

Корни характеристического уравнения

$$P_1 = -10$$

$$P_2 = -0,93$$

$$P_3 = -0,256$$

$$Y(t) = \frac{M(0)}{D(0)} + \sum_{i=1}^k \frac{M(P_i)}{P_i \cdot D'(P_i)} \cdot e^{P_i t}$$

$$M(P) = 0,397P^3 + 0,638P^2 + 0,201P$$

$$D'(P) = 3,603P^2 + 26,87P + 14,532$$

$$\frac{M(P_1)}{D'(P_1)} = 0,315$$

$$\frac{M(P_2)}{D'(P_2)} = 6,66 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{M(P_3)}{D'(P_3)} = 8,07 \cdot 10^{-3}$$

$$Y(t) = 0,315e^{-10t} + 6,66 \cdot 10^{-3}e^{-0,93t} + 8,07 \cdot 10^{-3}e^{-0,256t}$$

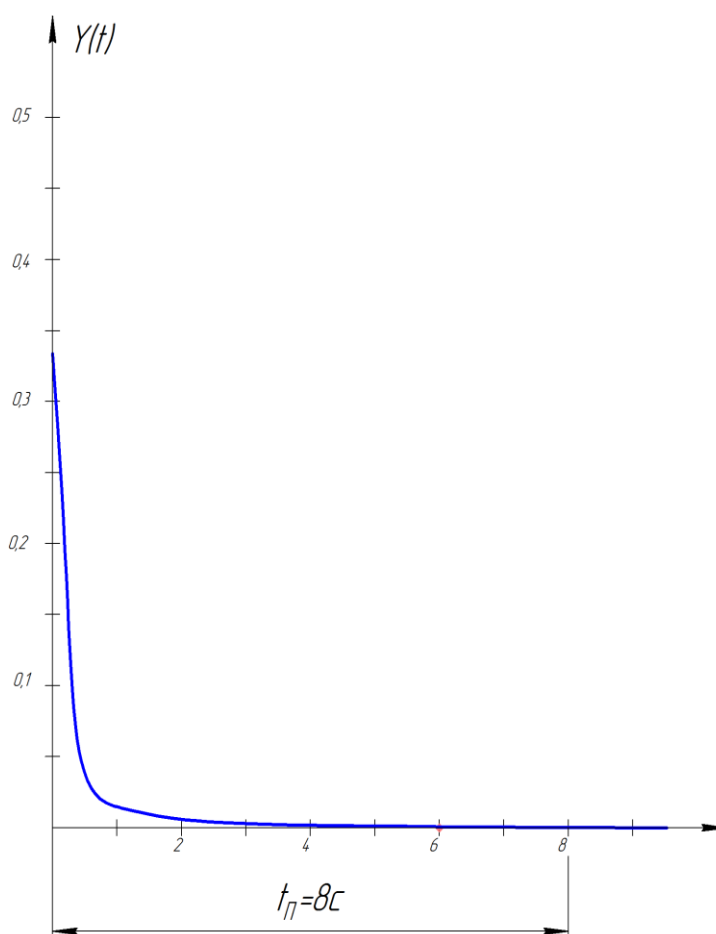
Переходный процесс строим в осях  $[Y(t); t]$ :

Таблица 3

| t    | 0     | 1                    | 2                    | 3                    | 4                     | 5                    | 10                   |
|------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Y(t) | 0,329 | $8,87 \cdot 10^{-3}$ | $5,87 \cdot 10^{-3}$ | $4,15 \cdot 10^{-3}$ | $3,059 \cdot 10^{-3}$ | $2,03 \cdot 10^{-3}$ | $6,24 \cdot 10^{-4}$ |

продолжение таблицы 3

| t    | 20                   | 40                   |
|------|----------------------|----------------------|
| Y(t) | $4,82 \cdot 10^{-5}$ | $2,88 \cdot 10^{-7}$ |



### Рисунок 3 График переходного процесса системы управления

#### 5. Заключение

При выполнении курсовой работы были найдены передаточные функции 1-го и 2-го звена корректирующего фильтра и блока управления. Далее рассчитали передаточную функцию всей системы и по полученным данным построили амплитудно-частотную характеристику системы управления.

Определили устойчивость системы по двум критериям, алгебраическому (критерий Гурвица) и частотному (критерий Михайлова), оба критерия показали, что система управления является устойчивой. Устойчивость системы доказывает и график переходного процесса в виде затухающих колебаний. Система является устойчивой.