Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Тульский государственный университет»

ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК

КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ   
СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

**К КУРСОВОЙ РАБОТЕ**

по дисциплине

ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Разработал: | ст. гр. 230711 | Павлова В.С. |
| Руководитель: | проф. каф. ИБ | Фомичев А.А. |

Тула, 2023 г.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | СОДЕРЖАНИЕ  [ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc153533634)  [1 АНАЛИЗ ЗАДАНИЯ 4](#_Toc153533635)  [1.1 Содержательное описание системы автоматического регулирования 4](#_Toc153533636)  [1.2 Изучение требований к качеству функционирования системы и точности регулирования при заданных входных сигналах 5](#_Toc153533637)  [1.3 Выводы 5](#_Toc153533638)  [2 СОСТАВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ ИСХОДНОЙ АСР 6](#_Toc153533639)  [2.1 Выделение функционально значимых элементов системы и их классификация 6](#_Toc153533640)  [2.2 Классификация объекта управления 7](#_Toc153533641)  [2.3 Классификация системы управления 8](#_Toc153533642)  [2.4 Выводы 9](#_Toc153533643)  [3 ПЕРЕВОД ИНЖЕНЕРНОЙ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСР НА ЯЗЫК АБСТРАКТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ 10](#_Toc153533644)  [3.1 Формализация содержательного описания всей системы и отдельных функциональных элементов 10](#_Toc153533645)  [3.2 Структурная схема САР 10](#_Toc153533646)  [3.3 Выводы 11](#_Toc153533647)  [4 КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ИСХОДНОЙ АСР 12](#_Toc153533648)  [4.1 Определение передаточной функции разомкнутой системы по каналу управления и по возмущению 12](#_Toc153533649)  [4.2 Построение временных характеристик 12](#_Toc153533650)  [4.3 Построение частотных характеристик 15](#_Toc153533651)  [4.3.1 Амплитудная частотная характеристика 15](#_Toc153533652)  [4.3.2 Фазовая частотная характеристика 16](#_Toc153533653)  [4.4 Исследование устойчивости АСР 17](#_Toc153533654)  [4.5 Исследование точности АСР в установившемся режиме 19](#_Toc153533655)  [4.6 Постановка задачи синтеза 19](#_Toc153533656)  [4.7 Выводы 20](#_Toc153533657)  [5 СИНТЕЗ ФАЗОКОРРЕКТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА 21](#_Toc153533658)  [5.1 Выбор способа включения, структуры и синтез передаточной функции фазокорректирующего устройства АСР 21](#_Toc153533659)  [5.2 Синтез ПД-регулятора 22](#_Toc153533660)  [5.2.1 Определение области устойчивости по методу Гурвица 22](#_Toc153533661)  [5.2.2 Определение оптимальных параметров ПД-регулятора 23](#_Toc153533662)  [5.3 Анализ скорректированной САР 24](#_Toc153533663)  [5.4 Выводы 24](#_Toc153533664)  [ЗАКЛЮЧЕНИЕ 25](#_Toc153533665)  [СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 26](#_Toc153533666) | | | | | | | | | |
| Согласовано: | |  | |  |
|  | |  |
|  | |  |
|  | |  |
|  | Взам. инв. № | |  | |
| Подпись и дата | |  | |
|  |  |  |  |  |  | *ИБКР. 351000. 000 ПЗ* | | | |
|  |  |  |  |  |  |
| Изм. | Кол.уч | Лист | № док. | Подпись | Дата |
| Инв. № подл. | |  | | Н. контроль | |  | |  |  | *Система автоматического регулирования скорости вращения двигателя* | Стадия | Лист | Листов |
| Гл. спец. | |  | |  |  |  | 3 | 31 |
| Проверил | | Фомичев А.А. | |  |  | *ТулГУ, гр. 230711* | | |
| Разработал | | Павлова В.С. | |  |  |
| Утв. | |  | |  |  |



# ВВЕДЕНИЕ

Тенденцией развития современной промышленности является появление множества автоматических систем, которые производят управление физическими процессами в различных областях техники. Эти системы включают в себя механические, электрические, электромагнитные и другие компоненты, образуя сложный комплекс взаимодействующих компонентов. Понимание принципов функционирования таких систем становится ключевым навыком для современных технических специалистов.

В данной курсовой работе рассматривается система автоматического регулирования скорости вращения двигателя. Целью данной курсовой работы является закрепление, углубление и обобщение знаний, полученных при изучении курса «Основы теории управления», а также развитие навыков их применения при решении задач управления автоматическими системами с использованием электронных вычислительных машин.

В рамках данной курсовой работы необходимо провести анализ статических и динамических свойств исходной системы автоматического регулирования, который включает в себя исследование устойчивости системы и качества регулирования. По результатам анализа ставится задача синтеза – выбор и расчёт корректирующего устройства, позволяющего повысить точность системы и достичь предъявленных к ней требований. После решения задачи синтеза необходимо провести повторный анализ скорректированной системы и сделать выводы о проделанной работе.

# 1 АНАЛИЗ ЗАДАНИЯ

## 1.1 Содержательное описание системы автоматического регулирования

Принципиальная схема САР скорости вращения двигателя из альбома заданий [1] представлена на рисунке 1.

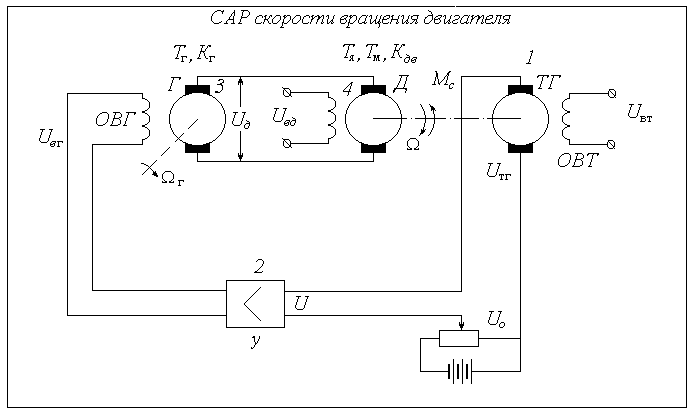
**

Рисунок 1 – Принципиальная схема САР скорости вращения двигателя

В данной системе задача регулятора состоит в том, чтобы поддерживать число оборотов двигателя **Д** в заданных пределах при изменении нагрузки. Нагрузкой двигателя является момент сопротивления на его валу. Для измерения скорости вращения двигателя применяется тахогенератор **ТГ**, создающий напряжение **Uт**, пропорциональное числу оборотов. Напряжение **Uо**, соответствующее положению движка потенциометра, определяет заданное значение скорости двигателя. Напряжение **Uрас** характеризует отклонение числа оборотов двигателя от заданного числа оборотов.

Генератор **Г**, входящий в состав системы, представляет собой усилитель мощности. При неравенстве напряжений **Uт** и **Uо** появляется напряжение на обмотке возбуждения генератора ОВГ, подключенной к выходу предварительного усилителя **У**, которое пропорционально разности **Uо-Uт**. В результате число оборотов двигателя изменяется так, чтобы рассогласование **Uрас** уменьшилось.

Внешним воздействием в системе является сопротивление нагрузки, на котором падает часть напряжения, поступающего с генератора.

Допустим, что напряжение **Uрас** равно нулю. Тогда равно нулю также напряжение на обмотке возбуждения генератора и на якоре двигателя, следовательно, двигатель не вращается. Однако это противоречит исходному предположению, что в системе установилась некоторая ненулевая скорость вращения двигателя. Таким образом, предположение **Uрас = 0** неверно и установившаяся ошибка в системе не равна нулю. Следовательно, можно сделать вывод о том, что система является статической.

## 1.2 Изучение требований к качеству функционирования системы и точности регулирования при заданных входных сигналах

Параметры функциональных элементов САР, взятые в соответствии с вариантом задания [1], приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры функциональных элементов САР

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Мощность системы | Звенья линейной части системы | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | | 4 | | |
| Ктг | Ку | Кг | Тг | Кдв | Тм | Тя |
| - | - | - | с | - | с | с |
| *1* | *средняя* | *0,5* | *8* | *0,08* | *2* | *0,1* | *0,9* | *1,6* |

Внешние воздействия на САР, взятые в соответствии с вариантом задания [1], приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры функциональных элементов САР

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Внешние воздействия | | Требования | | |
| U0 | Uвд | в статике | в динамике | |
| U*î*1(t) | *Uвд1(t)* | С0 | tпп | σ |
| В | B | рад | с | % |
| *1* | *2* | *0,4* | *0.02* | *3,9* | *30* |

## 1.3 Выводы

Задание на курсовую работу предполагает проектирование системы автоматического регулирования скорости вращения двигателя с учётом приведённого ряда требований, которые заданы во временной области.

# 2 СОСТАВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ ИСХОДНОЙ АСР

## 2.1 Выделение функционально значимых элементов системы и их классификация

В состав данной САР скорости вращения двигателя в соответствии с рисунком 1 входят следующие элементы:

1 – усилитель (**У**);

2 – тахогенератор (**ТГ**);

3 – электрический двигатель (**Д**);

4 – генератор (**Г**);

В данной системе *объектом управления* является электрический двигатель постоянного тока, обозначенный на схеме буквой **Д**. *Управляемая величина* в данной системе — это скорость вращения вала двигателя **Д** (об/мин). *Управляющим воздействием* является напряжение, которое снимается с якоря генератора **Г** и подается на якорь двигателя **Д**.

*Измерительным устройством* управляемой величины в данной системе является тахогенератор **ТГ** (рис. 1). Тахогенератор представляет собой обычный генератор, вал которого подсоединен к валу двигателя **Д**. В результате тахогенератор вырабатывает напряжение, пропорциональное скорости вращения вала двигателя **Д**. *Задающим воздействием* в данной системе является напряжение, а задающим устройством делитель, представляющий собой «переменное» сопротивление.

В данной схеме *сравнивающие устройство* в явном виде отсутствует. Сигнал рассогласования получается вычитанием. *Усилительным устройством* в данной САУ является предварительный усилитель **У** и генератор **Г**, представляющий собой усилитель мощности. *Возмущающими воздействиями* в данной системе являются: напряжение возбуждения обмотки тахогенератора; напряжение, выдаваемое постоянным источником; напряжение возбуждения обмотки двигателя; момент силы сопротивления; скорость вращения вала генератора. *Корректирующее устройство* в данной САУ отсутствует.

На рисунке 2 приведена функциональная схема САР скорости вращения двигателя.



Рисунок 2 – Функциональная схема САР скорости вращения двигателя

## 2.2 Классификация объекта управления

Данная САР предназначена для поддержания скорости вращения двигателя, следовательно, объектом управления в ней является двигатель. Его, как динамическую систему, описывает следующая классификация:

1. По числу входных воздействий и выходных переменных данный объект является ***одномерным***, то есть имеется один управляющий вход и один выход.
2. По условиям функционирования объект является ***детерминированным***, то есть выход объекта определяется однозначно по текущему состоянию.
3. По способу задания области определения объект является ***непрерывным***, то есть для данного объекта управления множество моментов времени является множеством вещественных чисел.
4. По реакции на внешнее воздействие в зависимости от промежутка времени, в котором происходит это воздействие, объект ***стационарен***, так как его реакция на внешнее воздействие не зависит от времени.
5. Объект является системой с ***сосредоточенными параметрами***, так как выход объекта можно однозначно определить через функцию состояния.
6. По числу степеней свободы объект является ***конечным***, поскольку количество переменных состояния конечно.
7. По характеру математических соотношений, описывающих входные-выходные связи, данный объект является ***линейным***, так как для него справедлив принцип наложения движения (суперпозиции).
8. Объект является ***обыкновенной динамической системой***, так как он конечен, является системой с сосредоточенными параметрами, стационарен, непрерывен и линеен.

## 2.3 Классификация системы управления

Рассматриваемую систему автоматического регулирования описывает следующая классификауия:

1. *По уровню автоматизации процессов в системе управления:* система автоматического управления, так как для её функционирования не требуется участие человека.
2. *По принципу формирования допустимого управления*: система по замкнутому циклу, так как управление организуется по отклонению на основе отрицательной обратной связи.
3. *По цели управления*: автоматическая система регулирования;
4. *По степени сложности объекта управления*: простая, так как объект управления представлен обыкновенной динамической системой;
5. *По объему информации для формирования допустимого управления*, обеспечивающего требуемое качество функционирования: обычная;
6. *По способу формирования допустимого управления* в замкнутой системе: с управлением по выходу;
7. *По типу задающего воздействия*: система стабилизации;
8. *По количеству контуров обратной связи*: одноконтурная;
9. *По числу уровней иерархии управления*: локальная;
10. *По наличию внутреннего источника энергии*: система непрямого действия, поскольку ей необходим вспомогательный источник энергии;
11. *По функциональному назначению*: система автоматического регулирования скорости вращения вала двигателя;
12. *По способу задания области определения:* непрерывная (аналоговая) система;
13. *По характеру математических соотношений, описывающих входные-выходные связи*: линейная.

## 2.4 Выводы

После проведения классификации установлено, что исследуемый объект управления является одномерным, стационарным, непрерывным и линейным. Теми же свойствами обладает и САР, которая является одноконтурной, обычной, с управлением по замкнутому циклу и непрямого действия.

# 3 ПЕРЕВОД ИНЖЕНЕРНОЙ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСР НА ЯЗЫК АБСТРАКТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

## 3.1 Формализация содержательного описания всей системы и отдельных функциональных элементов

Для проведения анализа САР необходимо составить её математическую модель, описанную дифференциальными уравнениями. При этом точность описания математической модели непосредственным образом влияет на точность анализа системы, её проектирования и синтеза и вносит в её структуру сложность, что может сделать процесс вычислений более трудоёмким.

В процессе классификации было установлено, что исходная система является линейной, а, следовательно, для неё возможга линеаризация в малых отклонениях. Система обладает сосредоточенными параметрами, является непрерывной и стационарной. На основе данной классификации можно сделать вывод о возможности описания системы линейной моделью, в которой система описывается линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. В классической линейной модели принято описывать систему и ее элементы не в дифференциальных уравнениях, а в терминах передаточных функций (отношения изображений по Лапласу выхода системы ко входу при нулевых начальных условиях), что по сути является переходом от дифференциальных уравнений к алгебраическим.

Таким образом, можно перейти к описанию математической модели системы в терминах передаточной функции.

## 3.2 Структурная схема САР

Составим структурную схему исследуемой САР на основе данных индивидуального задания [1]. Данная система состоит из четырех звеньев. Рассмотрим их и для каждого определим его передаточную функцию:

1)Тахогенератор: (1)

2)Усилитель: (2)

3) Двигатель: (3)

4) Генератор: (4)

На рисунке 3 приведена структурная схема САР скорости вращения двигателя.



Рисунок 3 – Структурная схема САР скорости вращения двигателя

На рисунке 4 приведена структурная схема САР с учётом внешнего возмущения.



Рисунок 4 – Структурная схема исследуемой САР с учётом внешнего возмущения

Схема имитационного моделирования для исследования системы в среде Scilab представлена на рисунке 5.

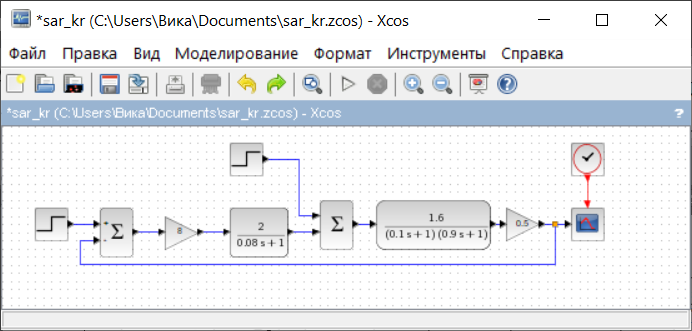


Рисунок 5 – Цифровая схема исследуемой САР

## 3.3 Выводы

В рамках данного раздела был выбран и обоснован язык описания модели исходной САР для последующего анализа, построена структурная схема САР и схема имитационного моделирования в цифровой среде Scilab Xcos.

# 4 КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ИСХОДНОЙ АСР

## 4.1 Определение передаточной функции разомкнутой системы по каналу управления и по возмущению

Из рисунка 3 следует, что передаточная функция по каналу управления разомкнутой системы имеет вид:

После записи передаточной функции по каналу управления классификация системы может быть дополнена тем, что она минимально фазовая (у неё отсутствует полином в числителе). Аналогичным образом запишем передаточную функцию разомкнутой системы по каналу возмущения:

## 4.2 Построение временных характеристик

К временным характеристикам системы относятся:

1. переходная функция – реакция на единичное ступенчатое воздействие при нулевых начальных условиях;
2. весовая функция – это оригинал передаточной функции, то есть результат обратного преобразования Лапласа для передаточной функции [2].

Изображение единичного ступенчатого воздействия по Лапласу равно:

Тогда переходная функция будет определена по формуле (11):

Весовая функция определяется по следующей формуле:

Определим переходную и весовую функции по каналу управления:

Графики переходной и весовой функций разомкнутой системы по каналу управления представлены на рисунках 6 и 7 соответственно.

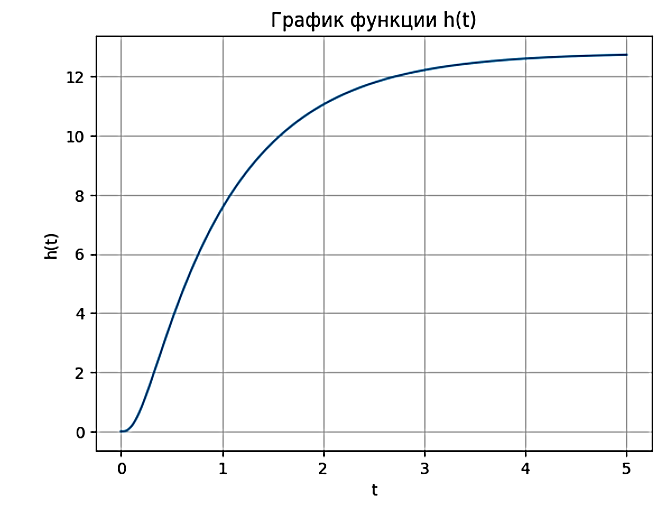


Рисунок 6 – График переходной функции разомкнутой системы по каналу управления

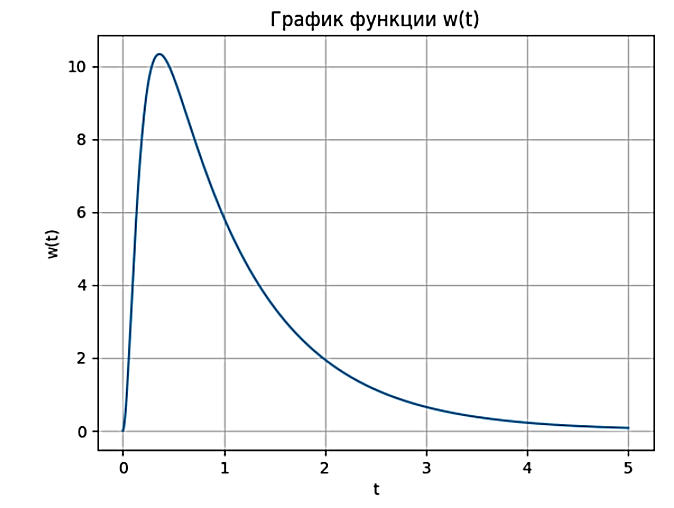


Рисунок 7 – График весовой функции разомкнутой системы по каналу управления

Определим переходную и весовую функции по каналу возмущения:

Графики переходной и весовой функций разомкнутой системы по каналу возмущения представлены на рисунках 8 и 9 соответственно.

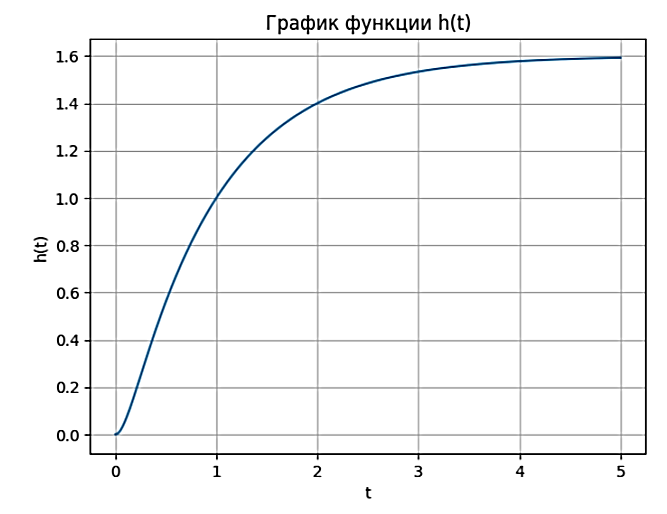


Рисунок 8 – График переходной функции разомкнутой системы по каналу возмущения

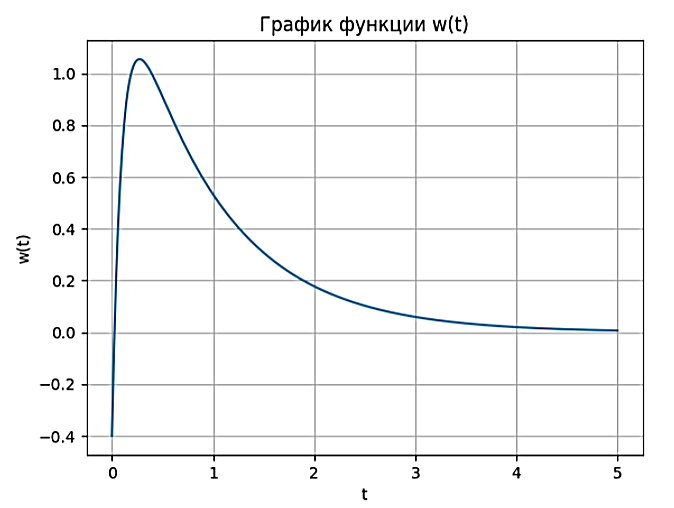


Рисунок 9 – График весовой функции разомкнутой системы по каналу возмущения

## 4.3 Построение частотных характеристик

Вычислим частотные передаточные функции для канала управления и возмущения, заменив в них оператор Лапласа на . Соответствующие функции имеют вид:

## 4.3.1 Амплитудная частотная характеристика

Амплитудная частотная характеристика или АЧХ показывает зависимость отношения амплитуд колебаний на выходе и входе системы от частоты.   
АЧХ определяется по следующей формуле:

Тогда АЧХ для передаточной функции разомкнутой системы по каналу управления имеет вид:

АЧХ для передаточной функции разомкнутой системы по каналу возмущения определяется по следующей формуле:

Графики АЧХ передаточной функций разомкнутой системы по каналу управления и возмущения представлены на рисунках 10 и 11 соответственно.

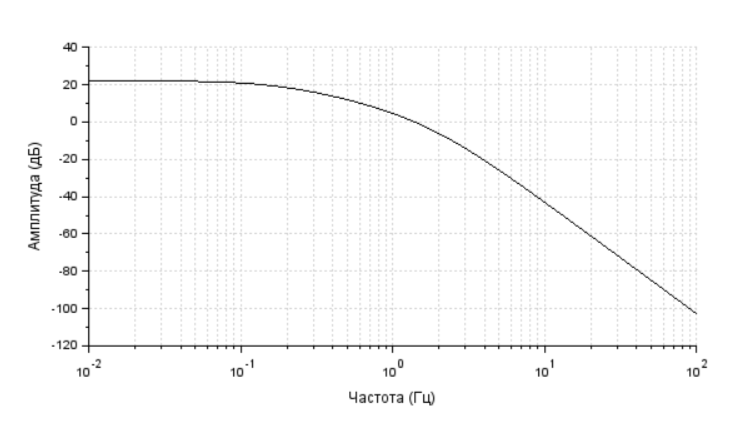


Рисунок 10 – График АЧХ передаточной функции по каналу управления

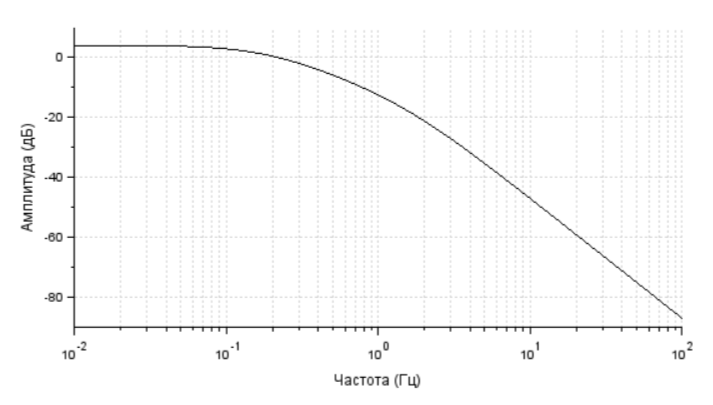


Рисунок 11 – График АЧХ передаточной функции по каналу возмущения

## 4.3.2 Фазовая частотная характеристика

Фазовая частотная характеристика или ФЧХ определяет запаздывание выходного сигнала по отношению ко входному. Она определяется по следующей формуле:

ФЧХ для передаточной функции разомкнутой системы по каналу управления определяется по следующей формуле:

ФЧХ для передаточной функции разомкнутой системы по каналу возмущения определяется по следующей формуле:

Графики ФЧХ передаточных функций разомкнутой системы по каналам управления и возмущения представлены на рисунках 12 и 13 соответственно.

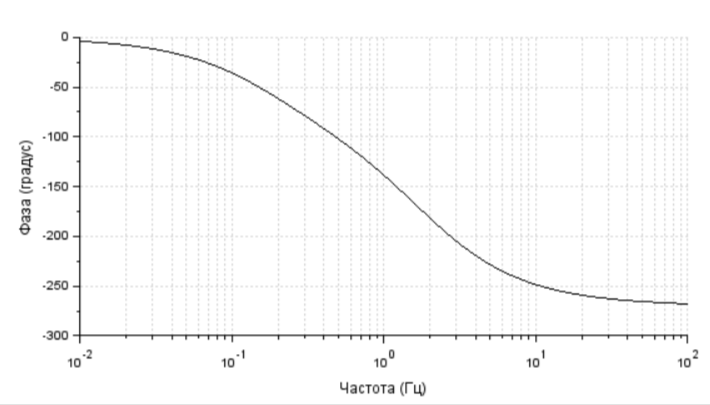


Рисунок 12 – График ФЧХ передаточной функции по каналу управления

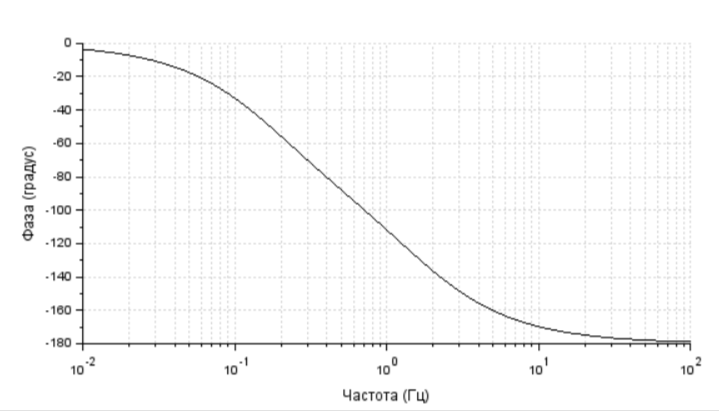


Рисунок 13 – График ФЧХ передаточной функции по каналу возмущения

## 4.4 Исследование устойчивости АСР

Передаточная функция по каналу управления имеет вид:

Полная передаточная функция замкнутой системы имеет вид:

Характеристический полином имеет вид:

Так как все коэффициенты положительны, выполняется необходимое условие устойчивости. Теперь необходимо проверить достаточное условие устойчивости при помощи метода Гурвица. Матрица Гурвица имеет вид:

Согласно критерию устойчивости Льенара-Шипара, если все нечетные миноры матрицы Гурвица больше нуля, то и все четные миноры больше нуля и наоборот (при выполнимости достаточного условия устойчивости). Первый минор матрицы , поэтому необходимо найти значение третьего минора.

Таким образом, можно сделать вывод, что достаточное условие устойчивости системы выполнено.

Вычислим предельный коэффициент передачи . Построим матрицу Гурвица, заменив значение, соответствующее свободному члену характеристического полинома, на значение *1+Ккр* (статическая система):

При равенстве нулю миноров матрицы Гурвица система будет находиться на границе колебательной устойчивости, что соответствует предельному коэффициенту передачи . Приравняв миноры к нулю, найдем :

Из (31) получим, что предельный коэффициент передачи ***.*** При этом значении коэффициента передачи САР находится на границе колебательной устойчивости.

## 4.5 Исследование точности АСР в установившемся режиме

Для исследования качества системы в переходном режиме воспользуемся прямым методом оценки качественных показателей системы, а именно построим кривую переходного процесса замкнутой системы. Кривая переходного процесса при подаче на вход единичного ступенчатого сигнала в t = 1 представлена на рисунке 14.

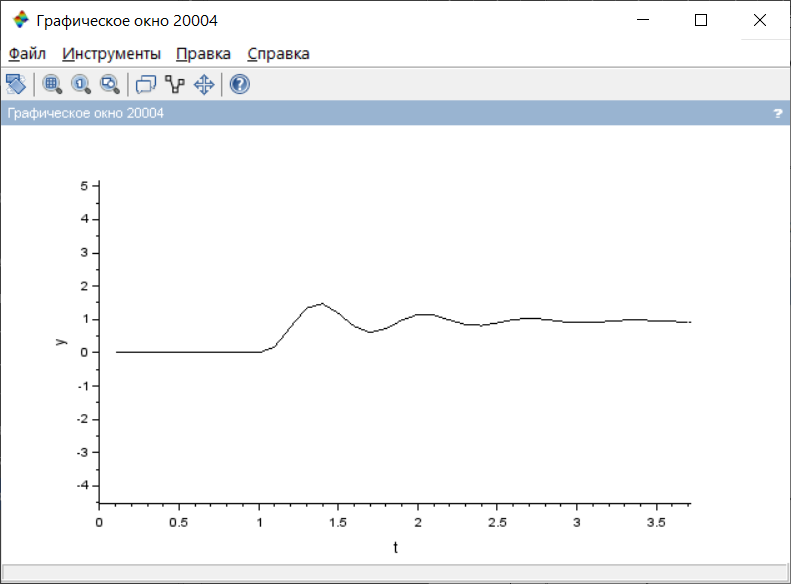


Рисунок 14 – График переходного процесса замкнутой САР скорости вращения двигателя

По графику, представленному на рисунке 14, время переходного процесса составляет  секунды, а значение перерегулирования Значение коэффициента статической ошибки регулирования .

## 4.6 Постановка задачи синтеза

Результаты анализа исходной системы:

1. Перерегулирование в исходной системе: .
2. Время переходного процесса в исходной системе: .
3. Коэффициент ошибки в исходной системе:

Требуемые качественные показатели:

1. В статике:
2. В динамике: 3.9 с; .

Требуемые показатели качества системы не достигнуты, следовательно, необходимо провести синтез фазокорректирующего устройства.

## 4.7 Выводы

После проведения анализа исходной САР скорости вращения двигателя была дополнена её классификация, а также рассчитаны и проанализированы количественные показатели качества. На основе полученной информации поставлена задача синтеза.

# 5 СИНТЕЗ ФАЗОКОРРЕКТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

## 5.1 Выбор способа включения, структуры и синтез передаточной функции фазокорректирующего устройства АСР

Существует большое число методов определения оптимальных параметров регулятора, и одним из простейших является метод сканирования. Метод сканирования удобно применять, когда число варьируемых параметров типового регулятора не превышает двух [3].

Для применения такого подхода необходимо сначала построить область устойчивости – область изменения параметров регулятора, при которых система устойчива. На примере типового регулятора с двумя параметрами (К0 и К1) поиск оптимальных настроек осуществляется следующим образом.

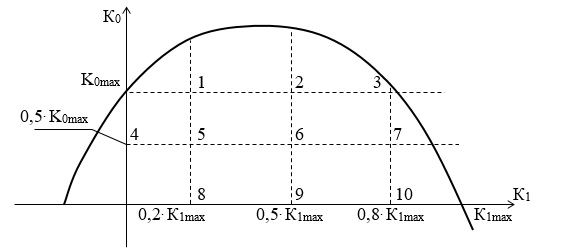


Рисунок 15 – Разбиение области устойчивости при методе сканирования

Значение одного из параметров, например, К0 фиксируется на некотором уровне (рисунок 15), а другой изменяется в области допустимых значений. С помощью модели определяется переходный процесс в системе и фиксируется показатель качества, соответствующий значениям К0 и К1. Затем поиск осуществляется при другом фиксированном значении первого параметра и т.д. После просмотра всей области определяются оптимальные параметры. Шаг изменения параметров К0 и К1 может уточняться в процессе эксперимента.

Основным недостатком данного подхода является применимость только для типовых регуляторов, однако реализация оказывается весьма простой на современных ЭВМ.

## 5.2 Синтез ПД-регулятора

Будем использовать ПД-регулятор (пропорционально-дифференциальный регулятор), включающий в себя П- и Д-регуляторы, так как у системы, включающей ПД-регулятор, быстродействие выше, чем у систем с П-, И- и ПИ-регуляторами.

Запишем передаточную функцию ПД-регулятора:

Передаточная функция по каналу управления разомкнутой САР с   
ПД-регулятором:

Передаточная функция по каналу управления замкнутой САР с   
ПД-регулятором:

## 5.2.1 Определение области устойчивости по методу Гурвица

Характеристическое уравнение замкнутой САР с ПД-регулятором:

Таким образом имеем: *,* где , , , , , .

Составим матрицу Гурвица:

По критерию Гурвица САР устойчива, если все миноры матрицы Гурвица больше нуля:

Миноры первого и третьего порядков в данном случае не представляют интереса, поскольку несут уже известную информацию (положительность коэффициентов характеристического полинома для и положительность настроек регулятора для ). Рассмотрим минор второго порядка:

Выразим зависимость настроек ПД-регулятора друг от друга:

Полученное неравенство представляет собой границу устойчивости в области настроек ПД-регулятора. Граница устойчивости, полученная по методу Гурвица, в области настроек ПД-регулятора для САР скорости вращения двигателя представлена на рисунке 16.

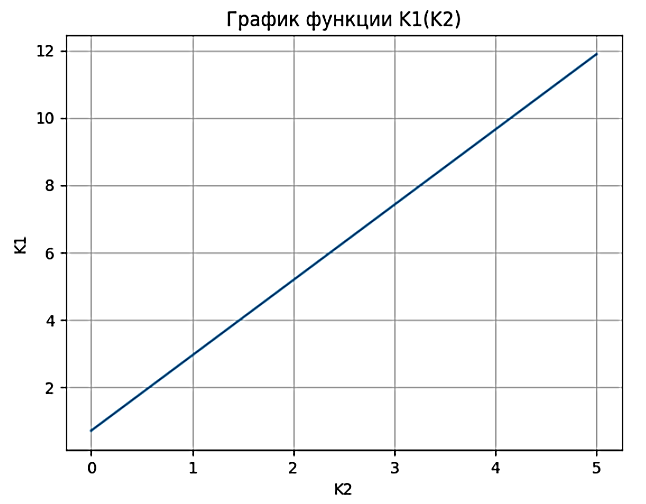


Рисунок 16 – Граница области устойчивости ПД-регулятора, полученная по методу Гурвица

## 5.2.2 Определение оптимальных параметров ПД-регулятора

Разобьём всю область устойчивости на интервалы с шагом 1 по обеим осям. В полученных узлах вычислим показатели качества, подставив соответствующие значения параметров регулятора. В результате для параметров ПД-регулятора и получим удовлетворяющие значения качества в динамике с и. В статике получим значение коэффициента статической ошибки , что также удовлетворяет заданному значению. Таким образом, передаточная функция ПД-регулятора примет вид:

## 5.3 Анализ скорректированной САР

График переходного процесса скорректированной системы при управляющем воздействии представлен на рисунке 17.

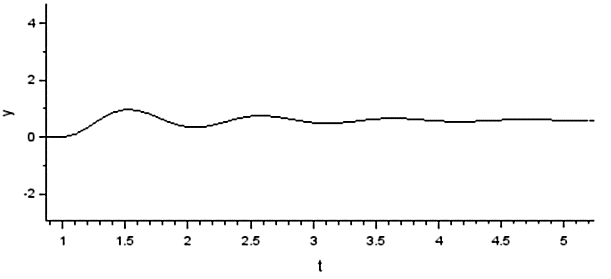


Рисунок 17 – Переходной процесс скорректированной САР

Перерегулирование составило: . Время переходного процесса составило: с.

Коэффициент статической ошибки: рад.

Система отвечает требованиям по качеству, следовательно, синтез фазокорректирующего устройства проведен корректно.

## 5.4 Выводы

В рамках данного раздела был произведён синтез фазокорректирующего устройства. Исследование скорректированной САР с выбранным регулятором в составе показало, что система отвечает всем заданным требованиям к показаниям качества как в переходном, так и в установившемся режимах.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной курсовой работы была исследована, классифицирована, проанализирована и скорректирована САР скорости вращения двигателя.

По итогам первичного анализа системы была поставлена задача синтеза корректирующего устройства, включение которого позволило удовлетворить требованиям к системе, изложенным в задании на курсовую работу. Затем было синтезировано соответствующее фазокорректирующее устройство и проведен анализ скорректированной системы автоматического регулирования.

По результатам анализа скорректированной САР можно сделать вывод о соответствии рассматриваемой системы всем предъявленным к ней требованиям.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фомичев А.А. Основы теории управления. Методические указания по выполнению курсовой работы. – Тула: ТулГУ, 2020.
2. Бесекерский В.А. Сборник задач по теории автоматического регулирования.-М.: Наука, 1975.- 590 с.
3. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. – Москва: Наука, 1989. – 304с.