

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
машиностроения и транспорта

Кафедра
Компьютерное проектирование
технологического оборудования

Направление подготовки

15.04.05 Конструкторско-
технологическое обеспечение
машиностроительных производств

Магистерская программа

Металлообрабатывающие станки

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему

Исследование показателей динамического качества САУ промышленного робота

ПГУ 15.04.05.03.00.00 ПЗ

(обозначение ВКР)

Студент гр. 18ММм2

Галкин А.В.

(подпись, дата)

(фамилия, инициалы)

Научный руководитель

Истомина Ю.В.

(подпись, дата)

(фамилия, инициалы)

Нормоконтролер

Кочетков Д.В.

(подпись, дата)

(фамилия, инициалы)

Рецензент

к.т.н., начальник конструкторского бюро
АО «ПО «Электроприбор» (г. Пенза)

Белашов М.В.

(должность, место работы)

(подпись, дата)

(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 11.06.20 № 10)

Заведующий кафедрой

Липов А.В.

(подпись)

(фамилия, инициалы)

Работа защищена с оценкой отлично

(протокол заседания ГЭК от 25.06.20 № 2)

Секретарь ГЭК

Истомина Ю.В.

(подпись)

(фамилия, инициалы)

Пенза 2020

«Утверждаю»

AS

Заведующий кафедрой КПТО А.В. Липов

« 15 » 06 2020 г.

ЗАДАНИЕ на магистерскую диссертацию

1. Студент гр. 18ММм2 Факультета машиностроения и транспорта, направления 15.04.05
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Галкин Александр Викторович

2. Научный руководитель магистерской диссертации доцент Истомина Ю. В.

3. Время проектирования с 10 июня 2020 г. по 08 июля 2020 г.

4. Место преддипломной практики ФГБОУ ВО «ПГУ», кафедра «КПТО»

5. Тема магистерской диссертации

Исследование показателей динамического качества САУ промышленного робота

Тема утверждена приказом ПГУ № 1047 а/о от 30.09.2019 г.

6. Техническое задание (цель проектирования, объект проектирования, его технические характеристики и т.п.)

спроектировать систему автоматического управления углом поворота траверсы
промышленного робота, выполнить исследование показателей динамического качества
разработанной САУ

7. Объем и содержание основной части работы

7.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчеты, обоснования, описания)

должна содержать актуальность темы диссертации, цель и объект исследования, научную новизну, практическую ценность работы, описание и технические характеристики
напольного промышленного робота по типу модели М20П.40.01, алгоритм работы гибкой
станочной системы, определение грузоподъемности и расчет основных узлов робота,
анализ гибкой станочной системы на основе теории массового обслуживания,
функциональную схему разработанной системы автоматического управления углом
поворота траверсы робота, математическую модель САУ, переходные характеристики и
показатели динамического качества системы управления, полученные при различных
значениях угла поворота траверсы промышленного робота, выводы по работе

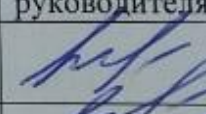
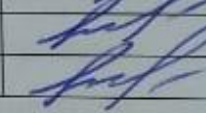
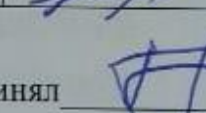
7.2. Графическая часть (перечень и содержание чертежей, плакатов)

1. Цель работы, объект исследования, научная новизна и практическая ценность
2. Общий вид гибкой станочной системы
3. Функциональная схема САУ углом поворота траверсы промышленного робота
4. Математическая модель САУ промышленного робота
5. Структурная схема САУ углом поворота траверсы промышленного робота
6. Переходные характеристики САУ при различных значениях угла поворота траверсы промышленного робота
7. Показатели динамического качества САУ
8. Выводы по работе

8. Особые требования по выполнению разделов:

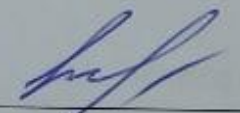
разработать гибкую станочную систему для механической обработки заготовок типа тел вращения из черных и цветных сплавов на базе двух токарных станков с ЧПУ и напольного промышленного робота по типу модели M20П.40.01

9. Календарный график выполнения магистерской диссертации

Наименование этапов работы	Объем работы, %	Срок выполнения	Подпись руководителя
1. Оформление пояснительной записки	75	до 18.06.2020 г.	
2. Оформление автореферата	10	до 20.06.2020 г.	
3. Оформление презентации	15	до 23.06.2020 г.	

Дата выдачи задания 10 июня 2020 г.

Задание к исполнению принял 

Руководитель работы 

10 июня 2020 г.

Магистерскую диссертацию к защите допустить

ОПОП освоена в полном объеме.
К государственной итоговой
аттестации допустить

Декан Факультета машиностроения и транспорта 

С.Ю. Киреев

« » 2020 г.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА ПО ТИПУ МОДЕЛИ М20П.40.01	6
1.1 РАЗРАБОТКА КОМПОНОВКИ ГСС	8
1.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ РОБОТА.....	19
1.3 РАСЧЕТ МЕХАНИЗМА ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ	20
1.4 РАСЧЕТ МЕХАНИЗМА ВРАЩЕНИЯ ТРАВЕРСЫ.....	25
1.5 КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ СХВАТОВ	28
2 СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УГЛОМ ПОВОРОТА ТРАВЕРСЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА	31
2.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ САУ	33
2.2 ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ САУ	35
3 ПЕРЕХОДНАЯ ФУНКЦИЯ САУ УГЛОМ ПОВОРОТА ТРАВЕРСЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА.....	37
3.1 ПОСТРОЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	38
4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА САУ УГЛОМ ПОВОРОТА ТРАВЕРСЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА	58
ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ..	69
ПРИЛОЖЕНИЕ А. НАУЧНАЯ СТАТЬЯ	71
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПРЕЗЕНТАЦИЯ	76
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ САУ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА	92

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время неотъемлемой частью для оптимизации производственного процесса является применение промышленных роботов в гибкой станочной системе (ГСС). Благодаря им на предприятиях выполняются такие важные задачи как: снижение времени на загрузку и выгрузку деталей, минимизацию применения человеческого труда, возможность безостановочной работы в течение всего рабочего дня.

Основные требования, предъявляемые к промышленным роботам, это точность позиционирования, скорость с которой происходит перемещение заготовок и готовых изделий, а также долговечность работы его механизмов.

Использование САУ технологическим оборудованием показало их эффективность. Без систем автоматического управления не обходится ни один робот, поэтому повышение показателей динамического качества САУ является важной задачей в любом используемом оборудовании. К таким показателям динамического качества САУ можно отнести запас и степень устойчивости, а также быстродействие.

Целью диссертационной работы является исследование показателей динамического качества системы автоматического управления промышленного робота по типу модели М20П.40.01.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились с использованием основных положений теории автоматического управления с применением средств вычислительной техники. Моделирование САУ и ее элементов выполнялось с помощью математического пакета Mathcad 15.

Объектом исследования является система автоматического управления углом поворота траверсы промышленного робота по типу модели М20П.40.01.

Научная новизна.

Предложена математическая модель САУ промышленного робота, позволяющая на стадии проектирования определять диапазон изменения кон-

структивных параметров системы, обеспечивающих заданный характер переходного процесса, и оценивать погрешность угла поворота траверсы в различных режимах работы.

Практическая ценность.

Разработаны функциональная и структурная схемы системы автоматического управления угловым положением траверсы напольного промышленного робота по типу модели М20П.40.01.

На защиту выносятся: общий вид гибкой станочной системы, функциональная схема САУ углом поворота траверсы промышленного робота, математическая модель САУ промышленного робота, структурная схема САУ углом поворота траверсы промышленного робота, переходные характеристики САУ при различных значениях угла поворота траверсы промышленного робота, показатели динамического качества САУ, выводы по работе.

Публикация. По теме диссертации опубликована 1 научная статья в сборнике, входящем в РИНЦ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, основных результатов, выводов, списка литературы, содержит 70 страниц основного текста, 4 таблицы и 59 рисунков.

1 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА ПО ТИПУ МОДЕЛИ М20П.40.01

Промышленные роботы по типу модели М20П.40.01 предназначены для автоматического снятия-установки заготовок, а также деталей, инструментов и других операций, которые необходимы при обслуживании станков. Данные ПР обычно без простоев оборудования обработки обслуживают от одного до двух станков. При этом вместе с другими транспортными и накопительными устройствами образуют гибкую станочную систему. Данная ГСС предназначена для снижения участия оператора при продолжительной работе.

Устройство промышленного робота состоит из манипулятора, схватов, а также устройство ЧПУ, которое выполнено в виде стойки. Манипулятор состоит из следующих сборочных единиц разного исполнения: механизм опускания и подъема; механизм поворота; механизм, отвечающий за выдвижение руки; кисть руки (блок поворота); блок подготовки воздуха [1].

Управление робота с помощью ЧПУ осуществляется в цилиндрической системе координат. Режим работы бывает трех типов:

- «обучение», т.е. возврат в нулевую точку, шаговое перемещение, ручное управление, ввод заданных координат скорости перемещений и количество обрабатываемых деталей;
- «автомат» – это управление, которое производится по заданной программе в автоматическом режиме;
- «редактирование», т.е. корректировка данных управления ПР [1].

Количество одновременно управляемых перемещений в режиме позиционирования одно с электродвигателями поворота, выдвижения руки, а также подъема и опускания. В режиме циклового управления их два осуществляется с помощью пневмодвигателя блока поворота руки и схвата.

Поворот кисти (относительно продольной оси) осуществляется по часовой стрелке при включенном электромагните. При этом происходит уско-

ренный поворот кисти: происходит вытеснение воздуха из пневмодвигателя в атмосферу. При отключении электромагнита можно наблюдать замедленный поворот блока: из пневмодвигателя воздух будет вытесняться в атмосферу через распределитель и дроссель по магистралям.

Подъем и опускание руки выполнены в виде механизмов отдельного узла, который включает в себя механизм выдвижения руки, перемещающегося вверх, а также вниз по двум закрепленным в нижней и верхней опорных плитах направляющим. На верхней расположено подмоторное основание, внутри которого электромагнитный тормоз. Двигатель постоянного тока (ДПТ), который установлен на подмоторном основании через муфту соединен с шариковым винтом. «Гайка шариковой винтовой пары закреплена в корпусе основания робота узла, с помощью которого осуществляется выдвижение руки. Следовательно, вращение электродвигателя будет преобразовываться в поступательное движение руки вниз или вверх» [1].

«Механизм выдвижения руки представлен в виде прикрепленного кронштейна, на котором расположен двигатель постоянного тока. Вращение электродвигателя через зубчатый ремень передает винту шариковой винтовой пары. С кронштейном соединена гайка шариковой винтовой пары. Скалка прикреплена к верхнему концу этого кронштейна, которая перемещается вперед или назад во втулке» [1]. Происходит движение нижнего конца кронштейна по направляющей. При этом она исключает поворот скалки.

Поворотный блок состоит из механизма вращения кисти относительно продольной оси, при этом осуществляется двухпозиционное управление при движении от упора до упора.

Вращение кисти руки ПР происходит от неполноповоротного пневмодвигателя, также спереди на торце крепится стакан. На его наружной поверхности установлены распределительные пневмоустройства привода поворота кисти, внутри на подшипниках располагается втулка с фланцем для крепления сменного схвата. Она связана с валом пневмодвигателя при помощи

шпонки. При этом на противоположном конце поворотного блока имеется стопорный механизм, который жестко соединен с валом пневмодвигателя.

Поворотный блок также имеет механизм для ручной установки угла качения кисти относительно ее поперечной оси. Данный угол регулируется винтами, которые устанавливаются в неподвижном фланце [1].

1.1 РАЗРАБОТКА КОМПОНОВКИ ГСС

Использование гибкой станочной системы позволяет повысить производительность, стабилизировать качество обработки, сократить число обслуживающего персонала, и уменьшить производственные площади. «Различают следующие виды компоновок: системы линейной, однорядной или многорядной компоновки, а также система модульной компоновки» [2]. При использовании линейной компоновки станки устанавливаются в один или несколько рядов. Здесь транспортно-накопительная ось системы располагается параллельно рядам. Использование круговой компоновки характерно установкой станков вокруг центрального стола накопителя и содержание станочных модулей.

Основные размеры рабочей зоны ПР можно определить с помощью анализа взаимного расположения промышленного робота, основного и вспомогательного технологического оборудования, кинематики движения детали в пространстве, а также подходов исполнительного органа в обслуживающую зону оборудования путем кинематического анализа компоновки робота.

Наиболее подходящие расстояния между технологическим оборудованием, которое располагается внутри станочной системы, выбираются из условия, что перемещения руки промышленного робота минимальны, а также необходимо удобство доступа к оборудованию обслуживающего персонала [2].

Проводится анализ в следующем алгоритме:

1. Определяются виды оборудования основного и вспомогательного типа, их габариты;
2. Определяется кинематика движения объекта манипулирования и рациональные подходы его в рабочую зону станков;
3. Выбирается состав компоновки ПР;
4. Разрабатывается расположение оборудования станочной системы;
5. Определяются размеры рабочей зоны ПР и величины перемещения по степеням подвижности.

Компоновка напольного промышленного робота определяет круговое расположение оборудования и габариты. Рабочая зона технологического оборудования – это часть рабочего пространства станка (либо накопителя), куда схват ПР вводит, устанавливает, снимает с установочных баз, а также выводит заготовку или деталь [3].

На рисунке 1.1 представлен общий вид спроектированной гибкой станочной системы. Состав ГСС имеет следующий вид:

- 1 – два токарных станка с ЧПУ;
- 2 – проектируемый напольный робот по типу модели М20.П40.01;
- 3 – два тактовых стола, которые предназначены для подачи заготовок и приема готовых деталей;
- 4 – электрооборудование;
- 5 – зона обслуживания.

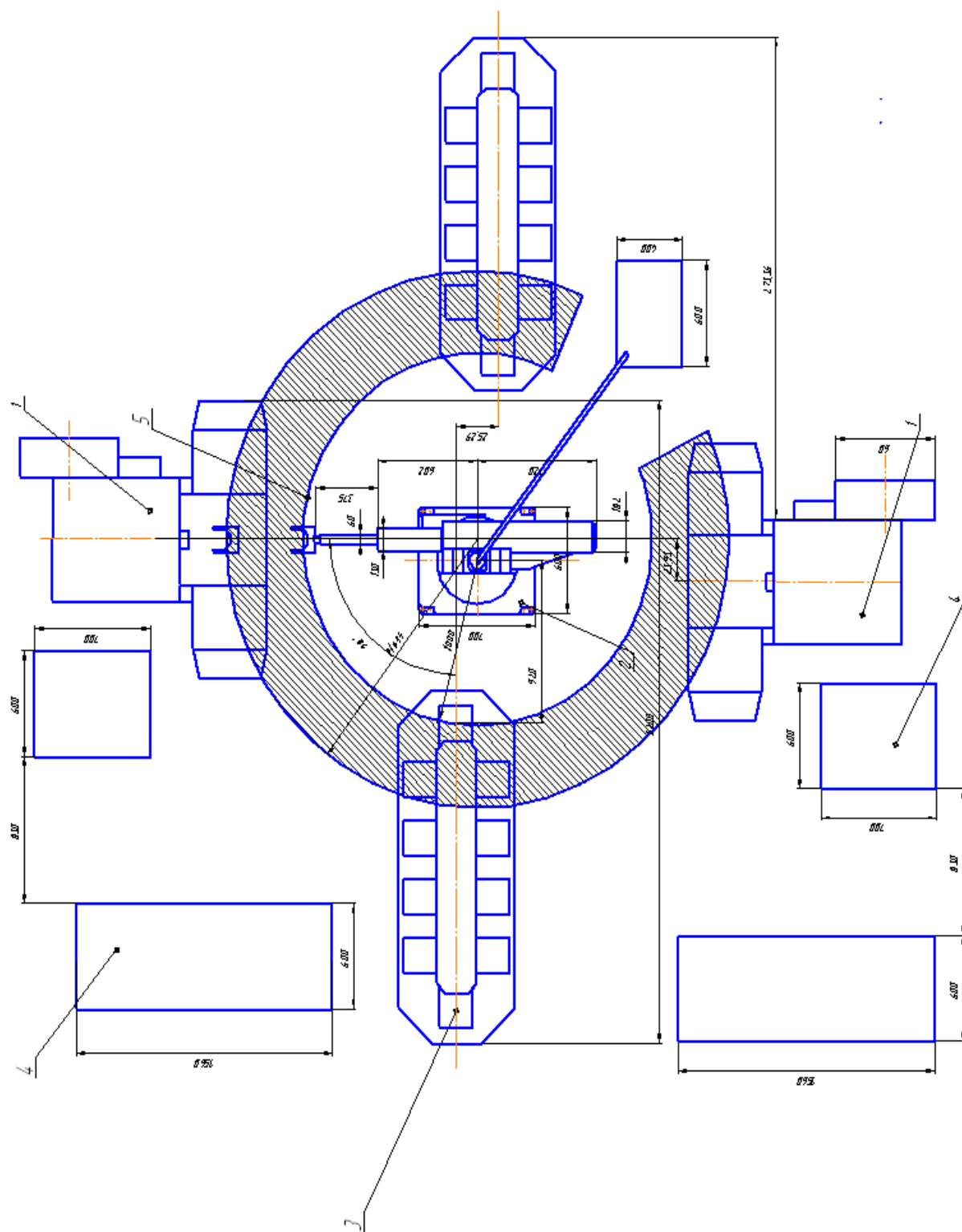


Рисунок 1.1 – Общий вид гибкой станочной системы

Главные технические требования, предъявляемые при проектировании ПР это:

- необходимость обеспечения функций и параметров станочной системы;
- гибкость промышленного робота, чтобы обеспечивалась простота переналадки при переходе с одного изделия на другое;
- устойчивость работы в режиме автоматики;
- экономичность, которая обеспечивалась бы низкой стоимостью изготовления, эксплуатации и ремонта робота;
- надежность работы.

Исходя из перечисленных требований, определяют основные параметры ПР.

При известных практических данных холостые ходы промышленного робота выполняются на максимально возможных скоростях. Когда происходит перемещение объекта, то необходимая скорость уменьшается в два раза.

Принимаем исходное положение схвата манипулятора над загрузочной позицией тактового стола, т.е. в верхнем его положении.

На рисунке 1.2 представлена схема используемой гибкой станочной системы.

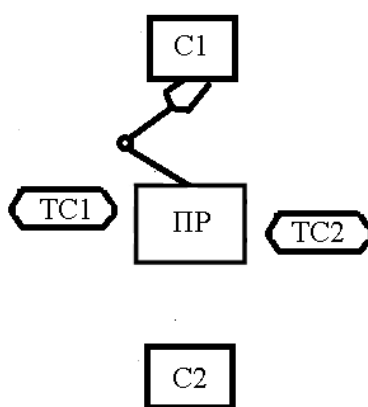


Рисунок 1.2 – Схема ГСС

где C1, C2 – первый и второй токарный станок с ЧПУ соответственно; ПР – промышленный робот; TC1, TC2 – первый и второй тактовый стол.

Алгоритм загрузки станка запишем в следующем виде:

1. Перемещение схвата в положение, при котором его центр совпадает с осью заготовки $l = 0.2\text{м}$; $V = 0.15\text{м/с}$; $t = 1\text{с}$;
 2. Зажим схватом заготовки: $t = 3\text{с}$;
 3. Поднять заготовку на $l = 0.35\text{м}$ со скоростью $V = 0.15\text{м/с}$; время $t = 1.25\text{с}$;
 4. Поворот траверсы по часовой стрелке на 78 и 270 градусов при скорости $\omega = 0.15\text{ рад/с}$ за $t = 0.7\text{с}$;
 5. Выдвижение руки манипулятора на $l = 0.435\text{м}$ со скоростью $V = 0.3\text{м/с}$ за время $t = 1.45\text{с}$;
 6. Подача детали в тиски станка: $t = 1\text{с}$;
 7. Зажатие заготовки в тисках: $t = 1.5\text{с}$;
 8. Разжим схвата: $t = 3\text{с}$;
 9. Вывод схвата из зоны обработки: втягивание руки на $l = 0.435\text{м}$ со скоростью $V = 0.3\text{м/с}$ за время $t = 1.45\text{с}$;
 10. Закрытие защитного кожуха станка: $t = 3\text{с}$.
- Суммарное время загрузки:

$$\sum t_{i1} = 17,4 \text{ сек.}$$

Обработка на станке в течение времени T_{m1} .

Поворот траверсы робота от станка до тактового стола осуществляется со скоростью $\omega = 0.15\text{ рад/с}$ за $t = 0.7\text{ с}$ и $t = 0.97\text{ с}$.

Алгоритм выгрузки детали производится по следующему алгоритму:

1. Открытие защитного кожуха: $t = 3\text{с}$;
2. Выдвижение схвата, используя уровень заготовки: $l = 0.435\text{м}$; $V = 0.3\text{м/с}$; $t = 1.45\text{с}$;
3. Зажим схватом заготовки: $t = 3\text{с}$;
4. Разжим тисков: $t = 1.5\text{с}$;
5. Вывод схвата из зоны обработки: втягивание руки на $l = 0.435\text{м}$ со скоростью $V = 0.3\text{м/с}$ за время $t = 1.45\text{с}$;

6. Поворот траверсы по часовой стрелке на 78 и 270 градусов от станка к накопителю при скорости $\omega = 0,15$ рад/с за $t = 0,7$ с и $t = 0,97$ с.

7. Опустить заготовку на $l = 0,25$ м со скоростью $V = 0,2$ м/с; время $t = 1,25$ с.

8. Разжим схвата: $t = 3$ с;

Суммарное время:

$$\sum t_{i1} = 15,4 \text{ сек.}$$

Среднее время обслуживания одного станка составит:

$$T_{сз1} = \sum t_{i1} + \sum t_{i2} = 17,535 + 15,535 = 32,8 \text{ сек.}$$

Общее время обслуживания СС (станочной системы) включает время типовых транспортных перемещений, которое складывается из времени перемещения от тактового стола к первому станку за $t = 1,8$ с, от первого станка к накопителю на скорости $\omega = 1,2$ град/с за $t = 1,8$ с; от тактового стола ко второму станку за $t = 1,95$ с, а от станка к накопителю на скорости $\omega = 1,2$ град/с за $t = 1,95$ с. Тогда общее время всех перемещений составит:

$$t_{\text{пер}} = 0,7 + 0,7 + 0,62 + 0,62 = 2,64 \text{ сек.}$$

Среднее время обслуживания одного станка составит:

$$T_{об1} = \frac{T_{сз1} + t_{\text{пер}}}{m},$$

где m - количество обслуживаемых станков.

Тогда:

$$T_{об1} = \frac{32,8 + 2,64}{2} = 17,72 \text{ сек} = 0,3 \text{ мин};$$

Интенсивность поступления заявок на обслуживание λ в единицу времени определяется как:

$$\lambda = \frac{1}{T_{ц}}.$$

где $T_{ц} = T_{m\text{ср}} + T_{об\text{ср}}$ – время обработки данной детали.

$T_{m_{cp}}$ – это среднее машинное время затрачиваемое на обработку детали на каждом из станков.

Интенсивность обслуживания ν объектов ГСС определяется по формуле:

$$\nu = \frac{1}{T_{об}}$$

В станочной системе число заявок на обслуживание может быть равно $k = 0, 1, \dots, m$, где m – общее число станков и других рабочих позиций. Состояния системы следующие:

$E_0(K = 0)$ – абсолютно все станки работают, а робот при этом простаивает;

$E_1(K = 1)$ – все кроме одного станка работают, промышленный робот производит обслуживание станка, от которого поступила заявка на смену заготовок;

$E_m(K = m)$ – кроме одного, все станки стоят, при этом тот обслуживается роботом, пока остальные находятся в очереди на обслуживание.

Исходными данными для расчетов являются: интенсивность поступления заявок на обслуживание λ , и интенсивность обслуживания ν .

$$\rho = \frac{\lambda}{\nu};$$

Теория массового обслуживания определяет вероятность перехода из одного состояния в другое и определяется на основе формул А. Эрланга из выражения:

$$P_k = \left[\frac{m!}{(m-k)!} \right] \cdot \left(\frac{\lambda}{\nu} \right)^k \cdot P_0,$$

где m – общее число станков; m – общее число станков; k – коэффициент, характеризующий состояние системы, $k = 0, 1, 2, \dots, m$. Например, если $k = 0$, то это означает, что все станки работают, если $k = 1$, то один станок ждет обслуживания, если $k = m$, то все станки стоят и один из них обслуживается манипулятором [3].

Величина P_o находится по формуле:

$$P_o = \frac{1}{\left\{ 1 + m \cdot \left(\frac{\lambda}{v} \right) + \sum_{k=2}^m \left[\frac{m!}{(m-k)!} \right] \cdot \left(\frac{\lambda}{v} \right)^k \right\}}.$$

Вероятность использования манипулятора определяется из выражения:

$$A_m = \sum_{k=1}^m P_k.$$

Среднее число станков, которые ожидают обслуживания:

$$n_c = \sum_{k=2}^m (k-1) \cdot P_k.$$

Коэффициент простоя одного станка из-за ожидания при многостаночном обслуживании однозахватным манипулятором определяют по формуле:

$$k_c = \frac{n_c}{m} = \left(\frac{1}{m} \right) \sum_{k=0}^m (k-1) \cdot P_k.$$

Вероятность использования одного станка:

$$A_c = \left(\frac{1}{m} \right) \sum_{k=0}^m (m-k) \cdot P_k$$

Анализа станочной системы будет производиться значениями машинного времени $Tm_{cp}=1,2,3,4,5,10$ минут, будет произведен расчет показателей, влияющих на производительность ГСС.

Для $Tm_{cp} = 1$ мин.:

$$\rho = \frac{\lambda}{v} = \frac{T_{об}}{T_{m_{cp}}} = \frac{0,3}{1} = 0,3;$$

$$P_0 = \frac{1}{1 + 2 \cdot 0,3 + \frac{2!}{(2-1)!} \cdot 0,3^2} = 0,562.$$

$$P_1 = \left[\frac{2!}{(2-1)!} \right] \cdot 0,3^1 \cdot 0,562 = 0,337,$$

$$P_2 = \left[\frac{2!}{(2-2)!} \right] \cdot 0,3^2 \cdot 0,562 = 0,101,$$

$$A_m = 0,438 = 43,8\% > 20\% ,$$

$$k_c = \frac{0,101}{2} = 0,05 = 5\% > 2\% .$$

$$A_c = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 0,562 + 0,337) = 73\% < 80\% .$$

Для $Tm_{cp} = 2$ мин.:

$$\rho = \frac{\lambda}{v} = \frac{T_{об}}{T_{m_{cp}}} = \frac{0,3}{2} = 0,15;$$

$$P_0 = \frac{1}{1 + 2 \cdot 0,15 + \frac{2!}{(2-1)!} \cdot 0,15^2} = 0,743 .$$

$$P_1 = \left[\frac{2!}{(2-1)!} \right] \cdot 0,15^1 \cdot 0,743 = 0,223,$$

$$P_2 = \left[\frac{2!}{(2-2)!} \right] \cdot 0,15^2 \cdot 0,743 = 0,033,$$

$$A_m = 0,256 = 25,6\% > 20\% ,$$

$$k_c = \frac{0,033}{2} = 0,0165 = 1,65\% < 2\% .$$

$$A_c = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 0,743 + 0,223) = 85,45\% > 80\% .$$

Для $Tm_{cp} = 3$ мин.:

$$\rho = \frac{\lambda}{v} = \frac{T_{об}}{T_{m_{cp}}} = \frac{0,3}{3} = 0,1;$$

$$P_0 = \frac{1}{1 + 2 \cdot 0,1 + \frac{2!}{(2-1)!} \cdot 0,1^2} = 0,82 .$$

$$P_1 = \left[\frac{2!}{(2-1)!} \right] \cdot 0,1^1 \cdot 0,82 = 0,164,$$

$$P_2 = \left[\frac{2!}{(2-2)!} \right] \cdot 0,1^2 \cdot 0,82 = 0,016,$$

$$A_m = 0,18 = 8\% < 20\% ,$$

$$k_c = \frac{0,016}{2} = 0,008 = 0,8\% < 2\% .$$

$$A_c = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 0,82 + 0,164) = 90,2\% > 80\% .$$

Для $Tm_{cp} = 4$ мин.:

$$\rho = \frac{\lambda}{v} = \frac{T_{об}}{T_{m_{cp}}} = \frac{0,3}{4} = 0,075;$$

$$P_0 = \frac{1}{1 + 2 \cdot 0,075 + \frac{2!}{(2-1)!} \cdot 0,075^2} = 0,861 .$$

$$P_1 = \left[\frac{2!}{(2-1)!} \right] \cdot 0,075^1 \cdot 0,861 = 0,129,$$

$$P_2 = \left[\frac{2!}{(2-2)!} \right] \cdot 0,075^2 \cdot 0,861 = 0,00968,$$

$$A_m = 0,139 = 13,9\% < 20\% ,$$

$$k_c = \frac{0,00968}{2} = 0,00484 = 0,48\% < 2\% .$$

$$A_c = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 0,861 + 0,129) = 92,6\% > 80\% .$$

Для $Tm_{cp} = 5$ мин.:

$$\rho = \frac{\lambda}{v} = \frac{T_{об}}{T_{m_{cp}}} = \frac{0,3}{5} = 0,06;$$

$$P_0 = \frac{1}{1 + 2 \cdot 0,06 + \frac{2!}{(2-1)!} \cdot 0,06^2} = 0,887 .$$

$$P_1 = \left[\frac{2!}{(2-1)!} \right] \cdot 0,06^1 \cdot 0,887 = 0,106,$$

$$P_2 = \left[\frac{2!}{(2-2)!} \right] \cdot 0,06^2 \cdot 0,887 = 0,00639,$$

$$A_m = 0,112 = 11,2\% < 20\% ,$$

$$k_c = \frac{0,00639}{2} = 0,00163 = 0,32\% < 2\% .$$

$$A_c = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 0,887 + 0,106) = 94\% > 80\% .$$

Для $Tm_{cp} = 10$ мин.:

$$\rho = \frac{\lambda}{v} = \frac{T_{об}}{T_{мсп}} = \frac{0,3}{10} = 0,03;$$

$$P_0 = \frac{1}{1 + 2 \cdot 0,03 + \frac{2!}{(2-1)!} \cdot 0,03^2} = 0,942 .$$

$$P_1 = \left[\frac{2!}{(2-1)!} \right] \cdot 0,03^1 \cdot 0,942 = 0,057,$$

$$P_2 = \left[\frac{2!}{(2-2)!} \right] \cdot 0,03^2 \cdot 0,942 = 0,0017,$$

$$A_m = 0,0587 = 5,87\% < 20\% ,$$

$$k_c = \frac{0,0017}{2} = 0,00085 = 0,085\% < 2\% .$$

$$A_c = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 0,942 + 0,057) = 97\% > 80\% .$$

Допустимыми считаются следующие значения этих показателей:

$$(A_m \geq 20\%); (A_c \geq 80\%); (k_c \leq 2\%).$$

Следовательно, подходящим вариантом является среднее машинное время $T_{мсп} = 2$ минуты.

Тип работа – напольный (базовый – М20П.40.01)

$i = 2$ – количество станков;

$m = 2$ – количество накопителей заготовок;

$T_{M1} = 1.2$ мин – машинное время 1-го станка;

$T_{M2} = 1.2$ мин – машинное время 1-го станка;

$m_T = 180$ кг – масса траверсы;

$m_c = 15$ кг – масса схвата;

$V_b = 0.2$ м/с – скорость вертикального перемещения;

$\omega = 2$ рад/с – угловая скорость поворота траверсы;

$l_1 = 400$ мм – параметры стационарного робота;

$l_2 = 350$ мм – параметры стационарного робота;

$t_3 = 5$ с.

Параметры выбранной детали можно наблюдать на рисунке 1.3.

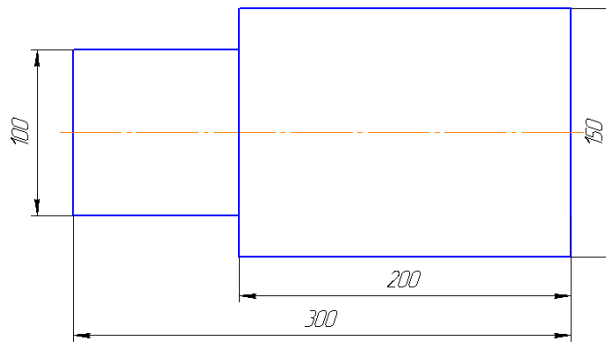


Рисунок 1.3 – Габаритные размеры детали

1.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ РОБОТА

Определение номинальной грузоподъемности равно сумме масс объекта манипулирования и схвата.

Ориентировочно можно определить грузоподъемность по следующей формуле:

$$m_n = k_c \cdot k_n \cdot m_o ,$$

где $k_c = 1,1 \dots 1,35$ – коэффициент, учитывающий массу схвата, если масса схвата задана, то $k_c = 1$; k_n – коэффициент, учитывающий тип привода схвата ($k_n = 1,3$ – для пневмопривода; $= 1,1$ – для гидравлического; $k_n = 1,15$ – для вакуумного и магнитного); m_o – масса объекта манипулирования (если обработка ведется в спутнике, то в m_o входят масса детали и масса спутника).

Определяем объем заготовки:

$$V_1 = \pi \cdot R_1^2 \cdot h = 3,14 \cdot 0,075^2 \cdot 0,2 = 0,0035 \text{ м}^3 ,$$

$$V_2 = \pi \cdot R_1^2 \cdot h = 3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 0,1 = 0,00079 \text{ м}^3 ,$$

$$V_{\text{общ.}} = V_1 + V_2 = 0,0035 + 0,00079 = 0,0043 \text{ м}^3 .$$

$$m_o = V_{\text{общ.}} \cdot \rho = 0,0043 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 33,54$$

Тогда грузоподъемность равна:

$$m_n = 1 \cdot 1,3 \cdot 33,54 = 42,6 \text{ кг}$$

Полученный результат грузоподъемности (кг) округляют до большего значения, выбирается которое из предпочтительного ряда (ГОСТ 25204-82)

для станочных роботов: 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160.

Следовательно, грузоподъемность равна $m_n = 50$ кг.

1.3 РАСЧЕТ МЕХАНИЗМА ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Для проектирования исполнительской системы исходными данными являются динамические параметры и величины перемещения степеней подвижности, структура несущей механической системы (НМС), конструктивное исполнение ориентирующего механизма и размера рабочей зоны ПР. Используя эти данные, можно определить взаимное положение звеньев и узлов ПР, их присоединительные размеры, тип кинематических связей передаточных механизмов и привода.

В том случае, если заранее неизвестны некоторые геометрические параметры привода (например, диаметр D ходового винта), то двигатель определяется по его мощности. Чтобы определить мощность необходимо выявить и обозначить узлы механизма, в которых будут при перемещении возникать силы трения, препятствующие движению. В механизмах вертикального перемещения узлами трения являются направляющие 1, верхняя 2 и нижняя 3 опоры, а также винтовая шариковая пара 4 [3].

На рисунке 1.4 представлена схема расчета промышленного робота.

Общая (суммарная) осевая сила, действующая на винт:

$$F_{\Sigma} = R_{b1} + F_c + F_u ,$$

где R_{b1} – вертикальная опорная реакция; F_c – сила сопротивления; F_u – сила инерции.

При этом R_{b1} находится по формуле:

$$R_{b1} = (m_T + m_o + m_c) \cdot g ,$$

где $m_T = 180$ кг – масса траверсы, которая включает массу несущей механической системы (НМС) руки с ориентирующим механизмом и приводами

выдвижения руки и поворота схвата; $m_0 = 50$ кг – масса объекта манипулирования; $m_c = 15$ кг – масса схвата;

$$R_{b1} = (180 + 50 + 15) \cdot 9,8 = 2401 \text{ H.}$$

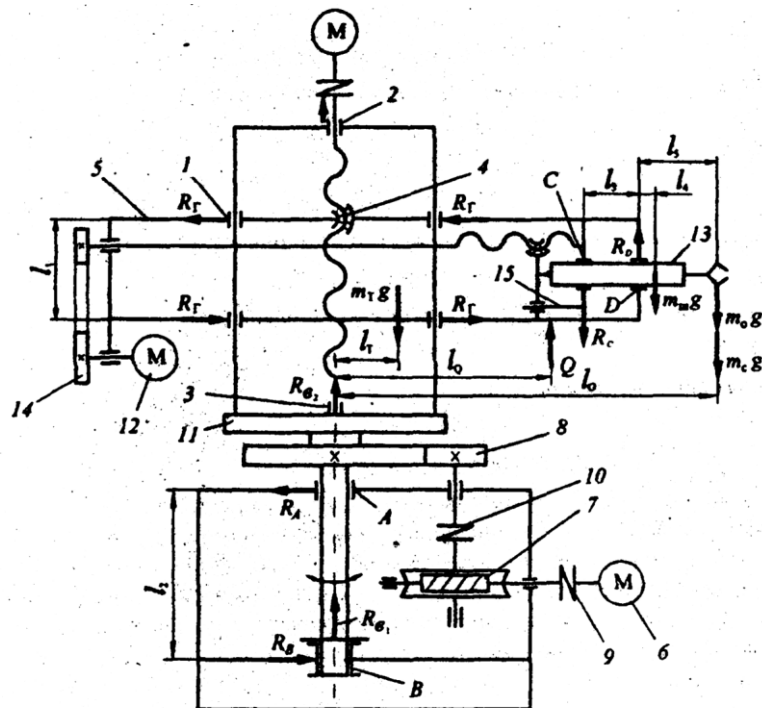


Рисунок 1.4 – Схема расчета ПР напольного типа модели М20П.40.01

Силы сопротивления, возникающие от трения в опорах ходового винта, а также в шариковой винтовой паре, обычно не превышают диапазон в 5...10% от сил сопротивления горизонтальных опорных реакций R_g в направляющих, следовательно, в нашем случае ими можно пренебречь [3]. Тогда сила сопротивления в направляющих:

$$F_C = R_\Gamma \cdot f \cdot K,$$

где $f = 0,05 \dots 0,1$ – для направляющих скольжения; K – число направляющих.

Можно считать, что масса траверсы относительно ходового винта будет уравновешена усилием уравновешивающего механизма Q, тогда $Q \cdot l_Q = m_\tau \cdot g \cdot l_\tau$; поэтому консольная нагрузка возникает только от m_o и m_c , и при максимальном вылете схвата определяется:

$$R_r = \frac{(m_o + m_c) \cdot g \cdot l_o}{2l_1},$$

где l_o – максимальное расстояние от ходового винта до центра схвата; l_1 – расстояние между опорами направляющих.

Тогда:

$$R_r = \frac{(50 + 15) \cdot 9,8 \cdot 1,435}{2 \cdot 0,35} = 1305,85 \text{ Н},$$

$$F_c = 1305,85 \cdot 0,1 \cdot 2 = 261,17 \text{ Н}.$$

Сила инерции при трапецеидальном законе изменения скорости движения:

$$F_u = k_1 \cdot (m_T + m_o + m_c) \cdot a;$$

где a – ускорение при пуске двигателя, м/с^2 :

$$a = \frac{V}{t_p};$$

где V – скорость вертикального перемещения, м/с ; $t_p = 0,4\text{с}$ – время разгона;

$$a = \frac{0,2}{0,4} = 0,5 \text{ м/с}^2.$$

$k_1 = 1$ – коэффициент конструкции: при $a < 0,5g$.

$$F_u = 1 \cdot (180 + 50 + 15) \cdot 0,5 = 122,5 \text{ Н}.$$

Общая (суммарная) сила, действующая на винт, определяется по следующей формуле:

$$F_{\Sigma} = 2401 + 261,17 + 122,5 = 2784,67 \text{ Н}.$$

Теперь определяется мощность привода в установившемся режиме:

$$P_{ст} = 10^{-3} \cdot F_{\Sigma} \cdot V = 10^{-3} \cdot 2784,67 \cdot 0,2 = 0,56 \text{ кВт}.$$

Следовательно, мощность двигателя равна:

$$P_{дв.} = \frac{P}{\eta} = \frac{0,56}{0,95} = 0,59 \text{ кВт}.$$

Далее необходимо выбрать ближайший двигатель постоянного тока (ДПТ) серии ДК1 большей мощности типа ДК1-3,5, он имеет следующие основные параметры:

$$P_{\text{ном}} = 0,75 \text{ кВт};$$

$$T_{\text{ном}} = 7,35 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$n = 1000 \text{ об/мин};$$

$$J_{\text{дв}} = 0,00133 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Мощность двигателя по каталогу необходимо брать больше расчетной из-за того, что в момент пуска не учитываются инерционные нагрузки двигателя. Поэтому выбранный двигатель проверяют по условиям пуска, для этого определяют коэффициент его перегрузки φ , который сравнивается с допустимым значением $[\varphi]$ [3].

$$\varphi = \frac{T_{\text{п}}}{T_{\text{н}}} \leq [\varphi];$$

где $T_{\text{н}}$ – номинальный момент двигателя.

$$T_{\text{н}} \approx \frac{10^4 \cdot P_{\text{дв}}}{n_{\text{дв}}} = \frac{10^4 \cdot 0,59}{1000} = 5,9 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$T_{\text{п}}$ – пусковой момент двигателя:

$$T_{\text{п}} = T_{\text{ст}} + T_{\text{ин}} + J_{\text{пр}};$$

где $T_{\text{ст}}$ – статический момент на валу двигателя:

$$T_{\text{ст}} = \frac{T_{\text{тр}}}{i_{\text{мв}} \cdot \eta_{\text{мв}}} = \frac{8,88}{52,4 \cdot 0,65} = 0,26 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

где $i_{\text{мв}} = \frac{\omega_{\text{дв}}}{\omega} = \frac{n_{\text{дв}}}{n}$ – передаточное отношение механизма вращения;

где $n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi}$ – частота вращения механизма;

$$n = \frac{30 \cdot 2}{3,14} = 19,1 \text{ мин}^{-1};$$

$$i_{\text{мв}} = \frac{1000}{19,1} = 52,4$$

$T_{\text{ин}}$ – момент силы инерции вращающихся частей механизма привода, Н·м:

$$T_{\text{ин}} = \frac{10^{-4} \cdot c \cdot J_{\text{дв}} \cdot n_{\text{дв}}}{t_p},$$

где $c = 1, 1 \dots 1, 4$ – коэффициент, учитывающий моменты инерции всех вращающихся деталей привода, кроме ротора двигателя; $t_p = 0,4$ с – время разгона;

$$T_{ин} = \frac{10^{-4} \cdot 1,3 \cdot 0,00133 \cdot 1000}{0,4} = 0,00043 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$J_{пр}$ – момент сил инерции массы объекта, приведенный к валу двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$:

$$J_{пр} = \frac{(m_o + m_c) \cdot l_o^2}{i_{MB}^2} = \frac{(50 + 15) \cdot 1,435^2}{52,4^2} = 0,049 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$T_{п} = 0,26 + 0,00043 + 0,049 = 0,31 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$\varphi = \frac{0,31}{5,9} = 0,052 \leq [\varphi] = 5.$$

Проверку теплового режима двигателей проводят по эквивалентному моменту:

$$T_{эkv} = \sqrt{\text{ПВ} \cdot \frac{[\sum(T_{ст}^2 + T_{д}^2) \cdot t_p + \sum T_{ст}^2 \cdot t_n]}{[\beta(\sum t_p + \sum t_n)]}};$$

$$T_{эkv} = \sqrt{0,46 \cdot \frac{[\sum(0,26^2 + 3,5^2) \cdot 0,4 + \sum 0,26^2 \cdot 0,13]}{[0,85(\sum 0,4 + \sum 0,13)]}} = 5,04 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Эквивалентный момент $T_{эkv}$ получился меньше номинального, это значит, что двигатель удовлетворяет условию.

Также с проверкой двигателя на перегрузку, нужно уточнить время, требуемое на разгон и ускорение:

$$t_p = \frac{1}{T_{п} - T_{ст}} \cdot \left[0,12 \cdot J_{дв} \cdot n_{дв} + \frac{(m_o + m_c) \cdot \rho^2 \cdot n_{дв}}{10 \cdot (i_{MB})^2 \cdot \eta_{MB}} \right];$$

$$t_p = \frac{1}{0,31 - 0,26} \cdot \left[0,12 \cdot 0,00133 \cdot 1000 + \frac{(50 + 15) \cdot 0,1^2 \cdot 1000}{10 \cdot (52,4)^2 \cdot 0,95} \right] = 3,6 \text{ с}.$$

1.4 РАСЧЕТ МЕХАНИЗМА ВРАЩЕНИЯ ТРАВЕРСЫ

Мощность двигателя механизма вращения определяется по формуле:

$$P_{\text{дв}} = k_1 \cdot \frac{P_{\text{ст}}}{\eta_{\text{мв}}},$$

где $k_1 = 1$ – коэффициент конструкции; $\eta_{\text{мв}}$ – КПД привода вращения.

$$\eta_{\text{мв}} = \eta_{\text{п}}^3 \cdot \eta_{\text{м}}^2 \cdot \eta_{\text{зп}} \cdot \eta_{\text{чп}},$$

где $\eta_{\text{п}}$ – КПД пары подшипников; $\eta_{\text{м}}$ – КПД муфты; $\eta_{\text{зп}}$ – КПД зубчатой передачи; $\eta_{\text{чп}}$ – КПД червячной передачи;

$$\eta_{\text{мв}} = 0,98^3 \cdot 0,95^2 \cdot 0,99 \cdot 0,7 = 0,6$$

$P_{\text{ст}}$ – статическая мощность привода:

$$P_{\text{ст}} = 10^{-3} T_{\text{тр}} \cdot \omega,$$

где $T_{\text{тр}}$ – суммарный момент сопротивления повороту, Н·м; ω – угловая скорость поворота механизма, рад/с.

$$T_{\text{тр}} = T_A + T_B + T_{\text{в}},$$

где T_A и T_B – моменты сопротивления, которые возникают в опорах А и В от действия горизонтальных реакций R_A и R_B ; $T_{\text{в}}$ – момент сопротивления от действия вертикальной реакции $R_{\text{в2}}$.

$$T_{A(B)} = 10^{-3} \cdot R_{A(B)} \cdot \left(\frac{d_{A(B)}}{2} \right) \cdot f,$$

где $d_{A(B)}$ – диаметр цапф, мм; f – коэффициент трения опор качения: $f = 0,05$.

$$T_{\text{в}} = 10^{-3} \cdot R_{\text{в2}} \cdot \left(\frac{d_{\text{в}}}{2} \right) \cdot f,$$

$$R_{\text{в2}} = (m_{\text{т}} + m_{\text{о}} + m_{\text{с}} + m_{\text{к}}) \cdot g,$$

где $m_{\text{к}}$ – масса поворотного узла 11, ориентировочно:

$$m_{\text{к}} = k_2 \cdot m_{\text{о}},$$

где $k_2 = 20 \dots 30$ – коэффициент конструкции, зависящий от типа и грузоподъемности ПР.

Тогда:

$$m_{\text{к}} = 20 \cdot 50 = 1000 \text{ кг}.$$

$$R_{B2} = (180 + 50 + 15 + 1000) \cdot 9,8 = 12,201 .$$

$$R_A = R_B = \frac{(m_o + m_c) \cdot g \cdot l_o}{l_2} = \frac{(50 + 15) \cdot 9,8 \cdot 1,435}{0,3} = 3047 \text{ Н} .$$

Для определения диаметра цапф под подшипники необходимо определить диаметр оси поворота из условия прочности на изгиб, мм:

$$d = 10^3 \sqrt[3]{\frac{M_{из}}{0,1[\sigma_{из}]}} ,$$

где $[\sigma_{из}] = 80 \dots 120$ МПа – допускаемое напряжение изгиба; $M_{из}$ – изгибающий момент, Н·м:

$$M_{из} = (m_o + m_c) \cdot g \cdot l_o = (50 + 15) \cdot 9,8 \cdot 1,435 = 914,1 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

$$d = 10^3 \sqrt[3]{\frac{914,1}{0,1 \cdot 110}} = 43,6 \text{ мм} .$$

Тогда:

$$T_B = 10^{-3} \cdot 12,201 \cdot \left(\frac{40}{2}\right) \cdot 0,05 = 12,2 \text{ Н} ,$$

$$T_A = 10^{-3} \cdot 3047 \cdot \left(\frac{40}{2}\right) \cdot 0,05 = 3,05 \text{ Н} ,$$

$$T_B = 10^{-3} \cdot 3047 \cdot \left(\frac{40}{2}\right) \cdot 0,05 = 3,05 \text{ Н} .$$

$$T_{тр} = 3,05 + 3,05 + 12,2 = 18,3 \text{ Н} ,$$

$$P_{ст} = 10^{-3} \cdot 18,3 \cdot 2 = 0,04 \text{ кВт} ,$$

$$P_{дв} = 1 \cdot \frac{0,04}{0,65} = 0,062 \text{ кВт} .$$

Далее по каталогу выбираем ближайший двигатель постоянного тока серии ДК1 большей мощности типа ДК1-1,7, который имеет следующие основные параметры:

$$P_{ном} = 0,75 \text{ кВт} ;$$

$$T_{ном} = 7,35 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$n = 1000 \text{ об/мин} ;$$

$$J_{дв} = 0,00133 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Уже было сказано, что мощность двигателя необходимо брать больше расчетной потому, что в момент пуска не учитываются инерционные нагрузки двигателя. Тогда выбранный двигатель необходимо проверить по условиям пуска, определив коэффициент его перегрузки φ , который сравнивается с допустимым значением $[\varphi]$ [3].

$$\varphi = \frac{T_{\text{п}}}{T_{\text{н}}} \leq [\varphi] ;$$

где $T_{\text{н}}$ – номинальный момент двигателя:

$$T_{\text{н}} \approx \frac{10^4 \cdot P_{\text{дв}}}{n_{\text{дв}}} = \frac{10^4 \cdot 0,062}{1000} = 0,62 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$T_{\text{п}}$ – пусковой момент двигателя:

$$T_{\text{п}} = T_{\text{ст}} + T_{\text{ин}} + J_{\text{пр}} ;$$

где $T_{\text{ст}}$ – статический момент на валу двигателя:

$$T_{\text{ст}} = \frac{T_{\text{тр}}}{i_{\text{мв}} \cdot \eta_{\text{мв}}} = \frac{18,3}{52,4 \cdot 0,65} = 0,54 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

где $i_{\text{мв}} = \frac{\omega_{\text{дв}}}{\omega} = \frac{n_{\text{дв}}}{n}$ – передаточное отношение механизма вращения:

где $n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi}$ – частота вращения механизма;

$$n = \frac{30 \cdot 2}{3,14} = 19,1 \text{ мин}^{-1} ;$$

$$i_{\text{мв}} = \frac{1000}{19,1} = 52,4 .$$

$T_{\text{ин}}$ – момент силы инерции вращающихся частей механизма привода, Н·м.

$$T_{\text{ин}} = \frac{10^{-4} \cdot c \cdot J_{\text{дв}} \cdot n_{\text{дв}}}{t_p} ,$$

где $c = 1,1 \dots 1,4$ – коэффициент, учитывающий моменты инерции всех вращающихся деталей привода, кроме ротора двигателя; $t_p = 0,4 \text{ с}$ – время разгона;

$$T_{\text{ин}} = \frac{10^{-4} \cdot 1,3 \cdot 0,00133 \cdot 1000}{0,4} = 0,00043 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

$J_{\text{пр}}$ – момент сил инерции массы объекта, приведенный к валу двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$:

$$J_{\text{пр}} = \frac{(m_o + m_c) \cdot l_o^2}{i_{MB}^2} = \frac{(50 + 15) \cdot 1,435^2}{52,4^2} = 0,049 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 ;$$

$$T_{\Pi} = 0,54 + 0,00043 + 0,049 = 0,59 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

$$\varphi = \frac{0,59}{0,62} = 0,95 \leq [\varphi] = 5 .$$

Данный двигатель удовлетворяет условию.

1.5 КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ СХВАТОВ

Схваты робота предназначены для того, чтобы удерживать и захватывать объект манипулирования во время его перемещения и транспортировки. К ним предъявляют следующие требования: надежность захватывания и удержания объекта, точность базирования и ориентирования и недопустимость разрушения, а также повреждения детали. В настоящее время разработана достаточно обширная база разнообразных конструкций схватов, которые имитируют человеческую кисть, они обычно бывают с пневмо- или электромеханическим приводом [3].

Осуществляется проектирование схватов в следующем порядке:

1. Выбирается тип используемого схвата.
2. Определяется усилие схвата.
3. Просчитывается необходимое расстояние, которое необходимо для перемещения губок схвата.
4. Расчетным путем определяется мощность привода.
5. Определяются усилия в кинематических элементах схвата, а также производится расчет их размеров.

Для правильного выбора типа схвата необходимо учитывать множество факторов, основные из них это масса, форма и свойства объекта манипулирования, изменение этих характеристик в процессе обработки, требования к

времени затрачиваемом на захват, а также точность позиционирования и свойства захватываемой поверхности [3].

В общем случае однозначно рекомендовать выбор типа схвата и его кинематику невозможно, поэтому ориентироваться необходимо на уже разработанные аналоги.

При этом, усилия, действующие на губки, определяются исходя из условий равновесия. Так как центр тяжести детали расположен между парами губок 2 и 3 (рис. 1.5), то усилия R_1 и R_2 определяются по формулам:

$$R_1 = \frac{l + c}{l} F_0 ; \quad R_2 = \frac{c}{l} F_0 ,$$

где F_0 – сила веса детали, Н.

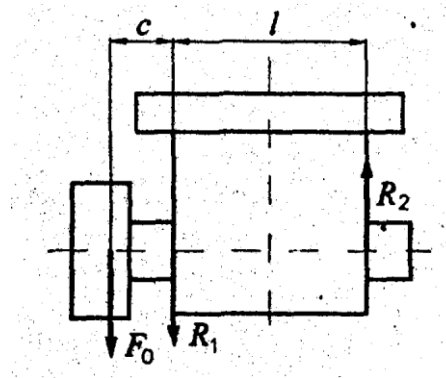


Рисунок 1.5 – Схема схвата с центром тяжести между губками

$$R_1 = \frac{0,063 + 0,11}{0,063} \cdot 490 = 1\,347,5 \text{ Н} ,$$

$$R_2 = \frac{0,11}{0,063} \cdot 490 = 855,6 \text{ Н} .$$

При проектировании схватов за расчетные принимают усилия, вычисленные с учетом ускорения при перемещении, для схемы по формуле:

$$F' = \frac{R_1 + R_2}{g} \cdot (g + a) \cdot K_1 \cdot K_2 ;$$

где m_o – масса детали, кг; K_1 – коэффициент, зависящий от положения заготовки по отношению к губкам схвата и направления действия силы тяжести; $K_2 = 1,3 \dots 2,0$ – коэффициент запаса.

Тогда:

$$F = \frac{1\,347,5 + 855,6}{9,81} \cdot (9,81 + 0,5) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,5 = 1736,6 \text{ Н}.$$

Нормальные усилия, с которыми губки схвата воздействуют на деталь, будут зависеть от ориентации её в пространстве и конструкции губок. При использовании плоских губок, удерживающие усилия:

$$F_{N1} = F_{N2} = F = \frac{F}{2 \cdot f},$$

где f – коэффициент трения. Для незакаленных пальцев без насечки (сталь марок 45, 50) $f = 0,12 \dots 0,15$, для закаленных пальцев с насечкой (сталь 65Г, У8А, У10А) $f = 0,3 \dots 0,35$.

$$F_{N1} = F_{N2} = F = \frac{1736,6}{2 \cdot 0,15} = 5\,788,7 \text{ Н}.$$

Тогда потребная мощность электродвигателя:

$$P'_d = \frac{k \cdot F_n \cdot R \cdot n_c}{9550 \cdot \eta_n \cdot \eta_c};$$

где $k = 1,3 \dots 2,0$ - коэффициент запаса, большие значения которого принимают для схватов без самоторможения; η_n - КПД механического привода; η_c - КПД схвата; $\eta_n = 0,85 \dots 0,95$; $\eta_c = 0,9 \dots 0,95$.

$$P'_d = \frac{1,3 \cdot 5\,788,7 \cdot 20 \cdot 1}{9550 \cdot 0,9 \cdot 0,95} = 18,4 \text{ Вт} = 0,018 \text{ кВт}.$$

Двигатель выбирают по мощности из условия $P_d > P'_d$. Кинематическая схема привода должна обеспечивать передаточное число $u = \frac{n_1}{n_s}$.

Следовательно, размеры губок определяют с помощью расчета на контактную прочность. Поперечное сечение рычагов схвата при этом рассчитывают на изгиб, а шарниры рассчитывают на срез и смятие.

2 СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УГЛОМ ПОВОРОТА ТРАВЕРСЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Система автоматического управления (САУ) угловым положением траверсы промышленного робота, функциональная схема которой приведена на рисунке 2.1, состоит из задающего устройства ЗУ, сельсина-датчика С-Д, сельсина-приемника С-П, усилителя У, двигателя постоянного тока ДПТ и редуктора Р [5]. Особенностью такой схемы является то, что сельсины включены в трансформаторном режиме.

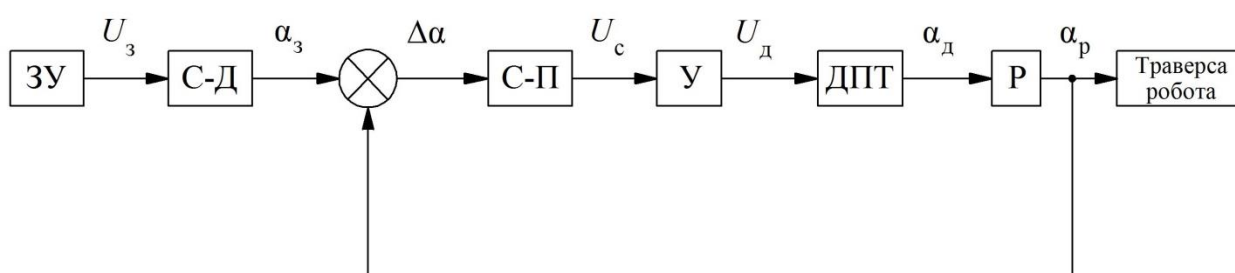


Рисунок 2.1 – Функциональная схема САУ промышленного робота

На рисунке 2.1 приняты следующие обозначения: U_3 – напряжение, пропорциональное заданному углу поворота траверсы робота; α_3 – угол поворота ротора сельсина-датчика С-Д; $\Delta\alpha$ – рассогласование угловых положений роторов сельсинов; U_c – напряжение, поступающее на вход усилителя У; U_d – напряжение на входе двигателя ДПТ; α_d – угол поворота выходного вала двигателя ДПТ; α_p – угол поворота выходного вала редуктора Р [5].

«Система управления работает следующим образом. При подаче напряжения на обмотку возбуждения сельсина-датчика С-Д его ротор поворачивается на угол α_3 . При этом в обмотке сельсина-приемника С-П возникает напряжение U_c , пропорциональное рассогласованию между угловыми положениями роторов сельсинов, которое поступает на вход усилителя У. Двигатель ДПТ отрабатывает данное рассогласование, поворачивая траверсу ро-

бота через редуктор Р таким образом, что её угловое положение отслеживает угловое положение ротора сельсина-датчика С-Д» [5].

Сигнал управления передается от сельсина-датчика СД (измерительного прибора) к сельсину-приемнику СП, работающим в трансформаторном режиме.

На рисунке 2.2 представлена схема включения сельсинов.

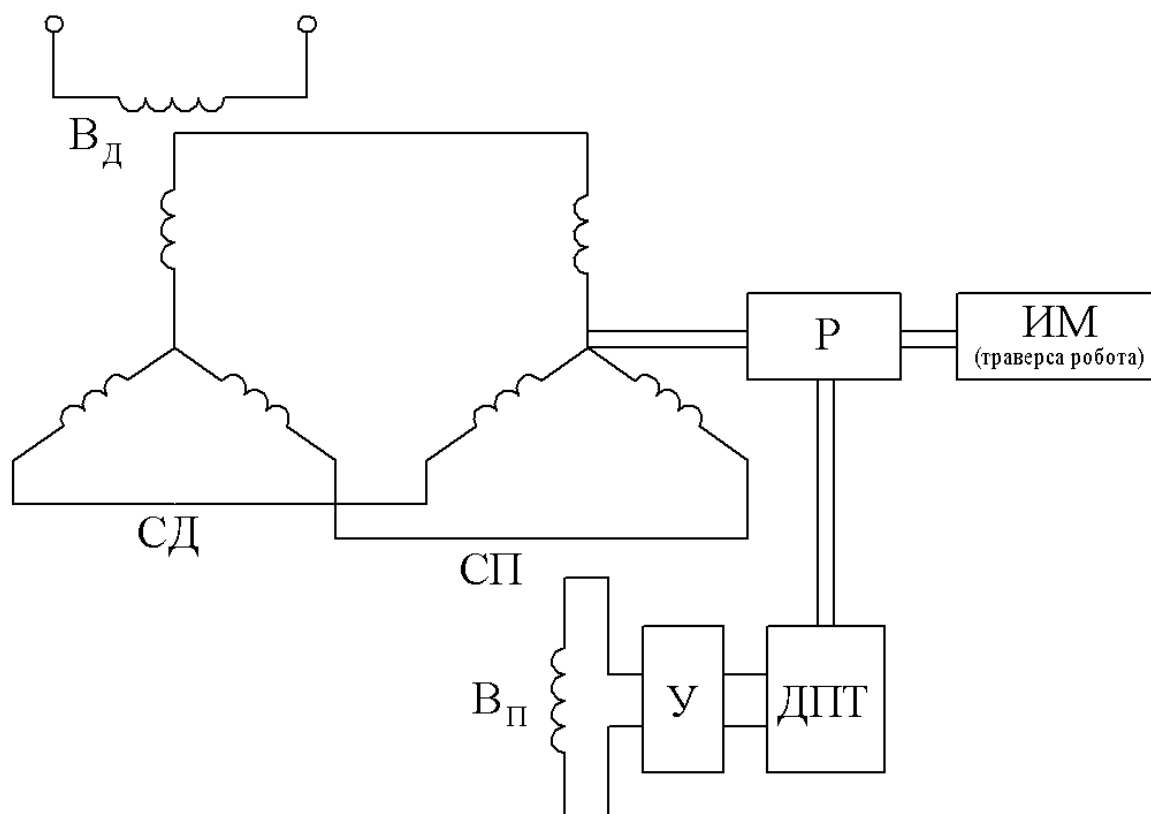


Рисунок 2.2 – Схема включения сельсинов в трансформаторном режиме

Особенностью такой схемы включения является то, что однофазная обмотка возбуждения V_{Π} сельсина-приемника СП подключается к управляющему блоку усилителя У. При подаче питания в обмотку возбуждения V_{Δ} сельсина-датчика СД в обмотках синхронизации, возникает ток, который в сельсине-приемнике СП создает пульсирующий магнитный поток (рисунок 2.2).

Если ротор сельсина-датчика СД поворачивается на какой-либо угол α , то в обмотке В_П сельсина-приемника СП возникает напряжение, пропорциональное углу поворота, которое поступает на вход усилителя У.

В результате сигнал на выходе усилителя У пропорционален рассогласованию между угловым положением роторов сельсинов. Двигатель ДПТ обрабатывает данное рассогласование, поворачивая траверсу робота через редуктор Р таким образом, что её угловое положение отслеживает угловое положение ротора измерительного прибора. Другими словами, исполнительный механизм ИМ (траверса) повторяет вращение ротора сельсина-датчика СД.

2.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ САУ

Для определения передаточной функции системы управления промышленного робота необходимо найти передаточные функции входящих в неё элементов.

При одинаковых коэффициентах передачи сельсинов С функциональная схема САУ примет вид, как показано на рисунке 2.3.

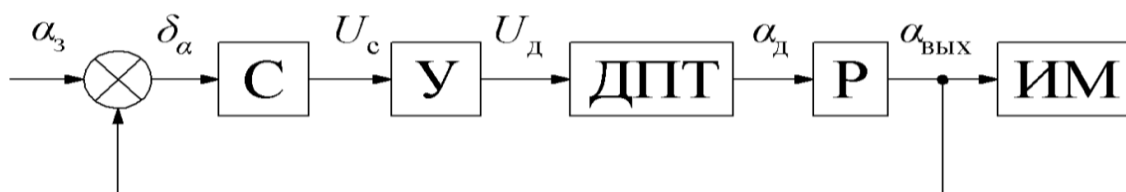


Рисунок 2.3 – Функциональная схема САУ углом поворота траверсы промышленного робота

Передаточная функция сельсина С, представленного безынерционным звеном, имеет вид:

$$W_1(s) = \frac{U_c(s)}{\Delta\alpha(s)} = k_c, \quad (1)$$

где $\delta\alpha$ – погрешность угла поворота траверсы; k_c – коэффициент передачи сельсина; s – оператор дифференцирования.

Передаточная функция усилителя У:

$$W_2(s) = \frac{U_d(s)}{U_c(s)} = k_2, \quad (2)$$

где k_2 – коэффициент усиления.

Передаточная функция двигателя постоянного тока ДПТ при условии, что входной величиной является напряжение, а выходной – угол поворота ротора, имеет вид [1]:

$$W_d(s) = \frac{\alpha_d(s)}{U_d(s)} = \frac{k_d}{(T_d s + 1)s}, \quad (3)$$

где k_d – коэффициент передачи двигателя; T_d – постоянная времени двигателя.

Передаточная функция редуктора Р:

$$W_3(s) = \frac{\alpha_p(s)}{\alpha_d(s)} = k_3, \quad (4)$$

где k_3 – передаточное отношение редуктора.

После определения передаточных функций элементов, составляем структурную схему САУ (рисунок 2.4).

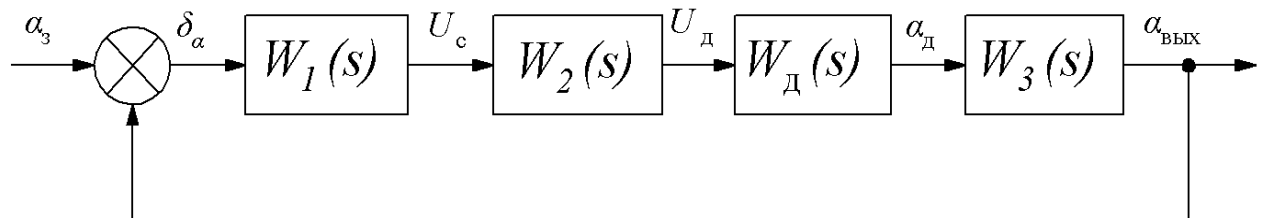


Рисунок 2.4 – Структурная схема САУ промышленного робота

Так как система охвачена единичной отрицательной обратной связью, то её передаточная функция описывается следующим выражением:

$$W(s) = \frac{W_p(s)}{1 + W_p(s)}. \quad (5)$$

где $W_p(s)$ – передаточная функция разомкнутой САУ.

Используя правила преобразования структурных схем [1], найдем передаточную функцию разомкнутой системы:

$$W_p(s) = \frac{\alpha_p(s)}{\alpha_3(s)} = W_1(s)W_2(s)W_d(s)W_3(s). \quad (6)$$

После подстановки выражений (1)-(4) в уравнение (6) получим:

$$W_p(s) = \frac{\alpha_p(s)}{\alpha_3(s)} = \frac{k_c k_2 k_d k_3}{(T_d s + 1)s}. \quad (7)$$

Найдем передаточную функцию замкнутой САУ, используя выражение (5):

$$W(s) = \frac{k_c k_2 k_d k_3}{T_d s^2 + s + k_c k_2 k_d k_3} = \frac{k_0}{T_d s^2 + s + k_0}, \quad (8)$$

где $k_0 = k_c k_2 k_d k_3$ – коэффициент передачи замкнутой САУ.

Таким образом, выражение (8) представляет собой передаточную функцию САУ промышленного робота.

Составленная математическая модель САУ позволяет определить такие показатели качества системы, как быстродействие и устойчивость.

2.2 ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ САУ

Запишем уравнение обратной связи системы управления промышленного робота:

$$\delta_\alpha(t) = \alpha_3(t) - \alpha_{\text{вых}}(t), \quad (9)$$

где $\delta_\alpha(t)$ – ошибка системы.

В общем случае передаточная функция САУ по ошибке имеет вид [1,2]:

$$W_0(s) = \frac{1}{1 + W_p(s)}. \quad (10)$$

Для нашего случая получим:

$$W_0(s) = \frac{\delta_\alpha(s)}{\alpha_3(s)} = \frac{1}{1 + W_p(s)}. \quad (11)$$

Подставив выражение (7) в уравнение (11) и проведя преобразования, получим:

$$W_0(s) = \frac{\delta_\alpha(s)}{\alpha_3(s)} = \frac{T_d s^2 + s}{T_d s^2 + s + k_c k_2 k_d k_3}. \quad (12)$$

Или

$$W_0(s) = \frac{\delta_\alpha(s)}{\alpha_3(s)} = \frac{T_d s^2 + s}{T_d s^2 + s + k_0}. \quad (13)$$

Таким образом, используя полученную передаточную функцию САУ по ошибке (уравнение (13)), можно оценить точность работы системы, т.е. найти погрешность угла поворота траверсы промышленного робота.

3 ПЕРЕХОДНАЯ ФУНКЦИЯ САУ УГЛОМ ПОВОРОТА ТРАВЕРСЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Передаточная функция САУ промышленного робота согласно выражению (8) имеет вид:

$$W(s) = \frac{k_0}{T_d s^2 + s + k_0},$$

где $k_0 = k_c k_2 k_d k_3$ – коэффициент передачи замкнутой системы управления.

Запишем характеристическое уравнение замкнутой САУ:

$$T_d s^2 + s + k_0 = 0. \quad (14)$$

Приведем уравнение (14) к каноническому виду:

$$\frac{(\sqrt{T_d})^2}{(\sqrt{k_0})^2} s^2 + \frac{1}{k_0} s + 1 = 0 \quad (15)$$

Или:

$$C_0 s^2 + C_1 s + C_2 = 0, \quad (16)$$

где C_0, C_1, C_2 – коэффициенты характеристического уравнения замкнутой САУ.

Введем обозначения:

$$\left. \begin{aligned} C_0 &= \frac{(\sqrt{T_d})^2}{(\sqrt{k_0})^2}; \\ C_1 &= \frac{1}{k_0}; \\ C_2 &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

После введения новых постоянных времени $T_{3,4} = -\frac{1}{s_1 s_2}$ и учитывая, что $s_1 s_2 = \frac{1}{T_1^2}$, передаточная функция звена будет иметь такой вид:

$$W(s) = \frac{k}{(T_3 s + 1)(T_4 s + 1)}, \quad (18)$$

где $T_{3,4} = \frac{T_2}{2} \pm \sqrt{\frac{T_2^2}{4} - T_1^2}$.

В зависимости от соотношения параметров системы, корни могут быть действительными, комплексными или чисто мнимыми.

После всех преобразований переходная функция замкнутой САУ будет иметь вид:

$$\alpha_{\text{вых}}(t) = \alpha_3(t) \left(1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_4}} \right). \quad (19)$$

Уравнение (21) представляет собой переходную функцию САУ промышленного робота при ступенчатом (толчкообразном) входном воздействии.

3.1 ПОСТРОЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Переходные характеристики при различных значениях постоянных времени электродвигателя и коэффициенте усиления замкнутой САУ $k_0 = 10$ для угла поворота траверсы 78 градусов представлены на рисунках 3.1 – 3.8.

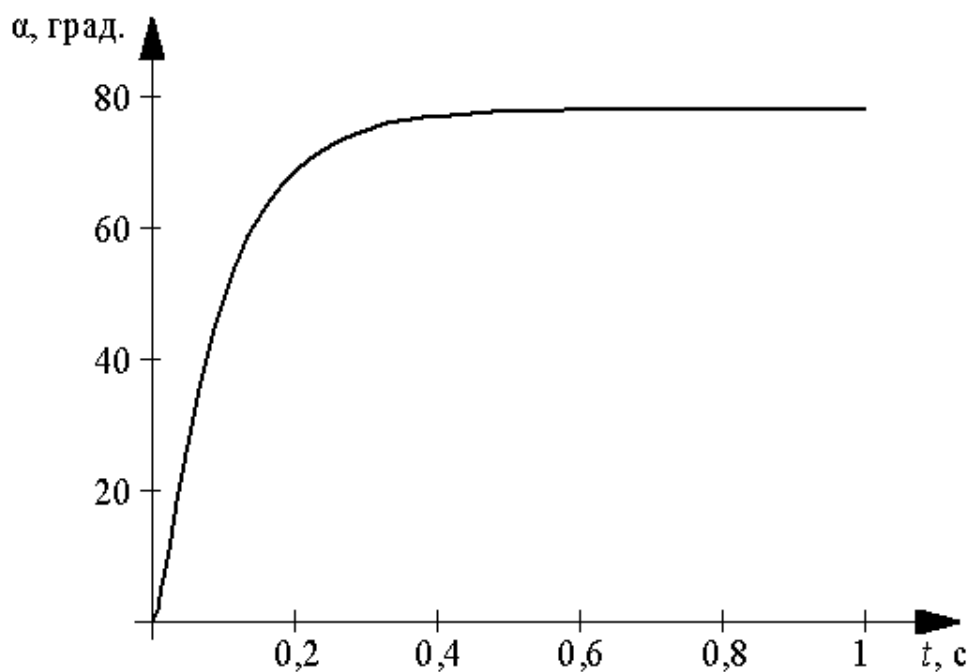


Рисунок 3.1 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,01$ с

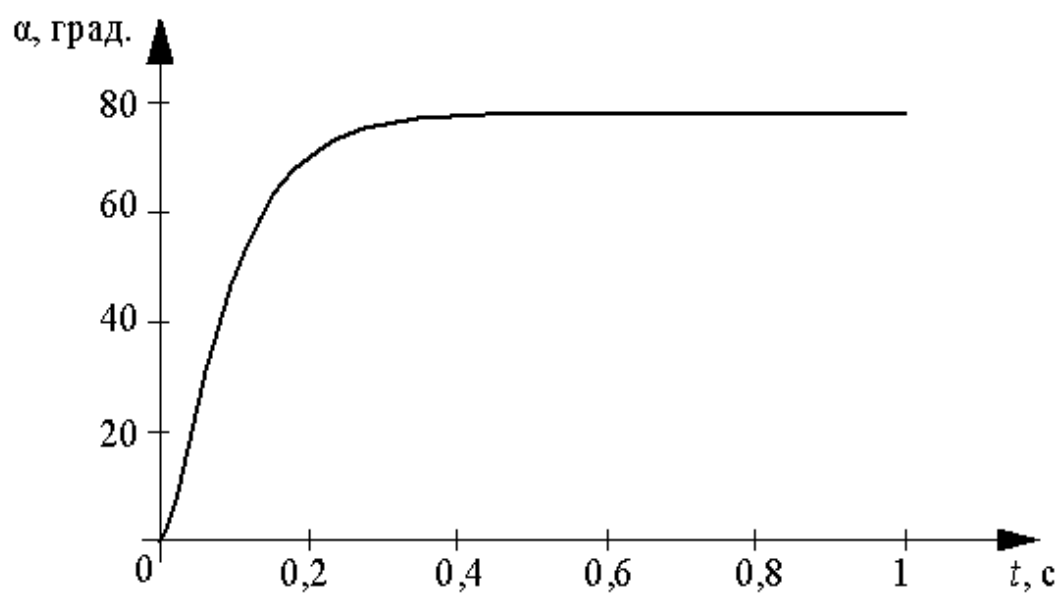


Рисунок 3.2 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,02$ с

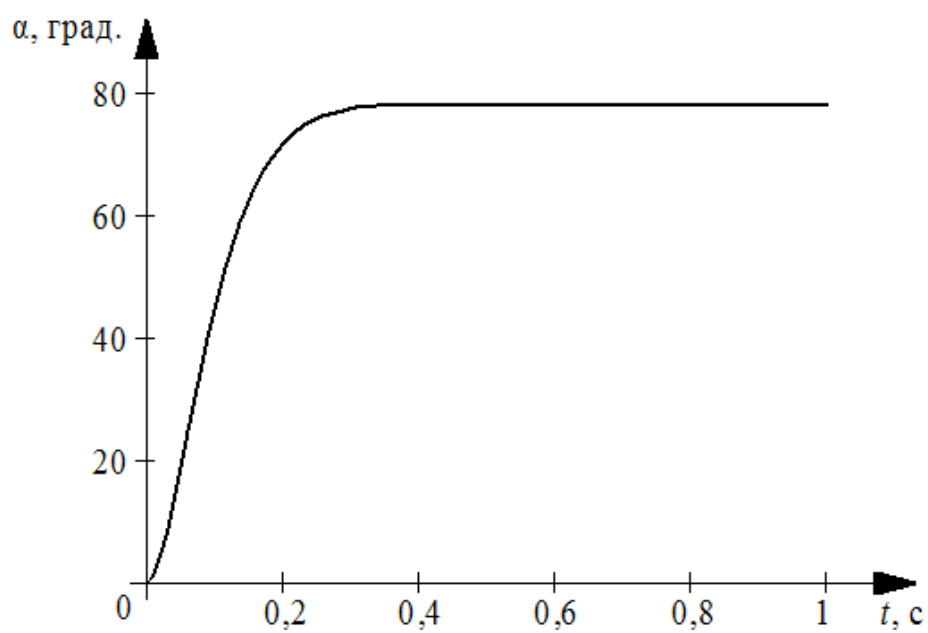


Рисунок 3.3 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,03$ с

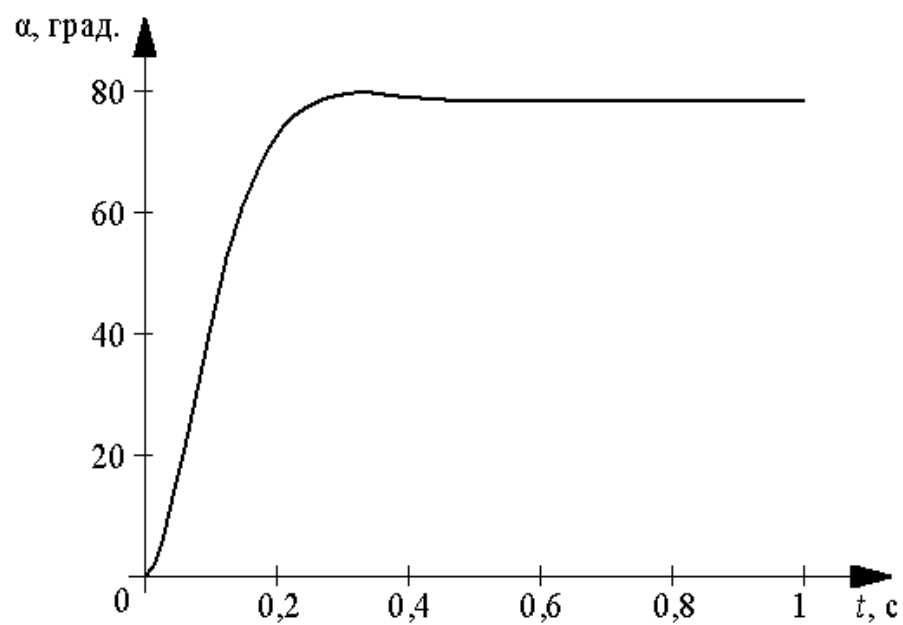


Рисунок 3.4 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,04$ с

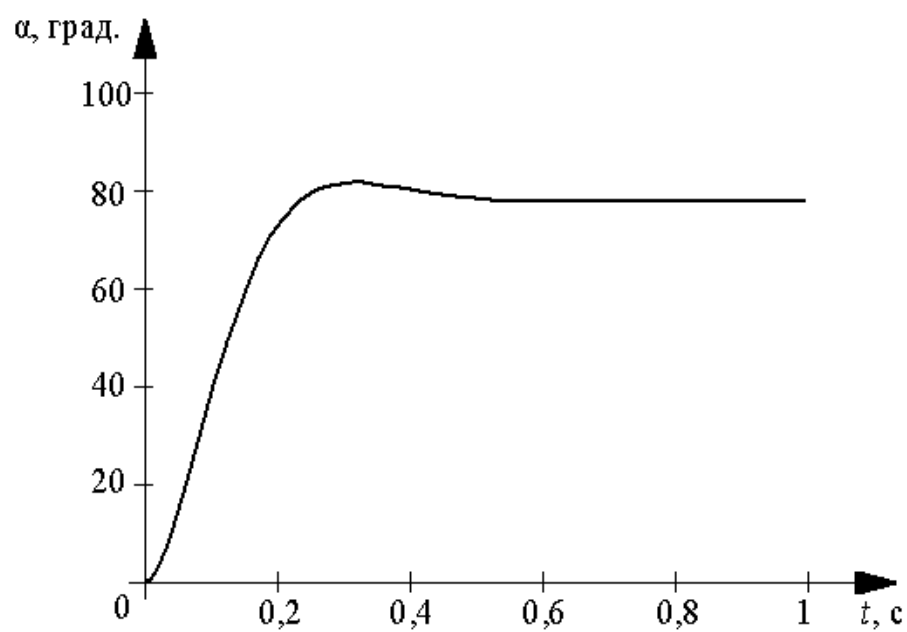


Рисунок 3.5 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,05$ с

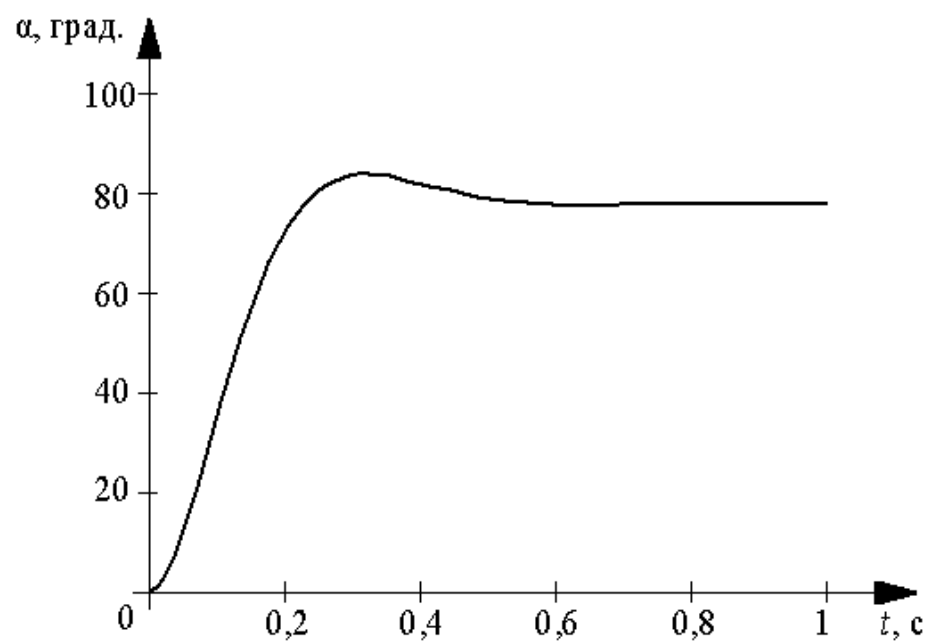


Рисунок 3.6 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,06$ с

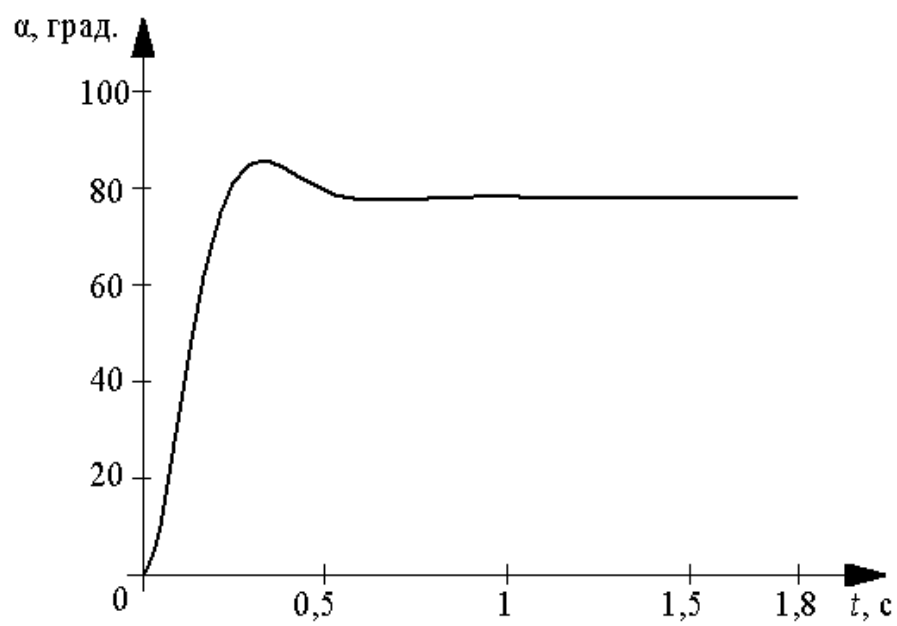


Рисунок 3.7 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,07$ с

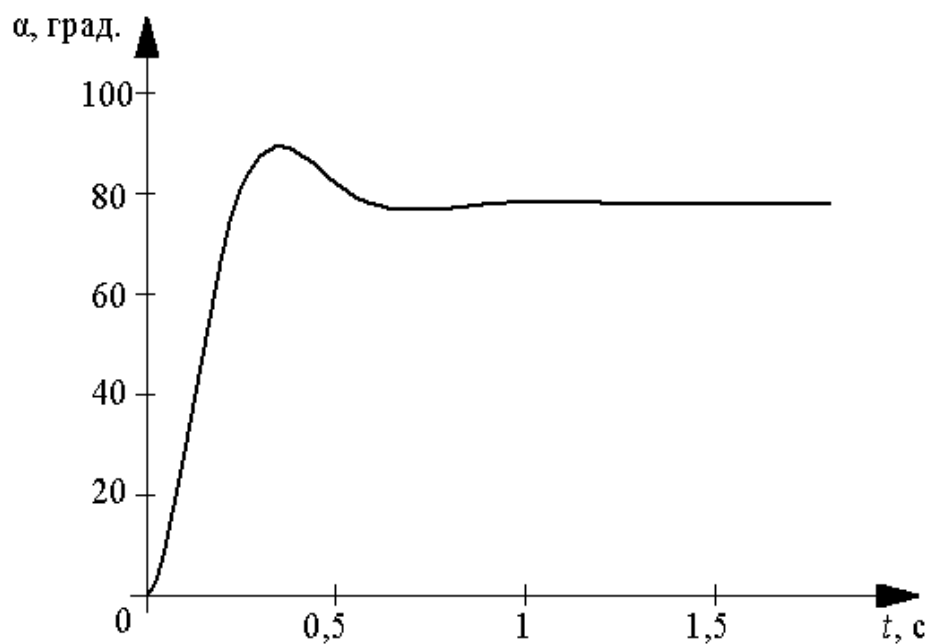


Рисунок 3.8 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,09$ с

Переходные характеристики при различных значениях коэффициента усиления замкнутой САУ и постоянной времени электродвигателя $T_d = 0,05$ с для угла поворота траверсы 78 градусов представлены на рисунках 3.9 – 3.17.

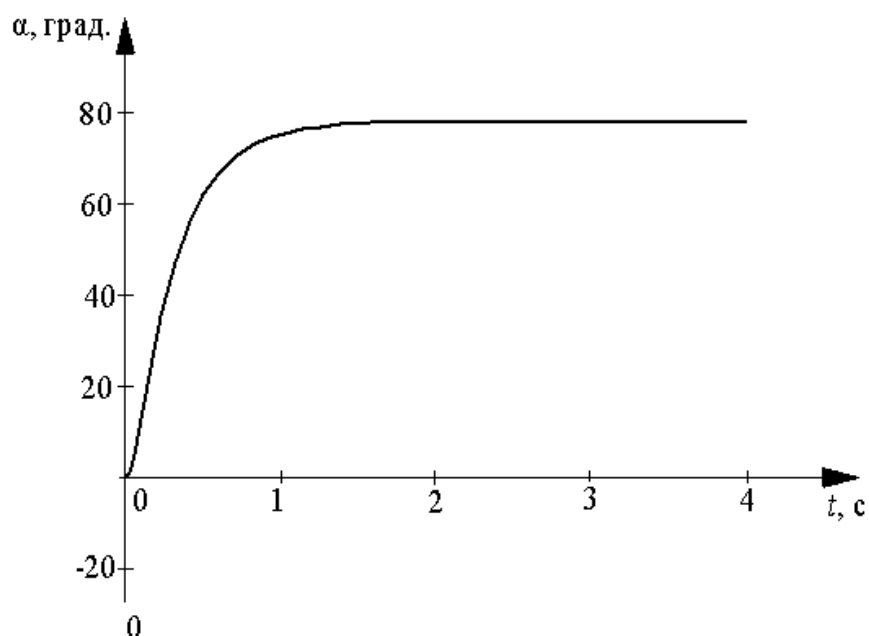


Рисунок 3.9 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 3$

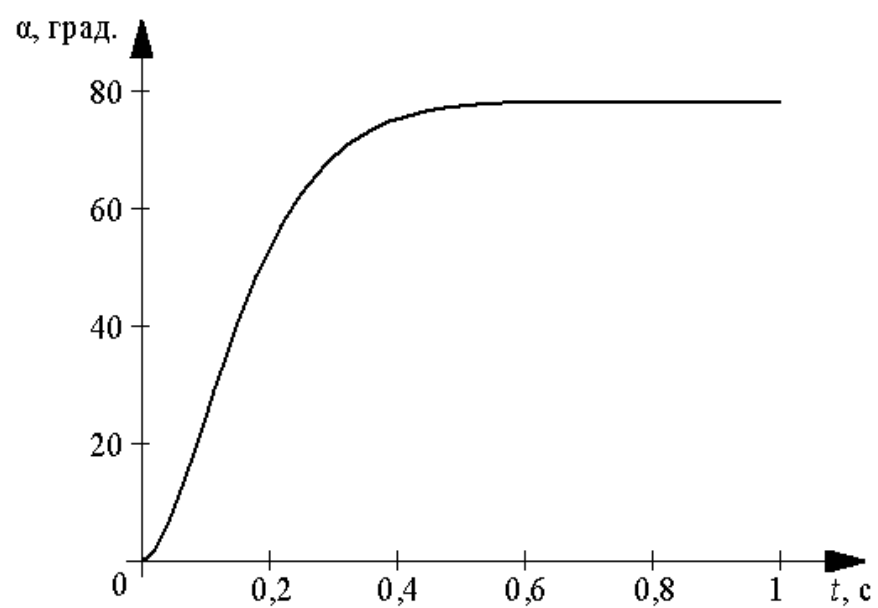


Рисунок 3.10 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 6$

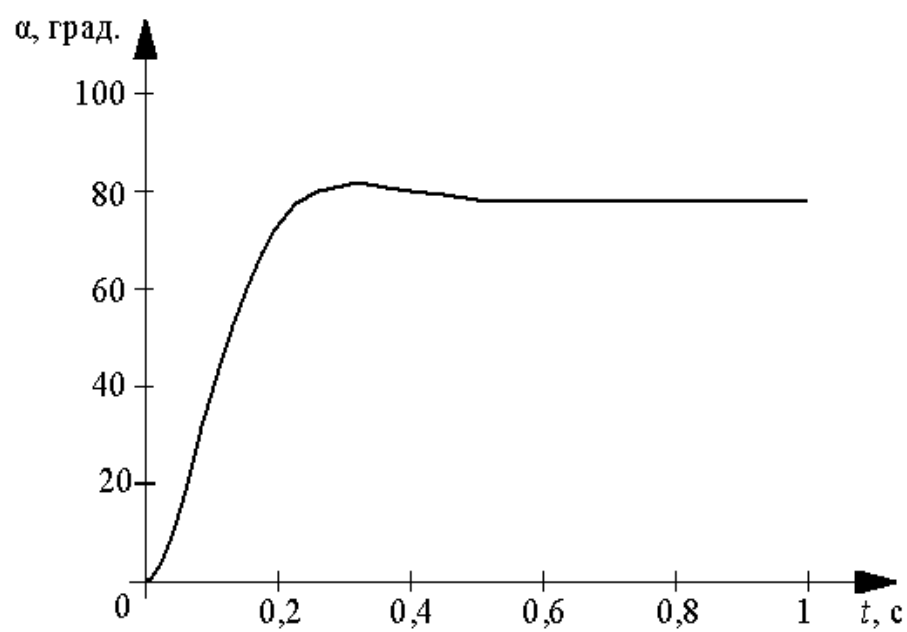


Рисунок 3.11 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 10$

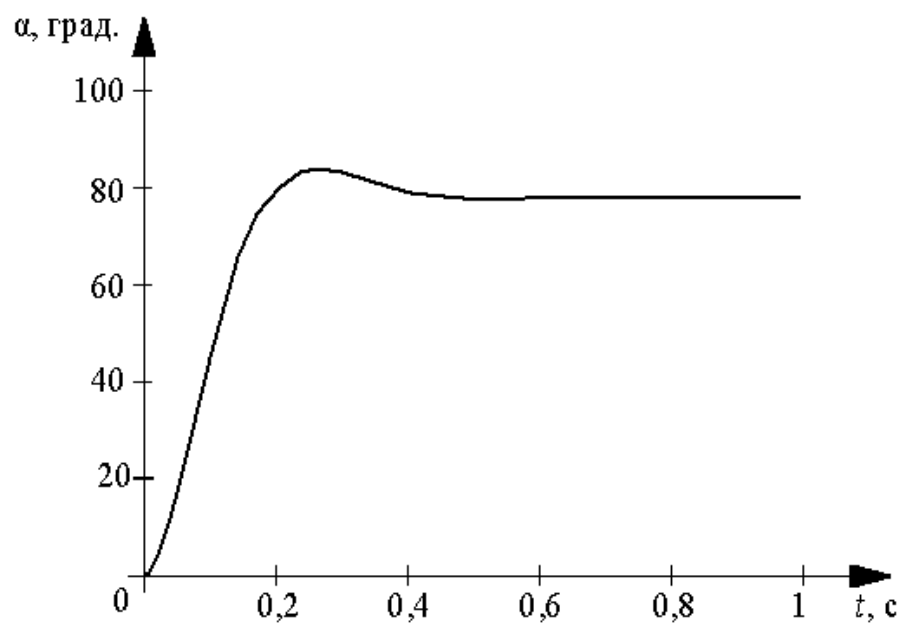


Рисунок 3.12 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 12$

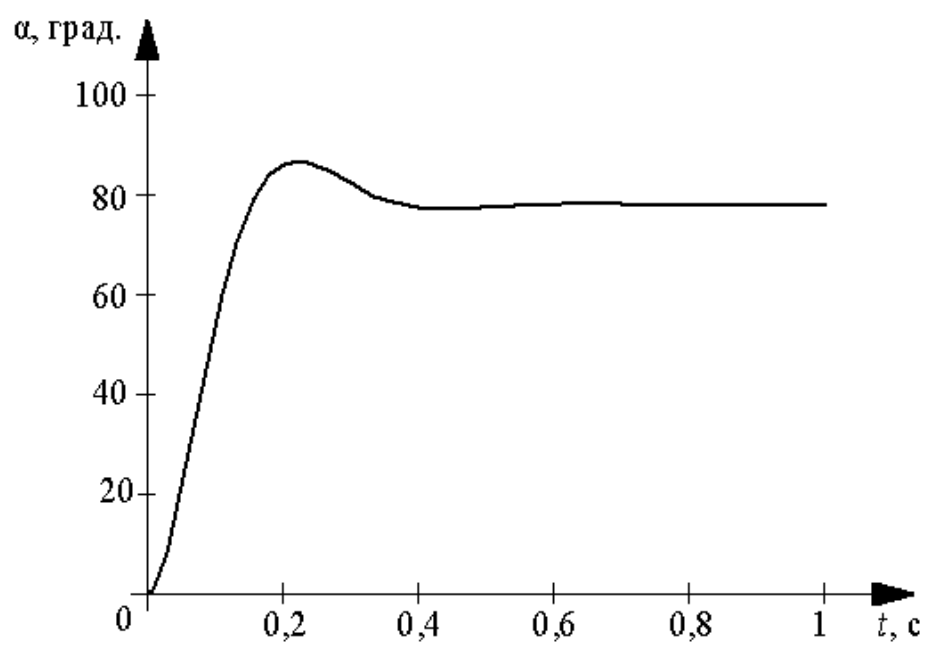


Рисунок 3.13 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 15$

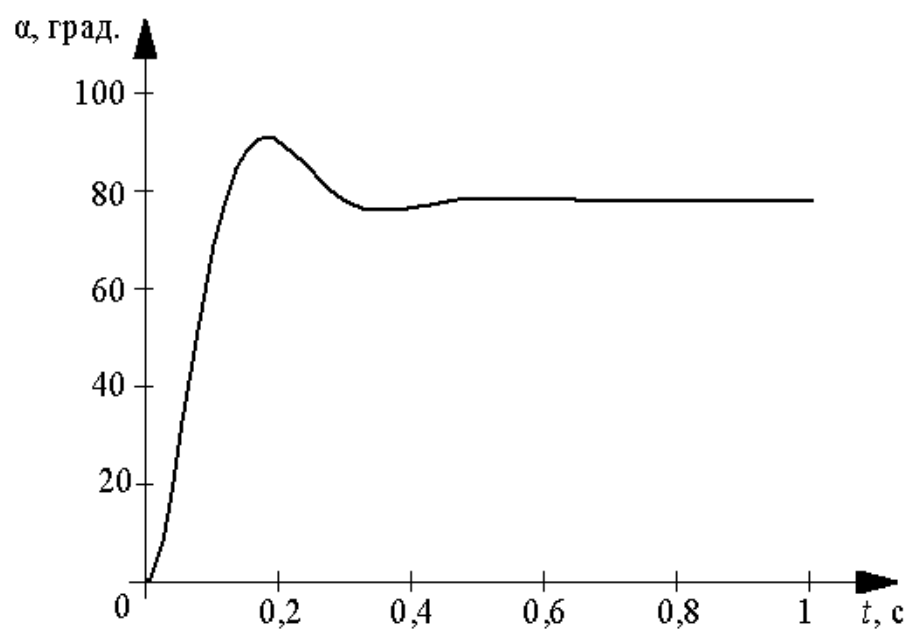


Рисунок 3.14 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 20$

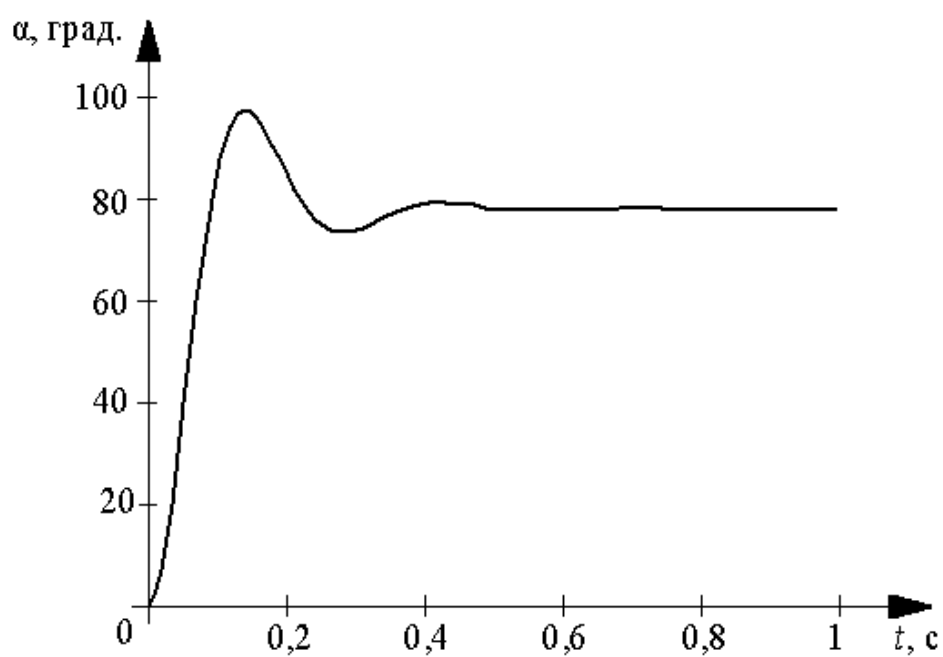


Рисунок 3.15 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 30$

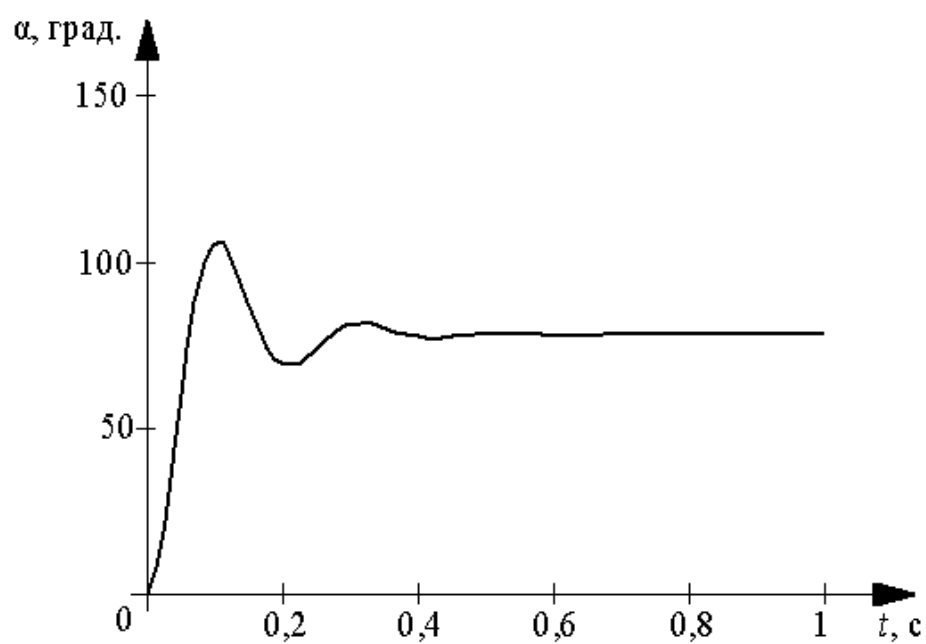


Рисунок 3.16 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 50$

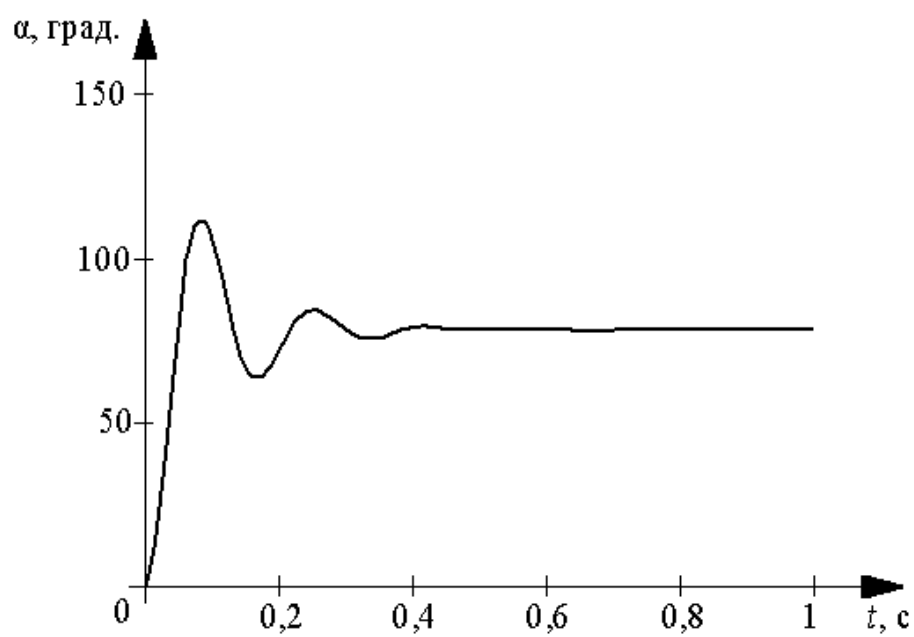


Рисунок 3.17 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 75$

Переходные характеристики при различных значениях постоянных времени электродвигателя и коэффициенте усиления замкнутой САУ $k_0 = 10$ для угла поворота траверсы 270 градусов представлены на рисунках 3.18 – 3.25.

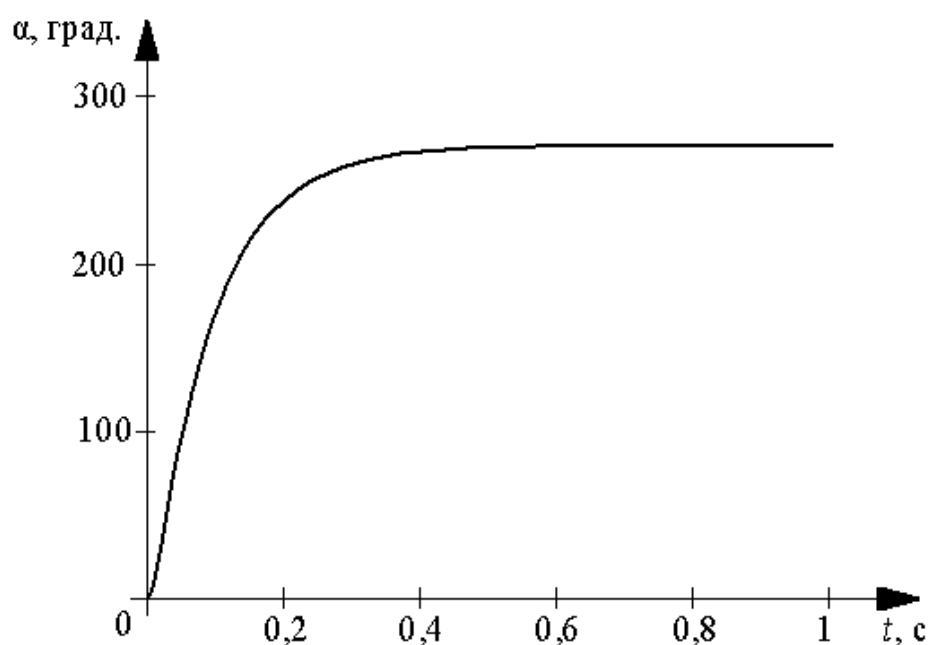


Рисунок 3.18 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,01$ с

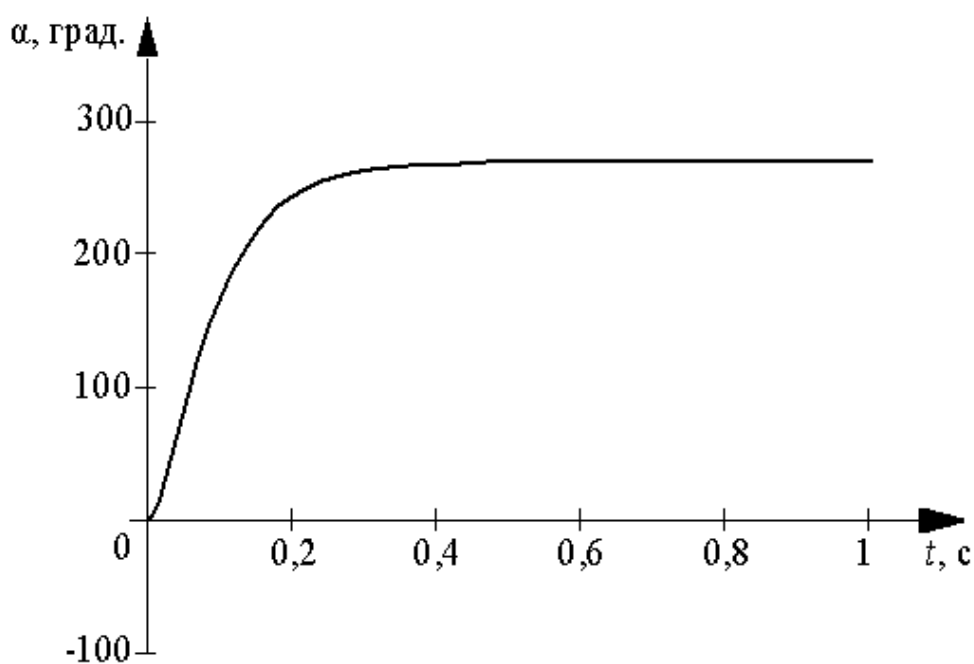


Рисунок 3.19 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,02$ с

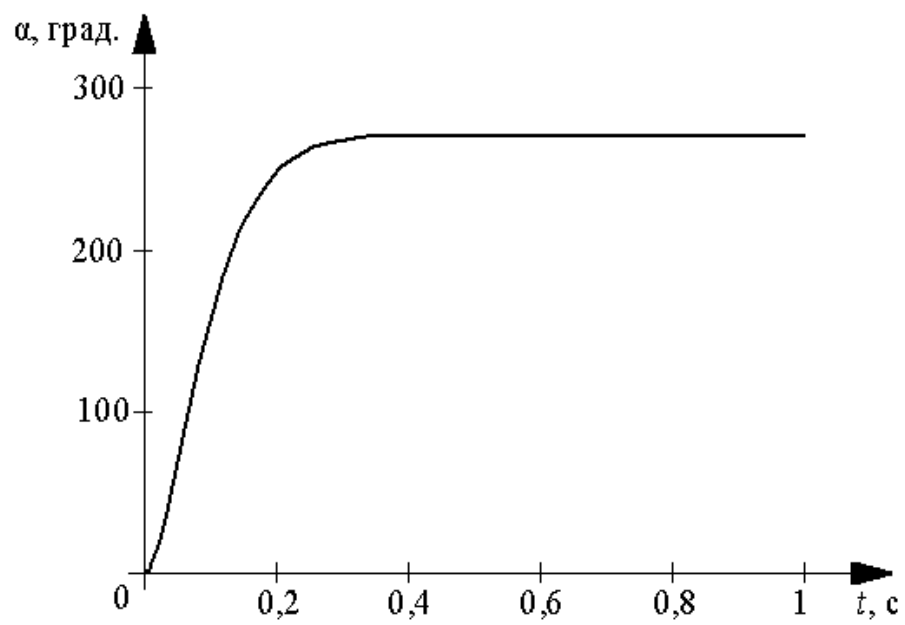


Рисунок 3.20 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,03$ с

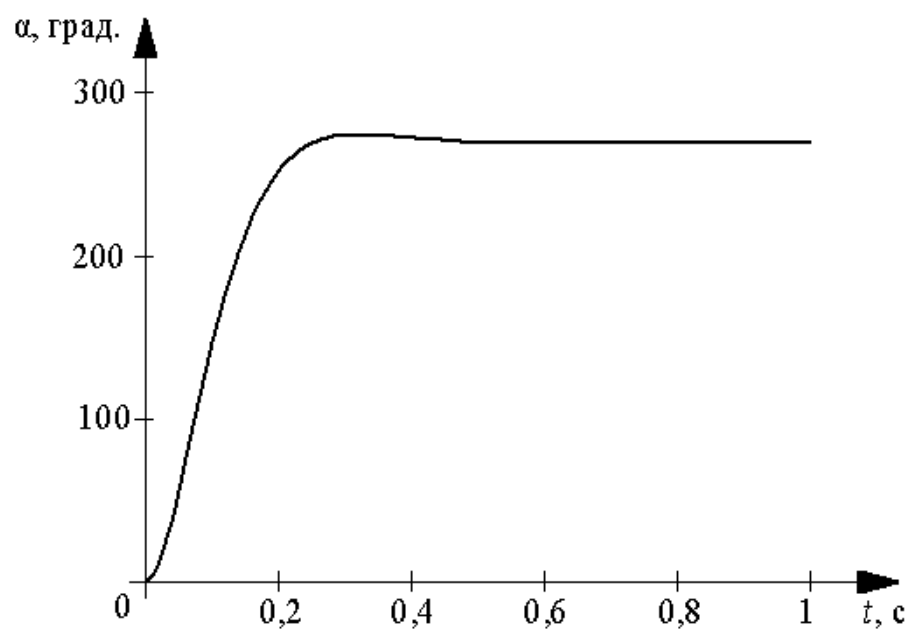


Рисунок 3.21 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,04$ с

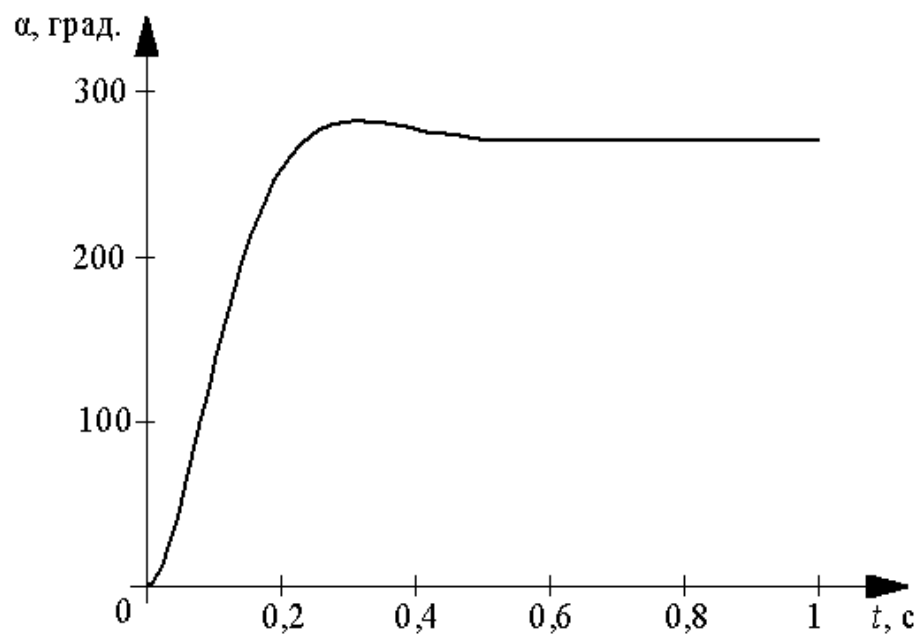


Рисунок 3.22 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,05$ с

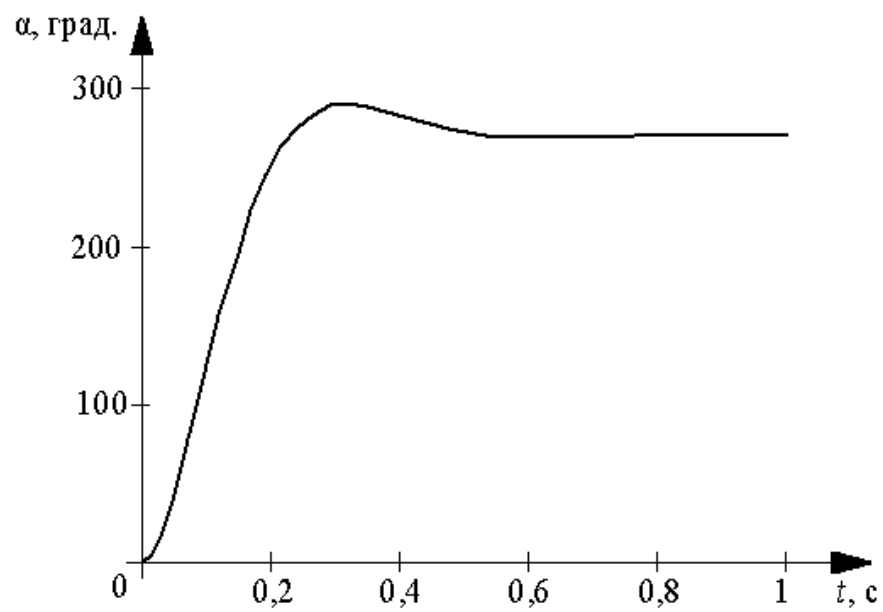


Рисунок 3.23 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,06$ с

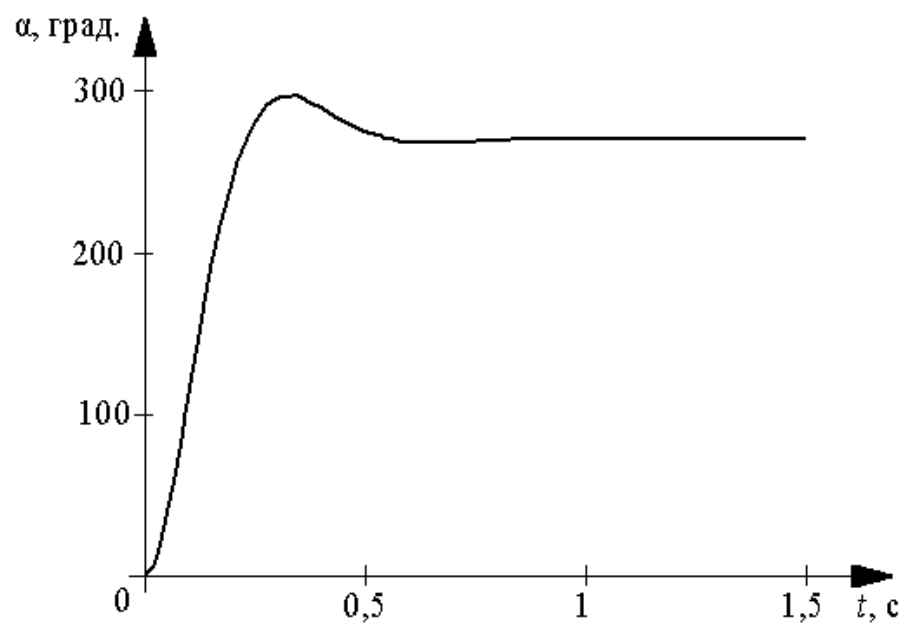


Рисунок 3.24 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,07$ с

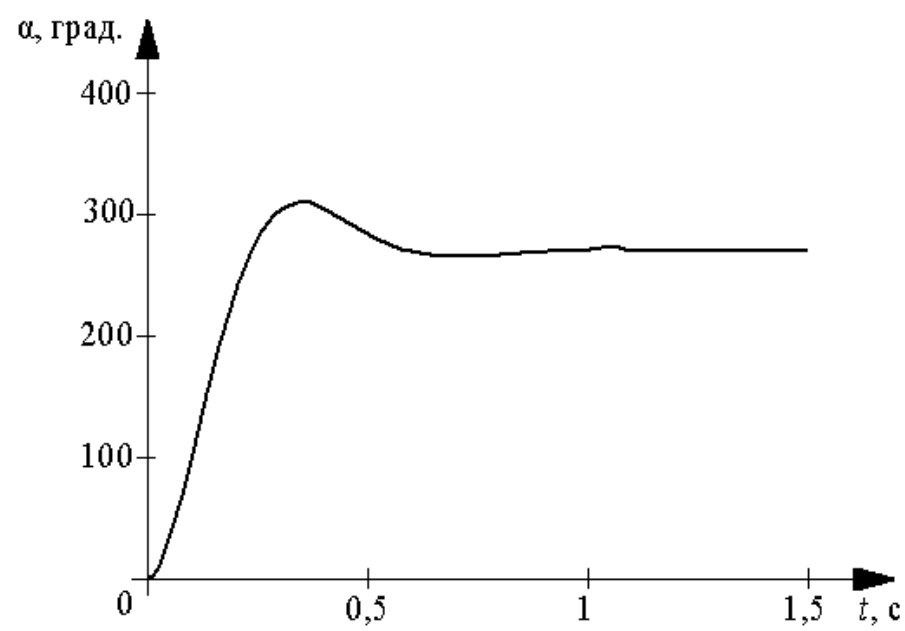


Рисунок 3.25 – Переходная характеристика САУ при $T_d = 0,09$ с

Переходные характеристики при различных значениях коэффициента усиления замкнутой САУ и постоянной времени электродвигателя $T_d = 0,05$ с. для угла поворота траверсы 270 градусов представлены на рисунках 3.26 – 3.34.

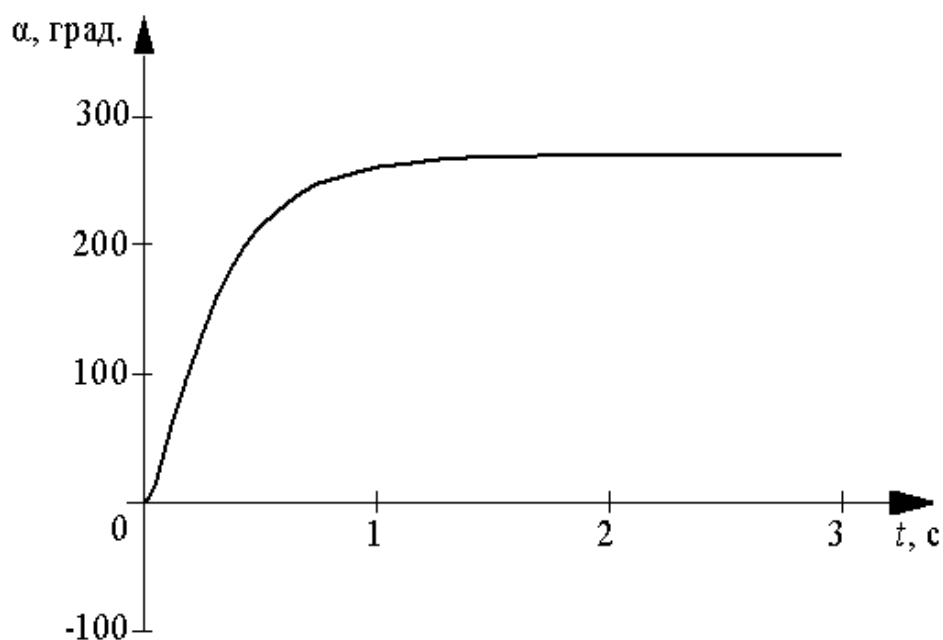


Рисунок 3.26 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 3$

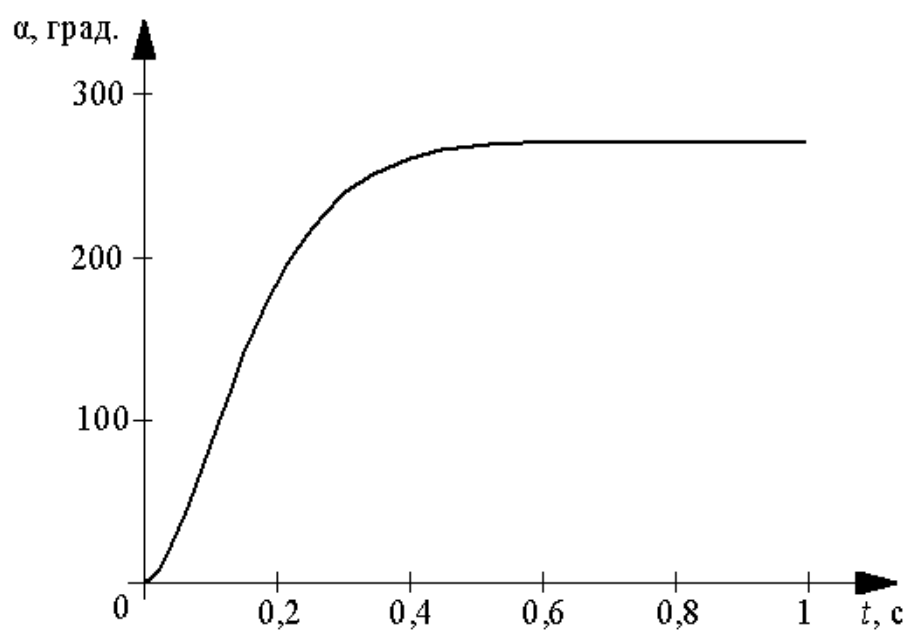


Рисунок 3.27 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 6$

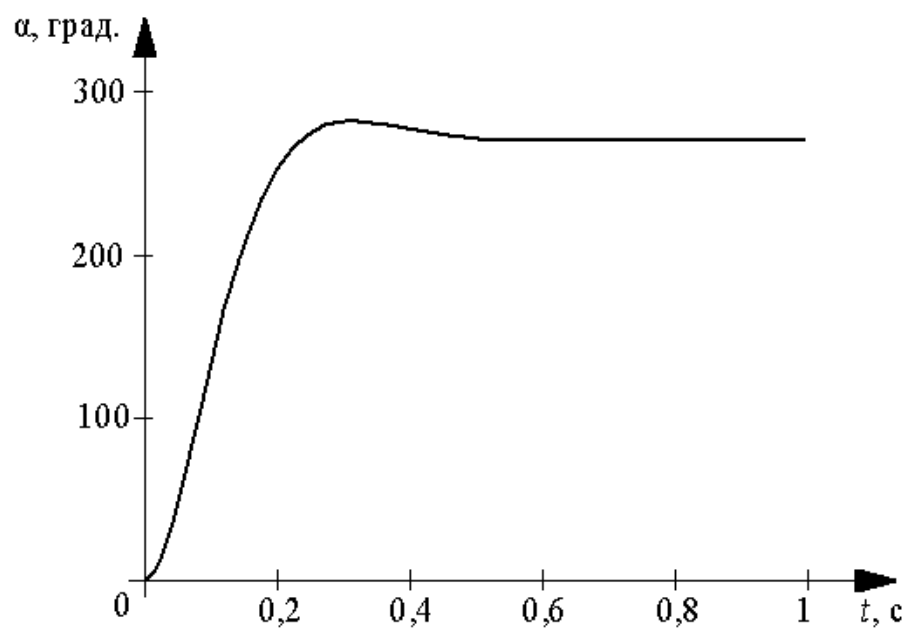


Рисунок 3.28 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 10$

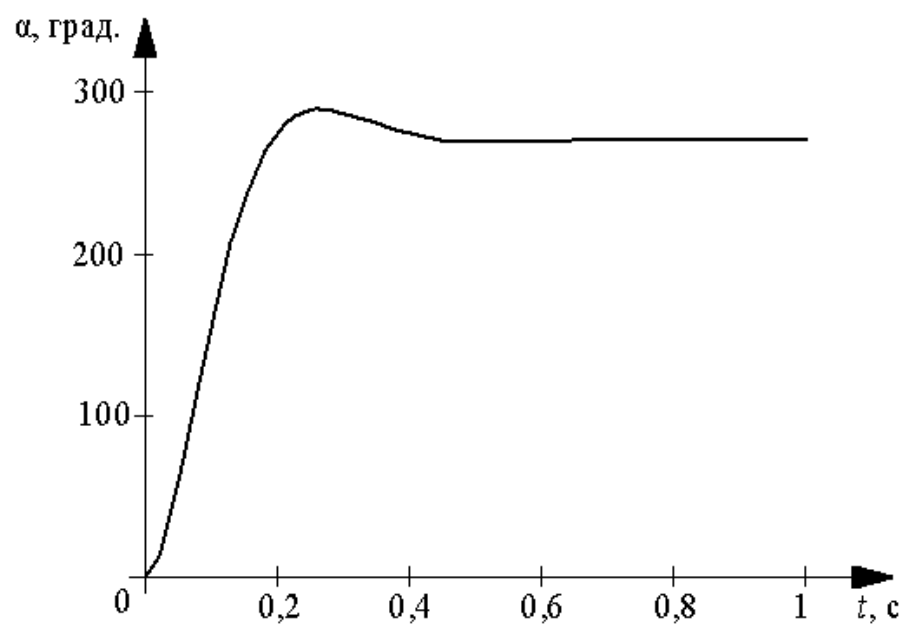


Рисунок 3.29 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 12$

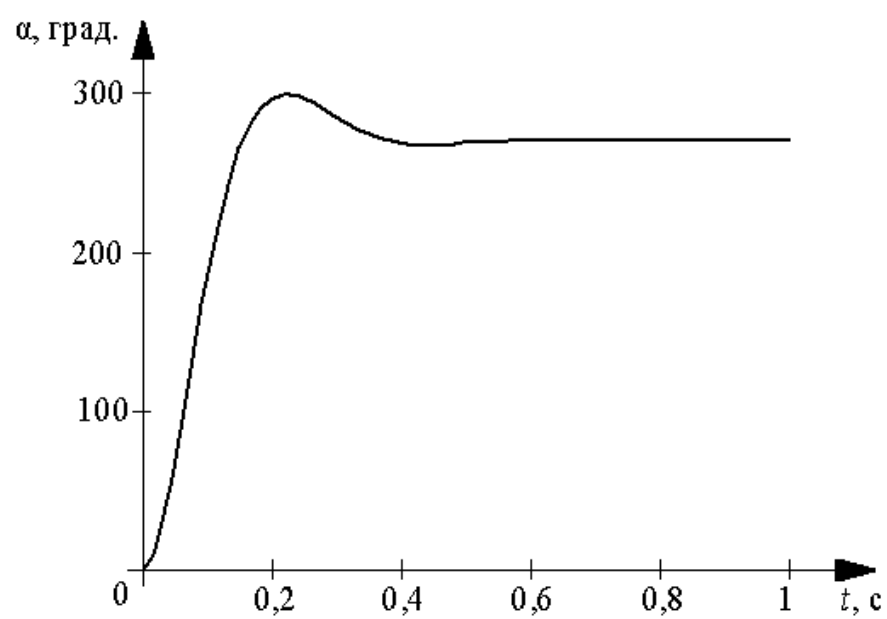


Рисунок 3.30 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 15$

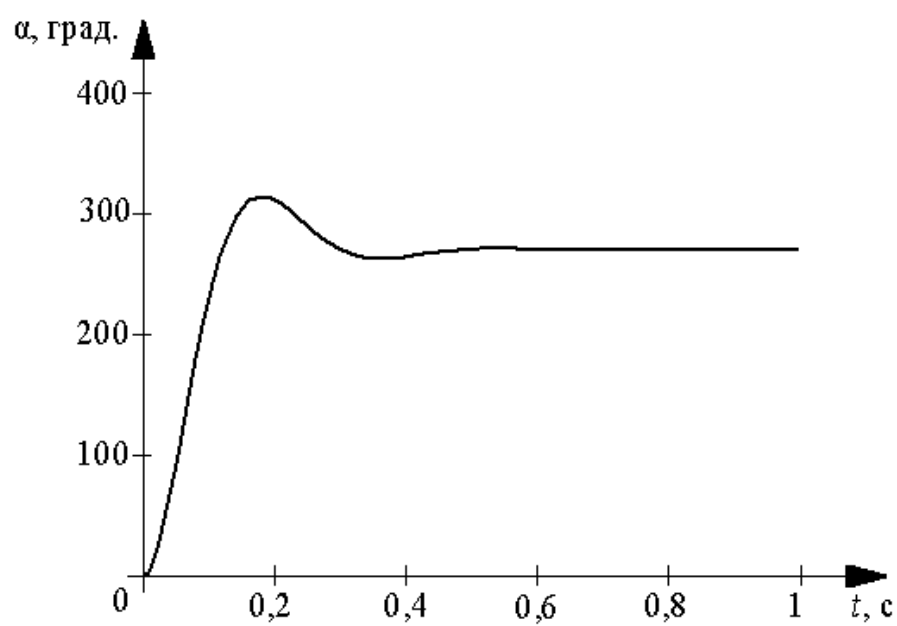


Рисунок 3.31 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 20$

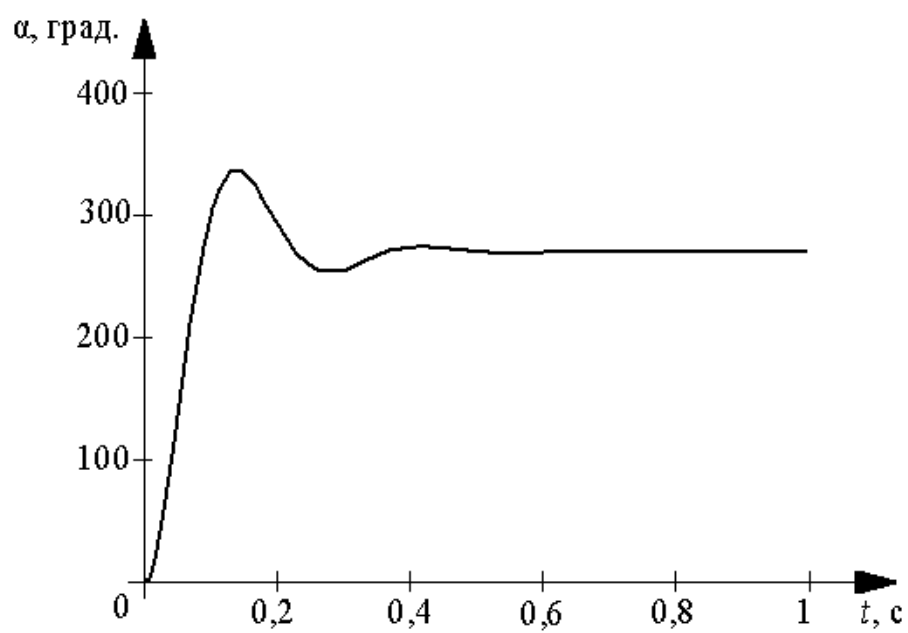


Рисунок 3.32 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 30$

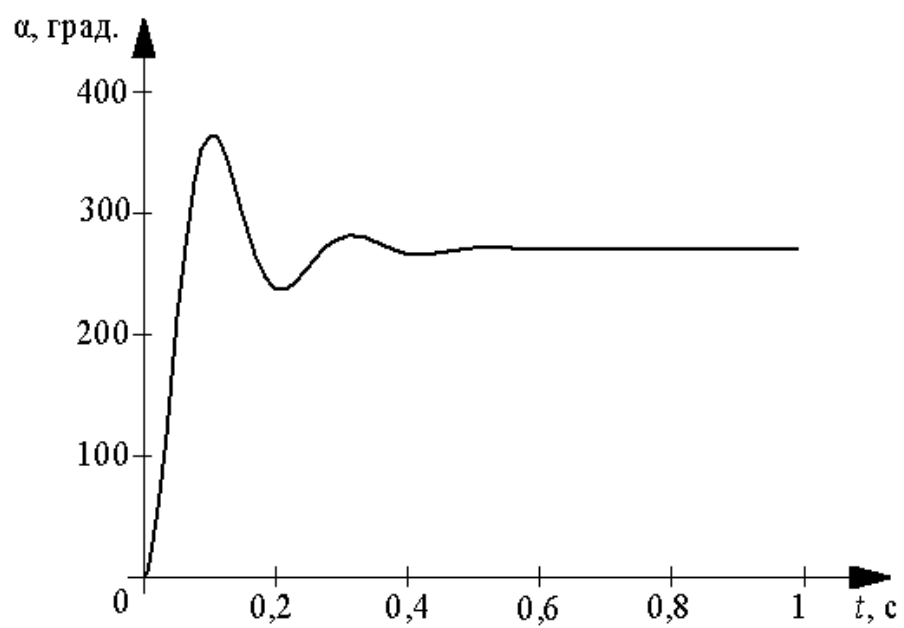


Рисунок 3.33 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 50$

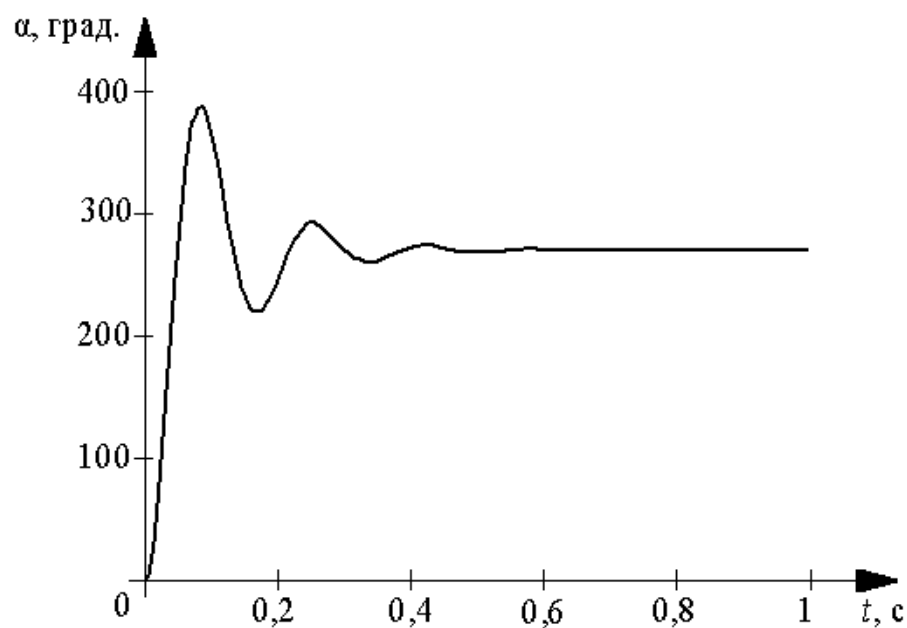


Рисунок 3.34 – Переходная характеристика САУ при $k_0 = 75$

Таблица 1 – Результаты исследования для угла поворота траверсы 78 градусов при изменении постоянной времени двигателя

Постоянная времени двигателя T_d , с.	Коэффициент усиления замкнутой САУ k_0	Статическая погрешность, град.	Динамическая погрешность, град.
0,01	10	Около 0	0
0,02			0
0,03			0,1
0,04			1,5
0,05			3
0,06			5
0,07			8
0,09			11
0,11			14
0,13			17
0,15			19

Таблица 2 – Результаты исследования для угла поворота траверсы 78 градусов при изменении коэффициента усиления замкнутой САУ

Коэффициент усиления замкнутой САУ k_0	Постоянная времени двигателя T_d , с.	Статическая погрешность, град.	Динамическая погрешность, град.
3	0,05	Около 0	0
6			0,1
10			3
12			5
15			8
20			13
30			19
50			27
75			34
100			38

Таблица 3 – Результаты исследования для угла поворота траверсы 270 градусов при изменении постоянной времени двигателя

Постоянная времени двигателя T_d , с.	Коэффициент усиления замкнутой САУ k_0	Статическая погрешность, град.	Динамическая погрешность, град.
0,01	10	Около 0	0
0,02			0
0,03			0,2
0,04			5
0,05			12
0,06			19
0,07			26
0,09			38
0,11			49
0,13			58
0,15			66

Таблица 4 – Результаты исследования для угла поворота траверсы 270 градусов при изменении коэффициента усиления замкнутой САУ

Коэффициент усиления замкнутой САУ k_0	Постоянная времени двигателя T_d , с.	Статическая погрешность, град.	Динамическая погрешность, град.
3	0,05	Около 0	0
6			0,2
10			12
12			19
15			29
20			44
30			66
50			95
75			117
100			131

Следовательно, по результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что статическая погрешность во всех случаях около 0 градусов, при этом наибольшая динамическая погрешность угла поворота наблюдается при изменении коэффициента усиления замкнутой САУ. Однако наибольшее влияние на быстродействие системы оказывает постоянная времени электродвигателя.

Следует отметить, что оптимальные значения постоянной времени $T_d = 0,01 \dots 0,04$ с, а коэффициента усиления в пределах $3 \dots 10$.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА САУ УГЛОМ ПОВОРОТА ТРАВЕРСЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

К показателям динамического качества САУ относятся такие параметры, как запас и степень устойчивости, а также быстродействие. Показатели качества используют для сравнительной оценки существующих и проектируемых конструкций систем управления.

Склонность системы к колебаниям, а, следовательно, и запас устойчивости могут быть оценены с помощью относительной величины, которая называется перерегулированием:

$$\sigma = \frac{y_{max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% , \quad (20)$$

где y_{max} – максимальное значение выходной величины; $y_{уст}$ – установившееся значение выходной величины.

Также запас устойчивости по переходной характеристике оценивают, используя и такой параметр, как затухание за период:

$$\zeta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\% , \quad (21)$$

где C_1 и C_2 – амплитуды.

Для систем управления промышленных роботов допускается $\sigma \leq (20 \dots 30)\%$ и $\zeta \geq 90\%$ [1].

Кроме того, динамическое качество САУ может быть оценено по комплексному показателю, который определяется следующим образом:

$$A = \frac{y_{max}}{y_{уст}} t_n , \quad (22)$$

где y_{max} – максимальное значение углового перемещения траверсы промышленного робота; $y_{уст}$ – установившееся перемещение траверсы после окончания переходного процесса; t_n – время окончания переходного процесса (быстродействие).

При этом используя построенные зависимости, например, $A = f(T_d)$ и $A = f(k_0)$ и найдя минимум функции A , можно определить оптимальные значения конструктивных и эксплуатационных параметров САУ промышленного робота.

Зависимости быстродействия САУ от значений постоянных времени электродвигателя для угла поворота траверсы 78 градусов приведены на рисунках 4.1 – 4.2, а полученные значения показателей качества - на рисунках 4.3 – 4.8.

На рисунке 4.1 представлена зависимость быстродействия САУ от изменения постоянной времени электродвигателя.

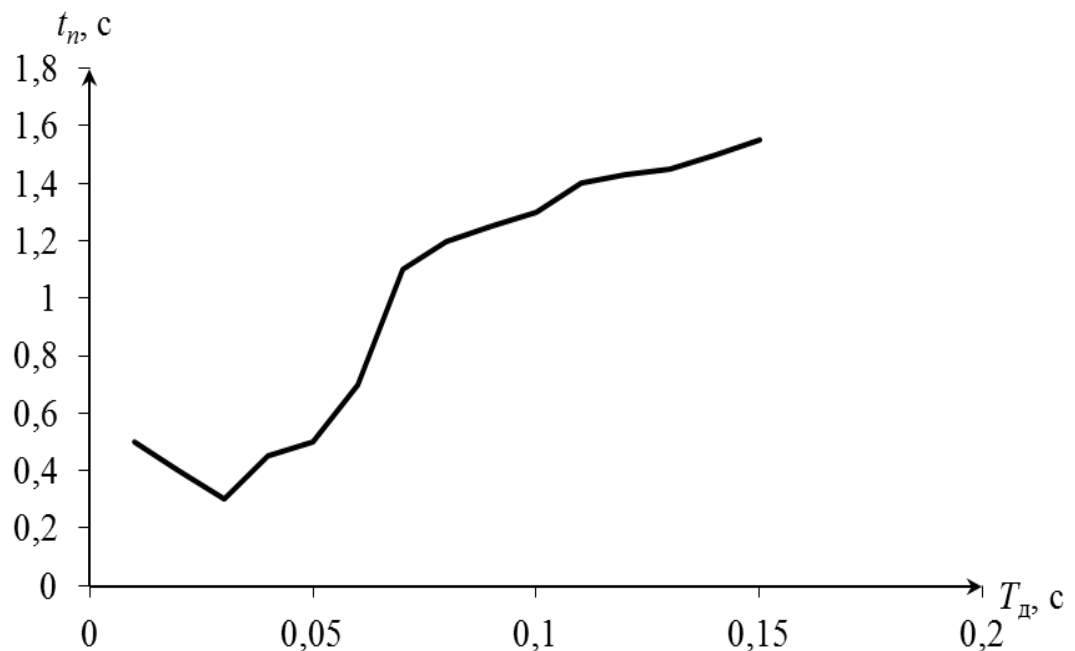


Рисунок 4.1 – Зависимость быстродействия САУ от изменения T_d

На рисунке 4.2 представлена зависимость быстродействия от изменения коэффициента усиления замкнутой САУ.

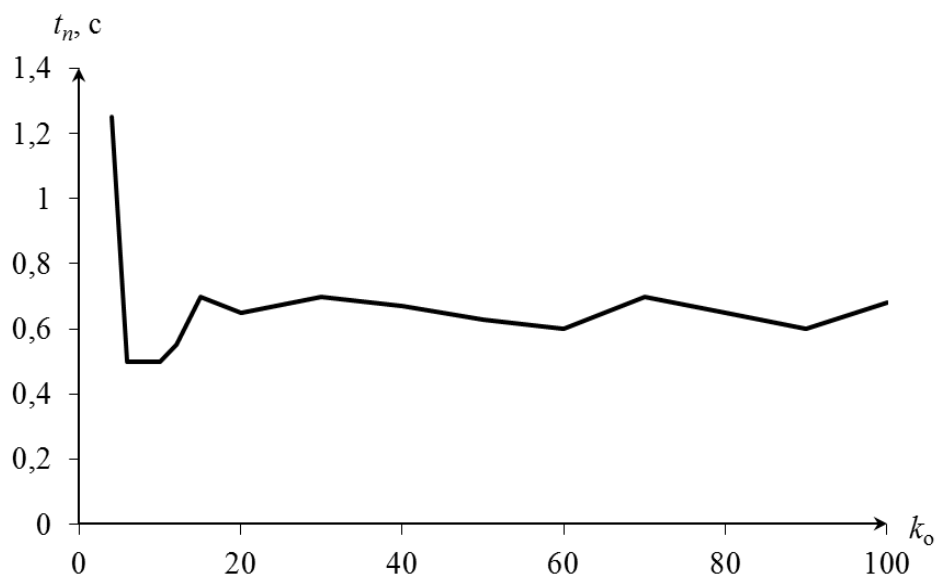


Рисунок 4.2 – Зависимость быстродействия САУ от изменения k_0

На рисунке 4.3 представлена зависимость комплексного показателя качества от изменения постоянной времени электродвигателя.

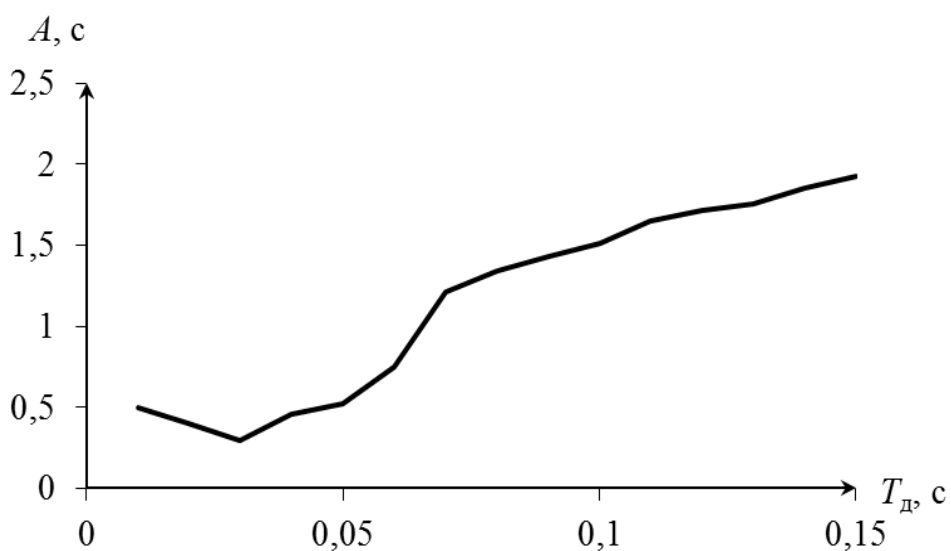


Рисунок 4.3 – Зависимость комплексного показателя качества САУ от изменения T_d

На рисунке 4.4 представлена зависимость комплексного показателя качества от изменения коэффициента усиления замкнутой САУ.

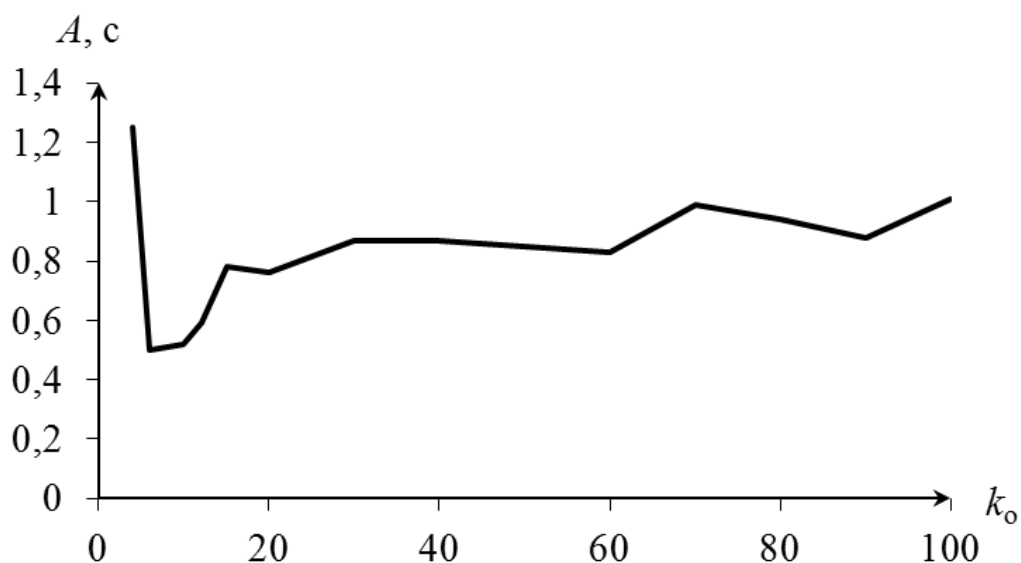


Рисунок 4.4 – Зависимость комплексного показателя качества САУ от изменения k_0

На рисунке 4.5 представлена зависимость перерегулирования от изменения постоянной времени электродвигателя.

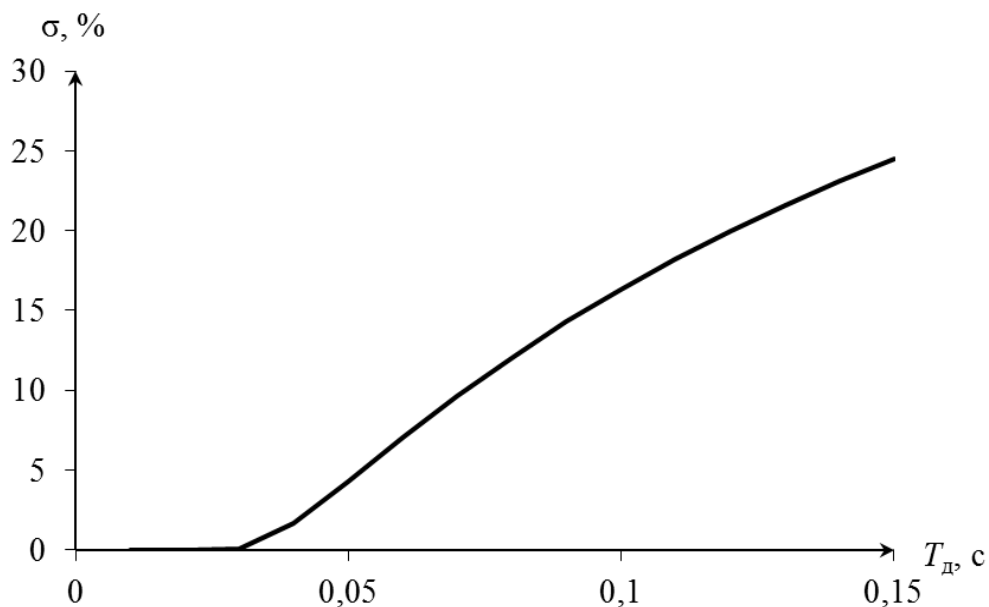


Рисунок 4.5 – Зависимость перерегулирования от изменения T_d

На рисунке 4.6 представлена зависимость перерегулирования от изменения коэффициента усиления замкнутой САУ.

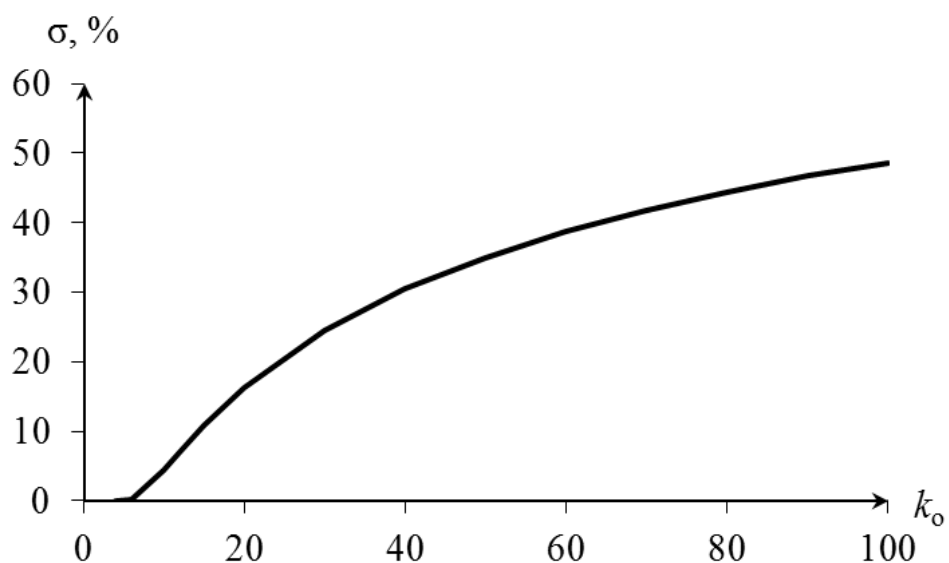


Рисунок 4.6 – Зависимость перерегулирования от изменения k_0

На рисунке 4.7 представлена зависимость затухания за период от изменения постоянной времени электродвигателя.

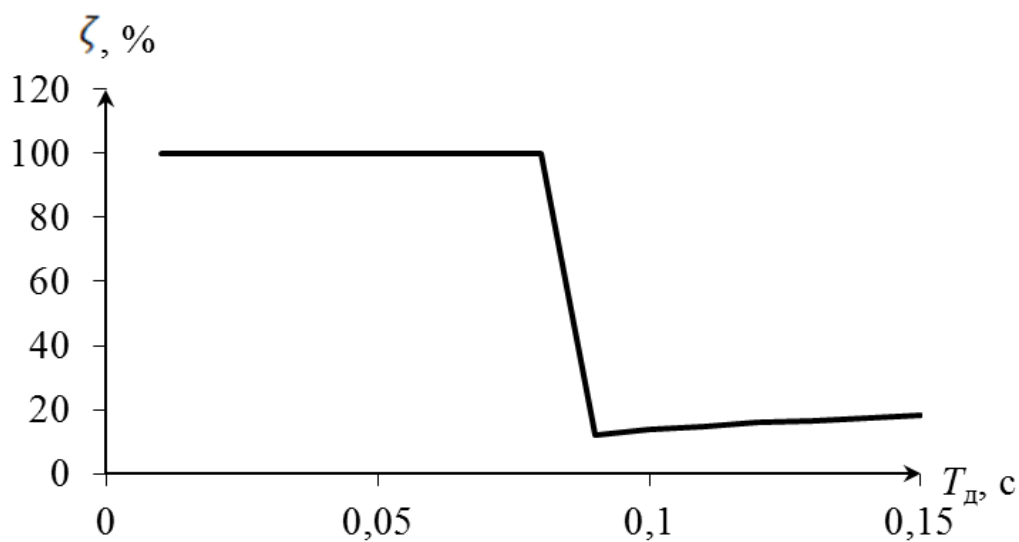


Рисунок 4.7 – Зависимость затухания за период от изменения T_d

На рисунке 4.8 представлена зависимость затухания за период от изменения коэффициента усиления замкнутой САУ.

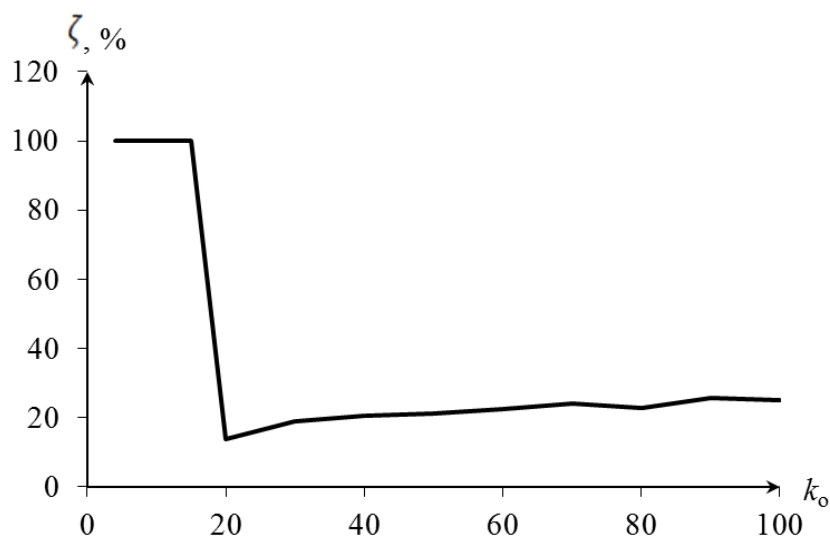


Рисунок 4.8 – Зависимость затухания за период от изменения k_0

Зависимости быстродействия САУ от изменения значений постоянных времени электродвигателя для угла поворота траверсы 270 градусов приведены на рисунках 4.9 – 4.10, а полученные значения показателей качества - на рисунках 4.11 – 4.16.

На рисунке 4.9 представлена зависимость быстродействия САУ от изменения постоянной времени электродвигателя.

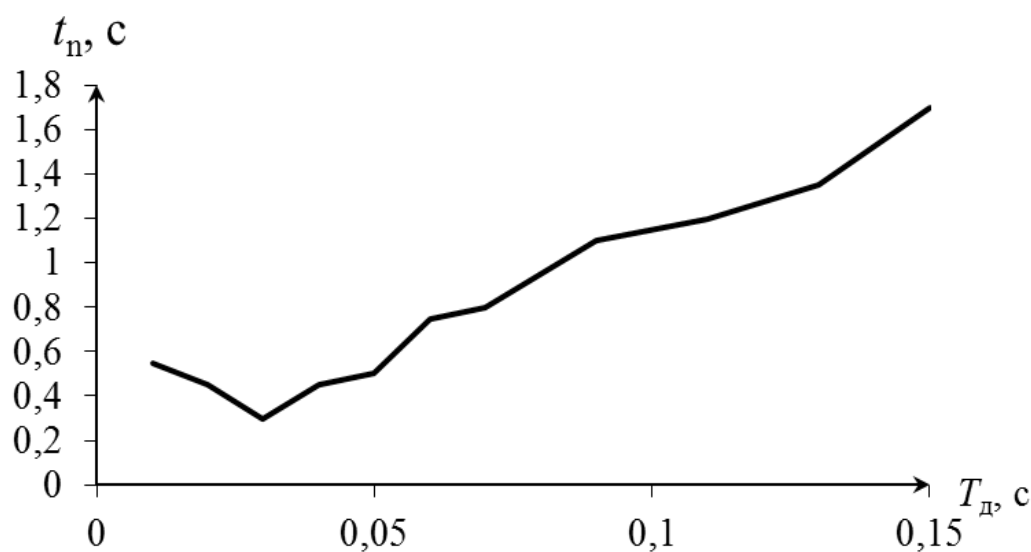


Рисунок 4.9 – Зависимость быстродействия САУ от изменения T_d

На рисунке 4.10 представлена зависимость быстродействия от изменения коэффициента усиления замкнутой САУ.

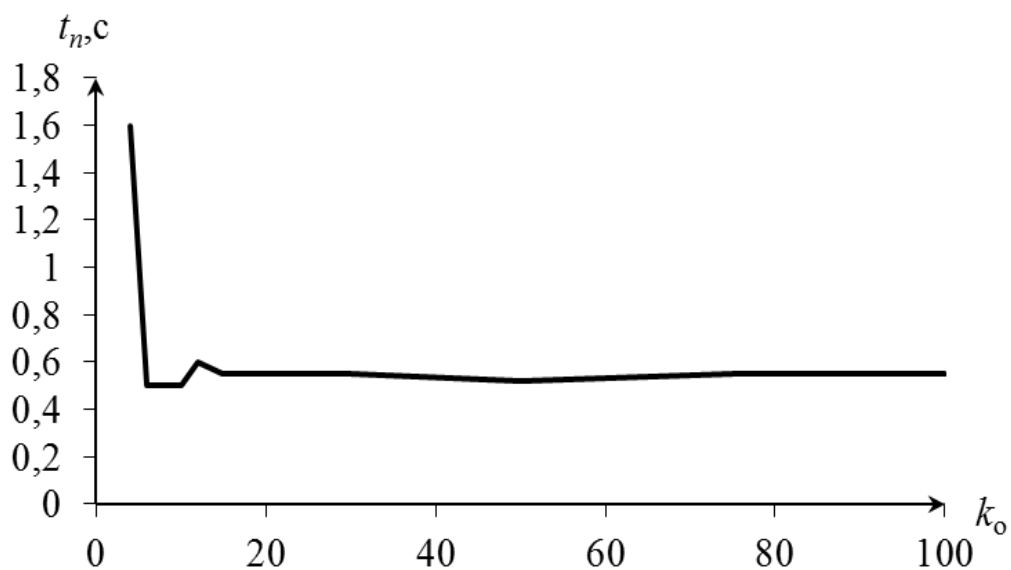


Рисунок 4.10 – Зависимость быстродействия САУ от изменения k_0

На рисунке 4.11 представлена зависимость комплексного показателя качества от изменения постоянной времени электродвигателя.

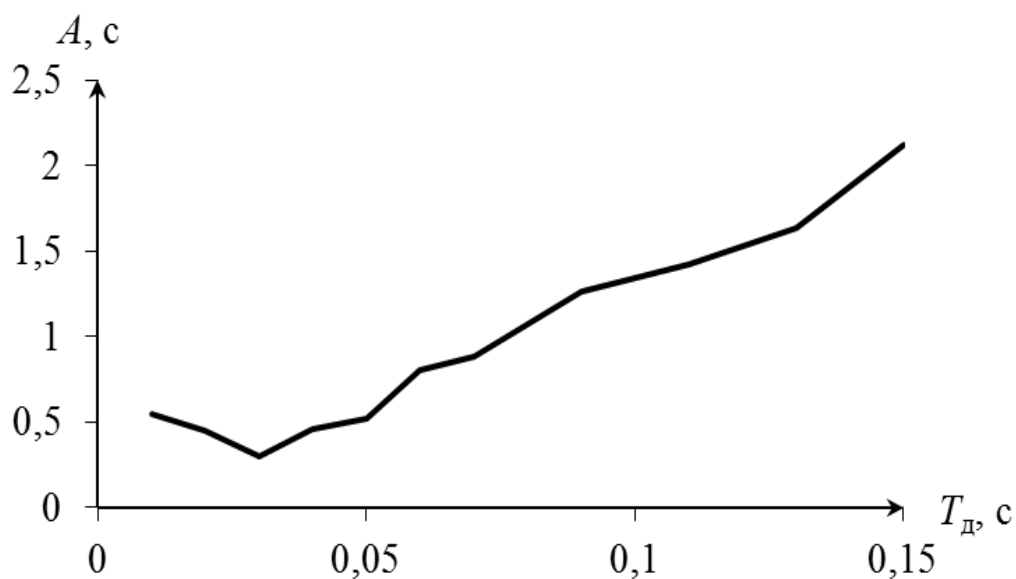


Рисунок 4.11 – Зависимость комплексного показателя качества САУ от изменения T_d

На рисунке 4.12 представлена зависимость комплексного показателя качества от изменения коэффициента усиления замкнутой САУ.

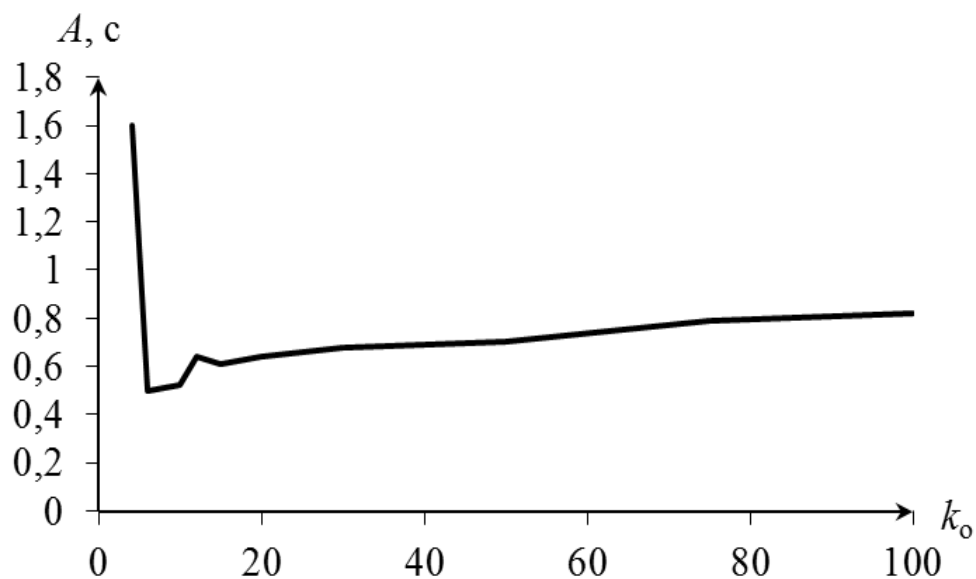


Рисунок 4.12 – Зависимость комплексного показателя качества САУ от изменения k_0

На рисунке 4.13 представлена зависимость перерегулирования от изменения постоянной времени электродвигателя.

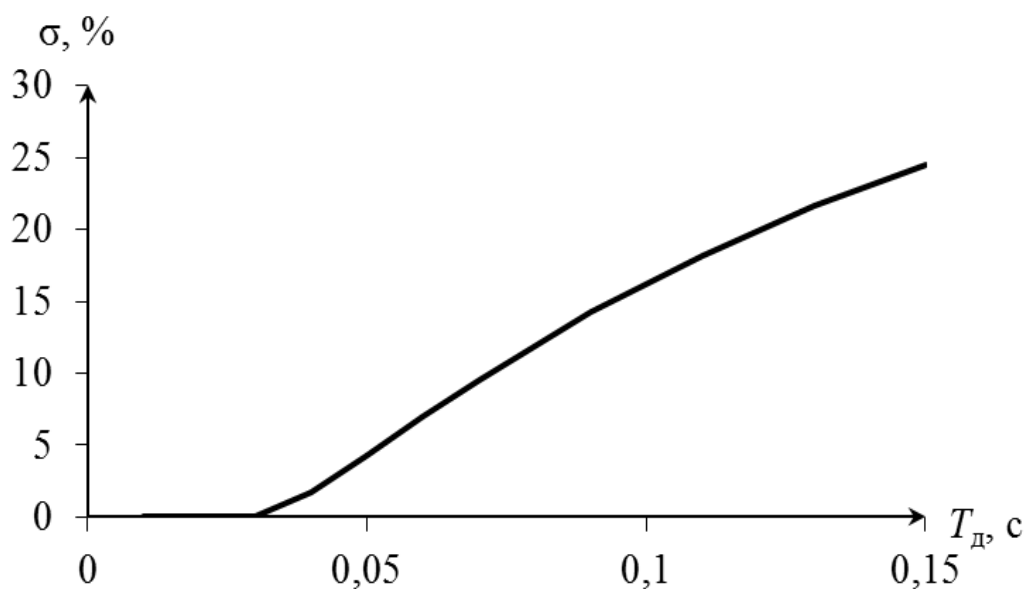


Рисунок 4.13 – Зависимость перерегулирования от изменения T_d

На рисунке 4.14 представлена зависимость перерегулирования от изменения коэффициента усиления замкнутой САУ.

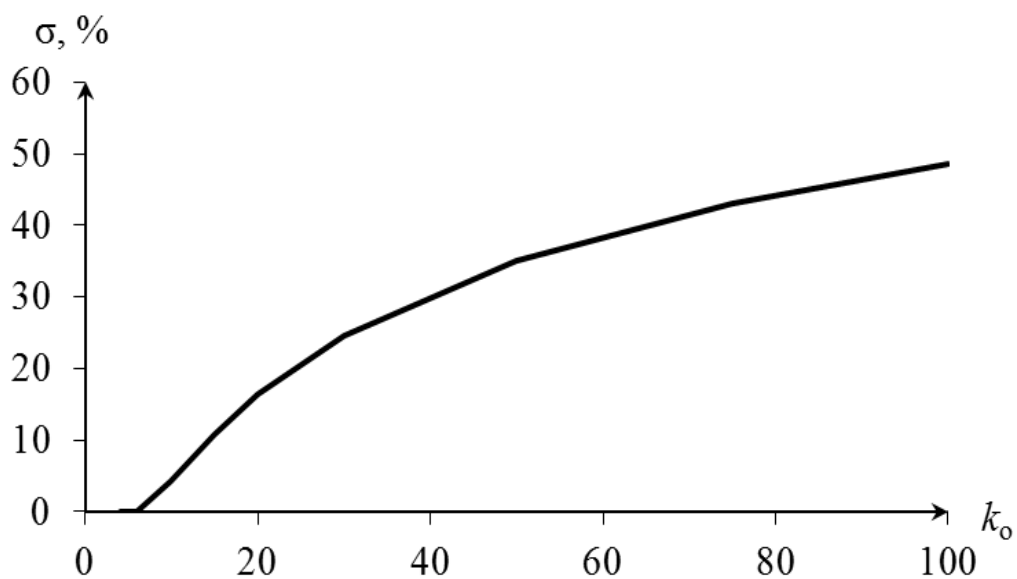


Рисунок 4.14 – Зависимость перерегулирования от изменения k_o

На рисунке 4.15 представлена зависимость затухания за период от изменения постоянной времени электродвигателя.

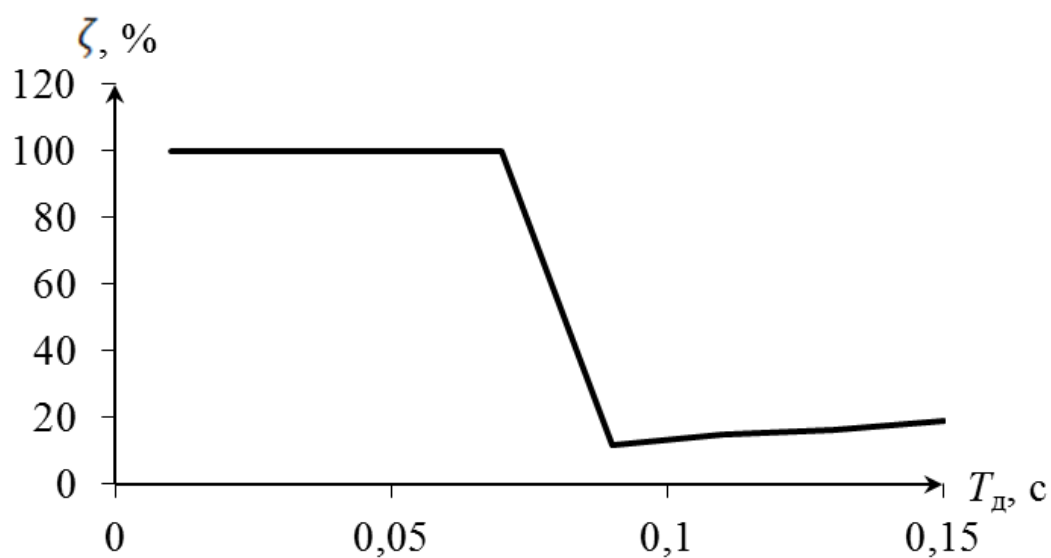


Рисунок 4.15 – Зависимость затухания за период от изменения T_d

На рисунке 4.16 представлена зависимость затухания за период от изменения коэффициента усиления замкнутой САУ.

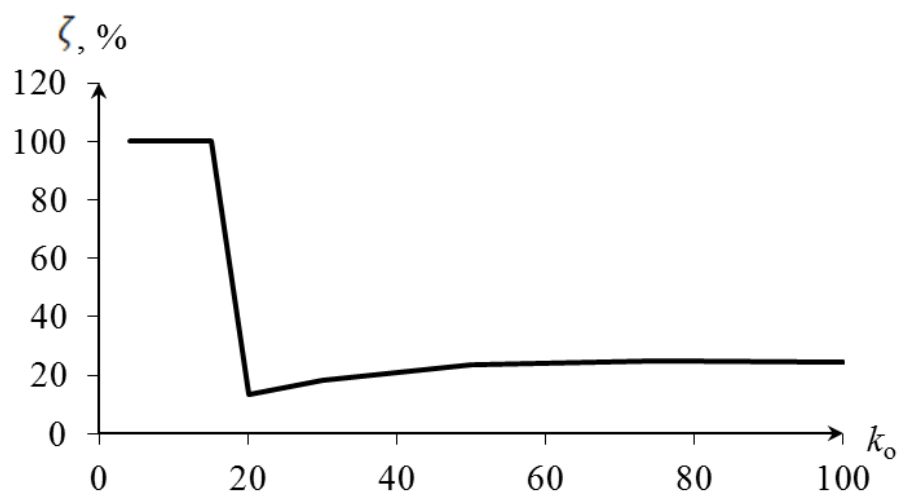


Рисунок 4.16 – Зависимость затухания за период от изменения k_0

Следовательно, можно рекомендовать следующие величины: постоянную времени двигателя $T_d = 0,01 \dots 0,03$ с, а коэффициент усиления замкнутой САУ лучше показывает себя в диапазоне от 6 до 10.

В данном случае подходят двигатели постоянного тока типа ДК1. Они применяются в следящих регулируемых электроприводах, которые используются в металлорежущих станках и промышленных роботах, имеющих программное управление [8].

Номинальные моменты двигателей 1,7; 2,3; 3,5; 5,2 Н·м. У них фланцевое исполнение по ГОСТ 2479-79 IM300, присутствует естественное охлаждение [8]. Данные ДПТ применяются при любом положении в пространстве. Электромеханические постоянные двигателей ДК1 находятся в пределах 25 — 10 мс, а электромагнитные — 2,5 — 5,3 мс.

По результатам проведенных исследований, например, можно рекомендовать в качестве приводного электродвигатель постоянного тока ДК1-1,7, который имеет следующие параметры: номинальная мощность 0,75 кВт; номинальный момент 7,35 Н·м; частота вращения 1000 об/мин; момент инерции 0,00133 кг·м², постоянная времени 0,01 с.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработаны функциональная и структурная схемы системы автоматического управления угловым положением траверсы напольного промышленного робота по типу модели М20П.40.01.

2. Предложена математическая модель САУ промышленного робота, позволяющая на стадии проектирования определять диапазон изменения конструктивных параметров системы, обеспечивающих заданный характер переходного процесса, и оценивать погрешность угла поворота траверсы в различных режимах работы.

3. Вычислительные эксперименты показали, что наибольшее влияние на быстродействие и устойчивость системы автоматического управления оказывают постоянная времени электродвигателя и коэффициент усиления замкнутой САУ. Наибольшие быстродействие и запас устойчивости системы достигаются при значениях постоянной времени T_d , не превышающих 0,03 с, и коэффициенте усиления k_0 , находящемся в диапазоне от 5 до 10. При данных значениях параметров САУ наблюдается также наименьшая динамическая погрешность угла поворота траверсы промышленного робота.

4. Проведенные исследования позволяют рекомендовать к применению в приводах промышленных роботов электродвигатели постоянного тока серии ДК1, имеющие постоянные времени T_d в пределах от 0,005 с до 0,01 с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соломенцев Ю.М. Промышленные роботы в машиностроении: Альбом схем и чертежей. М.: Машиностроение, 1986. 140 с.
2. Пуш, В.Э. Металлорежущие станки [Текст]: учеб. пособие / В.Э. Пуш, В.Г. Беляев и др.; под ред. В.Э. Пуша.– М.: Машиностроение, 1986. – 420 с.
3. Панчурин В.В., Михеев И.И. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Транспортно-накопительные системы и промышленные роботы»: Машиностроение, 2004. 53 с.
4. Механика промышленных роботов: Учеб. пособие для вузов: В 3-х кн. / под ред. К.В.Фролова, Е.И.Воробьева. – М.: Высш.шк.,2007.
5. Галкин А.В., Истомина Ю.В., Система автоматического управления угловым положением траверсы промышленного робота. Инновации технических решений в машиностроении и транспорте: сборник статей VI Всероссийской научно-технической конференция для молодых ученых и студентов с международным участием / МНИЦ ПГАУ. – Пенза: РИО ПГАУ, 2020. – с 30-32.
6. Адаптивное управление станками / Под ред. Б.С. Балакшина. – М.: Машиностроение, 1973. – 688 с.
7. Петраков Ю.В., Драчев О.И. Теория автоматического управления технологическими системами: учебное пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2009. – 336 с.
8. Справочник по электрическим машинам [Электронный ресурс] – <https://servomotors.ru/documentation/electromotor/book2/book2p44.html> (Дата и время обращения: 23.05.2020г. 17:10)
9. Белянин П. Н. Кинематические схемы, системы и элементы промышленных роботов. М.: Машиностроение, 1992.
10. Локтева С.Е. Станки с программным управлением и промышленные роботы Издательство: М.: Машиностроение Год: 1986. – 320 с.

11. Юревич Е.И. Основы робототехники. М.: Машиностроение, 1985. - 252 с.
12. Власов, К.П. Теория автоматического управления. Основные положения. Примеры расчета: Учебное пособие / К.П. Власов. — Харьков: Гуман. Центр, 2013. — 544 с.
13. Козырев Ю.Г., Кудинов А.А., Булатов В.Э., и др. Роботизированные производственные комплексы. М.: Машиностроение, 1987. — 270 с.
14. Фролов К.В., Воробьев Е.И. Механика промышленных роботов. Расчет и проектирование механизмов. Книга 2/ Е. И. Воробьев, О. Д. Егоров, С. А. Попов. — М.: Высшая школа, 1988. — 367 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПРЕЗЕНТАЦИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКИ САУ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

$k_o := 10$ коэффициент усиления замкнутой САУ

$T_d := 0.05$ постоянная времени электродвигателя постоянного тока

$C_0 := \left(\sqrt{\frac{T_d}{k_o}} \right)^2$ коэффициенты характеристического уравнения замкнутой САУ

$$C_0 = 5 \times 10^{-3}$$

$$C_1 := \frac{1}{k_o}$$

$$C_1 = 0.1$$

$$C_2 := 1$$

$C_0 \cdot s^2 + C_1 \cdot s + C_2 = 0$ характеристическое уравнение замкнутой САУ

$$\begin{pmatrix} -\frac{\frac{C_1}{2} + \frac{\sqrt{C_1^2 - 4 \cdot C_0 \cdot C_2}}{2}}{C_0} \\ -\frac{\frac{C_1}{2} - \frac{\sqrt{C_1^2 - 4 \cdot C_0 \cdot C_2}}{2}}{C_0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -10 - 10i \\ -10 + 10i \end{pmatrix}$$

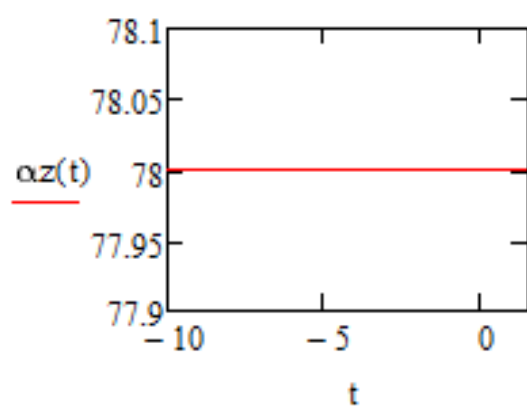
$$T_3 := \frac{C_1}{2} + \sqrt{\frac{C_1^2}{4} - C_0} \quad T_3 = 0.05 + 0.05i$$

$$T_4 := \frac{C_1}{2} - \sqrt{\frac{C_1^2}{4} - C_0} \quad T_4 = 0.05 - 0.05i$$

$$\alpha_z(t) := 78$$

$$e := 2.718$$

$$\alpha v(t) := \alpha z(t) \cdot \left(1 - \frac{T3}{T3 - T4} \cdot e^{\frac{-t}{T3}} + \frac{T4}{T3 - T4} \cdot e^{\frac{-t}{T4}} \right)$$



$t := 0, 0.0001 \dots 1$

