

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Регулируемый электропривод подачи токарного станка

УДК 62-83-523:621.94:621.941.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Зинкевич Анатолий Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код ре- зультата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Зинкевич Анатолий Александрович

Тема работы:

Регулируемый электропривод подачи токарного станка	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	- схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная; - схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2019г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		05.04.2019г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Зинкевич Анатолий Александрович		05.04.2019г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврской работы

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 125 с., 44 рисунка, 23 таблиц, 24 источников.

Объектом исследования данной работы является электропривод перемещения индуктора вертикального закалочного станка.

Цель работы – спроектировать электропривод, удовлетворяющий требованиям технического задания.

Система управления электропривода исследована на ЭВМ методом итерационного моделирования в линеаризованном и нелинейном представлении с использованием прикладных программ.

В работе производились исследования проектируемого электропривода при введении ограничения выходного напряжения регуляторов, зависимого токоограничения. Механическая система рассмотрена в одномассовой и двухмассовой представлении.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word . в работе использованы программы Mathcad, . Matlab.

Содержание

Введение.....	9
1 Проектно-пояснительная часть.....	12
1.2 Основные данные станка.....	16
1.3 Перечень технологических переменных, анализ взаимосвязи между ними.....	18
1.4 Техническое задание.....	19
2 Обоснование и выбор функциональной схемы СЭП и выбор ее основных элементов	21
2.1 Обоснование структурной схемы САУ СЭП	21
2.2 Выбор типа регулируемого электропривода.....	21
2.3 Выбор типа УЧПУ и описание ее характеристик.....	27
2.4 Характеристики программного обеспечения FMS-3000	28
2.5 Выбор электродвигателя	29
2.5.1 Кинематический расчёт.....	29
2.5.2 Определение момента от силы резания и выбор двигателя	31
2.6 Структурная схема двухмассовой механической системы и её параметры	36
2.6.1 Параметры первой массы.....	37
2.6.2 Параметры второй массы	37
2.7 Параметры одномассовой механической системы.....	38
2.8 ЛАЧХ двухмассовой механической системы	39
3 Силовая цепь электрической системы СЭП.....	41
3.1 Выбор сетевого согласующего трансформатора. Расчет параметров.	41
3.2 Расчет параметров тиристорного преобразователя.....	42
3.3. Расчет электромеханических характеристик разомкнутой системы преобразователь-двигатель	44
4 Структурная схема силового канала	48
5 Исследование линеаризованной САУ СЭП	49
5.1 Структурная схема линеаризованной САУ СЭП.....	49
5.2 Определение оптимальных настроек контуров СЭП.....	49
5.2.1 Оптимизация контура тока.....	50
5.2.2 Оптимизация контура скорости.....	51
5.2.3 Оптимизация контура положения	53
5.3 Расчет частотных характеристик.....	54
5.4 Определение ожидаемых показателей качества работы СЭП	56
6 Нелинейная САУ СЭП.....	60
6.1 Анализ основных нелинейностей САУ СЭП	60
6.2 Структурная схема нелинейной САУ СЭП.....	60
6.3 Исследование на имитационной модели нелинейной САУ СЭП.....	64
6.3.1 Обработка малых перемещений	64
6.3.2 Обработка средних перемещений.....	66
6.3.3 Обработка больших перемещений	67
7 Исследование САУ СЭП с учетом упругости в двухмассовой	

механической системы	72
8. Датчик линейных перемещений	79
9 Разработка функциональной схемы САУ СЭП	82
9.1 Программируемый модуль ввода/вывода ЛИР-930	84
9.1.2 Технические характеристики	85
9.1.3 Описание принципа работы	85
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	88
10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	89
10.1 SWOT- анализ проекта асинхронного электропривода подачи токарного станка с ЧПУ модели 16К30 Ф323	89
10.2 Планирование технического проекта	93
10.2.1. Определение структуры работ в рамках технического проектирования	93
10.2.2 Расчёт трудоёмкости технического проекта	95
10.2.3 Построение линейного графика разработки проекта	95
10.3 СОСТАВЛЕНИЕ СМЕТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА	98
10.3.1 Затраты на специализированное оборудование	98
10.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР	99
10.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ...	100
10.3.4 Накладные расходы	101
10.3.5 Формирование сметы технического проекта	101
10.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА	102
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	105
11. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	106
11.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	106
11.2 Производственная безопасность	108
11.2.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	108
11.2.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов	114
11.3 Экологическая безопасность	116
11.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	117
Заключение	122
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	124

Введение

Металлорежущие станки являются основным видом заводского оборудования, предназначенного для производства современных машин, приборов, инструментов и других изделий, поэтому количество и качество металлорежущих станков, их техническая оснащенность в реальной степени характеризует производственную мощь страны.

Эффективность проектирования и внедрения передовой технологии, комплексной механизации и автоматизации процессов производства металлорежущих станков обеспечивается широко развитой специализацией производства на основе унификации и нормализации деталей и целых узлов.

Преимуществом станков нашей промышленности, является возможность встраивания их в автоматические линии.

Развитие вычислительной техники позволило создать высокопроизводительные металлорежущие станки с программным управлением, в том числе с автоматической сменой инструмента.

Станкостроение – это крупная отрасль машиностроения. Она в состоянии полностью обеспечить потребность всей нашей промышленности в металлорежущем оборудовании, и от уровня его развития зависит успех всей промышленности.

Для металлорежущего оборудования, выпускаемого в настоящее время, характерно быстрое расширение сферы применения числового программного управления с использованием микропроцессорной техники. Особое значение приобретает создание гибких производственных систем, благодаря, неограниченным возможностям которых, без участия оператора можно выполнять функции управления технологическими процессами, профилактической диагностикой, самоналадки для поддержания регламентированных параметров процессов обработки, управления контрольно-измерительной и другими вспомогательными операциями, а так же осуществлять планирование.

На современном этапе технического развития существенно возрастает

роль автоматизированного электропривода, который в значительной степени определяет прогресс в областях техники и технологии.

Непрерывное развитие хозяйства ставит перед конструктором. проектирующим новый металлорежущий станок, все более высокие требования к качеству станка. Основными критериями качества являются: безопасность и легкость обслуживания; точность работы; эксплуатационная надежность; производительность; себестоимость; материалоемкость; технологичность; уровень эксплуатационных расходов.

Осуществление в массовых масштабах автоматизации в машиностроении в значительной мере определяется возможностью автоматизации процессов обработки на станках.

Широко распространены универсальные и специальные станки-автоматы и полу автоматы, автоматизированные агрегатные станки, автоматические линии, участки и цехи ввиду необходимости больших затрат на подготовку производства и наладку, экономически эффективны в основном в условиях крупносерийного и массового производства, где достигнуты значительные успехи в автоматизации производственных процессов. Все большую роль играют и вопросы точности станков, что связано с расширением производства точных приборов, повышением быстроходности и мощности машин, долговечность и надежность которых во многом определяется точностью изготовления деталей.

Очевидно, что в этих условиях становится настоятельно необходимым сочетание высокой точности и принципов автоматического управления, как важнейшей предпосылки повышения производительности труда на участках производства точных деталей, где занята наиболее квалифицированная рабочая сила.

Таким образом, автоматизация охватывает все больше и больше типов и моделей станков, в том числе универсальных и точных, которые должны вытеснить в производстве станки с ручным управлением.

В этих условиях все вопросы конструирования станков должны рассматриваться в тесной связи с проблемами автоматизации.

Целью ВКР является проведение исследования и расчета для замены и настройки электропривода подачи токарного станка с ЧПУ модели 16K30 ФЗ, в результате чего повысится точность и чистота обработки, увеличится долговечность оборудования и инструмента, более полно будет использоваться возможности станка и электропривода. В результате этих факторов повысится качество выпускаемой продукции и увеличится производительность труда.

1 Проектно-пояснительная часть

1.1 Кинематическая схема станка и описание технологического процесса

Кинематическая схема токарного станка модели 16К30 Ф3 представлена на рисунке 1. Кинематическая схема станка характеризуется наличием отдельных кинематических групп основного и вспомогательных движений. Шпиндель имеет свой кинематический узел главного движения с отдельным приводом от двигателя постоянного тока независимого возбуждения мощностью 30 кВт. Шпиндель оснащен коробкой скоростей с гидравлическим или электрическим приводом смены диапазона. Диапазон скорости шпинделя 1:10000.

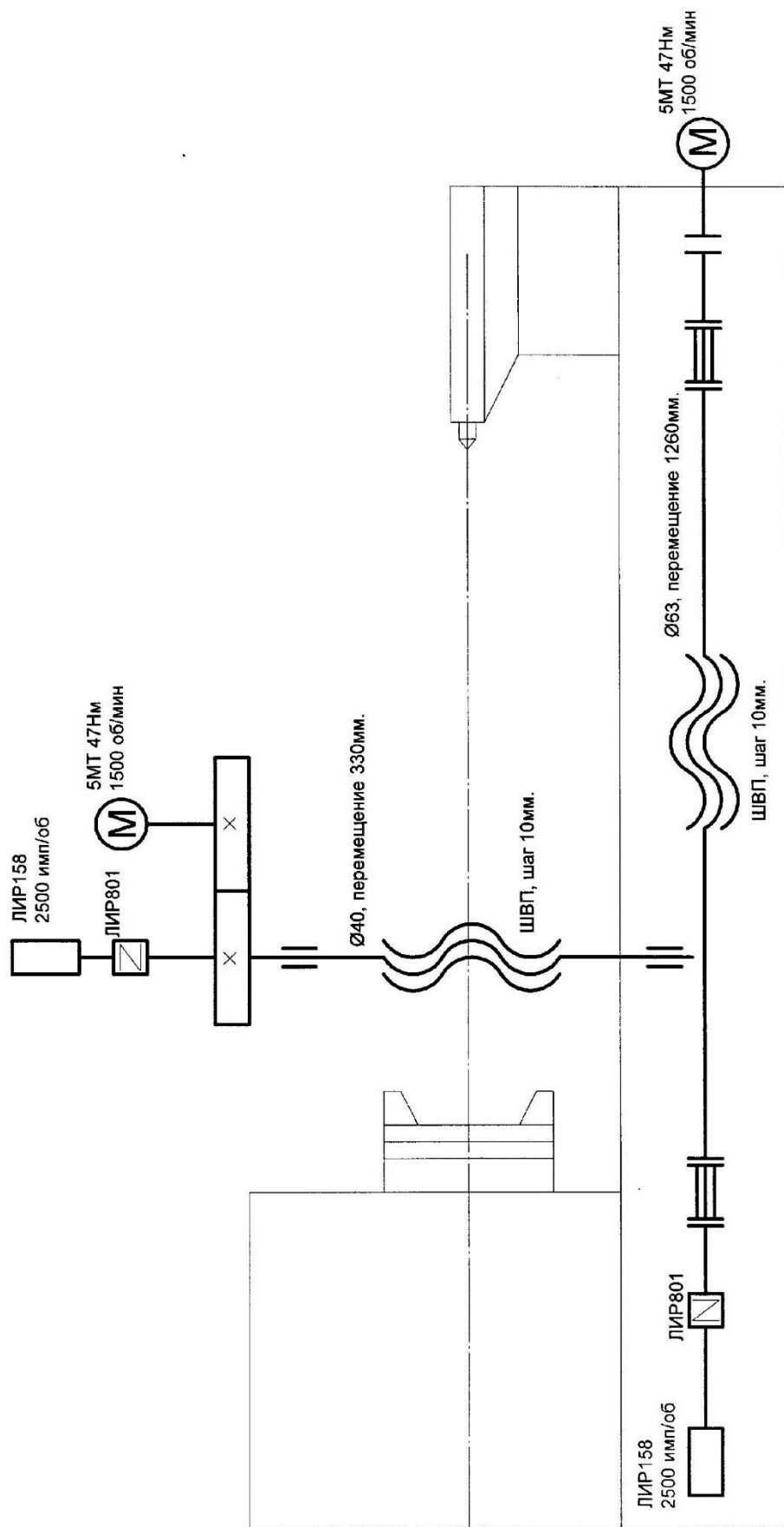


Рисунок 1.2 – Кинематическая схема токарного станка модели 16К30 Ф323

Кинематические цепи осей X, Z имеют индивидуальные механизмы подачи от высокомоментных электродвигателей постоянного тока с номинальным крутящим моментом 47 Нм и максимальной скоростью 1000 об/мин. В качестве ДОС по положению в станке используются круговые датчики ROD-450, ДОС по скорости- тахогенераторы встроенные в электродвигатели подачи. Движение подачи в горизонтальной плоскости осуществляются путем перемещения стола (ось X) и салазок (ось Z). Стол получает движение от электродвигателя, соединенного через редуктор с передачей винт-гайка качения с шагом $t_b = 10$ мм. Ходовой шариковый винт для поперечного перемещения стола вращается в подшипниковых опорах, установленных в корпусе суппорта. Смазка опор осуществляется автоматически.

Перемещение стола по оси Z осуществляется от двигателя соединенного непосредственно с передачей винт-гайка качения с шагом $t_b = 10$ мм посредством жесткой муфты. Ходовой шариковый винт продольного перемещения стола установлен в корпусе станка в подшипниковых кронштейнах.

Стол является базовым узлом, объединяющим приводы продольного и поперечного перемещений стола.

В расточках стола смонтирована передача «винт- гайка качения» с шагом винта $t_b = 10$ мм и через жесткую муфту соединяется с валом электродвигателя продольного перемещения стола.

Поперечные направляющие и ниша стола закрыты телескопической защитой.

Шнек транспортера уборки стружки вращается от АД через червячный редуктор.

Токарный станок с ЧПУ модели 16K30 Ф3, предназначен для высокопроизводительной обработки цилиндрических и полусферических поверхностей деталей из черных и цветных металлов в автоматическом режиме по программе, записанной на программноносителе.

Токарная обработка производится резцами, установленными в поворотной резцедержке закрепленной на столе за счет поступательного перемещения

стола относительно детали и снимает стружку в пределах определенного перемещения, а затем стол автоматически отводится.

Резцедержка вращается от АД через червячный редуктор.

Главным движением при токарной обработке вращение шпинделя с зажатой в патрон обрабатываемой деталью, перемещение резца относительно детали представляет движение подачи. Быстрое перемещение стола, на котором установлена резцедержка при наладке относятся к вспомогательным движениям.

Расширенные диапазоны скоростей и подач в сочетании с высокой жесткостью узлов и механизмов станка модели 16К30 Ф3 обеспечивают эффективную работу и высокую точность обработки.

Перемещения стола, салазок, осуществляются от отдельных приводов подач с высокомоментными двигателями постоянного тока через шарико-винтовые передачи. В главном приводе применяются бесступенчатое регулирование скорости шпинделя и дистанционное управление изменением ее величины.

1.2 Основные данные станка

Наибольший диаметр заготовки устанавливаемой над станиной, мм	670	
Наибольший диаметр заготовки обрабатываемой над станиной, мм	500	
Наибольший диаметр заготовки обрабатываемой над суппортом, мм	320	
Наибольшая длина обрабатываемой заготовки, мм	1500	
Наибольшая масса устанавливаемой заготовки, кг	850	
Наибольшее перемещение рабочих органов с инструментом, мм	- по оси X	330
	- по оси Z	1260

Дискретность задания перемещения, мкм	- по оси X	1
	- по оси Z	1
Количество одновременно управляемых формообразующих координат	2	
Наибольший крутящий момент на шпинделе, Нм	2290	
Частота вращения шпинделя, об/мин	10-2500	
Пределы рабочих подач суппорта, мм/мин	- по оси X	1-4000
	- по оси Z	1-4000
Скорость быстрых перемещений, мм/мин	- по оси X	1-6000
	- по оси Z	1-6000
Наибольшее усилие резания, кН	20	
Мощность привода главного движения, кВт	30	
Габаритные размеры станка, мм	-длинна	5290
	-ширина	3600
	-высота	2130
Масса станка, кг	8000	
Шероховатость наружной цилиндриче- ской поверхности после чистовой обра- ботки на станке, мкм	Ra 2,5	

1.3 Перечень технологических переменных, анализ взаимосвязи между ними

Окружная скорость изделия в точке соприкосновения резца с обрабатываемой деталью называется скоростью резания. Скорость резания, м/мин, определяется по формуле [4]

$$v = 9,55 \cdot \pi \cdot d_u \cdot \omega_u = 30 \cdot d_u \cdot \omega_u ,$$

где d_u – диаметр обработки, м; ω_u - угловая скорость изделия, с^{-1} .

Величина подачи определяется перемещением резца, приходящимся на один оборот изделия. Глубина резания представляет собой разность радиусов обрабатываемой и обработанной поверхностей.

Параметры обработки связаны между собой эмпирической формулой

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{xv} \cdot s^{yv}} ,$$

где C_v - коэффициент, характеризующий вид и условия обработки, а также материал изделия и резца; s – подача, мм/об; t_p –глубина резания, мм; T - стойкость, мин; x у m – показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого металла, материала резца и вида обработки.

Детали, обрабатываемые на токарных станках, можно классифицировать по следующим основным признакам:

- 1) конфигурация обрабатываемых деталей;
- 2) тип инструмента, с помощью которого целесообразно производить обработку поверхностей деталей;
- 3) размеры обрабатываемых поверхностей деталей;
- 4) точность (размеров и формы) обрабатываемых поверхностей.

Во всех случаях должны быть учтены размеры обрабатываемых поверхностей (масштабный фактор), требуемая точность размеров и класс шероховатости обработанной поверхности.

К каждому классу типовых деталей предъявляют специфические технологические требования.

Металлорежущий станок, на котором производится процесс резания, является технологическим объектом управления. На токарном станке основной технологический процесс – это точение.

Точение (рисунок 1.3) осуществляется на токарных станках за счет вращения обрабатываемого изделия 1 (главное движение) и перемещения резца 2 (движение подачи). По направлению различают продольную и поперечную подачи.

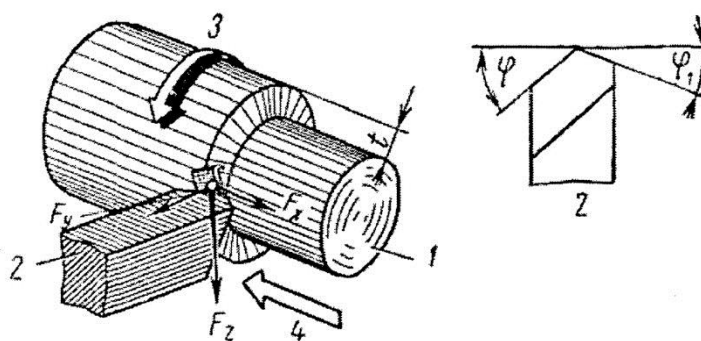


Рисунок 1.3 – Сущность токарной обработки

1.4 Техническое задание

Спроектировать следящий электропривод подачи, удовлетворяющий следующим техническим требованиям :

- работа в 4-х квадрантах при изменении нагрузки от $0,15 \cdot M_n$ до $0,5 \cdot M_n$;
- сигнал управления, соответствующий максимальной скорости, аналоговый $\pm 10V$;
- диапазон регулирования частоты вращения $D = 10\,000$;
- погрешность скорости на нижней характеристике при изменении нагрузки от $0,15 \cdot M_n$ до M_n не более 10 % ;
- электропривод должен обеспечивать два режима работы:
 - режим позиционирования,
 - режим задания скорости.

В режиме позиционирования электропривод должен обеспечивать отработку заданного перемещения с точностью не менее 1мм с заданной скоростью без перерегулирования при выходе в заданное положение.

- полоса пропускания частот замкнутого контура регулирования скорости при работе электропривода холостую при амплитуде управляющего напряжения 0,1В должна быть не менее 30Гц для тиристорных трехфазных электроприводов (ГОСТ26061-85) [6];
- датчик положения должен быть по принципу действия может быть фотоимпульсным или фазовым;
- полоса пропускания частот замкнутого по положению контура регулирования должна быть не менее 10 Гц для тиристорных электроприводов;
- электропривод должен иметь следующие виды защиты:
 - от короткого замыкания,
 - от токовых перегрузок,
 - от перенапряжения,
 - от исчезновения напряжения сети, как полного так и частичного обрыва одной фазы,
 - от повреждения цепи тахогенератора,
 - от потери информации датчика положения.

параметры питающей сети: $U_n = 380 \text{ В}$, $f_c = 50 \text{ Гц}$

2 Обоснование и выбор функциональной схемы СЭП и выбор ее основных элементов

2.1 Обоснование структурной схемы САУ СЭП

На рисунке 2.1 приведена структурная схема следящего электропривода. Следящий электропривод реализуется на базе регулируемого с организацией дополнительного внешнего контура по положению

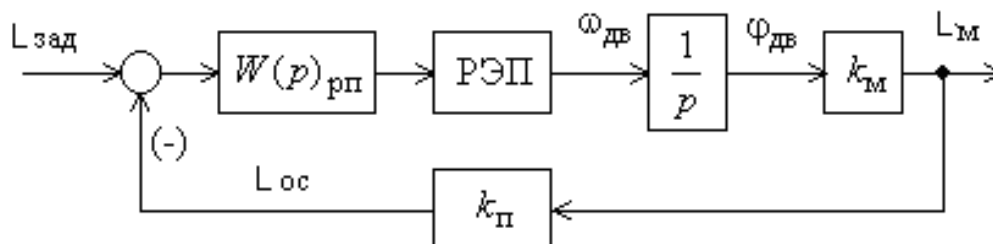


Рисунок 2.1 – Структурная схема следящего электропривода

На рисунке 2.1 обозначено:

$W(p)_{рп}$ - передаточная функция регулятора положения;

РЭП - регулируемый, т.е. замкнутый по скорости электропривод;

k_m - коэффициент передачи механизма подачи;

$k_{п}$ - коэффициент обратной связи по положению;

$L_{зад}, L_m$ - заданное и истинное положение механизма подачи;

L_{oc} - сигнал обратной связи по положению;

$\omega_{дв}, \varphi_{дв}$ - скорость и угловое положение вала двигателя.

2.2 Выбор типа регулируемого электропривода

Требования к электроприводам определяются технологией обработки, конструктивными особенностями станка, режущим инструментом, функциональными возможностями системы ЧПУ.

Основные технологические требования заключаются в обеспечении: необходимых технологических режимов обработки с использованием современного режущего инструмента; максимальной производительности; требуемой

точности обработки; высокой чистоты обрабатываемой поверхности (снижение шероховатости); повторяемости размеров деталей в обрабатываемой партии (стабильности).

При всем многообразии станков требования, предъявляемые к приводам станков, определяются, главным образом, не тем, к какой группе относится станок, а для какого движения предназначен привод: главного движения, подачи или вспомогательного, так как именно это определяет мощность и момент, способ регулирования скорости, диапазон регулирования, необходимую плавность регулирования, требования к динамическим характеристикам, к жесткости механических характеристик и стабильности скорости.

Электроприводы подачи постоянного тока металлорежущих станков с ЧПУ должны отвечать требованиям стандарта ГОСТ 3573-82 [6].

Новые концепции в области конструирования металлообрабатывающего оборудования неизбежно приводят к ужесточению требований, предъявляемых к приводам станков, и в первую очередь к приводам главного движения и подачи. Хотя приводы постоянного тока на сегодня в целом отвечают поставленным задачам, стало очевидным, что наличие щеток в двигателях существенно влияет на технико-экономические показатели привода в целом. Сравнивая наиболее распространенные приводы постоянного тока с силовым тиристорным преобразователем и приводы переменного тока, следует рассмотреть достоинства и недостатки, как преобразователя, так и двигателя. Тиристорный преобразователь, будучи сравнительно простым и дешевым, обладает рядом недостатков [6]:

- ограниченные динамические возможности, обусловленные схемой преобразователя;
- недоиспользование двигателя из-за наличия пульсаций в кривой тока преобразователя;
- низкие КПД и $\cos\varphi$.

Сравнивая динамические характеристики приводов подач с двигателями постоянного тока (ДПТ), асинхронными двигателями (АД) и бесколлекторными двигателями (БКД), можно отметить преимущества приводов с АД и

БКД. Так, если полоса пропускания лучших образцов тиристорных приводов подач с высокомоментными двигателями постоянного тока (ВМД) составляет 40-45 Гц, то полоса пропускания транзисторных приводов с ВМД и БКД составляет 100-200 Гц. Последнее объясняется применением транзисторов, работающих в режиме широтно-импульсного регулирования (ШИР) на высокой несущей частоте (1-3 кГц).

Собственно АД и БКД не имеют ограничений по пусковым токам из-за отсутствия коллекторного узла. В тиристорных приводах постоянного тока динамические токи, как правило, ограничиваются конструкцией двигателей. Поэтому времена пуска приводов на максимальную скорость примерно равны, хотя момент инерции ДПТ больше, чем АД и БКД.

По энергетическим характеристикам тиристорный привод постоянного тока существенно уступает транзисторным приводам всех типов, так как значения $\cos\varphi$ падают в зависимости от диапазона регулирования от 0,8 до 0,1. Кроме того, звено постоянного тока в многокоординатных транзисторных приводах работает как перераспределитель энергии за счет разной циклограммы работы отдельных приводов (энергия, запасаемая единым источником питания в звене постоянного тока при торможении одного из приводов, перекачивается в другой привод, питающийся от этого же источника и работающий в пусковом режиме). По массогабаритным показателям транзисторные преобразователи с АД и БКД уступают тиристорным преобразователям с ДПТ. Следует, однако, помнить, что мощность, а также габаритные размеры и масса трансформаторов в тиристорных преобразователях существенно больше.

Малые габариты и массы БКД обусловлены улучшенными условиями охлаждения, так как все тепловые потери выделяются в статоре [6].

Меньшие массогабаритные показатели у БКД расширяют возможную область применения за счет лучшей встраиваемости в рабочие механизмы. Уменьшенный момент инерции позволяет увеличить быстродействие и снизить выделение тепла, что, в конечном счете, влияет на производительность и точность станка. Высокомоментные двигатели обычно изготавливаются на

напряжении более 200В из-за ограничений, налагаемых на межламельное напряжение на коллекторе, что приводит к большим номинальным токам. Поэтому вся коммутирующая аппаратура и токоподводящие устройства дороги, и имеют большие габаритные размеры. Кроме того, из-за малого якорного напряжения возникает необходимость в установке силового трансформатора, согласующего напряжение сети с напряжением на якоре ВМД. Наличие коллектора обуславливает зависимую характеристику между моментом и скоростью двигателя. Являясь наиболее слабым местом ВМД в отношении трения нагрева, коллектор особенно сильно изнашивается в тех случаях, когда в процессе работы на станке происходит позиционирование в одной в той же точке координаты станка, что приводит к повышенному износу и выгоранию ламели. Максимальная скорость БКД выше, так как она ограничена механической прочностью, а скорость ВМД - условиями коммутации.

Однако приводы подачи с тиристорными преобразователями и ВМД на 10 - 20% дешевле транзисторных приводов с БКД, но, тем не менее, уже сейчас есть все основания считать, что в ближайшее время приводы подачи на переменном токе вытесняют приводы на постоянном токе, как более надежные и долговечные.

Сравнивая различные приводы подачи переменного тока, можно указать следующие недостатки АД по сравнению с БКД: меньший КПД; ухудшенные условия охлаждения («горячий ротор») в связи с этим необходимость увеличения его радиальных размеров, что увеличивает момент инерции (ухудшает динамические характеристики) в усложняет встройку двигателя в механизм подачи станка; необходимость пристройки датчика положения ротора и обеспечения принудительной вентиляции; двигателя нормального исполнения при номинальном моменте на малых скоростях.

Для исключения последнего недостатка разрабатываются АД специального исполнения, имеющие к тому же улучшенные характеристики электромагнитных нагрузок [6].

Собственно АД существенно дешевле высокоточного датчика устанавливаемого на его валу. Поэтому БКД датчиком положения ротора с моментом 21-

35 Нм лишь в 1,5 раза дороже АД с датчиком (данные фирмы «Бош»). Асинхронный двигатель допускает возможность регулирования с постоянной мощностью, что и предопределило целесообразность его применения в приводах главного движения. Бесколлекторный двигатель менее надежен, чем АД, с точки зрения устойчивости, как к механическим воздействиям, так и ударным токовым нагрузкам (размагничивание системы возбуждения). Тем не менее, совершенствование технологии производства и построение надежной защиты в преобразователе практически сводят к минимуму эти преимущества асинхронного двигателя.

С точки зрения управления привод с АД существенно более сложен, чем с БКД. Исходя из сказанного, все зарубежные фирмы используют в качестве перспективных приводов подачи электроприводы с БКД [6].

Приводы с БКД для механизмов подач станков выпускаются ведущими электротехническими фирмами: «Бош», «Сименс», «Индремат» (ФРГ), «Контраверс», «Инланд», «Геттис», «Портер» (США), «Фанук», «Окума», «Мицубиси» (Япония) и др. диапазон моментов приводов с БКД 0,1-90 Нм, максимальная скорость 2000- 5000 об/мин, полоса пропускания до 200 Гц и диапазон регулирования до 10 000-30 000.

Проведя сравнительный анализ существующих электроприводов отечественного и зарубежного производства по структурным и силовым схемам, по способу управления вентильными группами, по соответствию требованию технологического процесса и исходя из требования экономической целесообразности, выбираем электропривод SDC1-47 производства НРБ.

Электроприводы подачи SDC1-47 - реверсивные, для высокомоментных двигателей обеспечивают перегрузку по моменту до 6, имеют диапазон регулирования до 10000.

Электроприводы подачи предназначены для реверсивных быстродействующих широкорегулируемых приводов с однозонным регулированием скорости, в том числе для механизмов подач станков с ЧПУ, промышленных манипуляторов и других механизмов. Данные электроприводы могут работать как внутренний контур, в САУ с обратной связью по положению с замыканием

через систему ЧПУ, в следящем электроприводе.

В качестве РЭП возьмем выбранный комплектный тиристорный унифицированный электропривод постоянного тока серии SDC1-47 пр-ва НРБ, диапазон регулирования скорости вращения которого равен 10 000.

2.3 Выбор типа УЧПУ и описание ее характеристик

В качестве УЧПУ [7] применим устройство FMS-3000, которое является универсальным устройством ЧПУ класс CNC (числовое управление от компьютера), выполненным на базе персонального компьютера промышленного исполнения. УЧПУ FMS-3000 серийно выпускается заводом «МОДМАШ» в г. Нижний Новгород.

FMS-3000 – это надежное, высокопроизводительное устройство числового программного управления, предназначенное для установки на различные типы технологического оборудования:

- фрезерные станки;
- токарные станки;
- копировальные станки;
- обрабатывающие центры;
- другое оборудование с ЧПУ.

Адаптация к конкретному типу станка осуществляется с помощью программы электроавтоматики и разветвленной системы параметров FMS-3000.

Основа FMS-3000 – персональный компьютер промышленного исполнения, изготовленный по новейшим технологиям. Уникальная открытая архитектура FMS-3000 в комплексе с мощным программным обеспечением позволяют легко интегрировать в ее состав компьютерные компоненты ведущих производителей вычислительной техники.

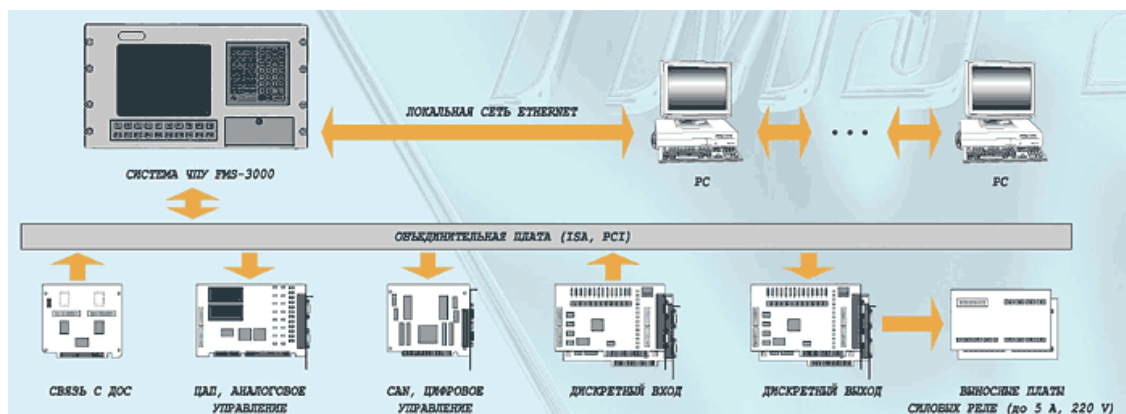


Рисунок 2.2 - Архитектура системы управления

Программное обеспечение системы реализовано на базе ядра жесткого реального времени с использованием библиотеки RT-Kernel, гарантирующее высокое качество выполнения таймерных задач управления сервоприводами и циклами электроавтоматики. Открытая структура системы, показанная на рисунке 2.1, позволяет включать в состав системы программные модули пользователя [7].

2.4 Характеристики программного обеспечения FMS-3000

Минимальное время выполнения кадра управляющей программы – 0,001 с
Кодирование управляющей программы – формат ISO
Формат файловой системы ЧПУ совместим с форматом MS-DOS и Windows
Возможность работы в локальной сети Ethernet
Линейная интерполяция по всем осям одновременно
Круговая интерполяция
Линейно-круговая интерполяция
Сплайн-интерполяция
Функциональная интерполяция
Параметрическое программирование
Коррекция на радиус инструмента
Коррекция на длину инструмента
Установка масштабных коэффициентов
Поворот системы координат детали
Программирование в полярных координатах
Программирование циклов пользователя
Программирование нарезания резьбы
Отработка программы с кадра
Зеркальная отработка
Отработка управляющей программы с отключением любых осей
Отработка управляющей программы с блокировкой технологии и геометрии
Отработка управляющей программы на быстром ходу
Компенсация люфтов
Компенсация погрешностей ходовых винтов
Компенсация дрейфа приводов
Скоростная объемная компенсация
Инвариантное управление приводами
Объемная графическая визуализация
Встроенный язык макропрограммирования
Встроенный язык электроавтоматики
Развитая система параметров
Программный осциллограф
Ведение журнала работ
Подключение электронных штурвалов
Векторная корректировка траектории
Look Ahead
Цифровое управление приводами

Конфигурация УЧПУ FMS-3000 для применения в условиях промышленного производства выполняется в виде промышленной рабочей станции.
Конструкция – корпус из нержавеющей стали и алюминиевая передняя панель со степенью защиты IP65.

10” цветной TFT-дисплей повышенной яркости;
Материнская плата до P-III 1GHz, RAM 512 Mb;

3.5” FDD и HDD дисководы;
Flash-память до 144 Mb;
Отсек для установки CD-ROM;
Контроллер Ethernet;
Количество осей до 32;
Дискретные входы-выходы: от 64 до 468 каналов;
Возможность использования встроенных и выносных плат входов/выходов.

2.5 Выбор электродвигателя

2.5.1 Кинематический расчёт

Исходными данными для выбора двигателя привода подачи станка служат: сила трения в опорах; передаточные отношения механических звеньев привода (коробки передач); масса перемещаемого органа привода вместе с деталью или инструментальным магазином; КПД механических передач; скорость быстрого хода и установочных перемещений и диапазон рабочих подач; допустимые для механизма перемещения и необходимое время переходных процессов и т.д..

Кроме того, для правильного выбора двигателя необходимо знать законы его регулирования и управления в переходных режимах. В механизмах подачи регулирование скорости двигателя осуществляется при постоянном моменте изменением напряжения на якоре. Закон управления при разгоне и торможении реализуется системой управления станком, в частном случае ЧПУ.

Для правильного выбора двигателя необходимо провести кинематический расчёт механизма подачи с шарико – винтовой передачей. Передача винт-гайка качения является основным видом тягового устройства для станков с числовым управлением. Механизмы винт-гайка качения используются в приводе подач столов, суппортов, траверс почти всех станков малых и средних размеров, а также и тяжёлых станков при перемещениях 2 – 2,5 м. Основным преимуществом таких механизмов является:

- возможность передачи больших усилий;
- низкие потери на трение;
- возможность полного устранения зазоров в механизме и создание натяга, обеспечивающего высокую жесткость;
- малая изнашиваемость, высокая точность, равномерность движения и чувствительность к микро перемещениям.

В приводах станков и промышленных роботов в настоящее время в основном применяются высоко моментные электродвигатели постоянного тока с без редукторным соединением с винтом при помощи без зазорной муфты или с простейшим редуктором при $i = 2 - 5$, причём, как правило, с принудительным исключением зазоров в кинематической цепи. Объектом проектирования прием продольную передачу механизма станка Z. Упрощённая кинематическая схема механизма подачи с шарико-винтовой передачей токарного станка с ЧПУ представлена на рисунке 2.3

2.5.2 Определение момента от силы резания и выбор двигателя

В условиях эксплуатации станки работают в разнообразных режимах с различной нагрузкой и в общем случае мощность их приводов можно определять методом средних потерь или эквивалентных величин, используемых при выборе мощности двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме.

Основой для расчёта служат циклограммы работы приводов. Однако они могут быть построены лишь в ограниченных случаях – для специальных и специализированных станков, где обрабатываются определённого вида детали в условиях массового производства с заданными режимами резания. В станках общего назначения станках, предназначенных для обработки большой номенклатуры деталей с различными режимами резания, построить циклограмму работы станка не представляется возможным. Поэтому при определении мощностей двигателей главного привода и подачи таких станков предполагается, что они работают длительно с наиболее тяжёлыми режимами резания, допускаемыми на данном станке.

Исходными данными для предварительного выбора электродвигателя являются режимы резания, кинематика станка и сведения о конструкции его основных узлов (коробок скоростей, направляющих и т.д.).

Усилие подачи по продольной оси:

$$F_{\Pi} = k_p \cdot F_p + \mu \cdot F_{N\Sigma} + F_H = 20 \text{ кН},$$

где F_p – усилие резания вдоль продольной оси;

$k_p = 1 \div 1,5$ – коэффициент запаса;

$F_{N\Sigma}$ – сумма нормальных сил, действующих в направляющих;

$F_H = 100 \text{ Нм}$ – сила от предварительного натяга, не учтенная в $F_{N\Sigma}$ [4];

$\mu = 0,1$ – коэффициент трения (скольжения).

Усилие резания вдоль оси определяем по эмпирическому выражению [4]

$$F_p = 9,81 \cdot C_v \cdot t^{x_F} \cdot S_{\text{об}}^{y_F} \cdot V^{n_F} \cdot k_F,$$

где $S_{\text{об}} = 1,4$, при $t_p = 5 \text{ мм}$ – глубина резания при $D = 500\text{-}600 \text{ мм}$ – диаметр детали [4, табл.1]

V_p – скорость резания

$$V_p = \frac{C_v \cdot k_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S_{\text{об}}^{y_v}}.$$

Значения коэффициентов C_v , X_v , Y_v и m при наружном продольном точении [4, табл.3], поправочный коэффициент K_v отражает влияние различных факторов на скорость резания и в первом приближении при расчётах можно принять равным 1.

$$V_p = 340/60^{0,2} \cdot 5^{0,5} \cdot 1,4^{0,45} = 57,6 \text{ м/мин.}$$

Постоянная C_F и показатели степени X_F , Y_F , n_F для каждой из составляющих сил резания при наружном продольном точении находим по данным табл.4 [4]

$$F_p = 9,81 \cdot 339 \cdot 5^1 \cdot 1,4^{0,5} \cdot 57,6^{-0,4} \cdot 1 = 13169 \text{ Н.}$$

Сумма нормальных сил, действующих в направляющих

$$F_{N\Sigma} = m \cdot g = 150 \cdot 9,81 = 1471,5 \text{ Н},$$

где $m = 520 \text{ кг}$ – масса стола с деталью.

$$F_{\Pi} = 1,5 \cdot 13169 + 0,1 \cdot 1471,5 + 100 = 20000 \text{ Н}.$$

Выбираем двигатель 5MT 47 Нм пр-ва НРБ.

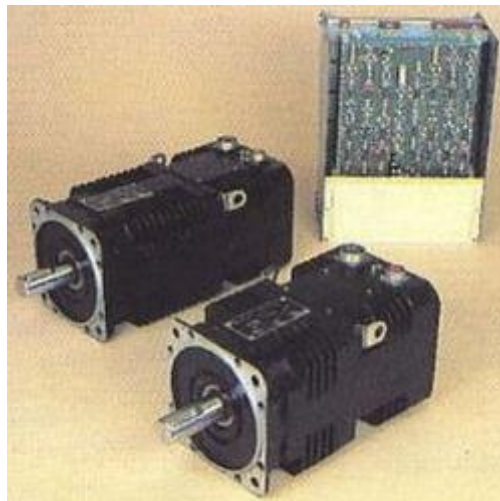


Таблица 2.1 - Параметры двигателя 5MT

Номинальный момент, Нм	47
Максимальный момент, Нм	190
Номинальный ток, А	44
Максимальный ток, А	180
Максимальная скорость, об/мин	1500
Номинальная скорость, об/мин	600
Сопротивление якоря, Ом	0,76
Индуктивность якоря, мГн	3,8
Постоянная ЭДС, В*с/об	0,13
Постоянная ЭДС, В*с/рад	1,24
Постоянная момента, Нм/А	1,07
Момент инерции ротора, кгм ²	0,037
Максимальное напряжение, В	190
Номинальное напряжение, В	85
Эл. магнитная постоянная, с	0,005
Эл. механическая постоянная, с	0,017
Крутизна характеристики тахогенератора, В/мин ⁻¹	0,02
Коэффициент передачи ТГ, В*с/рад	0,19
Термическая постоянная, мин	60

Кривые допустимых моментов в зависимости от частоты вращения

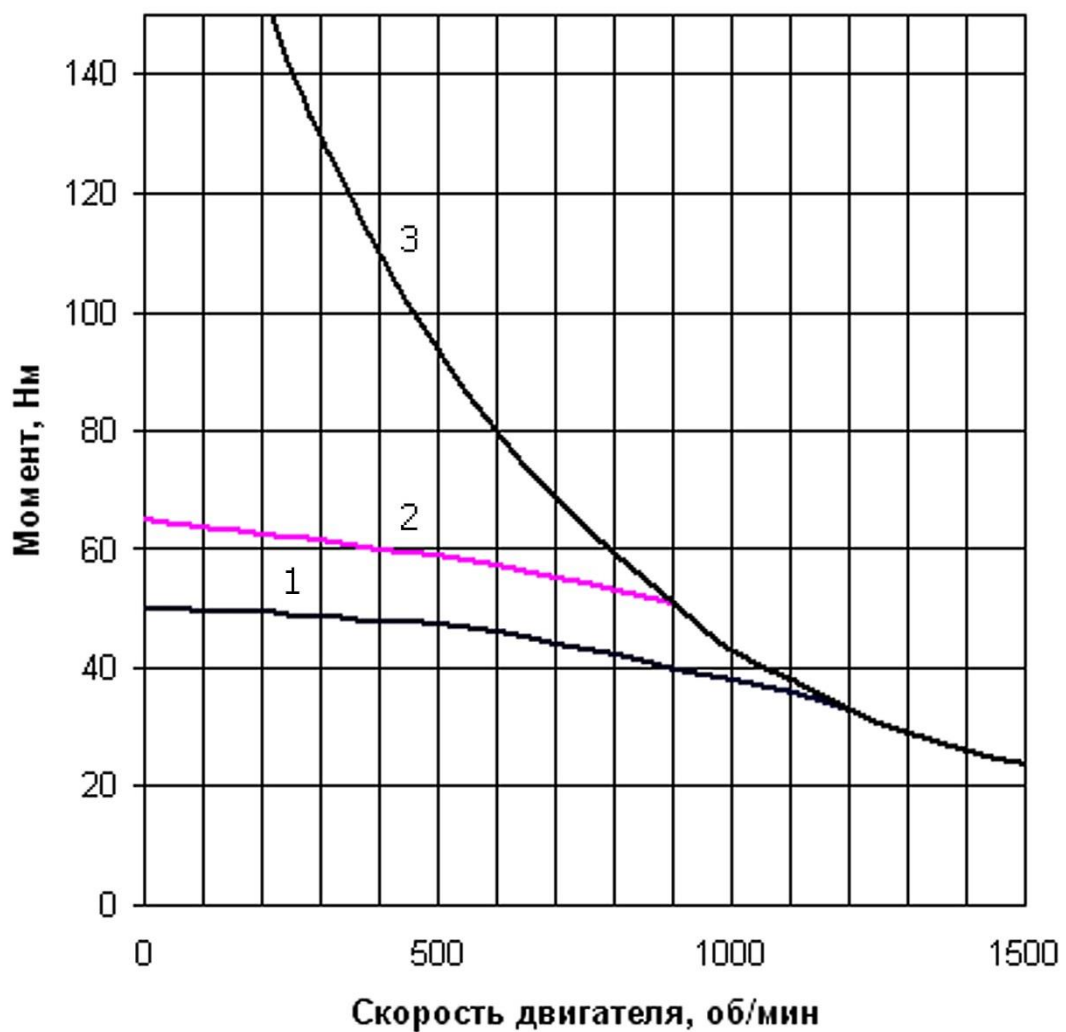


Рисунок 2.4 - Кривые допустимых моментов

- 1 – кривая длительно допустимых моментов в режиме S1;
- 2 – кривая допустимых моментов при продолжительности перегрузки не более 3 с;
- 3 – кривая допустимых моментов при продолжительности перегрузки не более 0.2 с

Кривые допустимых токов в зависимости от частоты вращения

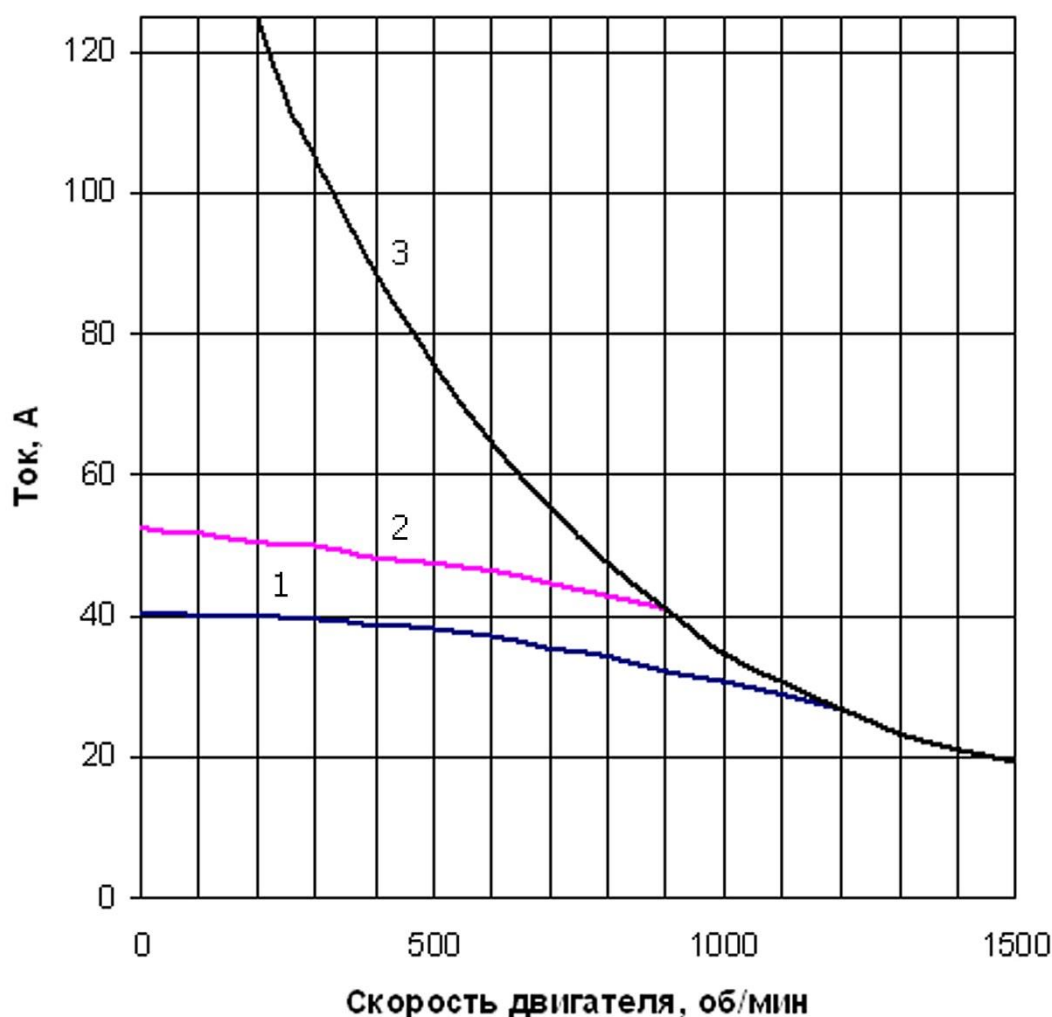


Рисунок 2.5 - Кривые допустимых токов

- 1 – кривая длительно допустимых моментов в режиме S1;
- 2 – кривая допустимых моментов при продолжительности перегрузки не более 3 с;
- 3 – кривая допустимых моментов при продолжительности перегрузки не более 0.2 с

Этот двигатель имеет принудительное охлаждение закрытого исполнения, с естественным охлаждением, со степенью защиты *IP44*, высокомоментный. Конструктивно двигатель имеет фланцевое исполнение *IM300* по ГОСТ 2479 - 79 и допускает эксплуатацию при любом положении в пространстве. Режим работы двигателя продолжительный S1 по ГОСТ 183 - 74 с длительным моментом в диапазоне частот вращения от 0 до $0,4 n_{max}$.

Допускается работа двигателя в кратковременном S2 и повторно-кратковременном S3 режимах по ГОСТ 185 - 74.

При повторно-кратковременном режиме S3 среднеквадратичный ток двигателя не должен превышать длительного.

Двигатель без повреждений и остаточных деформаций в нагретом состоянии выдерживает перегрузку по току 50% сверх длительного значения в заторможенном состоянии в течение одной минуты и в течение одной секунды выдерживает ток, соответствующий максимальному моменту.

Двигатель имеет встроенный электромагнитный тормоз и датчик температурной защиты. Возбуждение электродвигателей происходит постоянными магнитами. Магнитная система гарантирует высокую перегрузочную способность в статическом и динамическом режиме. Исполнение двигателей соответствует требованиям IEC 34-5, IEC 34-7. Направление вращения двигателя - реверсивное.

Произведем проверку выбранного двигателя по допустимому моменту в основных режимах.

Максимальная скорость подачи 6000 мм/мин.

КПД передачи шарико-винтовой пары с предварительным натягом:

$$\eta_{ШВП} = 0,85$$

Момент нагрузки передаваемый ШВП с учетом потерь на трение:

$$M_{швп} = \frac{F_{под} \cdot t_{\phi}}{2 \cdot \pi \cdot \eta_{швп}} = \frac{20000 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,85} = 37,45 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Мощность передаваемая ШВП с учетом потерь на трение:

$$P_{швп} = \frac{M_{швп} \cdot \pi \cdot n \cdot 10^{-3}}{30} = \frac{37,45 \cdot 3,14 \cdot 600 \cdot 10^{-3}}{30} = 2,353 \text{ кВт}$$

Коэффициенты потерь в передаче

$$a = b = \frac{1 - \eta_{швп}}{2 \cdot \eta_{швп}} = \frac{1 - 0,85}{2 \cdot 0,85} = 0,08824$$

Момент трения на валу ШВП (постоянные потери):

$$\Delta M_{с.швп} = a \cdot M_{швп} = 0,08824 \cdot 37,45 = 3,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент от силы трения в направляющих

$$M_{тр} = \frac{m \cdot g \cdot k_{тр} \cdot t_{\phi}}{2 \cdot \pi \cdot \eta_{вг}} \cdot 10^{-3} = \frac{150 \cdot 9,81 \cdot 0,1 \cdot 10}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,85} \cdot 10^{-3} = 0,276 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $k_{тр} = 0,04 \div 0,1$ – коэффициент трения в направляющих.

Момент сопротивления типа сухого трения на валу электродвигателя

$$\Delta M_{с.дв} = M_{эм} - M_{дв.н} = 54,56 - 47 = 7,56 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полезный передаваемый момент от сил подачи

$$M_{под} = \frac{F_{под} \cdot t_{\phi}}{2 \cdot \pi} = \frac{20000 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 31,83 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент электромагнитный развиваемый двигателем 5МТ:

$$M_{эм} = c \cdot I_{дв.н.} = 1,24 \cdot 44 = 54,56 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{дв} = 47 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент который должен развивать двигатель:

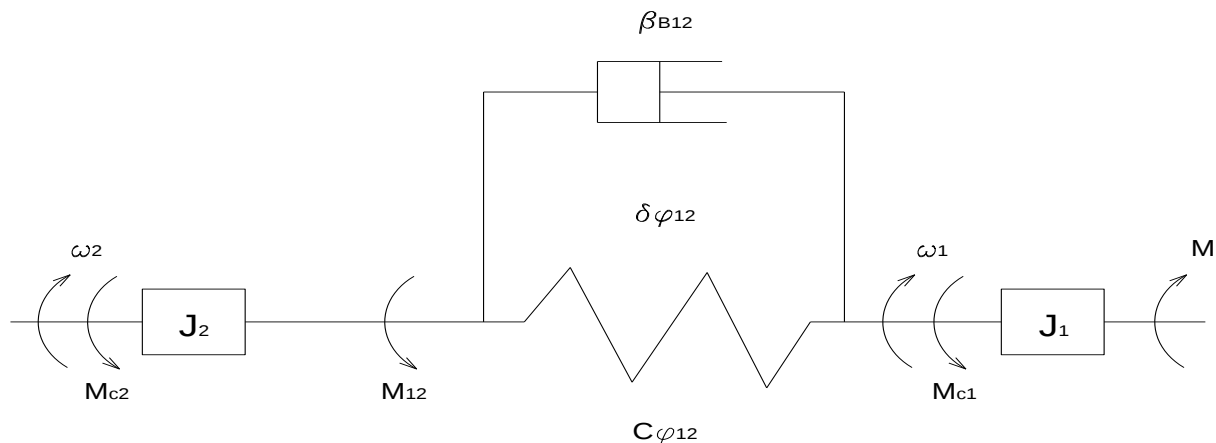
$$M_{об} \geq M_{узн} + \Delta M_{с.узн} = 37,45 + 3,3 = 40,75 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Таким образом, выбранный двигатель удовлетворяет условиям проверки по допустимому моменту во всех режимах.

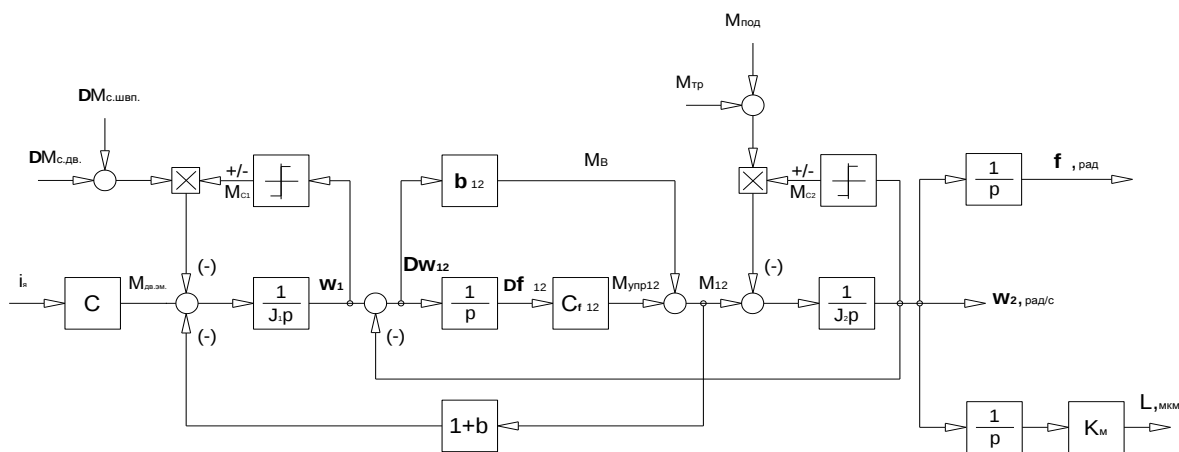
2.6 Структурная схема двухмассовой механической системы и её параметры

Кинематические схемы механической части электроприводов промышленных агрегатов могут быть весьма сложными, состоящими из нескольких инерционных масс и соединяющих их упругих связей. На практике многомассовую упругую механическую систему удастся свести к двухмассовой.

Расчетная схема и структурная схемы привода подачи, составленные по кинематической схеме 2.3 в виде двухмассовой механической системы, представлена на рисунке 2.6 [3].



а)



б)

Рисунок 2.6 – Расчетная (а) и структурная (б) схема привода подачи

2.6.1 Параметры первой массы

Момент инерции первой массы (двигателя, винта и всех частей вращающихся со скоростью двигателя)

$$J_1 = 1,15 \cdot J_{\text{дв}} + J_{\text{в}} = 1,15 \cdot 0,037 + 0,0153 = 0,05785 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где $J_{\text{в}}$ – момент инерции ходового винта, как сплошного цилиндра

Момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы

$$M_{\text{с1}} = M_{\text{с,дв}} = \Delta M_{\text{с,дв}} + \Delta M_{\text{с,шпн}} = 7,56 + 3,3 = 10,86 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Другим способом момент сопротивления типа сухого трения на валу электродвигателя

$$\Delta M_{\text{с,дв}} = M_{\text{эм}} - M_{\text{дв.н}} = 54,56 - 47 = 7,56 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{эм}} = c \cdot I_{\text{дв.н.}} = 1,24 \cdot 44 = 54,56 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2.6.2 Параметры второй массы

Момент инерции второй массы

$$J_2 = m_{\Sigma} \cdot \left(\frac{t_{\text{в}}}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot 10^{-6} = 150 \cdot \left(\frac{10}{2 \cdot 3,14} \right)^2 \cdot 10^{-6} = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где $t_{\text{в}} = 10$ мм – шаг винта;

$m_{\Sigma} = 150$ кг – масса суппорта с резцедержкой, деталь зажимается в шпиндель.

Момент сопротивления типа сухого трения на валу второй массы

$$M_{\text{с2}} = M_{\text{тр}} = 0,276 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент от силы трения в направляющих

$$M_{\text{тр}} = \frac{m \cdot g \cdot k_{\text{тр}} \cdot t_{\text{в}}}{2 \cdot \pi \cdot \eta_{\text{вг}}} \cdot 10^{-3} = \frac{150 \cdot 9,81 \cdot 0,1 \cdot 10}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,85} \cdot 10^{-3} = 0,276 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $k_{\text{тр}} = 0,04 \div 0,1$ – коэффициент трения в направляющих

Для механизмов привода подачи с шариковой винтовой передачей разработана номограмма, определяющая суммарной осевой жесткости $c_{\text{л3}}$ от типоразмера передачи и схемы расположения опор.

Из этой номограммы для передачи типоразмера 63x10x1260 с закрепленными двумя опорами и предварительным натягом определяем осевую жесткость механизма:

$$c_{\text{л3}} = 200 \cdot 10^6 \text{ Н/м}.$$

Эквивалентная угловая жесткость передачи механизма c_{12}

$$c_{\phi 12} = c_{\text{л3}} \cdot \left(\frac{t_{\text{в}}}{2 \cdot \pi} \right)^2 = 200 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{10 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} \right)^2 = 506,6 \text{ Нм/рад}.$$

Угловая частота внутренних колебаний двухмассовой системы

$$\omega_{12} = \sqrt{c_{\phi 12} \cdot \frac{J_1 + J_2}{J_1 \cdot J_2}} = \sqrt{506,6 \cdot \frac{0,05785 + 3,8 \cdot 10^{-4}}{0,05785 \cdot 3,8 \cdot 10^{-4}}} = 1158,3 \text{ с}^{-1}$$

Частота внутренних колебаний двухмассовой системы

$$f_{12} = \frac{\omega_{12}}{2 \cdot \pi} = \frac{1158,3}{2 \cdot 3,14} = 184,35 \text{ Гц}$$

Коэффициент передачи механизма

$$k_M = \frac{t_B}{2 \cdot \pi} = \frac{10000}{2 \cdot 3,14} = 1591,55 \frac{\text{мкМ}}{\text{рад}};$$

Коэффициент внутреннего вязкого трения

$$\beta_{12} = \frac{\lambda_{\text{вт}} \cdot c_{12}}{\pi \cdot \omega_{12}} = \frac{0,2 \cdot 506,6}{3,14 \cdot 1158,3} = 0,028$$

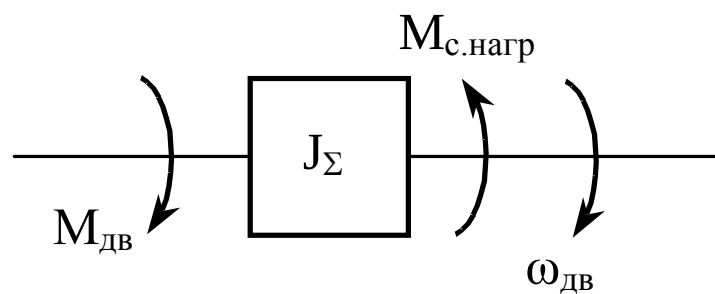
где $\lambda_{\text{вт}} = 0,1 \div 0,2$ – логарифмический декремент затухания, характеризующий естественное затухание механических колебаний под действием внутренних сил вязкого трения.

Вывод.

Расчеты показали, что система обладает большой жесткостью, частота собственных колебаний двухмассовой системы значительно больше полосы пропускания РЭП. Таким образом систему можно рассматривать как одномассовую.

2.7 Параметры одномассовой механической системы

Схема замещения и структурная схема одномассовой механической системы представлена на рисунке 3.3



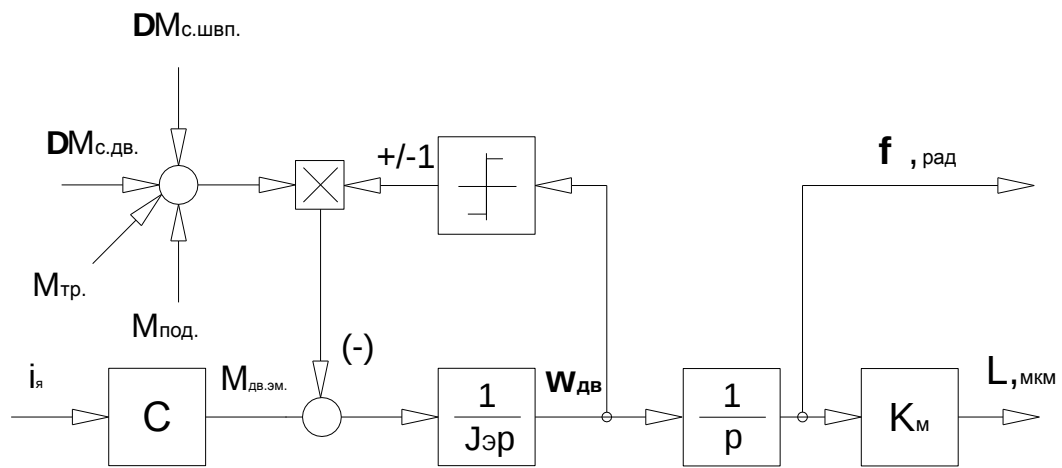


Рисунок 2.7 - Структурная схема одномассовой механической системы

Эквивалентный момент инерции для одномассовой системы

$$J_{\Sigma} = J_1 + J_2 = 0,05785 + 3,8 \cdot 10^{-4} = 0,058 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Эквивалентный момент сопротивления, приведенный к валу двигателя в одномассовой системе при холостом ходе

$$\Delta M_c = M_{c1} + M_{c2} = 10,82 + 0,276 = 11,096 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ток холостого хода одномассовой системы

$$I_{xx} = M_{с.хх} / c = 11,096 / 1,24 = 4,1 \text{ А}.$$

Эквивалентный момент сопротивления, приведенный к валу двигателя в одномассовой системе при максимальной нагрузке

$$M_{с.макс} = M_{c1} + M_n + M_{тр.} = 10,86 + 31,83 + 0,276 = 43 \text{ Нм}.$$

Ток электропривода при максимальном значении длительного момента нагрузки $M_{с.макс} = 14,19 \text{ Нм}$

$$I_{с.макс} = M_{с.макс} / c = 43 / 1,24 = 34,7 \text{ А}.$$

2.8 ЛАЧХ двухмассовой механической системы

Передаточная функция двухмассовой механической системы

$$\begin{aligned} W(p) &= \frac{\omega_2(p)}{M(p)} = \frac{1}{(J_1 + J_2) \cdot p} \cdot \frac{1}{\left(\frac{J_1 \cdot J_2}{J_1 + J_2} \cdot \frac{1}{c_{12}} \cdot p^2 + 1 \right)} = \\ &= \frac{1}{(0,05785 + 3,8 \cdot 10^{-4}) \cdot p} \cdot \frac{1}{\left(\frac{0,05785 \cdot 3,8 \cdot 10^{-4}}{0,05785 + 3,8 \cdot 10^{-4}} \cdot \frac{1}{506,6} \cdot p^2 + 1 \right)} = \\ &= \frac{1}{43,22 \cdot 10^{-9} \cdot p^3 + 0,058 \cdot p}; \end{aligned}$$

ЛАЧХ двухмассовой механической системы представлена на рисунке 2.8

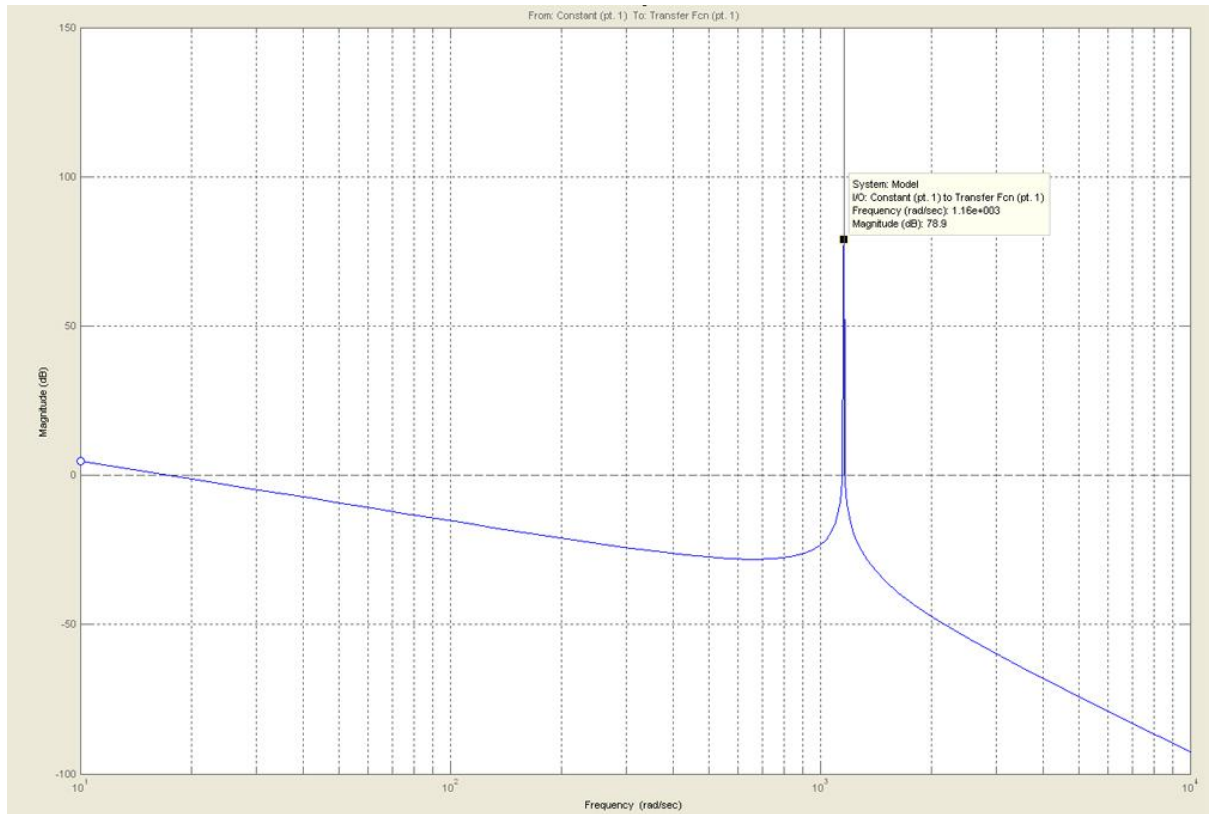


Рисунок 2.8 - ЛАЧХ двухмассовой механической системы

$\omega_{\text{рез.мех.ч}} = 1116 \text{ рад/с}$, – резонансная частота механической части двухмассовой системы.

При настройке САУ СЭП следует учесть, что резонансная частота контура скорости (для устойчивой работы системы) должна быть равна

$$\omega_{\text{рез.РЭП}} = \frac{\omega_{\text{рез.мех.ч}}}{3} = \frac{1116}{3} = 372 \text{ рад/с};$$

$$f_{\text{рез.РЭП}} = \frac{\omega_{\text{рез.РЭП}}}{2 \cdot \pi} = \frac{148,7}{2 \cdot 3,14} = 59,2 \text{ Гц};$$

Т.о. при дальнейшей настройке следящего электропривода, а именно при настройке контура скорости следует учесть, чтобы полоса пропускания (меньшее значение либо по модулю, либо по фазе) не превышала значения $f_{\text{рез.РЭП}} = 59,2 \text{ Гц}$.

С другой стороны при выборе полосы пропускания РЭП, построенного на базе реверсивного тиристорного преобразователя с линейной СИФУ, необходимо ориентироваться на предельные значения полосы пропускания, обусловленные влиянием специфических свойств ТП, которые приведены табл.3.5 в работе [3]. Для тиристорного реверсивного преобразователя с линейной СИФУ полагаем, имеем

$$\omega_n / \omega_0 = 0,79,$$

где $\omega_0 = 314 \text{ с}^{-1}$ – угловая частота питающей сети.

Откуда определяем предельную полосу пропускания РЭП

$$f_{n.РЭП} = \frac{\omega_0 \cdot 0,79}{2\pi} = 39,5 \text{ Гц}.$$

3 Силовая цепь электрической системы СЭП

3.1 Выбор сетевого согласующего трансформатора. Расчет параметров.

Трансформатор типа ТСП-25/0,7-УХЛ4

Напряжение первичной обмотки $U_{1л} = 380 \text{ В}$.

Напряжение вторичной обмотки $U_{2л} = 205 \text{ В}$.

Активная мощность потерь короткого замыкания в обмотках трансформатора $\Delta P_{кз} = 1100 \text{ Вт}$.

Относительное напряжение сквозного короткого замыкания $U_{кз} = 5,5\%$.

Ток во вторичной обмотке $I_{2л} = 64,7 \text{ А}$

Активное и индуктивное сопротивления и индуктивность вентильной обмотки на фазу:

$$R_{трф} = \frac{\Delta P_{кз}}{n \cdot m_2 \cdot I_{2фн}^2} = \frac{1100}{1 \cdot 3 \cdot 64,7^2} = 0,088 \text{ Ом};$$

$$U_{2фн} = \frac{U_{2л}}{\sqrt{3}} = \frac{205}{\sqrt{3}} = 118,356 \text{ В}$$

$$Z_{трф} = \frac{U_{кз} \cdot U_{2фн}}{100 \cdot I_{2фн}} = \frac{5,5 \cdot 118,357}{100 \cdot 64,7} = 0,1 \text{ Ом};$$

$$x_{трф} = \sqrt{Z_{трф}^2 - R_{трф}^2} = \sqrt{0,1^2 - 0,088^2} = 0,047 \text{ Ом};$$

$$L_{трф} = \frac{x_{трф}}{\omega_c} = \frac{0,047}{314,159} = 0,15 \text{ мГн},$$

где n - число вентильных обмоток

$$\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f_c = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,159 \text{ с}^{-1} - \text{угловая частота питающей сети.}$$

Таблица 3.1 - Параметры силового трансформатора ТСП - 25

Номинальное напряжение	$U_{1л} = 380 \text{ В}$
Напряжение вторичной обмотки	$U_{2л} = 205 \text{ В}$
Номинальная мощность	$P_{1н} = 23 \text{ кВА}$
Номинальная мощность	$P_{2н} = 21,9 \text{ кВА}$
Относительное напряжение короткого замыкания	$U_{кз\%} = 5,5 \%$
Активное сопротивление обмотки трансформатора	$R_{тр.ф} = 0,088 \text{ Ом}$
Индуктивное сопротивление обмотки трансформатора	$X_{тр.ф} = 0,047 \text{ Ом}$
Индуктивность обмотки трансформатора	$L_{тр.ф} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$
Активная мощность потерь короткого замыкания	$\Delta P_{кз} = 1100 \text{ Вт}$
Ток во вторичной обмотке	$I_{2фн} = I_{2лн} = 64,7 \text{ А}$

3.2 Расчет параметров тиристорного преобразователя

Выбираем комплектный электропривод типа **SDC1-47**



Рисунок 3.1 - Преобразователь SDC1-47

Сервопривод SDC1-47 4-х квадрантный

Ток номинальный 70 А

Ток максимальный 200 А

Номинальное напряжение 200 В

Номинальное напряжение сети 380 В

Диапазон 1:10000

Напряжение управления $\pm 0-7$ В

Шестипульсный УВ

Полоса пропускания 30 Гц

Структурная схема тиристорного преобразователя приведена на рисунке 3.2

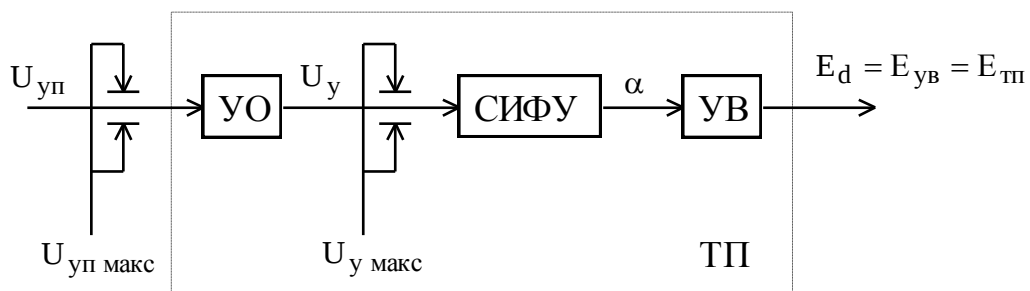


Рисунок 3.2 - Структурная схема тиристорного преобразователя

Определим параметры силовой цепи преобразователя и якорной цепи

Управление преобразователем – раздельное.

Размах опорного напряжения $2 \cdot U_{\text{оп.макс}} = 7$ В.

Максимальное напряжение управления $U_{\text{уп.макс}} = 7$ В

Коэффициент управляющего органа определяют исходя из условия обеспечения максимального диапазона регулирования угла управления в сторону его

уменьшения $(\alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{мин}})_{\text{макс}}$

$$k_{y0} \geq \frac{(\alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{мин}})_{\text{макс}}}{\pi} \cdot \frac{2 \cdot U_{\text{оп.макс}}}{U_{\text{уп.макс}}} = \frac{(120 - 30)}{180} \cdot \frac{7}{7} = 0,5$$

Коэффициент передачи датчика тока $k_{\text{дт}} = 0,03$ -для $I_{\text{ТПН}} > 60$ А.

Средневыпрямленная ЭДС при $\alpha = 0^\circ$:

$$E_{d0} = k_{u2л} \cdot U_{2л} = 1,35 \cdot 205 = 276,75 \text{ В}$$

Максимальное значение коэффициента усиления тиристорного преобразователя:

$$k_{\text{ТП макс}} = \frac{\pi \cdot k_{y0} \cdot E_{d0}}{2 \cdot U_{\text{оп.макс}}} = \frac{3,14 \cdot 0,5 \cdot 276,75}{7} = 62.$$

Максимально допустимый ток

$$I_{\text{дн макс}} = I_{\text{эп.макс}} = 145 \text{ А}.$$

Коэффициент положительной обратной связи по скорости на вход ТП

$$k_{\text{noc}} = \frac{c}{k_{\text{ТП}} \cdot k_{\text{дс}}} = \frac{1,24}{62 \cdot 0,19} = 0,105$$

где $k_{\text{дс}} = 0,19$ В*с/рад– коэффициент передачи датчика скорости.

Максимальное значение ЭДС

$$E_{\text{ТП макс}} = E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} = 276,75 \cdot \cos 10^\circ = 272,55 \text{ В}.$$

Постоянная времени преобразователя

$$T_{\text{ТП}} = \frac{0,5}{m_b \cdot f_c} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с}.$$

Сопротивление силовой цепи преобразователя

$$R_{\text{ТП}} = 2 \cdot R_{\text{трф}} + R_{\text{к}} = 2 \cdot 0,088 + 0,045 = 0,221 \text{ Ом},$$

где

$$R_{\text{к}} = \frac{m_b \cdot X_{\text{тр.ф}}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,047}{2 \cdot 3,14} = 0,045 \text{ Ом}.$$

Сопротивление силовой цепи двигателя

$$R_{\text{цдв}} = 1,1 \cdot R_{\text{дв.гор}} = 1,1 \cdot 0,9424 = 1,03664 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{яц}} = R_{\text{цдв}} + R_{\text{ТП}} = 1,03664 + 0,221 = 1,25764 \text{ Ом}$$

Индуктивность якорной цепи

$$L_{\text{яц}} = L_{\text{дв}} + 2 \cdot L_{\text{трф}} = 3,8 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи привода

$$T_{\text{яц}} = \frac{L_{\text{яц}}}{R_{\text{яц}}} = \frac{4,1 \cdot 10^{-3}}{1,25764} = 0,00326 \text{ с}$$

Электромеханическая постоянная времени

$$T_{\text{м}} = \frac{J_{\text{э}} \cdot R_{\text{яц}}}{c^2} = \frac{0,058 \cdot 1,25764}{1,24^2} = 0,047 \text{ с},$$

$$\frac{T_{\text{м}}}{T_{\text{яц}}} = \frac{0,047}{0,00326} = 14,42$$

т.к. это отношение больше 4, значит, влияние ЭДС не значительно. Так как $I_{дв.макс}=145 \text{ А} < I_{д.макс}=200 \text{ А}$, то принимаем $I_{эп.макс}=I_{дв.макс}=145 \text{ А}$.

Структурная схема силового канала регулируемого электропривода приведена на рисунке 3.3

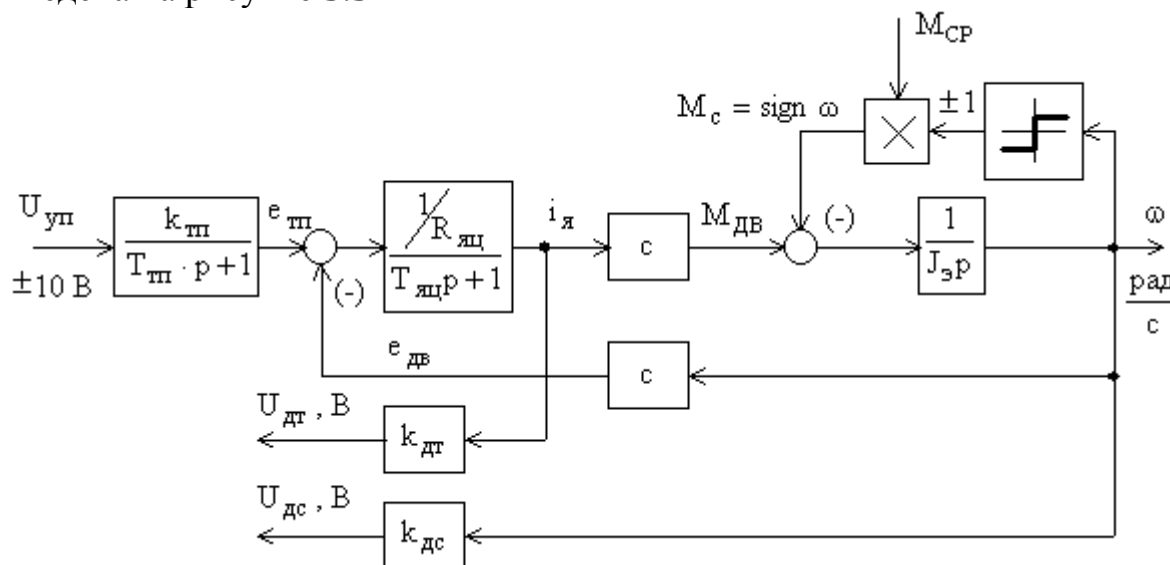


Рисунок 3.3 - Структурная схема силового канала регулируемого электропривода

3.3. Расчет электромеханических характеристик разомкнутой системы преобразователь-двигатель

Характеристики рассчитываются при пониженном напряжении сети, т.е. при $k_{Uc} = 0,85$.

Работа электропривода в I и III квадрантах

Электрическая машина работает в двигательном режиме. Группа «Вперед» (I квадрант) или группа «Назад» (III квадрант) преобразователь работают в выпрямительном режиме (угол управления $\alpha < 90^\circ$).

Минимальный угол управления преобразователем $\alpha_{мин}$ находится из условия обеспечения максимальной скорости электропривода $\omega_{эп.макс}=62,83 \text{ 4с}^{-1}$ при токе двигателя $I_2=74,77 \text{ А}$

$$\alpha_{мин} \leq \arccos \left(\frac{c \cdot \omega_{эп.макс} + I_{дв.макс} \cdot R_{яц}}{k_{Uc} \cdot E_{d0}} \right);$$

Согласно рекомендации [1] реверсивных преобразователей с отдельным управлением значение $\alpha_{мин}$ должно находиться из условия $\alpha_{мин} \geq (5-10)^\circ$. Принимаем $\alpha_{мин} = 30^\circ$.

Электромеханическая характеристика разомкнутой системы ТП – двигатель при $\alpha_{мин}=30^\circ$

$$\omega(I_{\text{я}}) = \frac{1}{c} \cdot (k_{Uc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{\text{яц}} \cdot I_{\text{я}}).$$

$$\omega(0) = \frac{1}{1,24} \cdot (0,85 \cdot 276,76 \cdot \cos 30 - 1,25764 \cdot 0) = 164,3 \text{ рад} / \text{с}$$

$$\omega(44) = \frac{1}{1,24} \cdot (0,85 \cdot 276,76 \cdot \cos 30 - 1,25764 \cdot 44) = 119,32 \text{ рад} / \text{с}$$

$$\omega(74,77) = \frac{1}{1,24} \cdot (0,85 \cdot 276,76 \cdot \cos 30 - 1,25764 \cdot 74,77) = 87,86 \text{ рад} / \text{с}$$

$$\omega(145) = \frac{1}{1,24} \cdot (0,85 \cdot 276,76 \cdot \cos 30 - 1,25764 \cdot 145) = 16 \text{ рад} / \text{с}$$

Расчеты сводим в таблицу 3.1

Таблица 3.1 - Расчет электромеханической характеристики при $\alpha_{\text{мин}} = 30^\circ$

$I_{\text{я}}, \text{А}$	0	$I_{\text{эп.ном}} = 44 \text{ А}$	$I_{\text{эп макс}} = 74,77 \text{ А}$	$I_{\text{эп.макс}} = 145 \text{ А}$
$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	164,3	119,32	87,86	16

Работа электропривода в II и IV квадрантах

Электрическая машина работает в генераторном режиме (режим рекуперативного торможения). Группа «Назад» (II квадрант) или группа «Вперед» (IV квадрант) преобразователя работают в инверторном режиме (угол управления $\alpha > 90^\circ$).

Электрическая машина работает в генераторном режиме (режим рекуперативного торможения)

Предельная характеристика безопасного инвертирования при работе преобразователя в инверторном режиме:

$$\begin{aligned} \omega(I_{\text{я}}) &= \frac{1}{c} \cdot (k_{Uc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \delta + (R_{\text{тп}} - R_{\text{ц.дв}}) \cdot I_{\text{я}}) = \\ &= \frac{1}{1,24} \cdot (0,85 \cdot 276,76 \cdot \cos 6^\circ + (0,125 - 1,03664) \cdot I_{\text{я}}), \end{aligned}$$

где $\delta = 6^\circ$ - угол запаса при инвертировании.

$$R_{\text{тп}} = 0,125 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{ц.дв}} = 1,03664 \text{ Ом}$$

Результаты расчета сводим в таблицу 3.2

Таблица 3.2 - Предельная характеристика безопасного инвертирования

$I_{я}, \text{А}$	0	$-I_{эн.н} = -44 \text{ А}$	$-I_{эп макс} = -74,77 \text{ А}$	$-I_{эп макс} = -145 \text{ А}$
$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	188,675	221	243,65	295,3

Максимальный угол управления преобразователем при работе в инверторном режиме:

$$\alpha_{\text{макс}} = \arccos \left(\frac{2 \cdot R_{\text{ТП}} \cdot I_{\text{эп макс}}}{k_{Uc} \cdot E_{d0}} - \cos \delta \right) = \arccos \left(\frac{2 \cdot 0,125 \cdot 74,77}{0,85 \cdot 276,76} - \cos 6^\circ \right) = 156,2^\circ,$$

Примем $\alpha_{\text{макс}} = 156^\circ$.

Электромеханическая характеристика разомкнутой системы ТП – Д при угле управления $\alpha_{\text{макс}} = 156^\circ$

$$\begin{aligned} \omega(I_{я}) &= \frac{1}{C} \cdot (-k_{Uc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{макс}} - R_{яц} \cdot I_{я}) = \\ &= \frac{1}{1,24} \cdot (-0,85 \cdot 276,76 \cdot \cos 156^\circ - 1,26764 \cdot I_{я}). \end{aligned}$$

Расчеты сводим в таблицу 3.3

Таблица 3.3 – Электромеханическая характеристика разомкнутой системы ТП-Д

$I_{я}, \text{А}$	0	$-I_{эн.н} = -44 \text{ А}$	$-I_{эп макс} = -74,77 \text{ А}$	$-I_{эп макс} = -145 \text{ А}$
$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	173,3	218,3	249,75	321,55

По таблицам 3.1 -3.3 строим характеристики системы преобразователь – двигатель, представленный на рисунке 3.4

Предельные характеристики электропривода

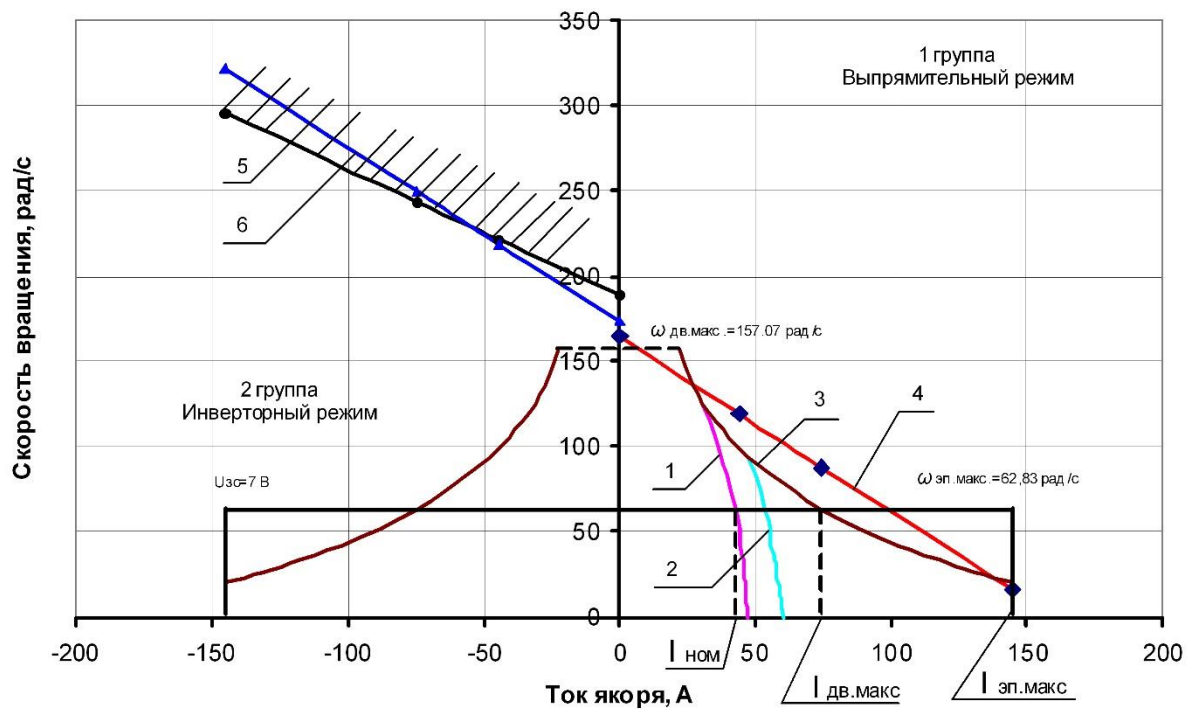


Рисунок 3.4 – Предельные характеристики электропривода при пониженном напряжении

1. Граничная область длительных перегрузок $S1$.
2. Граничная область кратковременной перегрузки $S2$ в течении $3с$.
3. Граничная область $S3$ $0,2с$.
4. Электромеханическая характеристика электропривода в выпрямительном режиме при $\alpha=30$ ел.град.
5. Характеристика предельного безопасного инвертирования.
6. Электромеханическая характеристика электропривода в инверторном режиме при $\alpha=156$ ел.град.

Как видно из рисунка при пониженном напряжении преобразователь обеспечивает номинальную скорость двигателя при минимальном токе нагрузки.

4 Структурная схема силового канала

Структурная схема силового канала представлена на рисунке 4.5.

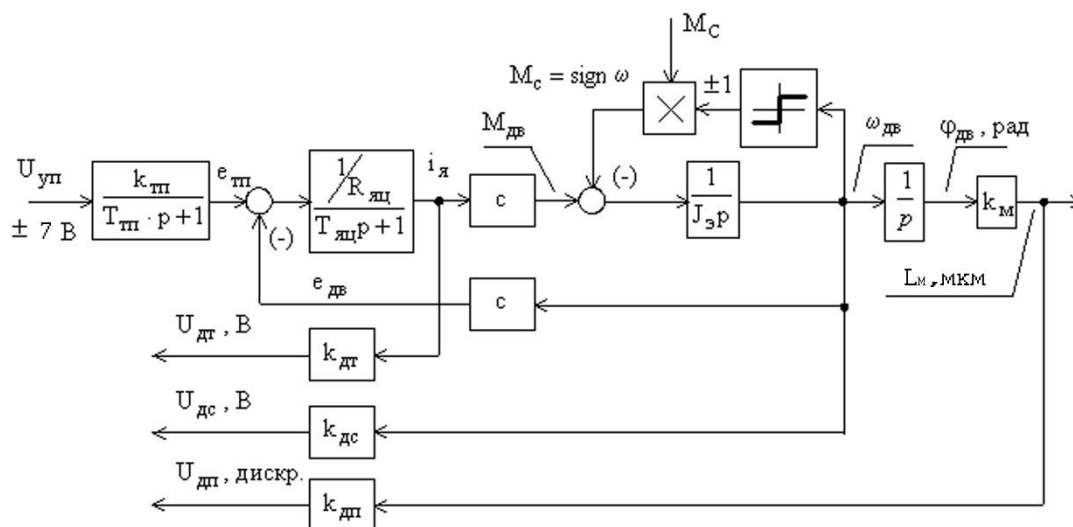


Рисунок 4.5 - Структурная схема силового канала следящего электропривода

Параметры структурной схемы силового канала электропривода сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Параметры структурной схемы силового канала электропривода

$U_{уп}$	$k_{тп}$	$T_{тп}$	$R_{яц}$	$T_{яц}$	c	$J_э$	$k_м$	$k_{дт}$	$k_{дс}$
В	С	с	Ом	с	$\frac{В \cdot с}{рад}$	кг·м ²	$\frac{угл.мин}{рад}$	$\frac{А}{В}$	$\frac{В \cdot с}{рад}$
±7	62	0,00167	1,25764	0,00326	1,24	0,058	1591,55	0,03	0,19

$k_м = 1591,55$ мкм/рад - коэффициент передачи механизма.

$$k_{дп} = \frac{2500}{360 \cdot 60} = 0,11574 \text{ дискр/угл.мин}$$

Датчик положения ЛИР-158 2500 дискрет/об.

5 Исследование линеаризованной САУ СЭП

5.1 Структурная схема линеаризованной САУ СЭП

На этапе предварительного синтеза САУ СЭП используются линеаризованные характеристики системы и ее элементов и соответственно методы синтеза. При синтезе по заданным показателям качества, основными из которых является максимальное быстродействие системы, и заключается в определении оптимальных настроек регуляторов для выбранной структуры СЭП. При этом предполагается, что кинематические цепи привода являются идеальными и все функциональные элементы работают в зоне изменения параметров, не выходящих за пределы ограничений.

Структурная схема линеаризованной САУ СЭП приведена на рис. 5.1.

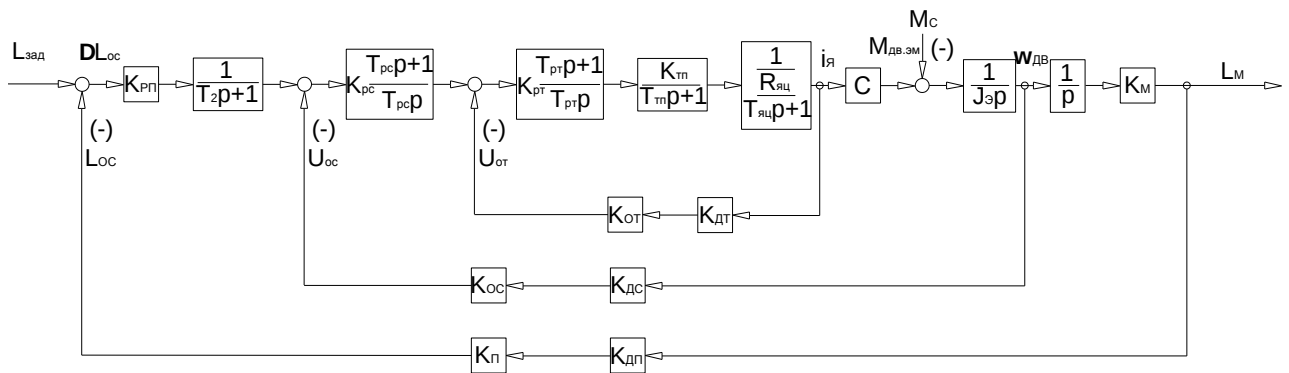


Рисунок 5.1 - Структурная схема линеаризованной САУ СЭП

5.2 Определение оптимальных настроек контуров СЭП

Предельная полоса пропускания СЭП ограничена значением постоянной времени якорной цепи $T_{яц}$ и малой некомпенсированной постоянной времени T_{μ} . При реализации СЭП на основе структур РЭП полоса пропускания и быстродействие линеаризованного СЭП теоретически могут быть сделаны сколь угодно большими и ограничиваются только специфическими свойствами тиристорного преобразователя.

Рекомендуются для настройки СЭП с пропорциональным регулятором положения (П-РП) точки настройки 3 и 5. Методика синтеза САУ РЭП основана на связи показателей качества САУ с формой ЛЧХ разомкнутой системы. Оптимизация достигается за счёт приведения асимптотической ЛАЧХ разомкнутых контуров скорости и тока к рекомендуемому виду. При этом необходимо разрешить противоречие требований к настройке САУ с учётом двух воздействий: управляющего ($U_{зс}$) и возмущающего по нагрузке (I_c). При проектировании электроприводов выполненных по многоконтурной структуре с последовательной коррекцией, для построения желаемых ЛАЧХ разомкнутых контуров получили распространение настройки на оптимум по модулю и симметричный оптимум.

5.2.1 Оптимизация контура тока

Контур тока настраиваем на модульный оптимум по известной методике.

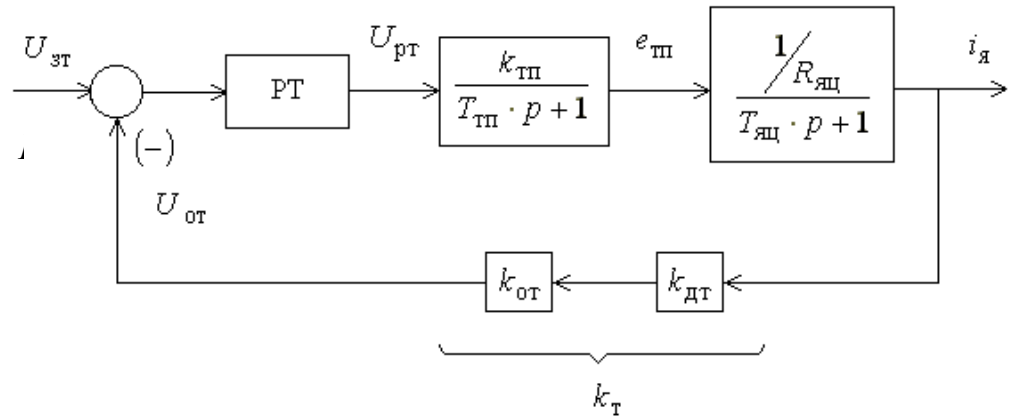


Рисунок 5.2 - Структурная схема контура тока

Оптимизацию контура тока осуществляем без учета обратной связи по ЭДС двигателя, так как она скомпенсирована. Контур содержит два инерционных звена первого порядка с постоянными:

$$T_{яц} = 0,00326 \text{ с} \text{ и } T_{тп} = 0,00167 \text{ с}$$

Отношение

$$\frac{T_{яц}}{T_{тп}} = \frac{0,00326}{0,00167} = 1,952,$$

значительно больше единицы, следовательно, принимаем:

$$- T_{\mu т} = T_{тп} = 0,00167 \text{ с}, \text{ - малая постоянная времени контура;}$$

- $T_{яц} = 0,00326 \text{ с}$, - большая постоянная времени контура, которую следует компенсировать.

С учетом параметров контура выбираем ПИ – регулятор с передаточной функцией

$$W_{рт}(p) = k_{рт} \cdot \frac{T_{рт} \cdot p + 1}{T_{рт} \cdot p},$$

где $T_{рт} = T_{яц} = 0,00326 \text{ с}$, - постоянная времени регулятора;

$$k_{рт} = \frac{T_{яц} \cdot R_{яц}}{k_{тп} \cdot k_{т} \cdot a_{т} \cdot T_{\mu т}} = \frac{0,00326 \cdot 1,25764}{62 \cdot 0,048 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 0,412, \text{ - коэффициент уси-$$

ления регулятора тока;

$$k_{т} = \frac{U_{зт.макс}}{I_{эп.макс}} = \frac{7}{145} = 0,048 \frac{\text{В}}{\text{А}}, \text{ - коэффициент обратной связи по току;}$$

$U_{зт.макс} = 7 \text{ В}$, - максимальное напряжение задания на ток;

$a_{т} = 2$, - коэффициент оптимизации контура тока по МО.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ:

$$k_{от} = \frac{k_T}{k_{дт}} = \frac{0,048}{0,03} = 1,6.$$

Ожидаемые показатели качества работы контура тока, настроенного на модульный оптимум сведены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 - Ожидаемые показатели качества работы контура тока, настроенного на МО

Перерегулирование	$\sigma, \%$	4,3
Время первого согласования	$t_{py1}^{(5)}, c$	$4,1 \cdot T_{\mu T} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,0068$
Время переходного процесса при обработке ступенчатого управляющего задания	$t_{py2}^{(5)}, c$	$4,1 \cdot T_{\mu T} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,0068$
Полоса пропускания по модулю	$\omega_p^{(м)}, \frac{рад}{c}$	$\frac{0,71}{T_{\mu T}} = \frac{0,71}{0,00167} = 425,15$
Полоса пропускания по фазе	$\omega_p^{(ф)}, \frac{рад}{c}$	$\frac{0,71}{T_{\mu T}} = \frac{0,71}{0,00167} = 425,15$

$$f_p^{(м)} = \frac{\omega_p^{(м)}}{2 \cdot \pi} = \frac{425,15}{2 \cdot \pi} = 67,665 \text{ Гц};$$

$$f_p^{(ф)} = \frac{\omega_p^{(ф)}}{2 \cdot \pi} = \frac{425,15}{2 \cdot \pi} = 67,665 \text{ Гц}.$$

5.2.2 Оптимизация контура скорости

Структурная схема контура скорости при оптимизации по СО приведена на рисунке 5.3

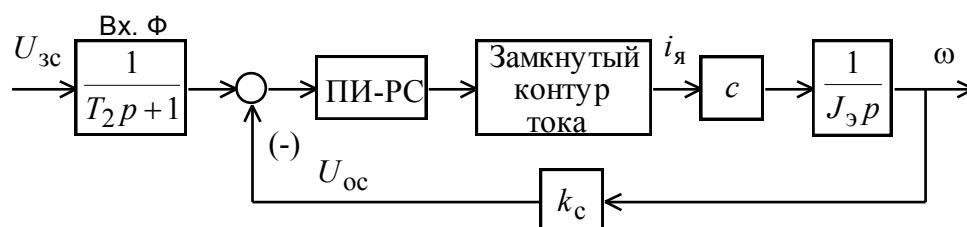


Рисунок 5.3 - Структурная схема линейризованного контура скорости при оптимизации на СО с фильтром на входе

Контур скорости настраиваем на симметричный оптимум (СО). С учетом параметров контура выбираем ПИ – регулятор с передаточной функцией

$$W_{pc}(p) = k_{pc} \cdot \frac{T_{pc} \cdot p + 1}{T_{pc} \cdot p},$$

где

$$k_{pc} = \frac{J_{\Sigma} \cdot k_T}{c \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T}} = \frac{0,058 \cdot 0,048}{1,24 \cdot 0,1114} \cdot \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 3$$

-коэффициент усиления регулятора скорости;

$$k_c = \frac{U_{\Sigma c. \max}}{\omega_{\Sigma n. \max}} = \frac{7}{62.83} = 0,1114 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}},$$

- коэффициент обратной связи по скорости;

$U_{\Sigma c} = 7 \text{ В}$, -максимальное напряжение задания на скорость;

$a_n = 2, b_n = 2$ – коэффициенты оптимизации контура скорости по СО;

$$T_{\mu c} = a_T \cdot T_{\mu T} = 2 \cdot 0,00167 = 0,00334 \text{ с},$$

- малая постоянная времени контура;

$$T_2 = T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,00167 = 0,01336 \text{ с},$$

- большая постоянная времени контура, постоянная времени фильтра.

Передаточная функция замкнутого контура скорости с фильтром на входе

$$W_{pc. \text{зам}}^{cf}(p) = \frac{1/k_c}{b_c \cdot a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} p \cdot \left\{ a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p \left[a_T \cdot T_{\mu T} p \cdot (T_{\mu T} p + 1) + 1 \right] + 1 \right\} + 1}$$

Ожидаемые показатели качества работы контура скорости, настроенного на симметричный оптимум (с фильтром на входе) сведены в таблицу 5.2

Таблица 5.2 - Ожидаемые показатели качества работы контура скорости, настроенного на СО

Перерегулирование	$\sigma, \%$	6,2
Время первого согласования	$t_{py1}^{(5)}, \text{с}$	$13,6 \cdot T_{\mu T} = 13,6 \cdot 0,00167 = 0,0227$
Время переходного процесса при обработке ступенчатого управляющего задания	$t_{py2}^{(5)}, \text{с}$	$20,3 \cdot T_{\mu T} = 20,3 \cdot 0,00167 = 0,0339$
Полоса пропускания по модулю	$\omega_n^{(m)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\frac{0,284}{T_{\mu T}} = \frac{0,284}{0,00167} = 170,059$
Полоса пропускания по фазе	$\omega_n^{(\phi)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\frac{0,18}{T_{\mu T}} = \frac{0,18}{0,00167} = 107,784$

$$f_n^{(m)} = \frac{\omega_n^{(m)}}{2 \cdot \pi} = \frac{170,059}{2 \cdot \pi} = 27,066 \text{ Гц};$$

$$f_n^{(\phi)} = \frac{\omega_n^{(\phi)}}{2 \cdot \pi} = \frac{107,784}{2 \cdot \pi} = 17,154 \text{ Гц}.$$

5.2.3 Оптимизация контура положения

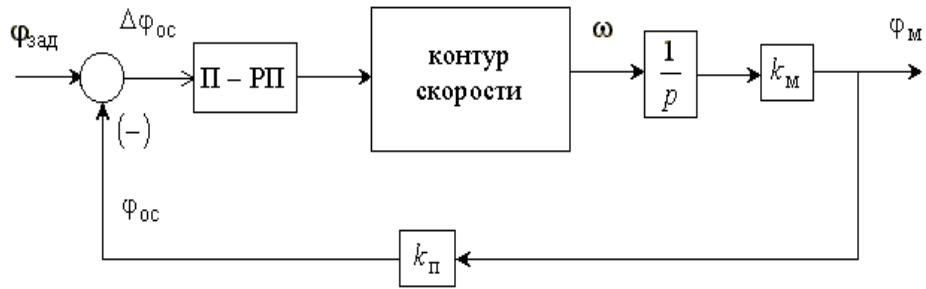


Рисунок 5.4 - Структурная схема контура положения

Контур положения настраивается на модульный оптимум, а замкнутый контур скорости входит в него с фильтром.

С учетом параметров контура выбираем П – регулятор с передаточной функцией

$$W_{\text{рп}}(p) = k_{\text{рп}},$$

$$k_{\text{рп}} = \frac{k_c}{k_m \cdot k_n \cdot a_n \cdot T_{\mu n}} = \frac{0,1114}{1591,55 \cdot 0,463 \cdot 2 \cdot 0,01336} = 0,00558 - \text{коэффициент уси-}$$

ления;

$$T_{\mu n} = b_c \cdot a_c \cdot a_m \cdot T_{\mu m} = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,00167 = 0,01336 \text{ с} - \text{малая постоянная времени ре-}$$

гулятора;

$$k_m = 1591,55 \text{ мкм./рад} - \text{коэффициент передачи механизма};$$

$$k_{\text{дн}} = \frac{n_{\text{дн}}}{360 \cdot 60} = \frac{2500}{360 \cdot 60} = 0,11574 \frac{\text{дискрет}}{\text{угл.мин}} - \text{коэффициент передачи импульс-}$$

ного датчика положения установленного на выходном валу механизма;

$$k_{\text{он}} = \frac{k_n}{k_{\text{дн}}} = \frac{0,463}{0,1157} = 4 \frac{\text{мкм}}{\text{дискр}} - \text{коэффициент усиления обратной связи контура}$$

положения;

$$k_n = \frac{10000}{360 \cdot 60} = 0,463 \frac{\text{мкм}}{\text{угл.мин}} - \text{коэффициент обратной связи контура по}$$

положению;

$$n_{\text{дн}} = 2500 - \text{число импульсов датчика на оборот выходного вала};$$

$$a_n = 2 - \text{коэффициент оптимизации контура положения по МО.}$$

5.3 Расчет частотных характеристик

Логарифмические частотные характеристики контура пути рассчитаем и построим на основании приведённых ниже выражений передаточных функций с использованием программы расчёта MathCad.

Передаточная функция разомкнутого контура положения:

$$\begin{aligned}
 W_{pn.раз}(p) &= \frac{1}{a_n a_c a_m b_c \cdot T_{\mu m} p \cdot \left\{ a_c \cdot a_m \cdot b_c \cdot T_{\mu m} \cdot p \cdot \left[a_m \cdot T_{\mu m} \cdot p \cdot (T_{\mu m} \cdot p + 1) + 1 \right] + 1 \right\}} = \\
 &= \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,00167 \cdot p \cdot \left\{ 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,00167 \cdot p \cdot \left[2 \cdot 0,00167 \cdot p \cdot (0,00167 \cdot p + 1) + 1 \right] + 1 \right\}} = \\
 &= \frac{1}{1,97 \cdot 10^{-9} \cdot p^4 + 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot p^3 + 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot p^2 + 0,026672 \cdot p} ;
 \end{aligned}$$

Передаточная функция замкнутого контура положения:

$$\begin{aligned}
 W_{pn.замк}(p) &= \frac{1/k_n}{a_n a_c a_m b_c \cdot T_{\mu m} p \cdot \left\{ a_c \cdot a_m \cdot b_c \cdot T_{\mu m} \cdot p \cdot \left[a_m \cdot T_{\mu m} \cdot p \cdot (T_{\mu m} \cdot p + 1) + 1 \right] + 1 \right\} + 1} = \\
 &= \frac{1/0,463}{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,00167 p \cdot \left\{ 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,00167 \cdot p \cdot \left[2 \cdot 0,00167 p \cdot (0,00167 \cdot p + 1) + 1 \right] + 1 \right\} + 1} = \\
 &= \frac{2,16}{1,97 \cdot 10^{-9} \cdot p^4 + 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot p^3 + 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot p^2 + 0,026672 \cdot p + 1} .
 \end{aligned}$$

ЛАЧХ разомкнутого и замкнутого контура пути приведены на рисунках

5.5 и 5.6 соответственно.

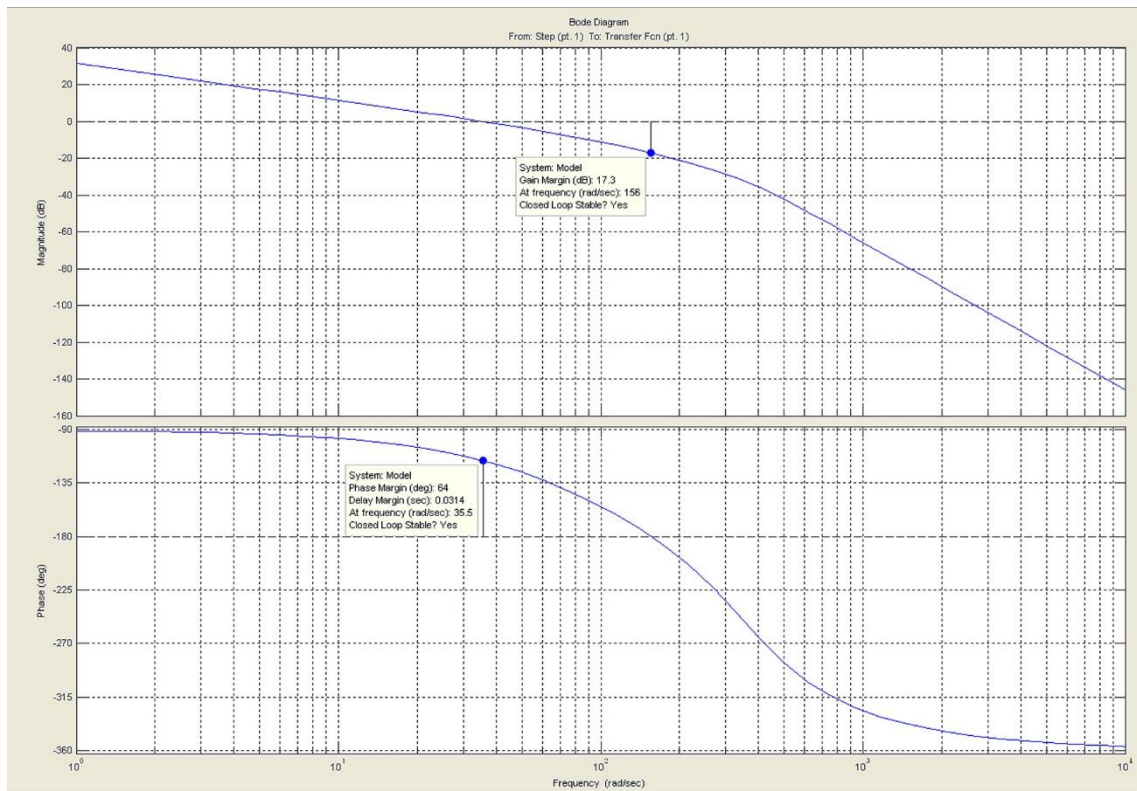


Рисунок 5.5 - ЛАЧХ разомкнутого контура. Запас устойчивости разомкнутой САУ: по фазе 64 град; по модулю $\Delta L=17,3$ дБ.

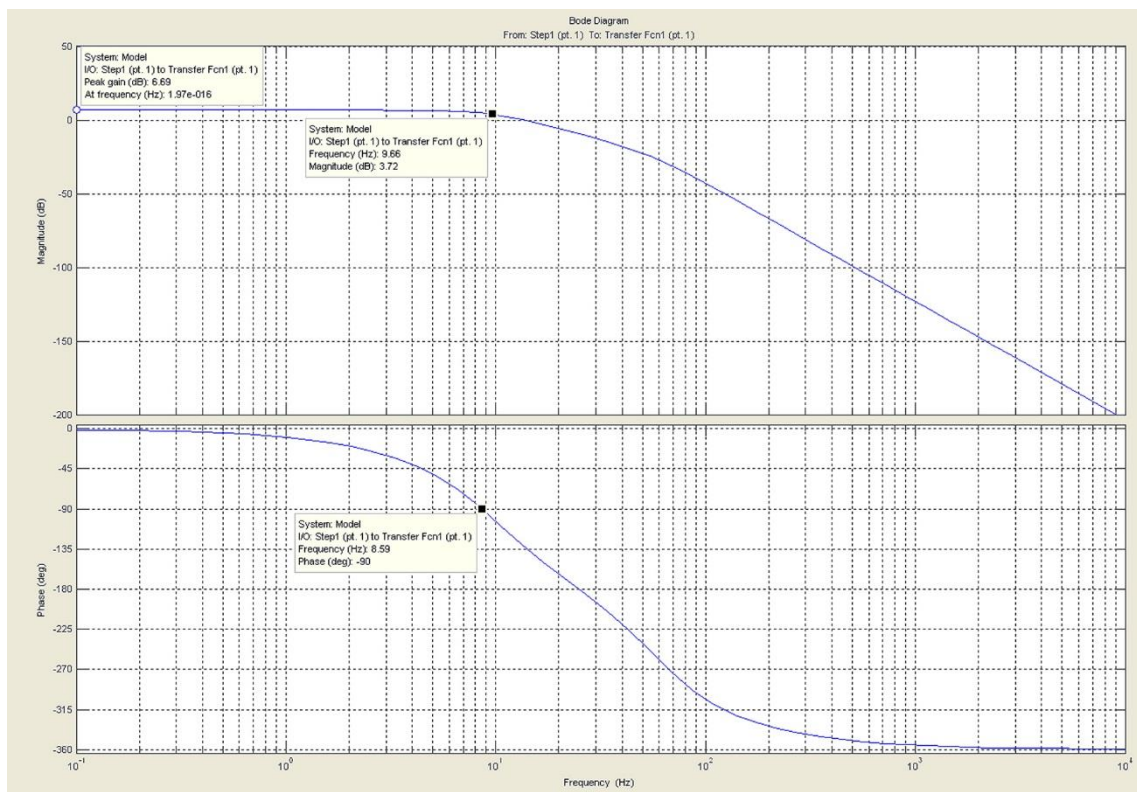


Рисунок 5.6 - ЛАЧХ замкнутого контура. Полоса пропускания замкнутой САУ: по фазе $f_n^\Phi = 8,59$ Гц; по модулю $f_n^M = 9,66$ Гц

Анализ частотных характеристик показывает, что электропривод обеспечивает требуемые запасы устойчивости и полосу пропускания.

5.4 Определение ожидаемых показателей качества работы СЭП

Показатели переходного процесса при отработке СЭП ступенчатого управляющего воздействия по пути зависят от типа регулятора положения и точки настройки. Их значения в относительных единицах приведены в [1, стр.78], там же указаны значения полосы пропускания замкнутого контура положения и добротности СЭП. Рассчитаем ожидаемые показатели качества.

Ожидаемые показатели качества работы контура положения, настроенного на модульный оптимум сведены в таблицу 5.3

Таблица 5.3 - Ожидаемые показатели качества работы контура положения

Перерегулирование	$\sigma, \%$	5,0
Время первого согласования	$t_{py1}^{(5)} \text{ с}$	$30,4 \cdot T_{\mu\Gamma} = 30,4 \cdot 0,00167 = 0,0508$
Время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего задания	$t_{py2}^{(5)} \text{ с}$	$30,4 \cdot T_{\mu\Gamma} = 30,4 \cdot 0,00167 = 0,0508$
Полоса пропускания по модулю	$\omega_{\Pi}^{(M)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\frac{0,139}{T_{\mu\Gamma}} = \frac{0,139}{0,00167} = 83,233$
Полоса пропускания по фазе	$\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\frac{0,09}{T_{\mu\Gamma}} = \frac{0,09}{0,00167} = 53,892$

$$f_{\Pi}^{(M)} = \frac{\omega_{\Pi}^{(M)}}{2 \cdot \pi} = \frac{170,059}{2 \cdot \pi} = 13,25 \text{ Гц};$$

$$f_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{\omega_{\Pi}^{(\Phi)}}{2 \cdot \pi} = \frac{107,784}{2 \cdot \pi} = 8,58 \text{ Гц}.$$

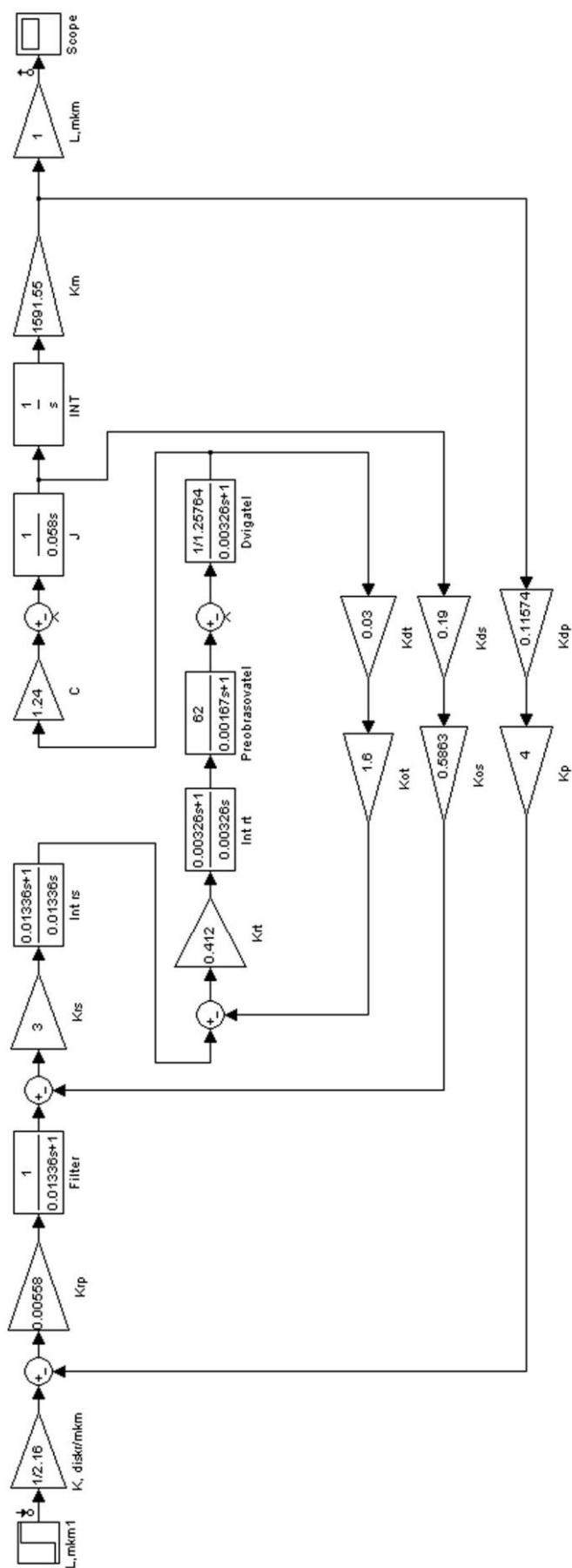


Рисунок 5.7 - Модель контура положения

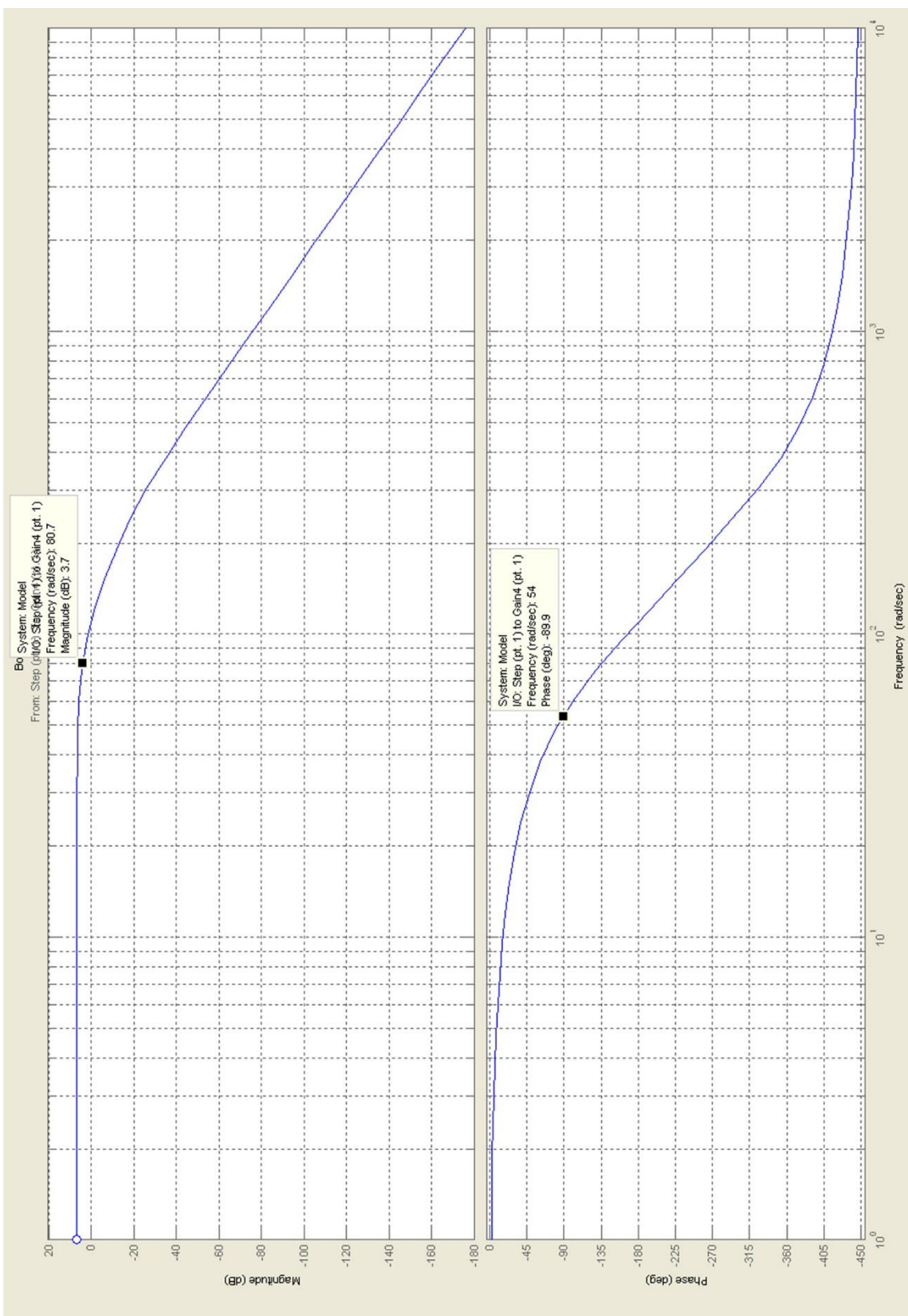


Рисунок 5.8 - Полосы пропускания контура положения

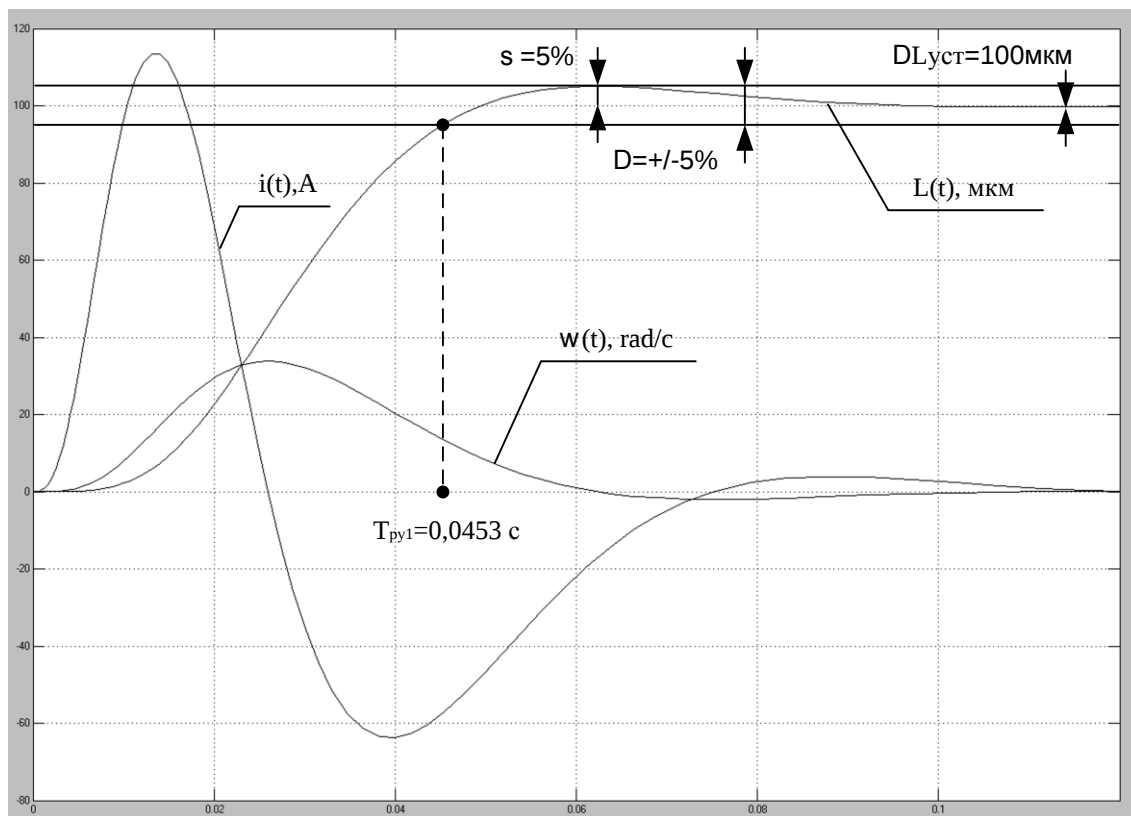


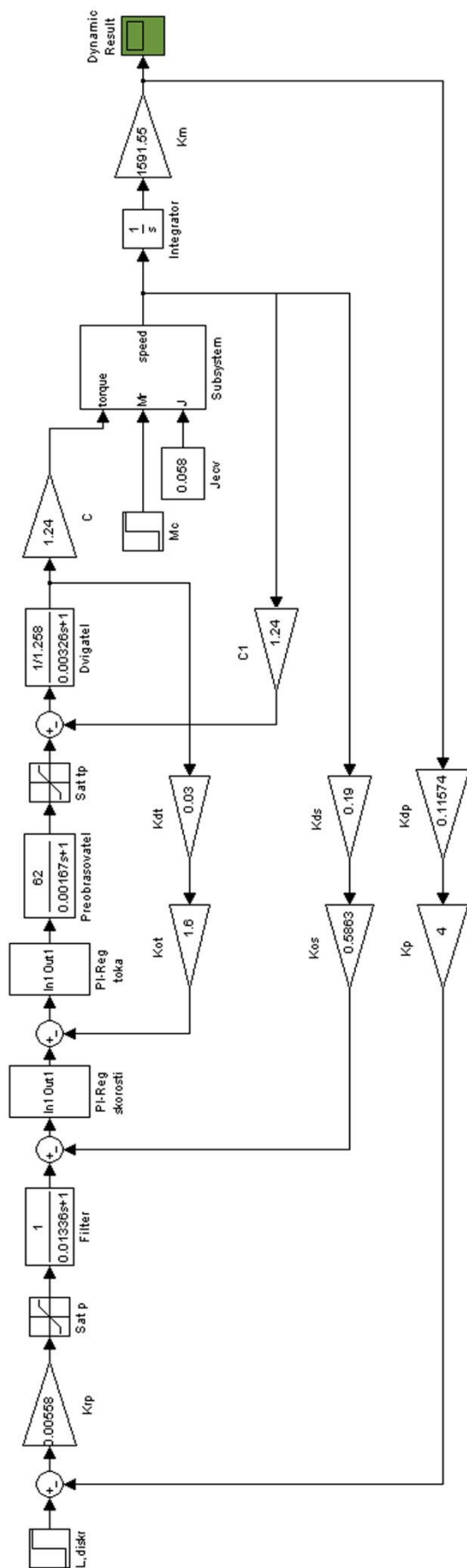
Рисунок 5.9 - Переходные характеристики $i_{\text{я}}(t)$, $\omega(t)$, $L(t)$ линейризованной САУ СЭП при отработке управляющего воздействия $L_{\text{зад}}=100$ мкм

По переходной характеристике $L(t)$ (рис.4.13) были определены следующие показатели:

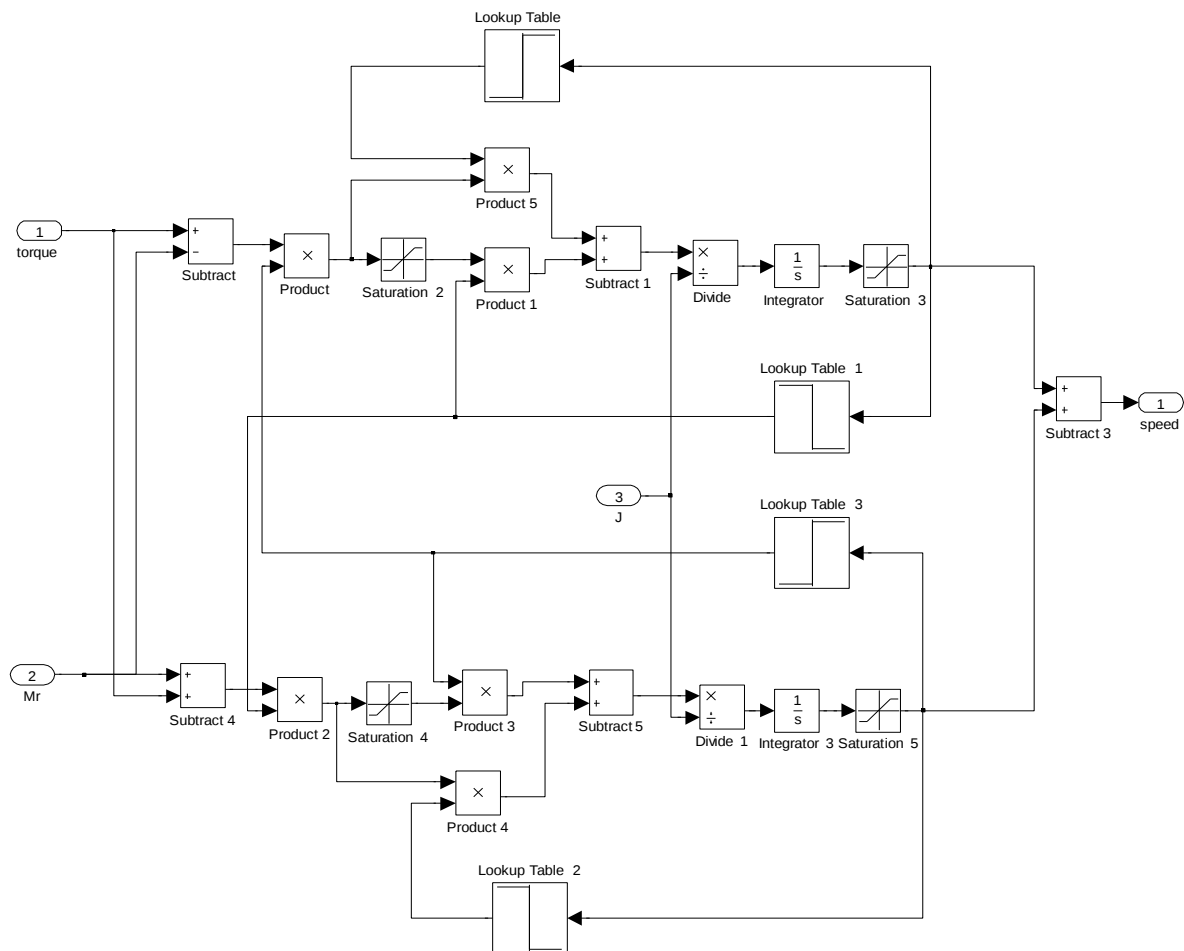
- $t_{\text{пу1}}^{(5)} = 0,0453$ с, - время первого согласования;
- $t_{\text{пу2}}^{(5)} = 0,0453$ с, - время переходного процесса;
- $\sigma = 4,99\%$, - перерегулирование.

Выводы:

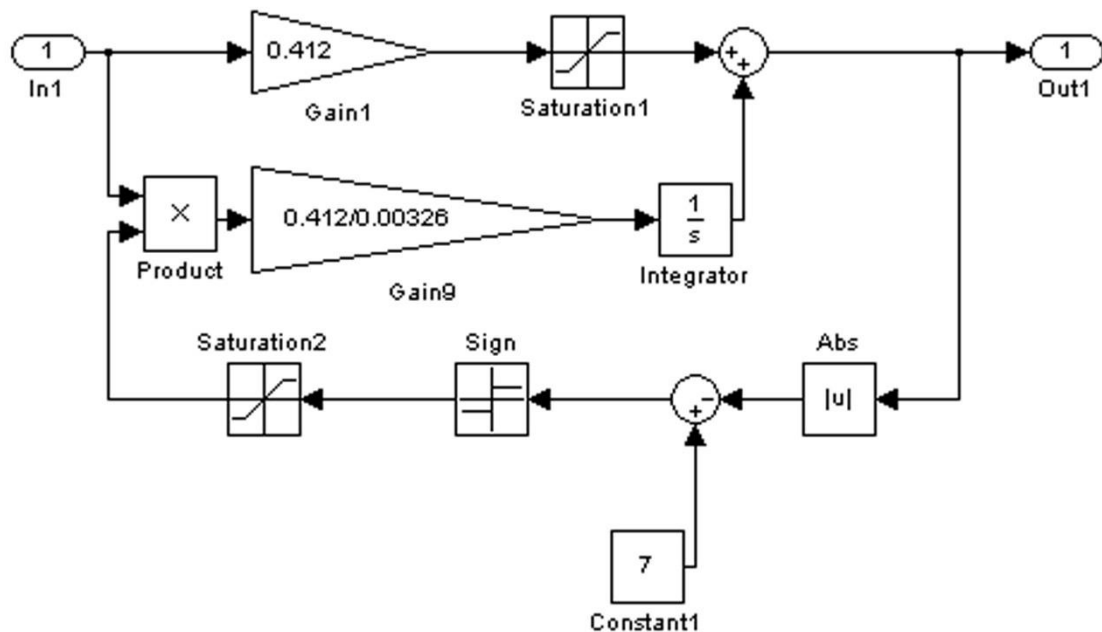
1. Сравнив показатели переходных процессов, полученных на имитационной линейной модели СЭП при работе без нагрузки ($M_c=0$) с ожидаемыми в таблице 5.3, можно сделать вывод, что величина перерегулирования δ и время вхождения ошибки в 5% зону $t_{\text{пу}}$ имеют незначительные расхождения и объясняются учетом постоянной времени тиристорного преобразователя при моделировании.



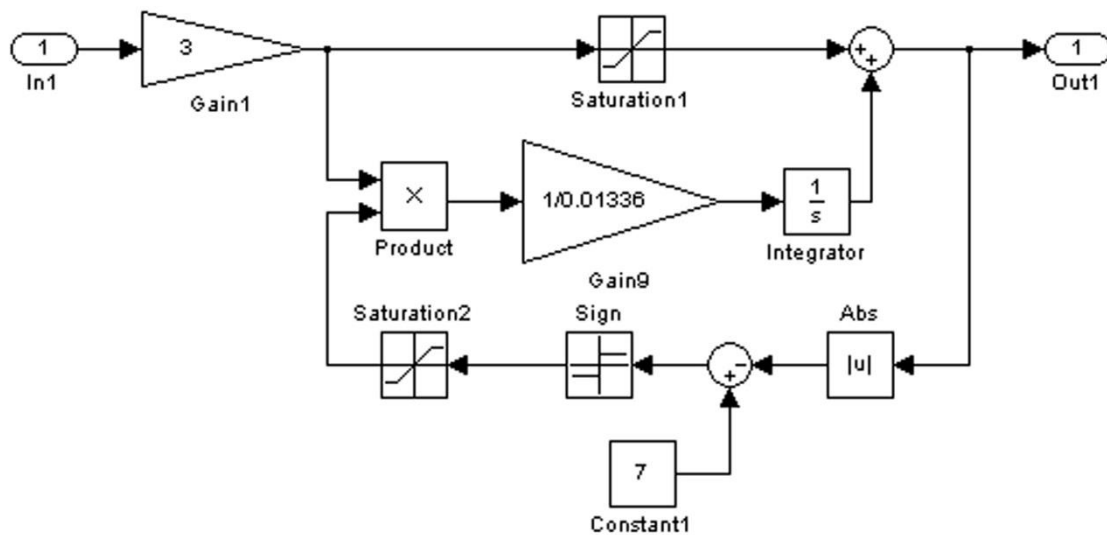
а) Имитационная модель нелинейной системы



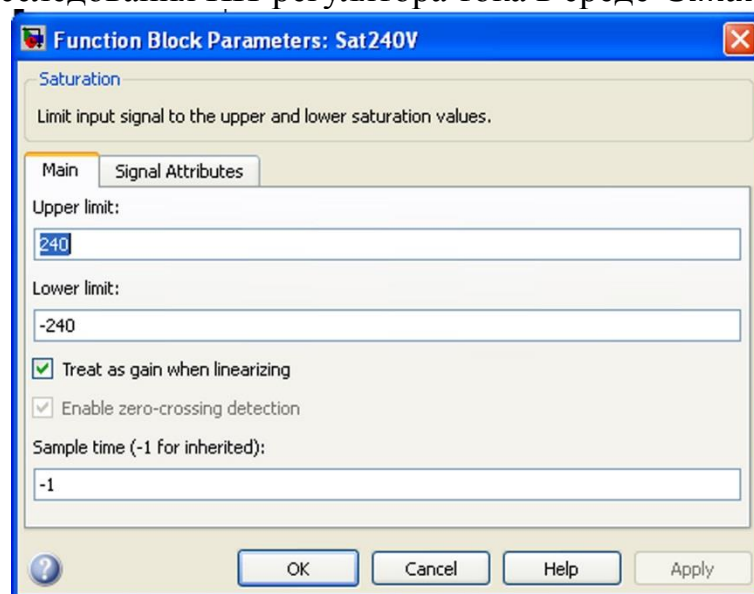
б) Reactive torque - имитационная модель нелинейности типа «сухое трение» для исследования реактивной нагрузки в среде *Simulink*



в) имитационная модель нелинейности типа «насыщение» для исследования ПИ-регулятора скорости в среде *Simulink*



г) имитационная модель нелинейности типа «насыщение» для исследования ПИ-регулятора тока в среде *Simulink*



д) параметры насыщения тиристорного преобразователя
Рисунок 6.2 - Модель нелинейного следящего электропривода в среде MatLab

Ввиду того, что в библиотеке стандартных функций среды MatLab/Simulink нет передаточных функций нелинейного ПИ-регулятора, была разработана модель регулятора (см. рис. 6.2в), особенностью которой является раздельное ограничение пропорциональной и интегральной составляющей. При подаче входного сигнала происходит скачкообразное изменение значения пропорциональной составляющей выходного сигнала. После этого интегральная составляющая, в свою очередь, продолжает расти до наступления насыщения регулятора или заданного выходного значения.

Ограничение выходного сигнала по каналу пропорционального регулятора положения и насыщения тиристорного преобразователя показано на рисунке 6.2г.

6.3 Исследование на имитационной модели нелинейной САУ СЭП

6.3.1 Отработка малых перемещений

При отработке малых перемещений координаты СЭП не достигают ограничений, т.е. соответствующие динамические звенья не входят в состояние насыщения. На вход модели СЭП подаем скачок управляющего воздействия $\varphi_{\text{зад}} = 100$ угл.мин при нагрузке $M_c = 0$. Снимаем кривые переходных процессов для тока $I(t)$, скорости $\omega(t)$, пути $\varphi(t)$. При выборе $K_n = K_m$ и жесткой кинематической цепи механической системы СЭП и цепи соединения датчика положения.

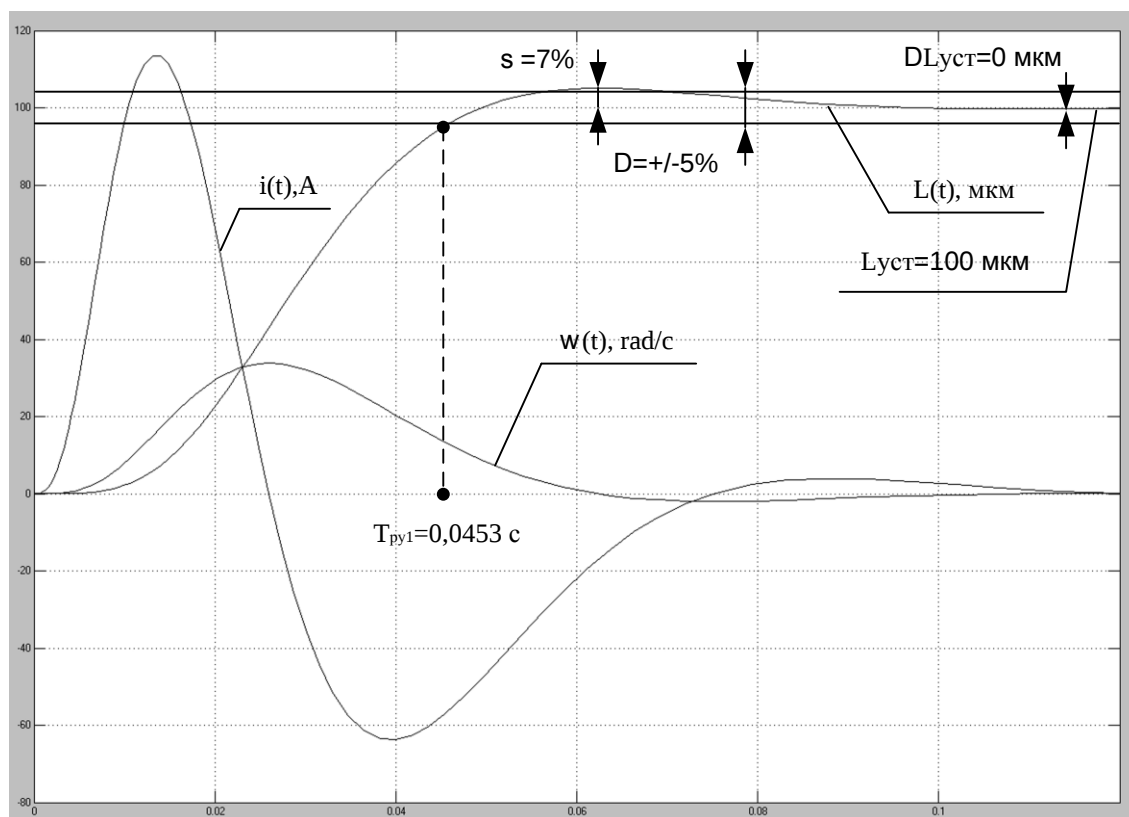


Рисунок 6.3 - Переходный процесс в нелинейном СЭП при отработке скачка управляющего воздействия $L_{\text{зад}} = 100$ мкм при $M_c = 0$

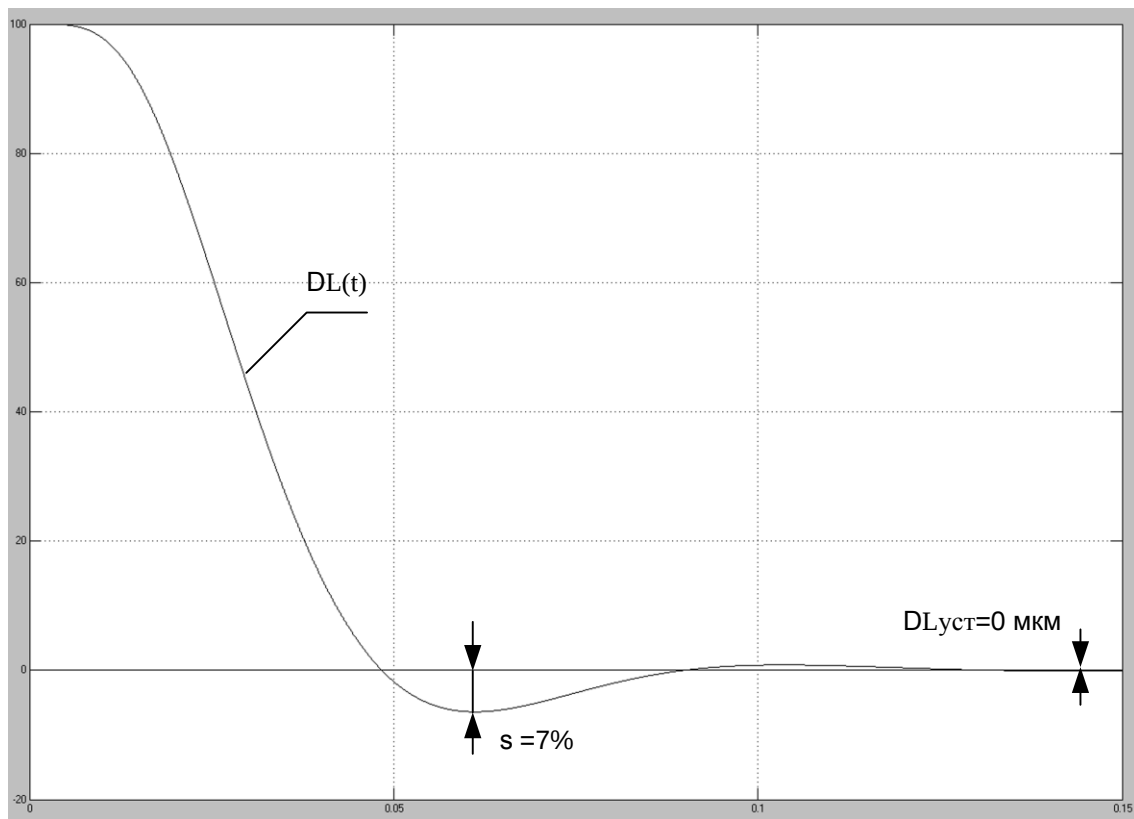


Рисунок 6.4 - Переходная характеристика ошибки положения $DL(t)$ в нелинейном СЭП при отработке скачка управляющего воздействия $L_{\text{зад}}=100$ мкм при $M_c=0$

Анализируя график переходных процессов на рисунке 6.3 и 6.4 можно сделать вывод, что при отработке малых перемещений нелинейная система ведет себя аналогично линейной системе, это объясняется тем, что регуляторы контуров не входят в насыщение.

6.3.2 Отработка средних перемещений

При отработке средних перемещений ток СЭП не достигает своего предельного значения, регулятор скорости находится на границе насыщения. На вход модели подаем скачок $L_{\text{зад}} = 5000$ мкм при $M_c = 0$. Из рисунка 6.5 и 6.6 видно, что процесс отработки сопровождается 2,7% перерегулированием, а время переходного процесса зависит от величины заданного перемещения.

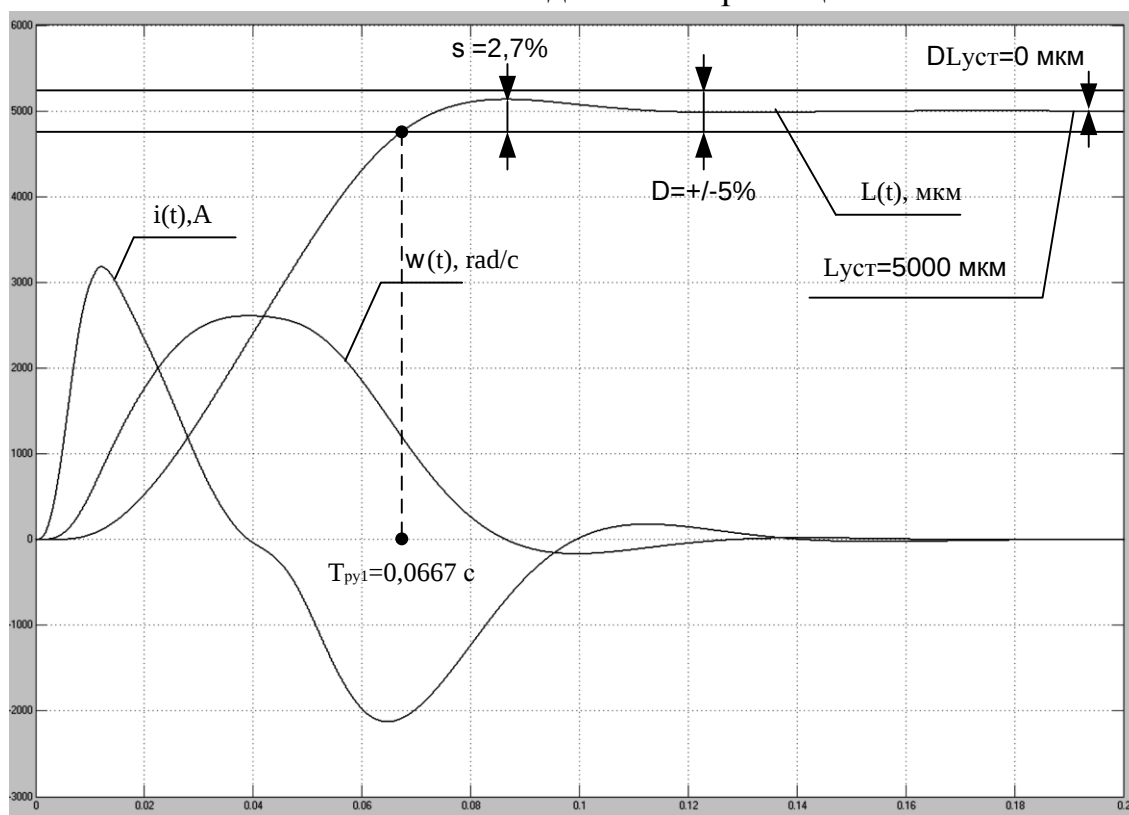


Рисунок 6.5 - Отработка управляющего воздействия $L_{\text{зад}} = 5000$ мкм в нелинейной САУ СЭП при $M_c = 0$

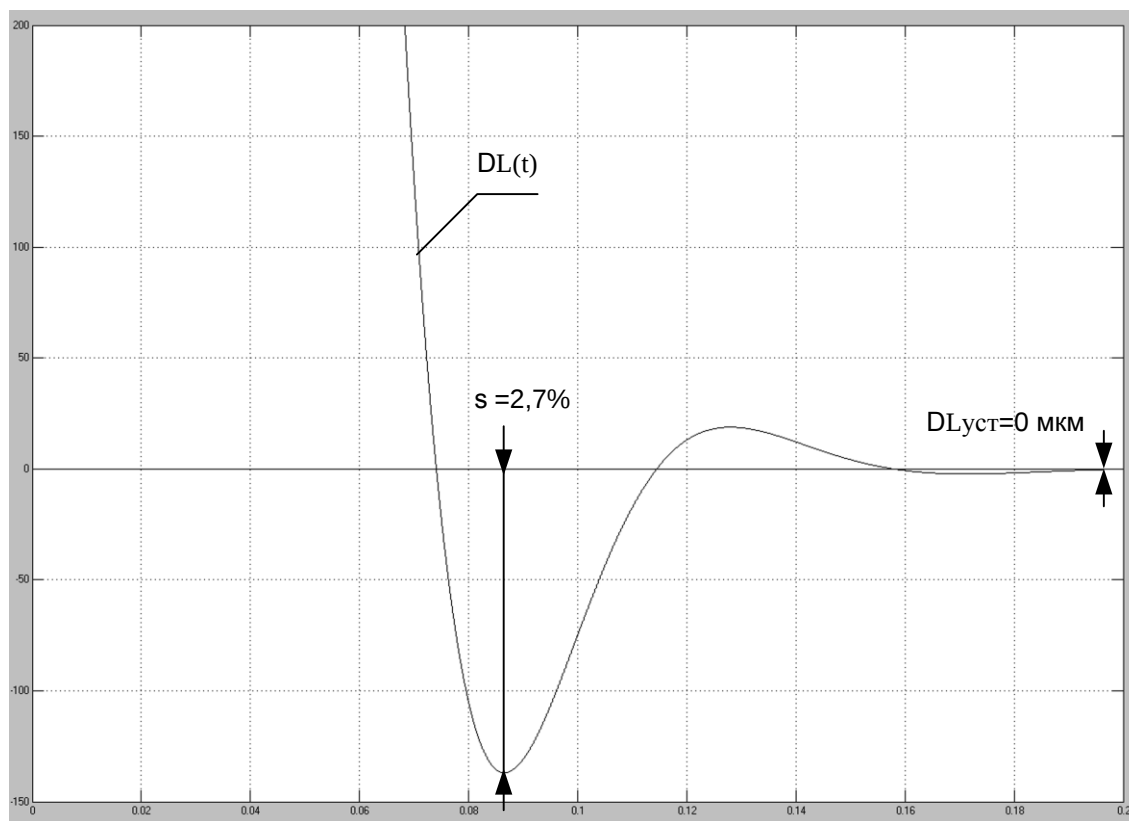


Рисунок 6.6 - Переходная характеристика ошибки положения $DL(t)$ в нелинейном СЭП при отработке скачка управляющего воздействия $L_{\text{зад}}=5000$ мкм при $M_c=0$.

6.3.3 Отработка больших перемещений

При отработке больших перемещений ток СЭП не достигает своего предельного значения, а регулятор скорости входит в насыщение. На вход модели подаем скачок $L_{\text{зад}}=10000$ мкм при $M_c=0$. Из рисунка 6.7 и 6.8 видно, что процесс отработки сопровождается 1,35 % перерегулированием, а время переходного процесса зависит от величины заданного перемещения.

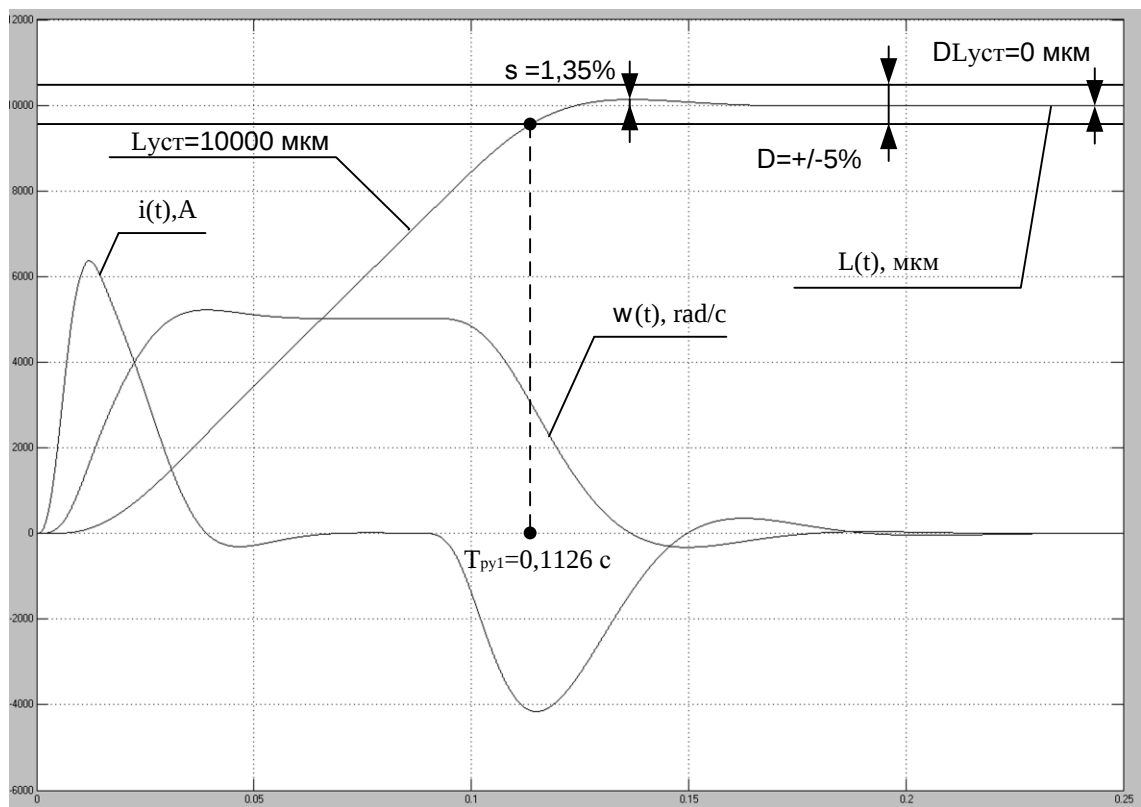


Рисунок 6.7 - Отработка управляющего воздействия $L_{\text{зад}}=10000$ мкм в нелинейной САУ СЭП при $M_c=0$

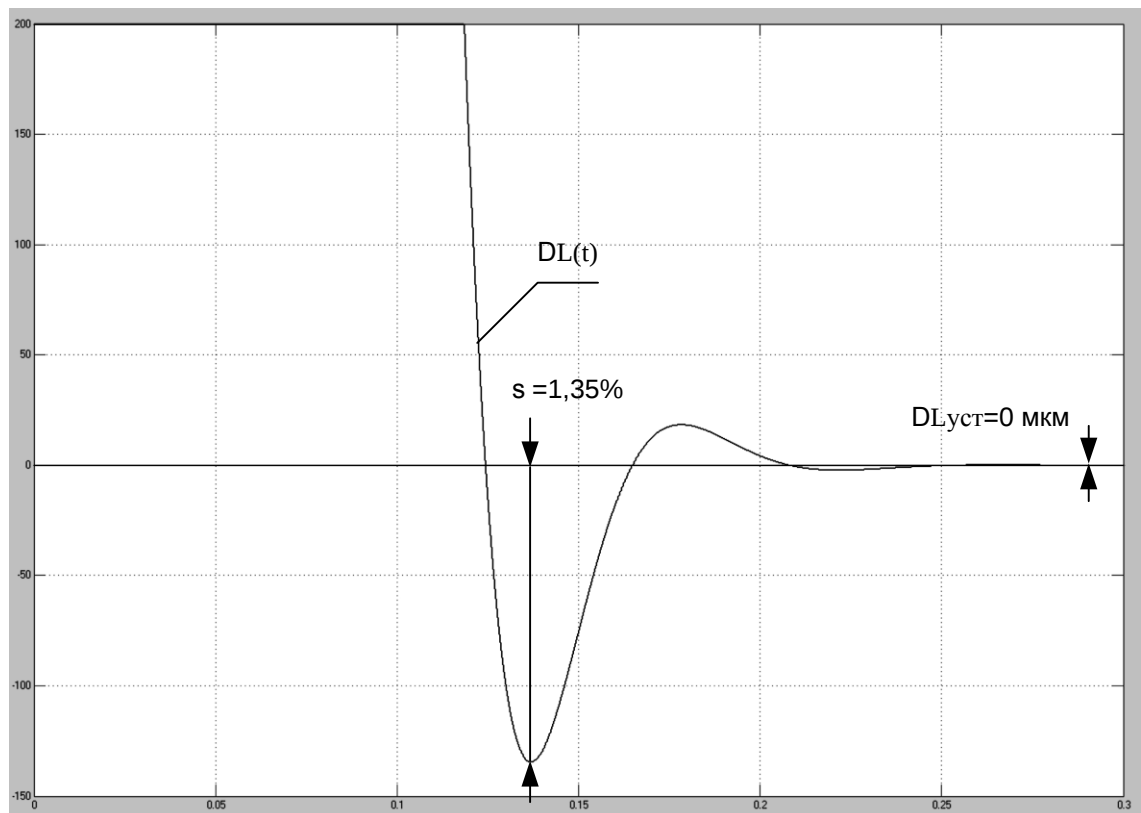


Рисунок 6.8 - Переходная характеристика ошибки $DL(t)$ в нелинейном СЭП при отработке скачка управляющего воздействия $L_{\text{зад}}=10000$ мкм при $M_c=0$

Из графиков переходных процессов видно, что при различных заданиях величина перерегулирования не выходит за 5% предел. С целью устранения перерегулирования контура положения при отработке всех видов перемещений применяют

настройку на линейный оптимум. Для этого необходима величину коэффициента

$$\text{усиления контура положения уменьшить в два раза } k_{pn.ло} = \frac{K_{pn}}{2} = \frac{0.00558}{2} = 0,00279$$

На рисунках 6.9 - 6.12 приведены кривые переходных процессов СЭП с регулятором положения настроенным на линейный оптимум при отработке малых ($L_{зад} = 100$ мкм), средних ($L_{зад} = 5000$ мкм) и больших ($L_{зад} = 10000$ мкм и 100000 мкм) перемещений, из которых видно, что отработка перемещений происходит без перерегулирования, а время переходного процесса увеличивается для малых и средних перемещений в 2 раза, а для больших в полтора. Однако для реальной работы станка это увеличение не играет сколь ни будь значительной роли, а отсутствие перерегулирования обеспечивает заданную точность станка 5 мкм.

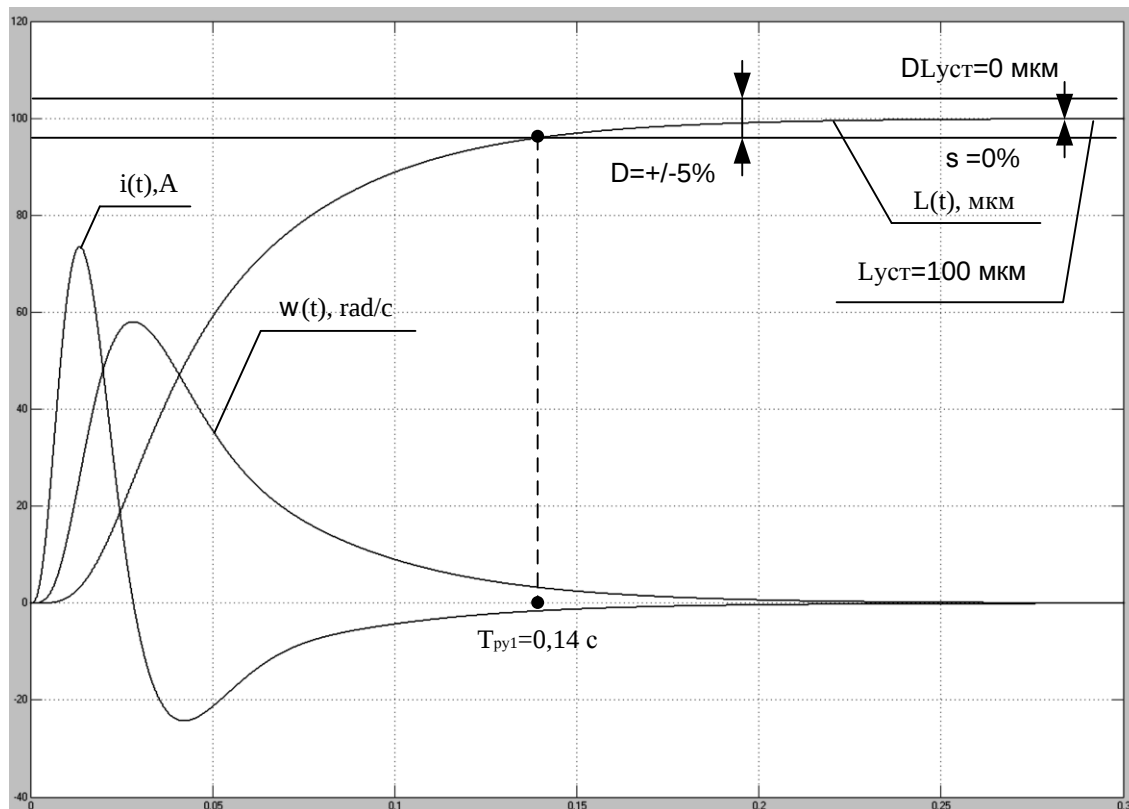


Рисунок 6.9 - Переходные процессы в нелинейном СЭП при отработке скачка управляющего воздействия $L_{зад} = 100$ мкм при $M_c = 0$

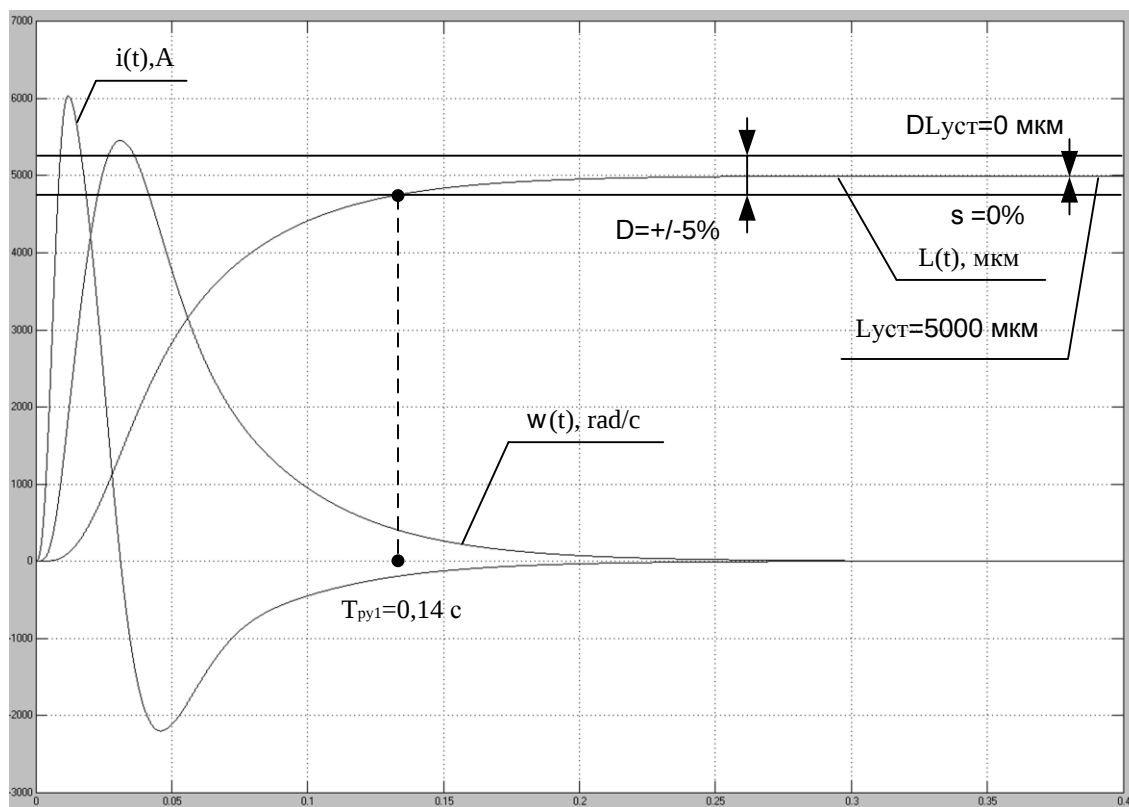


Рисунок 6.10 - Переходные процессы в нелинейном СЭП при отработке скачка управляющего воздействия $L_{\text{зад}}=5000$ мкм при $M_c=0$

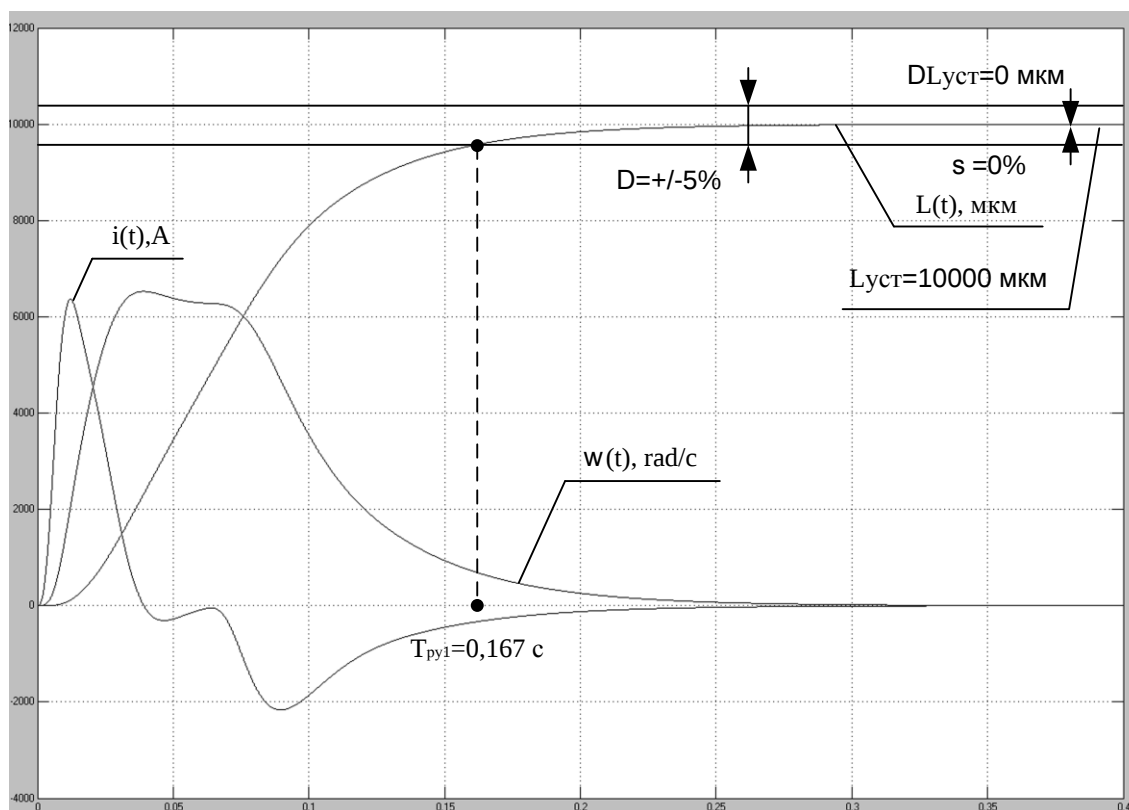


Рисунок 6.11 - Переходные процессы в нелинейном СЭП при отработке скачка управляющего воздействия $L_{\text{зад}}=10000$ мкм при $M_c=0$

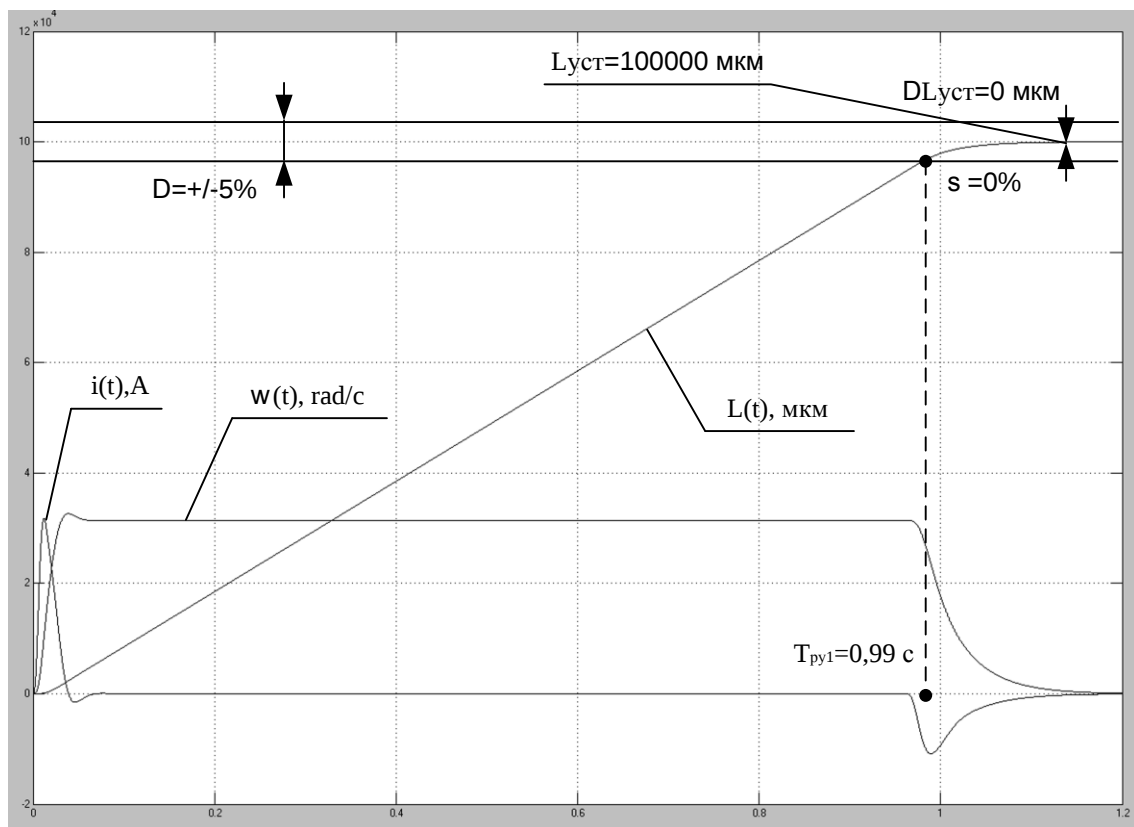


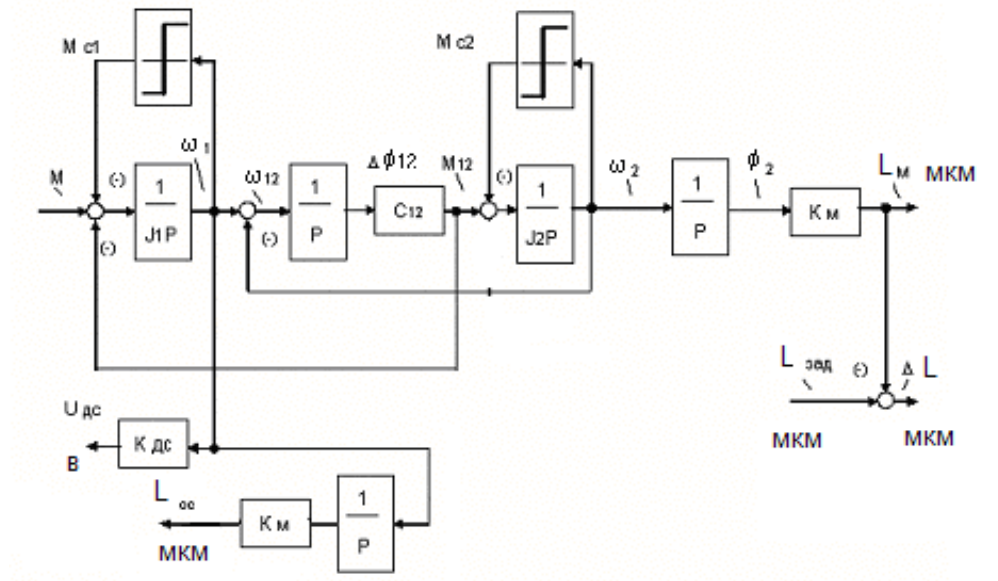
Рисунок 6.12 - Переходные процессы в нелинейном СЭП при отработке скачка управляющего воздействия $L_{\text{зад}} = 100000 \text{ мкм}$ при $M_c = 0$

Из графиков видно, что настройка регулятора положения на линейный оптимум влияние на быстродействие системы, и отсутствие перерегулирование по сравнению с системой содержащей линейный регулятор положения настроенный на модульный оптимум.

7 Исследование САУ СЭП с учетом упругости в двухмассовой механической системы

Структурная схема механической системы электропривода представлена на рисунке 7.1 и построена в соответствии структурной схемой, приведенной на рисунке 3.2.

Влияние упругости механической части СЭП исследовалось на имитационной модели нелинейной САУ СЭП в соответствии со структурными схемами рисунков 6.1 и 7.1 и регулятором положения настроенного на линейный оптимум с помощью программы *SIMULINK* представлена на рисунке 7.2.



Структурная схема двухмассовой механической системы СЭП

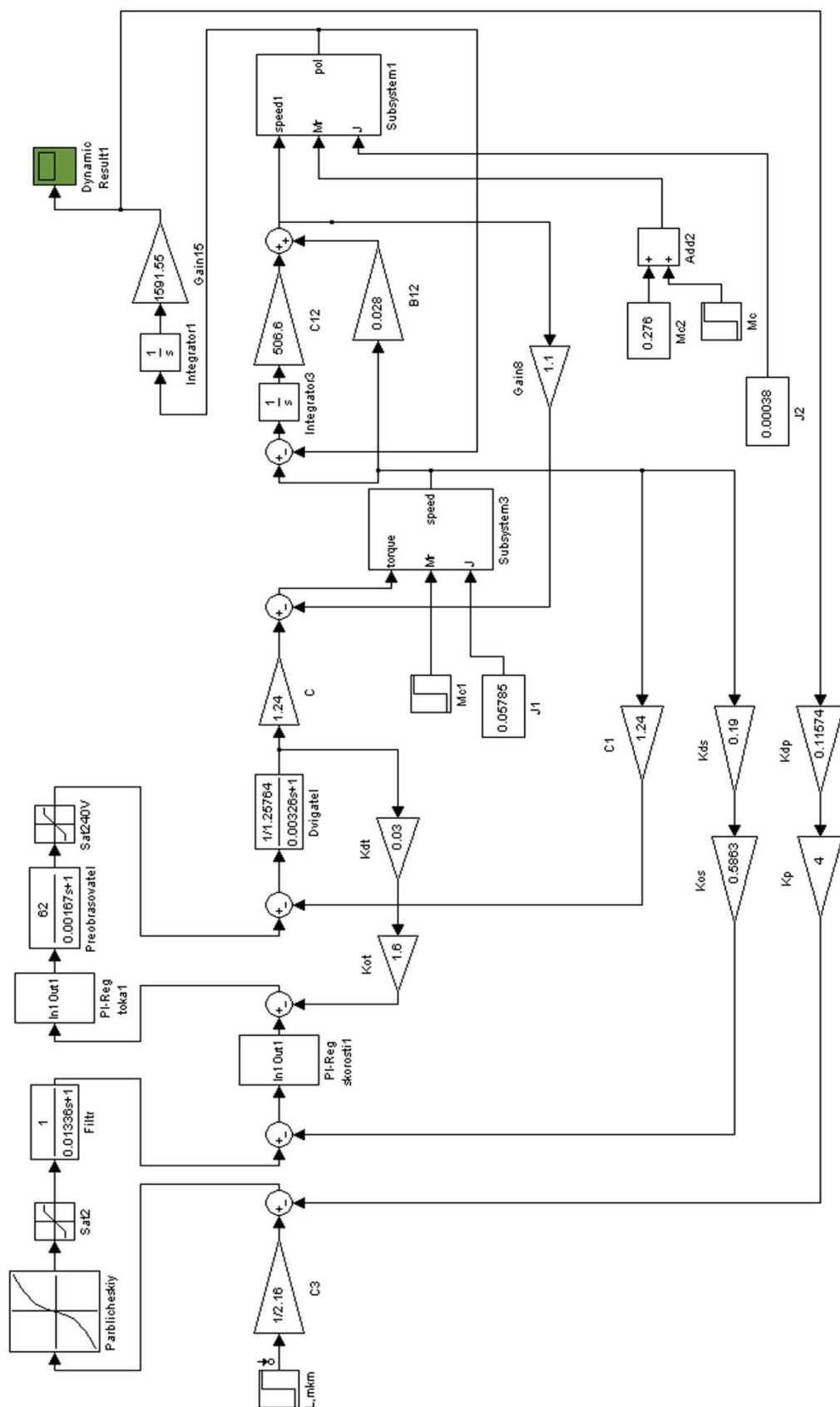


Рисунок 7.2 – Модель нелинейной САУ СЭП с двухмассовой механической моделью механической системы

В качестве примера рассмотрим обработку САУ СЭП с упругой механической системой перемещений $L_{зад} = 100$ мкм, $L_{зад} = 5000$ мкм, $L_{зад} = 10000$ мкм. Кривые переходных процессов приведены на рисунках 7.3 - 7.7, анализ которых позволяет сделать следующие выводы:

1. В системе имеют место колебания с периодом $T_{12} = 0,0055$ с и частотой $f_{12} = \omega_{12}/2\pi = 184,35$ Гц (рис.7.5-7.7), что соответствует частоте свободных колебаний двухмассовой механической системы

$$\Omega_{12} = \sqrt{\frac{C_{12} \cdot (J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2}} = \sqrt{\frac{506,6 \cdot (0,05785 + 0,00038)}{0,05785 \cdot 0,00038}} = 1158,4 \text{ с}^{-1}.$$

Так как для рассматриваемого СЭП отношение

$$\frac{\omega_{12}}{f_{н.сэп}^{(\phi)} \cdot 2 \cdot \pi} = \frac{1158,4}{8,577 \cdot 2 \cdot 3,14} = 21,5$$

достаточно велико, влияние упругих колебаний двухмассовой системы несущественно. В противном случае необходимо принять меры к подавлению в контуре положения колебаний на частоте $f_{12} = 184,35$ Гц.

2. СЭП с двухмассовой механической системой и датчиком положения, установленным на валу электродвигателя, теоретически без ошибки должно отрабатывать заданное положение вала двигателя (оси первой массы) $\Delta L_{ос} = 0$ и с установившейся ошибкой $\Delta L_{уст} \neq 0$ положение выходного вала. Максимальное значение установившейся ошибки электропривода равно

$$\Delta L_{уст} = \pm \frac{(M_{тр} + M_{с.нагр.ном})}{c_{\phi 12}} \cdot k_m = \pm \frac{(10,82 + 31,83)}{506,6} \cdot 1591,55 = \pm 134 \text{ мкм}.$$

Из рисунка 11.3 видно, что установившаяся ошибка равна

$\Delta L_{уст} = 125$ мкм, что не удовлетворяет требованиям технического задания: $\Delta L_{зад} \leq 5$ мкм.

3. Таким образом, при жесткости передачи $c_{12} = 506,6$ Нм/рад датчик положения нельзя устанавливать на валу двигателя без потери заданной точности привода подачи.

4. Очевидно, что для устранения установившейся ошибки работы СЭП с упругой механической системой датчик положения следует ставить на выходном механизме. В этом случае, как видно из рисунка 7.4, установившаяся ошибка равна нулю, но и время ликвидации ее занимает относительно большое время.

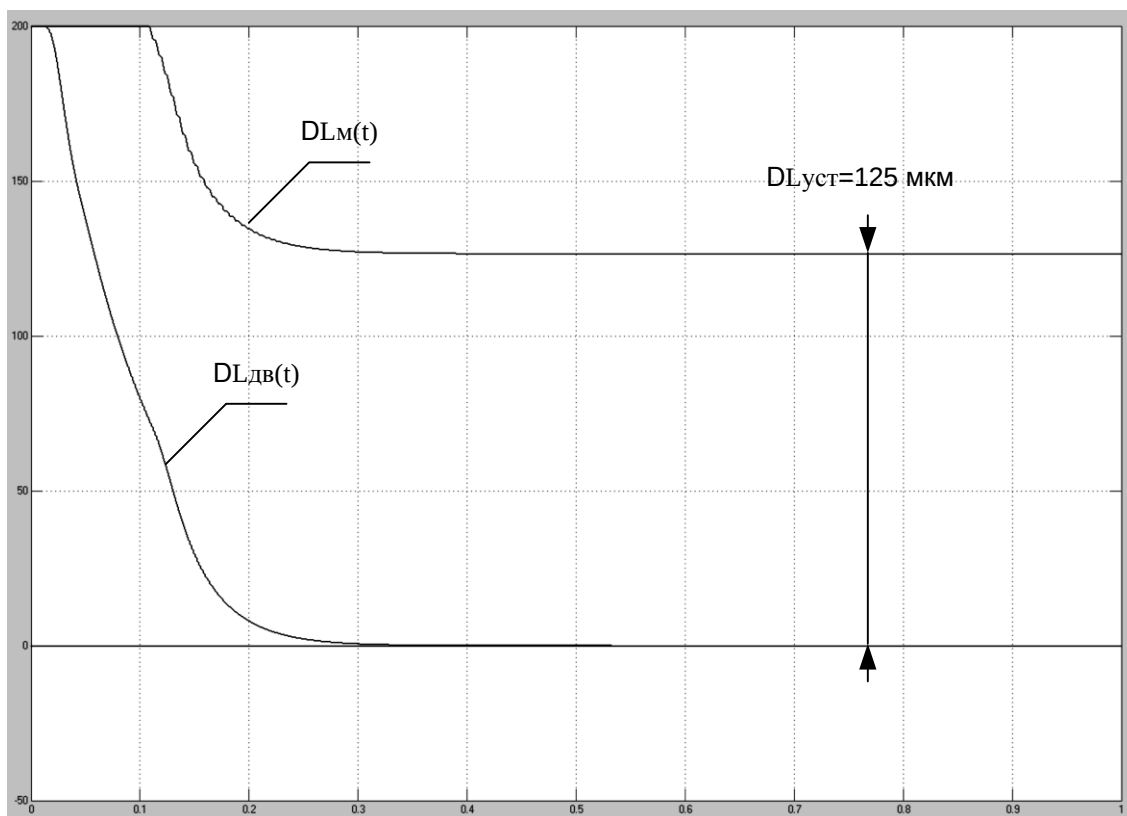


Рисунок 7.3 - Датчик на валу двигателя. Кривые переходных процессов сигнала рассогласования в нелинейном СЭП с П-регулятором положения и двухмассовой механической системой при отработке скачка управляющего воздействия $L_{зад} = 200 \text{ мкм}$ при $M_{c1}=10,82 \text{ Нм}$, $M_{c2}=31,83 \text{ Нм}$, $C_{12} = 506,6 \text{ Нм}$

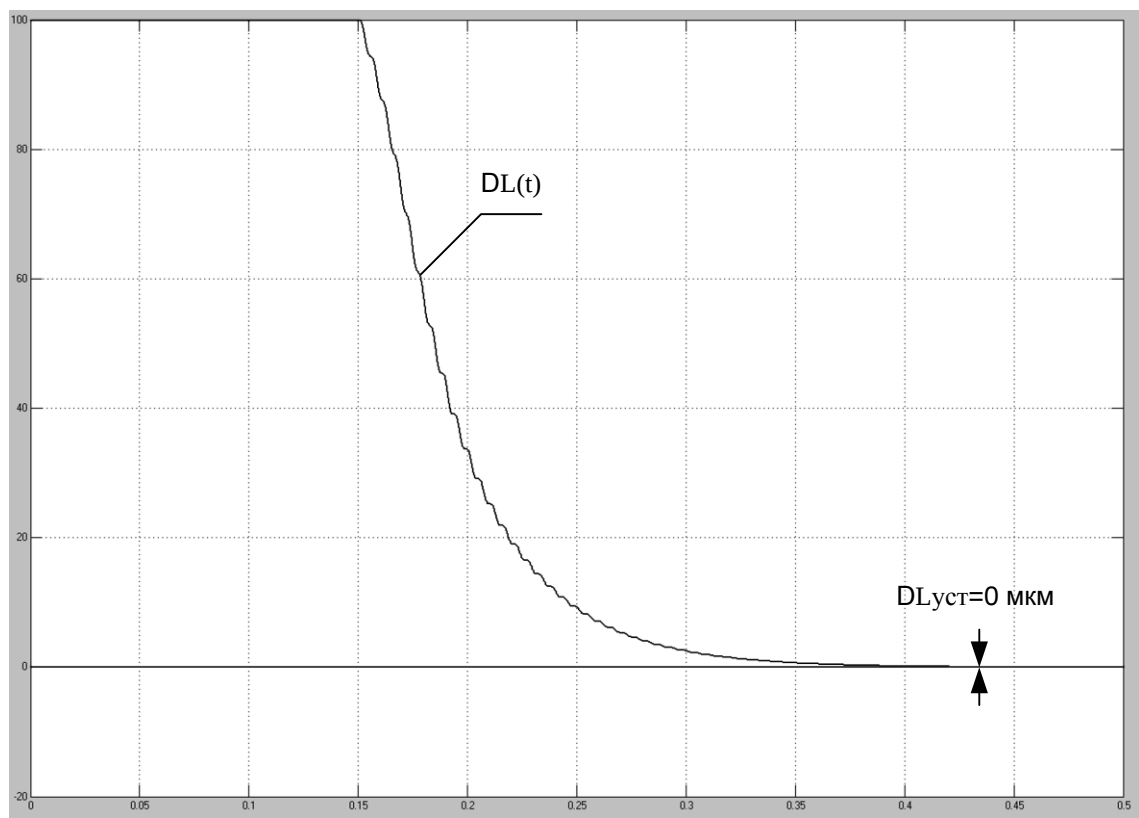


Рисунок 7.4 – Датчик на механизме. Кривые переходных процессов сигнала рас-
согласования в нелинейном СЭП с П-регулятором положения и двухмассовой механи-
ческой системой при отработке скачка управляющего воздействия $L_{зад} = 100 \text{ мкм}$ при
 $M_{c1}=10,82 \text{ Нм}$, $M_{c2}=31,83 \text{ Нм}$, $C_{12} = 506,6 \text{ Нм}$

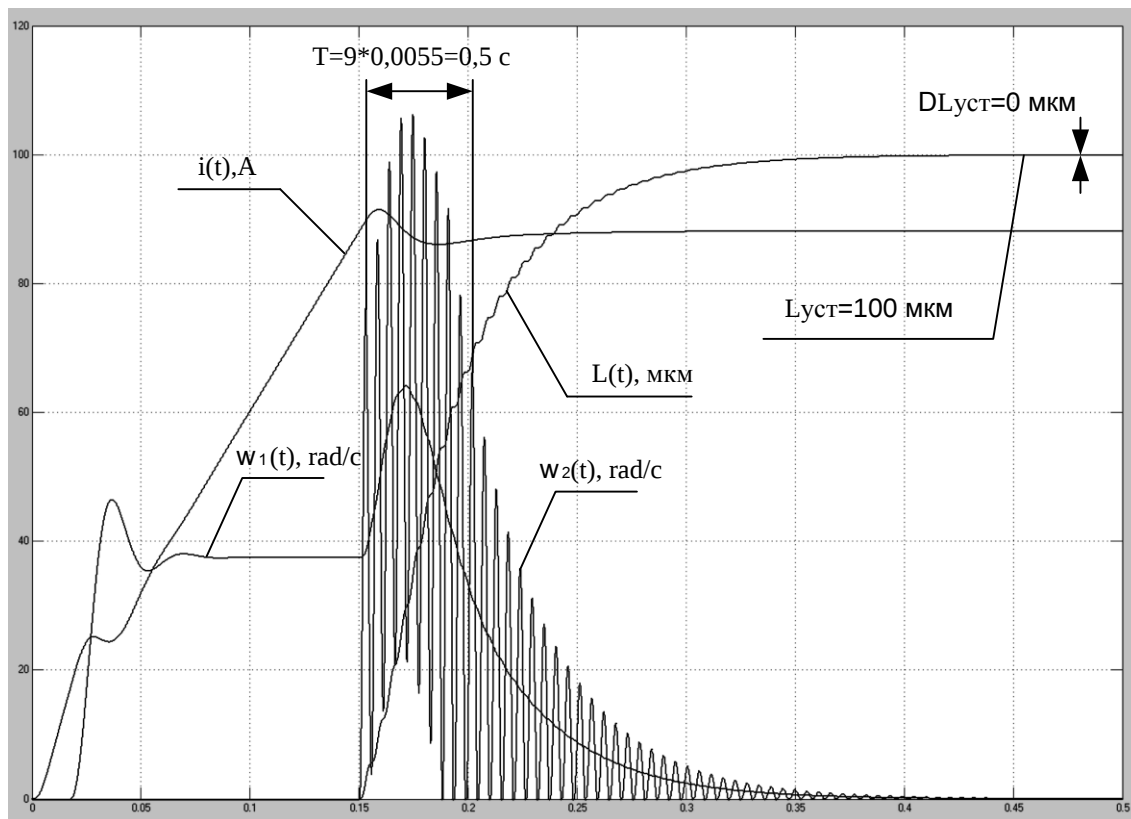


Рисунок 7.5 – Датчик на механизме. Кривые переходных процессов в нелинейном СЭП с П-регулятором положения и двухмассовой механической системой при отработке скачка управляющего воздействия $L_{\text{зад}} = 100$ мкм при $M_{c1} = 10,82$ Нм, $M_{c2} = 31,83$ Нм, $C_{12} = 506,6$ Нм

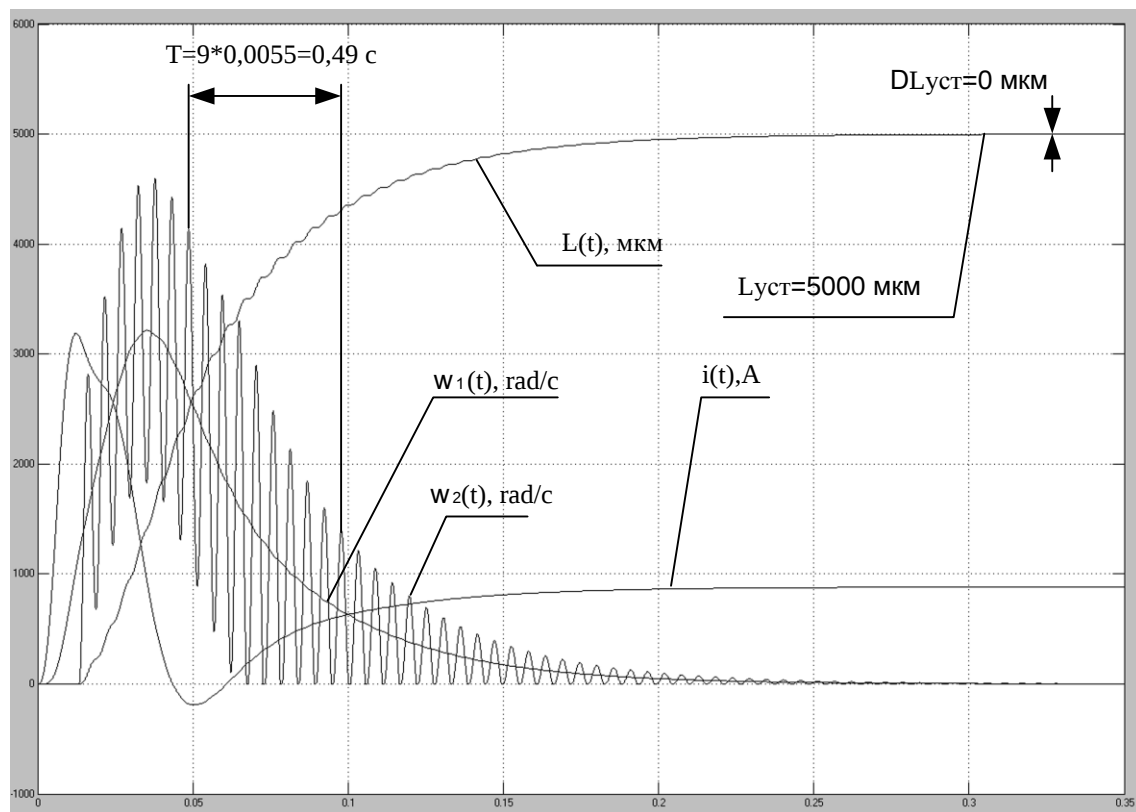


Рисунок 7.6 - Датчик на механизме. Кривые переходных процессов в нелинейном СЭП с П-регулятором положения и двухмассовой механической системой при отработке скачка управляющего воздействия $L_{зад} = 5000$ мкм при $M_{c1}=10,82$ Нм, $M_{c2}=31,83$ Нм, $C_{12} = 506,6$ Нм

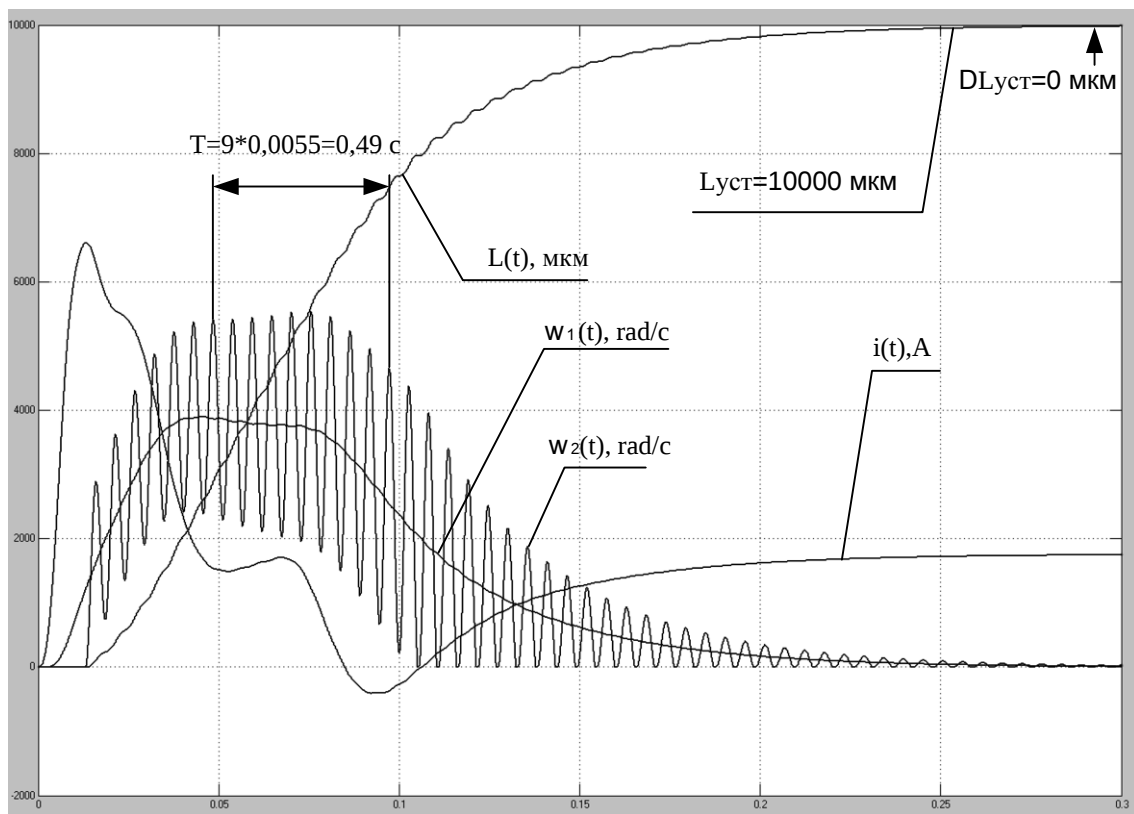


Рисунок 7.7 - Датчик на механизме. Кривые переходных процессов в нелинейном СЭП с П-регулятором положения и двухмассовой механической системой при отработке скачка управляющего воздействия $L_{зад} = 10000$ мкм при $M_{c1} = 10,82$ Нм, $M_{c2} = 31,83$ Нм, $C_{12} = 506,6$ Нм

8. Датчик линейных перемещений

После проведенных исследований окончательно выбираем в качестве датчика положения датчик линейных перемещений, установленный на механизме подачи и охватывающий всю кинематическую цепь.

Принцип действия линейных датчиков поясним на примере датчика линейных перемещений серии ЛИР, производимого фирмой СКБ ИС (Санкт-Петербург).

Преобразователи линейных перемещений осуществляют преобразование измеряемого перемещения в последовательность электрических сигналов, содержащих информацию о величине и направлении этих перемещений для последующей обработки в системах ЧПУ.

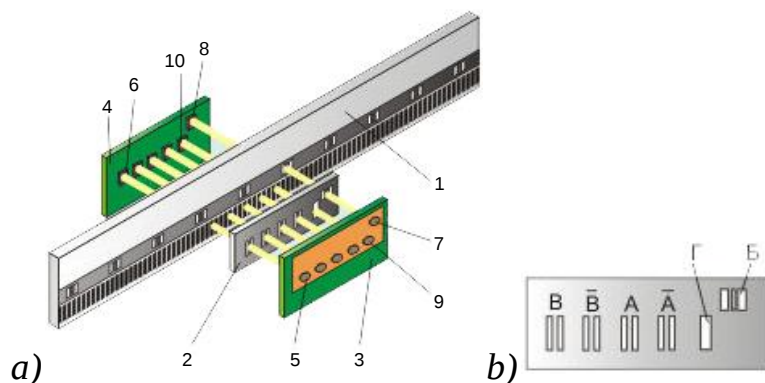


Рисунок 8.1 - Устройство датчика – а), каналы считывания – б)

При относительном перемещении растровой шкалы и индикаторной пластины ее поля считывания $A, \bar{A}, B, \bar{B}$ с шагом растра, соответствующим шагу растра шкалы, реализуют два идентичных канала приема излучения: $A, -\bar{A}, B, -\bar{B}$. В состав каждого канала входят два поля считывания, растры которых имеют пространственный сдвиг относительно друг друга, равный $1/2$ шага растра и соответственно по два осветителя 5 и фотоприемника 6. Поля считывания канала А имеют пространственный сдвиг растров относительно растров полей считывания канала В, равный $1/4$ шага растра.

Простроенный таким образом канал считывания формирует два ортогональных периодических сигнала I_a и I_b . Диаграмма изменения сигналов аналогична той, что показана на рис. 8.24. Их наличие позволяет определить направление перемещения и повысить разрешающую способность преобразователя. Так, сигнал I_a опережает сигнал I_b при перемещении головки преобразователя от начала отсчета вправо для вариантов 1, 2 и влево – для вариантов 3, 4.

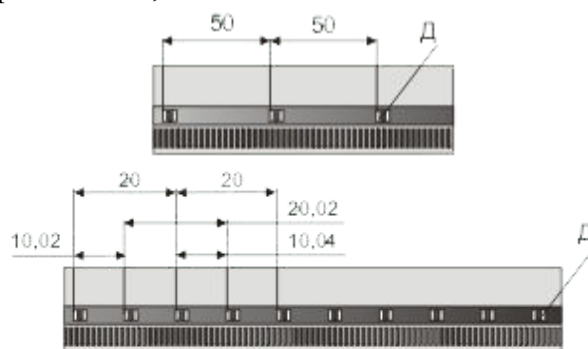


Рисунок 8.2 - Канал референтной метки

При относительном перемещении растровой шкалы и индикаторной пластины в зоне совмещения полей референтных меток Д и Б происходит модуляция светового потока, излучаемого осветителем 7, и на выходе фотоприемника 8 формируется сигнал референтной метки IR_i с явно выраженным максимумом. Поле диафрагмы Г вместе с осветителем 9 и фотоприемником 10 участвует в выработке опорного сигнала в канале референтной метки.

Выбираем ЛИР-8 - Инкрементный линейный фотоэлектрический преобразователь перемещений представленный на рисунке 14.3, его параметры: длина измерения - до 1540 мм, дискретность - до 0,1 мкм, класс точности - до 3.



Рисунок 8.3 - Инкрементный линейный фотоэлектрический преобразователь перемещений типа ЛИР -8

9 Разработка функциональной схемы САУ СЭП

Полная функциональная схема САУ СЭП приведена на рисунке 9.1. Она содержит:

М-ДПТ со встроенным тахогенератором ВР;

ТП - реверсивный тиристорный преобразователь напряжения цепи якоря двигателя с трехфазной системой импульсно-фазового управления СИФУ;

TV - согласующий силовой трансформатор.

Система управления СЭП трехконтурная с параболическим регулятором положения, ПИД - РС и ПИ-РТ. Она содержит:

РП - регулятор положения;

РС - регулятор скорости;

РТ- регулятор тока;

УЗТ -узел зависимого токоограничения;

АР – адаптивный регулятор по $k_{рс}$ и $Tr_{рс}$;

ДН (ФПЕ) – датчик напряжения (функциональный преобразователь ЭДС двигателя);

ПХ- переключатель характеристик ;

СИФУ –система импульсно фазового управления;

БЗ- блок защиты;

ДТ - датчики тока;

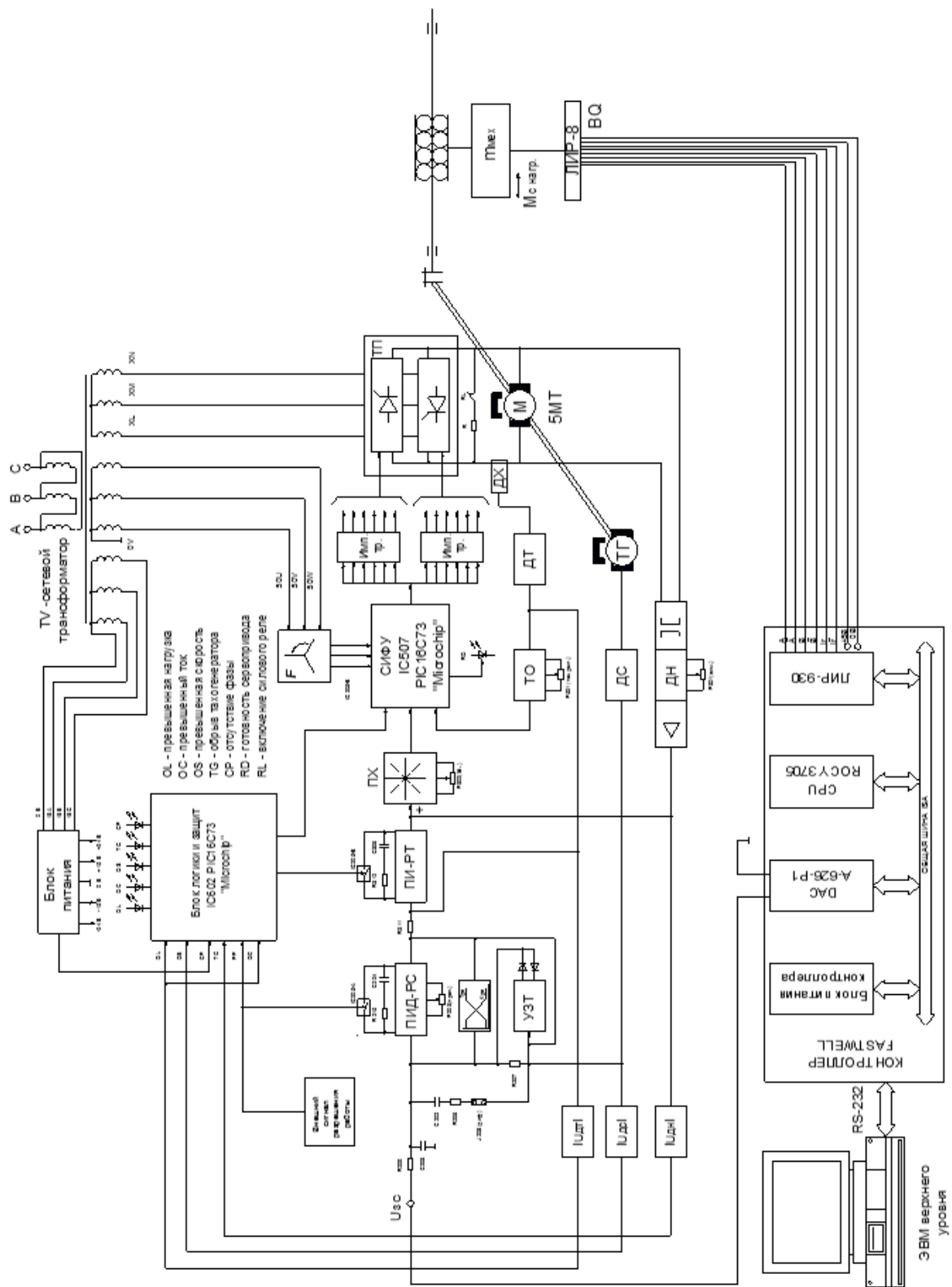
Программа УЧПУ дает задание на перемещение механизма в микронах. На вход РП подается заданное перемещение механизма в дискретах. Отрицательная обратная связь по положению поступает с датчика положения ВQ на вход РП в дискретах. На вход РС поступает напряжение задания скорости с выхода РП и напряжение ООС по скорости U_{oc} с тахогенератора. В ЭП принят ПИ-РС.

С выхода РС $U_{рс}$ суммируется с U_t с датчика тока и поступает на РТ. Процессор IC507 выполняет роль СИФУ, выбирает направление вращения двигателя путем включения соответствующей группы клапанов, реверс двигателя, для этого в него подаются сигналы $U_{рс}$, $U_{дт}$, $U_{дн}$, также в нем формируется задержка по времени для закрытия клапанов одной группы перед подачей управляющих импульсов на другую группу клапанов.

В ЭП осуществляется нелинейное токоограничение с помощью УЗТО, обеспечивающего снижение уставки тока ограничения в функции скорости. В основу такого токоограничения положена нелинейная зависимость допустимой перегрузки двигателя по току от его скорости при переходных процессах.

Адаптивный регулятор в цепи обратной связи по скорости меняет коэффициент усиления РС и постоянную времени регулятора при малых заданиях и малых ошибках.

ТП управляется от трехканальной СИФУ на базе процессора PIC16C73. ТП представляет собой два трехфазных управляемых моста, включенных встречно-параллельно и работающих по принципу раздельного управления.



Функции цифрового управления контуром положения следящего электропривода осуществляет УЧПУ. Управление периферийными устройствами системы и сбор данных с датчика положения реализуется с помощью установленных в системном блоке УЧПУ модулей аналогового и цифрового ввода-вывода.

Модуль дискретного ввода-вывода типа ЛИР-930 принимает и предварительно обрабатывает информацию с импульсных датчиков.

9.1 Программируемый модуль ввода/вывода ЛИР-930

Плата интерфейса ЛИР-930 предназначена для эксплуатации в компьютерных системах, и является стандартной платой расширения локальной шины ISA 8/16. Назначение платы- обработка сигналов инкрементных преобразователей перемещения, результатом которой является информация о положении контролируемого объекта, и передача результата обработки в память компьютера. Последующее хранение информации, ее анализ и сервисное обслуживание может быть осуществлено прикладной программой. Плата интерфейса может применяться в измерительных системах и системах управления, построенных на базе персонального компьютера.

9.1.1 Функциональные возможности.

- Обработка сигналов от 1 до 3 инкрементных преобразователей перемещения (в зависимости от типа интерфейса)
- Выдача информации о текущем положении контролируемого объекта по запросу компьютера
- Работа каждого канала интерфейса осуществляется в различных режимах:
 - Режим 1 - режим без обработки сигнала референтной метки инкрементного преобразователя перемещения и без обработки внешнего сигнала;
 - Режим 2 - режим с запоминанием положения контролируемого объекта в момент прихода сигнала референтной метки и без обработки внешнего сигнала;
 - Режим 3 - режим с запоминанием положения контролируемого объекта в момент прихода внешнего сигнала и без обработки сигнала референтной метки.

Переключение режимов происходит программно.

9.1.2 Технические характеристики.

Таблица 8.1 - Технические характеристики ЛИР-930

№	Наименование	Значение
1	Число подключаемых растровых преобразователей перемещения	3
2	Требуемое количество адресов в адресном пространстве ввода/вывода компьютера	10
3	Разрядность аппаратного счетчика приращений	24
4	Уровни сигналов инкрементного датчика (A,A,B,B,RI,RI)	TTL
5	Уровень внешнего сигнала записи	TTL
6	Входная частота сигналов инкрементного датчика (A,A,B,B,RI,RI)	0-25 МГц
7	Минимальная длительность внешнего сигнала записи	20 нс
8	Максимальный интервал времени между поступлением внешнего сигнала записи и фиксацией значения счетчика в регистрах данных	Не более 30 нс
9	Изменение диапазона адресов ввода/вывода в пределах	200(h)-300(h)

9.1.3 Описание принципа работы

Плата интерфейса поддерживает от 1 до 3 независимых каналов X,Y,Z(см. рис.9.2). Каждый канал может обрабатывать сигналы одного инкрементного преобразователя перемещения (A,B,RI,Fault) и дополнительный внешний сигнал (Zap). Канал состоит из квадратурного декодера (КД), реверсивного 24 разрядного счетчика приращений (СЧ), трех 8 разрядных регистров данных (1..3) и приемника внешних сигналов, в качестве которого, для обеспечения гальванической развязки, применяется оптрон (О). На плате так же расположена схема управления (СУ), с помощью которой осуществляется контроль и управление интерфейсом. Схема управления обеспечивает переключение режимов работы каналов, обработку сигналов референтных меток (RI,RI), сигналов ошибки датчика (Fault) и внешних сигналов (Zap), содержит дешифратор сигналов адреса шины, программируемый регистр управления и регистр статуса.

Поступая с инкрементного преобразователя перемещения, сигналы A,A,B,B декодируются квадратурным детектором (КД) и поступают на входы счетчика (СЧ). Таким образом, счетчик содержит информацию о положении контролируемого объекта. Эта информация фиксируется в регистрах данных 1..3 и через порты ввода/вывода может быть загружена в память компьютера. Загрузку данных инициирует прикладная программа, которая обращается к соответствующим портам ввода/вывода по заранее определенным адресам.

Каждый канал интерфейса может иметь несколько режимов работы. Режим №1 - без обработки сигнала референтной метки инкрементного преобразователя перемещения и без обработки внешнего сигнала. В этом режиме происходит выдача информации о текущем положении контролируемого объекта по запросу компьютера. При этом содержимое счетчиков каждого канала фиксируется в регистрах данных одновременно, на протяжении первых 30 не. операции обращения к порту №1 платы. Поэтому цикл чтения данных должен начинаться с этого порта. Периодически повторяя цикл, можно

иметь массив данных о положении контролируемого объекта для каждого канала. Этот режим устанавливается после включения питания.

Режим №2 - с запоминанием положения контролируемого объекта в момент прихода сигнала референтной метки и без обработки внешнего сигнала. Канал в этом режиме работает также как в режиме №1 до прихода сигнала референтной метки. Появление сигнала референтной метки производит перезапись текущего значения счетчика в регистры данных соответствующего канала и блокирует их дальнейшую перезапись. При этом в регистре статуса выставляется флаг. Блокировка действует пока флаг не будет программно сброшен, посредством выдачи в порт №10 соответствующего кода. После сброса флага схема вновь готова к захвату сигнала референтной метки, а канал, до момента захвата, вновь работает как в режиме №1.

Режим № 3 - режим с запоминанием положения контролируемого объекта в момент прихода внешнего сигнала и без обработки сигнала референтной метки - отличается от режима № 2 только тем, что вместо сигнала референтной метки, схема канала обрабатывает внешний сигнал. При этом перезапись регистров данных происходит по переднему фронту сигнала. Входная цепь внешнего сигнала рассчитана на работу с уровнями ТТЛ, поэтому для подключения сигналов с другими уровнями необходимо наличие дополнительных ограничивающих резисторов. Важно помнить о том, что внешний сигнал гальванически развязан от источника питания платы. Для достижения этой цели применяется оптрон.

При использовании режимов №2 и №3 следует учитывать, что сигнал референтной метки (или внешний сигнал соответственно) может вызвать перезапись данных во время цикла приема. Это обстоятельство приведет к чтению ложных данных. Следовательно. После каждого чтения необходимо проверять наличие блокировки, вызванной сигналом референтной метки (или внешним сигналом). Если блокировка произошла, необходимо повторить прием данных. При этом полученное значение будет являться координатой референтной метки (внешнего сигнала). После этого необходимо снять блокировку. Переключение режимов работы может происходить программно, во время работы системы.

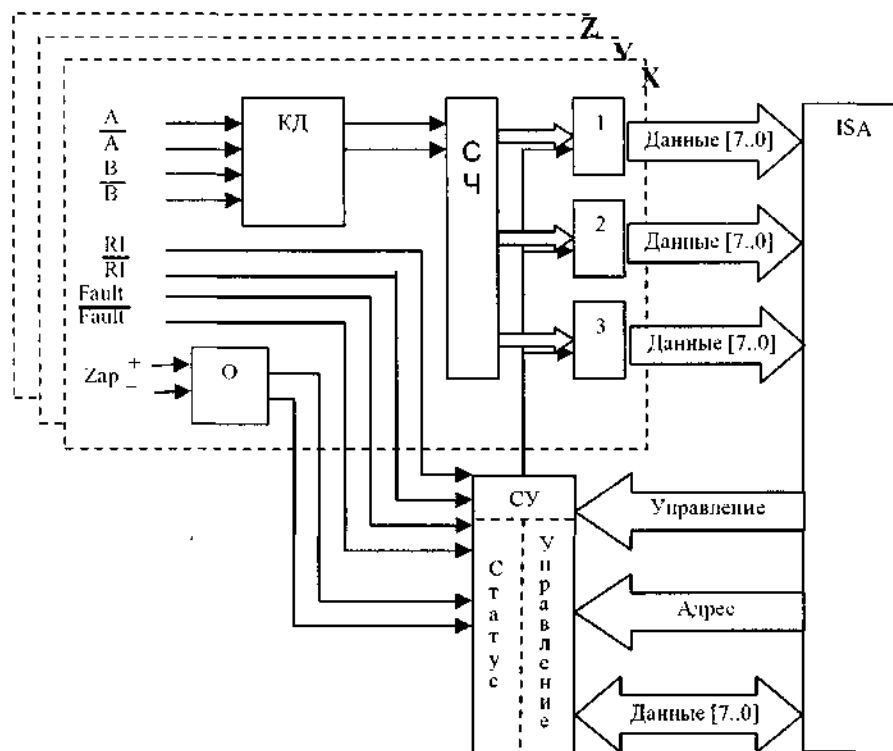


Рисунок 9.2 - Структурная схема платы интерфейса ЛИР-930

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Зинкевич Анатолий Александрович

Школа	ИнЭО	Отделение школы	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость затрат технического проекта	В техническом проекте были задействованы 2 человека (руководитель, дипломник). Затраты на материальные ценности определяются согласно прейскуранта. Заработная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. Продолжительность выполнения	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта с позиции ресурсоэффективности	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, оценить технический проект выявляя при этом сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы
2. Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта	Составление графика по проектированию асинхронного электропривода подачи токарного станка. Определить трудоёмкость работ для каждого исполнителя. По полученным данным построить диаграмму Ганта, которая, позволяет спланировать процесс реализации технического проекта.
3. Формирование сметы технического проекта	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: - материальные затраты; - полная заработная плата исполнителей; - отчисления во внебюджетные фонды; - накладные расходы
4. Ресурсоэффективность технического проекта	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2019 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Зинкевич Анатолий Александрович		

10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. В данном разделе рассчитывается сумма затрат на проектирование асинхронного регулируемого электропривода подачи токарного станка с ЧПУ модели 16K30 Ф323, и сумма затрат на покупку оборудования для реализации проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- расчет затрат на проектные работы электропривода подачи токарного станка с ЧПУ модели 16K30 Ф323;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

10.1 SWOT- анализ проекта асинхронного электропривода подачи токарного станка с ЧПУ модели 16K30 Ф323

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [13].

Применительно к проекту по разработке электропривода шахтного вентилятора, SWOT-анализ позволит оценить положительные и отрицательные стороны проекта. Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, которая помогает выявить соответствия слабых и сильных сторон проекта, а также их возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT-анализа стоит использовать следующие обозначения: **С** – сильные стороны проекта; **Сл** – слабые стороны проекта; **В** – возможности; **У** – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 10.1.

Таблица 10.1- Матрица SWOT-анализа технического проекта

	Сильные стороны проекта: С1. Высокое качество питающего напряжения С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии С4. Квалифицированный персонал С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание Оборудования	Слабые стороны проекта: Сл1. Повышенный уровень шума Сл2. Аварийные ситуации Сл3. Значительная стоимость оборудования
Возможности: В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	B1 C1C2C3C4	B1 Сл2Сл3;
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	B2 C2C4C5	B2 Сл1Сл2
В3.Резервное питание электропривода Поддачи токарного станка	B3 C1C2C4C5	B3 Сл2Сл3.
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	B4 C1C3C5	
Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологии производства	У1 C5	У1 Сл3
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	У2 C5	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	У3 C4	У3 Сл2

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:
«+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 10.2 и 10.3.

Таблица 10.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта					
		С1. Высокое качество питающего напряжения	С2.Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3.Большая экономия потребляемой эл.энергии	С4.Квалифицированный персонал	С5.Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
	В1.Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	+	+	+	+	-
	В2.Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	-	+	-	+	+
	В3.Резервное питание электропривода подачи токарного станка	+	+	-	+	+
	В4.Повышения стоимости конкурентных разработок	+	-	+	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1.Повышенный уровень шума	Сл2.Аварийные ситуации		Сл3.Значительная стоимость оборудования	
	В1.Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	-	+		+	
	В2.Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	+	+		-	
	В3.Резервное питание электропривода подачи токарного станка	-	+		+	
	В4.Повышения стоимости конкурентных разработок	-	-		-	

Таблица 10.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Большая экономия потребляемой эл. энергии	С4. Квалифицированный персонал	С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
	У1. Развитая конкуренция технологии производства	-	-	-	-	+
	У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	-	+
	У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	-	-	-	+	-
	Слабые стороны проекта					
		Сл1. Повышенный уровень шума		Сл2. Аварийные ситуации		Сл3. Значительная стоимость оборудования
	У1. Развитая конкуренция технологии производства	-		-		+
	У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-		-		-
	У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	+		-		-

По результатам интерактивных матриц, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременная ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса. Кроме того, большая экономия потребляемой электрической энергии и высокое качество питающего напряжения показывают перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

10.2 Планирование технического проекта

Данный раздел выпускной квалификационной работы посвящен анализу проведения пуско-наладочных работ для автоматизированного электропривода подачи постоянного тока.

Целью экономической части является определение времени по всем видам ПНР, расчет сметы затрат на приобретение материалов, на покупные и готовые изделия, расчет заработной платы штата участников ПНР.

От качества проведения пуско-наладочных работ зависит бесперебойность работы, безопасность и экономичность обслуживания электрооборудования.

Пуско-наладочные работы при монтаже электроприводов и их установке являются завершающей стадией процесса строительно-монтажных работ.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ В СЛЕДУЮЩЕМ ПОРЯДКЕ:

- Определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- Определение участников каждой работы;
- Установление продолжительности работ;
- Разработка графика проведения технического проектирования.

10.2.1. Определение структуры работ в рамках технического проектирования

Целью планирования научно-технического проекта является обеспечение рационального ведения работ, увеличение производительности труда и уменьшение материальных затрат. Планирование вытекает из условия необходимости принятия решений сегодня о том, что должно произойти в будущем и определить стратегию формирования этого будущего.

Планирование представляет собой набор действий и решений, которые ведут к достижению поставленной цели.

Научно-технический проект можно разбить на несколько этапов и под этапов, которые выделены в таблице 10.4

Таблица 10.4 – Этапы технического проекта

Этап	Под этап	Содержание работ	Исполнитель
1.Подготовительный	1.1	Получение задания	Руководитель
	1.2	Подбор и изучение литературы	Дипломник.
	1.3	Сбор исходных данных	Дипломник.
	1.4	Выбор методики испытания	Руководитель. Дипломник.
	1.5	Подготовка привода к испытанию	Дипломник.
2.Экспериментальный	2.1	Отладка установки и подготовка	Руководитель Дипломник.
	2.2	Проведение механических испытаний	Дипломник.
	2.3	Проведение электрических испытаний	Дипломник.
3. Заключительный	3.1	Обработка результатов	Дипломник.
	3.2	Обоснование результатов	
	3.3	Оформление пояснительной записки	Дипломник.
	3.4	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель

10.2.2 Расчёт трудоёмкости технического проекта

Каждый этап научно-технического проекта требует определённых затрат труда, т.е. должен характеризоваться определённой трудоёмкостью, которая измеряется в человеко-часах. Для расчёта трудоёмкости используется вероятностный метод, в основе которого лежат две оценки времени выполнения:

$t_{\min}$ – время выполнения работ при благоприятном стечении обстоятельств (чел./дни).

$t_{\max}$ – время выполнения работ при неблагоприятном стечении обстоятельств (чел./дни).

Трудоёмкость выполнения каждого цикла определяется по формуле [13]

$$T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5};$$

Где $T_{\text{ож}}$ – время математического ожидания – трудоёмкость в чел./днях.

Трудоёмкость всего проекта определяется по формуле

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 10.5

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Исходя из диаграммы продолжительности работ, определяется участие каждого специалиста рабочей группы в разработке проекта: руководитель 15 дней, дипломник 73 дня. Общая продолжительность выполнения ВКР составила 77 рабочих дней.

10.2.3 Построение линейного графика разработки проекта

В настоящее время на практике находят применение множество методов решения задач оперативно-производственного и календарного планирования. Чаще всего для представления последовательности этапов разрабатываемого проекта используют линейные или сетевые графики планирования.

Используем линейный график планирования, приведённый на рисунке 10.6 Основанием для построения линейного графика являются данные таблицы 10.5

Таблица 10.5 - Трудоёмкость проекта

Этап	Подэтапы	t _{min} , дни	t _{max} , дни	t _{ож} , дни	Тэ.ф в раб. днях	
					Дипломник	Руководитель
1.Подготовительный	1.1 Получение задания	1	1	1	-	1
	1.2 Подбор и изучение литературы	3	5	4	4	-
	1.3 Сбор исходных данных	8	10	10	10	-
	1.4 Выбор методики испытания	1	2	2	2	2
	1.5 Подготовка привода к испытанию	6	10	8	8	-
2.Экспериментальный	2.1 Отладка установки и подготовка	13	20	15	15	6
	2.2 Проведение механических испытаний	6	12	11	11	-
	2.3 Проведение электрических испытаний	12	18	15	15	-
3.Заключительный	3.1 Обработка результатов	2	5	3	3	-
	3.2 Обоснование результатов	2	3	3	-	3
	3.3 Оформление пояснительной записки	2	3	2	2	-
	3.4 Сдача и защита выпускной квалификационной работы	2	3	3	3	3
Общая трудоёмкость		58	93	77	73	15

Таблица 10.6 – Диаграмма Ганта

Этапы	Подэтапы	Исполнители	Раб.дни	Продолжительность выполнения работ на 2019г.																																															
				Март														Апрель														Май												Июнь							
				1				2				3				1				2				3				1				2				3				1											
				пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс						
1. Подготовительный	1.1 Получение задания	Руководитель	1																																																
	1.2 Подбор и изучение литературы	Дипломник	4																																																
	1.3 Сбор исходных данных	Дипломник	10																																																
	1.4 Выбор методики испытания	Дипломник	2																																																
		Руководитель	2																																																
2. Экспериментальный	1.5 Подготовка привода к испытанию	Дипломник	8																																																
	2.1 Отладка установки и подготовка	Дипломник	15																																																
		Руководитель	6																																																
	2.2 Проведение механических испытаний	Дипломник	11																																																
3. Заключительный	2.3 Проведение электрических испытаний	Дипломник	15																																																
	3.1 Обработка результатов	Дипломник	3																																																
	3.2 Обоснование результатов	Руководитель	3																																																
	3.3 Оформление пояснительной записки	Дипломник	2																																																
	3.4 Сдача и защита выпускной квалификационной	Руководитель	3																																																
		Дипломник	3																																																

10.3 СОСТАВЛЕНИЕ СМЕТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- затраты на спец.оборудование;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Материальные затраты в данном техническом проекте не рассчитываются.

10.3.1 Затраты на специализированное оборудование

Стоимость специализированного оборудования для пусконаладочных работ приведена в таблице 10.7.

Таблица 10.7 Стоимость специализированного оборудования. [13]

Наименование оборудования	Количество шт.	Цена, рублей
Комплектный теристорный преобразователь серии SDC1-47	1	43700
Двигатель 5MT	1	81000
Силовой трансформатор ТСП-25	1	76700
Итого		201400

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ОБ}} = Ц * k_{\text{тр}}$$

где: $C_{\text{ОБ}}$ - первоначальная стоимость оборудование

Ц - цена оборудование

$k_{тр}$ - коэффициент учитывавший транспортные расходы может быть принят 3-6% от стоимости всей партии груза

$201400 \cdot 1.06 = 213484$ рублей.

10.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР

В этом разделе включена основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} * Т_p,$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

$Т_p$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 1.6).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} + З_{р.к}}{F_d},$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$З_{р.к.}$ – районная доплата, руб

F_d – количество рабочих дней в месяце, раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 10.8.

Таблица 10.8– Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная, руб	Среднедневная заработная плата в день, руб	Продолжительность работ, раб. дн	Основная заработная плата, руб
Руководитель	33664	10094	43758	1683	15	25245
Дипломник	12300	3690	15990	615	73	44895
Итого $З_{осн}$, руб.						70140

Дополнительная заработная плата, составляет 12-15% от основной. Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 10.9.

Таблица 10.9. – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработной платы, руб
Руководитель	0,15	25245	3787	29032
Дипломник	0,12	44895	5387	50282
Итого		70140	9174	79314

10.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются: обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам, органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС), страхование от несчастных случаев; от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} * (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды
 $k_{\text{внеб}} = 30,2 \%$ в условиях ТПУ.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 79,3 = 23,9 \text{ тыс. руб.}$$

10.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, и т.д. Величину накладных расходов принимаем в размере 16% от общей суммы затрат определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{накл}} = \frac{C_{\text{об}} + З_{\text{осн}} + З_{\text{внеб}}}{84\%} * 100\% - (C_{\text{об}} + З_{\text{осн}} + З_{\text{внеб}}),$$

10.3.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции. Определение затрат на технический проект приведен в таблице 10.10

Таблица 10.10 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма тыс. руб.	Структура затрат %
Материальные затраты ТП	201	55
Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	79	22
Отчисления во внебюджетные фонды	24	7
Накладные расходы	57	16
Итого	361	100

Исходя из представленной выше таблицы 10.10, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 361 тыс.руб. Большая часть (55%) составляют затраты на спецоборудование.

10.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА

Определение ресурсоэффективности [13] проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию регулируемого электропривода подачи токарного станка с ЧПУ модели 16K30 Ф323. рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

- Надежность регулируемого электропривода подачи токарного станка с ЧПУ модели 16K30 Ф323– это длительный эксплуатационный ресурс. Надежность повышает исполнение всех деталей оборудования во взрывозащищенном и влагостойком корпусе, электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием, что в свою очередь позволяет обеспечить безаварийность и бесперебойность в работе.
- Энергосбережение регулируемого электропривода подачи токарного станка с ЧПУ модели 16K30 Ф323– это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.
- Материалоемкость регулируемого электропривода подачи токарного станка с ЧПУ модели 16K30 Ф323– это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме. При проектировании регулируемого электропривода подачи токарного станка с ЧПУ модели 16K30 Ф323 нужно учитывать, что его работа является непрерывно-постоянной и остановки производить только для его обслуживания. Поэтому подбор осуществлялся таким образом, что при тех же условия подобрать электропривод который бы расходовал меньше энергии.
- Производительность регулируемого электропривода подачи токарного станка с ЧПУ – должна обеспечить производительность достигается за счет правильного расчета и подбора частотного преобразователя и двигателя для тех условий в которых он будет работать, и использование качественных материалов во избежание не нужных утечек.

- Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа регулируемого электропривода подачи токарного станка. Удобство монтажа и демонтажа осуществляется в отсутствие большого количества резьбовых соединений, а легкость в настройке и управлении обеспечит частотный преобразователь
- Производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают. Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 10.10.

Таблица 10.11 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
Надежность	0,25	5
Энергосбережение	0,20	5
Материалоемкость	0,15	4
Производительность	0,15	4
Удобство	0,15	5
Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	4
Итого:	1,00	4,6

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi}=5*0,25+5*0,2+4*0,15+4*0,15+5*0,15+4*0,1=4,6$$

С точки зрения коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта отметим следующее:

Одно из основных направлений работы предприятия - обеспечение потребностей атомных электростанций в уране для ядерного топлива. С 2010 года входит в состав топливной компании «ТВЭЛ» госкорпорации «Росатом». Комбинат был создан в Томской области (сейчас ЗАТО Северск, к северо-западу от Томска) в начале 1950-х как единый комплекс ядерного технологического цикла для создания компонентов ядерного оружия на основе делящихся материалов (высокообогащённого урана и плутония), а также с целью наработки этих материалов.

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5 балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережения позволяют судить о надежности системы. В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы: - произведен SWOT-анализ, который выявил, приоритетные стороны этого проекта, указывающие на перспективность проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта. - составлена диаграмма продолжительности работ, позволяющая скоординировать работу исполнителей.

- Рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которая составила 361 тыс.руб. - определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,6 (по 5- балльной шкале).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Зинкевич Анатолий Александрович

Школа	ИнЭО	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объектом исследования является привод подачи токарного станка химического комбината.
Объект исследования применяется в различных отраслях промышленности.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:

- Основные требования по обеспечению безопасной эксплуатации станка ЧПУ;
- Внутренний временной распорядок.

2. Производственная безопасность:

2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.

2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Основными вредными факторами являются:

- Отклонение показателей микроклимата;
- Превышение уровня шума;
- Недостаточная освещенность рабочей зоны;
- Повышенное значение электромагнитных излучений.

Опасными факторами агломерационного цеха являются:

Возможность получения травм в следствии:
а) Пожарная безопасность;
б) Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

3. Экологическая безопасность:

- Охрана окружающей среды.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

-Взрыв;
-Обрушение здания.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

1.03.2019г.

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Зинкевич Анатолий Александрович		

11. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе привода подачи токарного станка, анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

В данном проекте рассматривается частотно-регулируемый электропривод двигателя постоянного тока. Электродвигатели серии МТА имеют возбуждение от постоянных магнитов. Магнитная система обеспечивает высокую перегрузочную способность в рабочих и переходных режимах. Исполнение электродвигателей соответствует нормам IEC 34-5 IEC 34-7. Все электродвигатели имеют встроенный на валу тахогенератор 20В/1000 об/мин и встроенный датчик тепловой защиты.

Степень защиты корпусов электродвигателей от попадания механических частиц и проникновения пыли и влаги. Такой двигатель требует степени защиты электрических машин не ниже IP44. [14].

Помещение цеха выполнено из негорючих материалов первой степени огнестойкости. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости R120 [18].

Напряжение питания 220 и 380 В. Электроустановки до 1000 В. Обслуживание поручается лицам, имеющим квалификацию, соответствующую действующим требованиям.

11.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовые отношения на фабрике ОАО «СХК» регулируются "Трудовым кодексом Российской Федерации"[23], коллективным договором данного предприятия, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

В соответствии с коллективным договором и правилами внутреннего распорядка рабочим считается время, в течение которого работник обязан находиться на рабочем месте и выполнять свои трудовые обязанности.

Для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать: при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов.

На предприятии организован непрерывный трудовой процесс в три смены[23]:

I смена — с 7 часов утра до 15 часов;

II смена — с 15 часов до 23 часов;

III смена — с 23 часов до 7 часов утра.

Учетным периодом при суммированном учете рабочего времени является календарный месяц. Ночной сменой при указанном режиме признается III смена, а вечерней — II смена.

Когда условия производства (работы) не позволяют предоставить обеденный перерыв, работодатель обязан обеспечить возможность отдохнуть и перекусить в течение рабочего времени (ч. 3 ст. 108 Трудового кодекса РФ). В данном случае работодатель организует прием пищи работниками на рабочих местах, продолжительность отдыха и питания длится не более 30 минут. Перечень таких работ, время начала и окончания, и место приема пищи определяются коллективным договором предприятия.

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск продолжительность 28 календарных дней предоставляется работникам в соответствии со ст. 115 ТК РФ[23]. Людям, работающим по совместительству, ежегодные оплачиваемые отпуска предоставляются одновременно с отпуском по основной работе (ст. 286 Трудового кодекса РФ)[23]. Если на работе по совместительству работник не отработал 6 месяцев, отпуск предоставляется авансом. По соглашению между работником и работодателем ежегодный оплачиваемый отпуск может быть разделен на части. При этом хотя бы одна из частей этого отпуска должна быть не менее 14 календарных дней (ст. 125 Трудового кодекса РФ)[23].

На работах с вредными условиями труда, а также на работах, связанных с загрязнением, работникам выдается бесплатно по установленным нормам специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты. В соответствии со статьей 222 Трудового кодекса Российской Федерации на работах с вредными условиями труда предоставляется бесплатно по установленным нормам лечебно-профилактическое питание.

11.2 Производственная безопасность

Табл.11.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (Г 12.0.003-2015)	Факторы работ			Нормативные документы
	за	ние	ция	
факторы микроклимата				ПБ 05-580-03 Правила безопасности на предприятиях по обогащению и брикетированию углей (сланцев) [24]
факторы шума				Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; СП 51.13330.2011. Защита от шума. [20]
освещенность рабочей зоны				Требуемая норма освещения Енор=200 ЛК. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95[28].
воздействие электромагнитных излучений				СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)

11.2.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомляемость. К производственным вредным факторам на рассматриваемом производстве относятся:

➤ Отклонение показателей микроклимата

С целью создания нормальных условий для персонала установлены нормы производственного микроклимата согласно СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений», ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы», в соответствии с которым параметры микроклимата делятся на оптимальные и допустимые.

Микроклиматические условия: оптимальная и допустимая температура, относительная влажность и скорость движения воздуха устанавливаются для рабочей зоны производственных помещений согласно ГОСТ 12.1.005 – 88 и

СанПиН 2.2.4.548-96, исходя из категорий тяжести выполняемой работы (лёгкая – I), величины избытков явного тепла и периода года.

Таблица 11.2 - Требования к микроклимату

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с
	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	
холодный	20 - 22	18 - 23	30 - 60	60	< 0,2
теплый	22 - 25	не выше 25	30 - 60	70	0,2 - 0,5

➤ **Превышение уровня шума**

С физиологической точки зрения шум рассматривают как звук, мешающий разговорной речи и негативно влияющий на здоровье человека.

Шумы в рассматриваемом помещении возникают как от внутренних источников, так и от внешних раздражителей. К внутренним источникам мы относим компьютерную технику, находящуюся в данном помещении. Для персонала, осуществляющего эксплуатацию ПК эквивалентный уровень шума не должен превышать 50 дБ в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96, ГОСТ 12.1.003-83, СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03. В рабочем помещении инженера эта норма соблюдается.

Для измерения шума применяют шумомеры. Все измерения производят в соответствии с ГОСТ 12.1050-86 и ГОСТ 23941-79.

Наиболее перспективным способом снижения шума является использование малошумного оборудования, при этом вводится техническое нормирование шума машин. В паспорте машины указывается шумовая характеристика.

В соответствии с ГОСТом 12.1003-83 защита от шума, создаваемого на рабочих местах внутренними и внешними источниками, осуществляется уменьшением шума в источнике, применением средств коллективной (ГОСТ 12.1029-80) и индивидуальной (ГОСТ 12.4051-87) защиты. Для рассматриваемого помещения мы можем предложить замену оборудования на более, современное, и более удобное его размещение. Т.к. реальные уровни шума ниже нормы данные предложения можно рассматривать как рекомендуемые.

➤ **Недостаточная освещенность рабочей зоны**

О важности вопросов производственного освещения говорит тот факт,

что условия деятельности инженера в системе «человек-машина» связаны явным преобладанием зрительной информации — до 90% общего объема.

Выполняемая работа относится к классу «точных». Согласно действующим СанПиН 2.2.2./2.4.-1340-03 для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест – 300 Лк, рекомендуемая – 400 Лк.

Для обеспечения нормативной освещенности необходимо использовать совмещенное освещение, при котором естественное дополняется искусственным. Естественное освещение является боковым (осуществляется через световые проёмы в наружных стенах), а искусственное – общим. В условиях недостаточной освещенности в утреннее и вечернее время используется искусственное освещение. Для искусственного освещения применяют люминесцентные лампы, которые имеют высокую световую отдачу и продолжительный срок службы.

Порядок расчета системы искусственного освещения:

- выбор системы освещения (общая, местная, комбинированная);
- выбор типа светильников;
- определение количества светильников;
- определение мощности источников света.

Существуют комбинированная и общая системы освещения. Система общего освещения экономичнее и в гигиеническом отношении предпочтительнее, так как она позволяет создать более благоприятное распределение яркостей в поле зрения. Поэтому для данного помещения выбираем систему общего равномерного освещения. Выбор типа светильников осуществляется, исходя из требований экономичности, безопасности эксплуатации, удобства обслуживания и требуемой точности выполняемой работы.

При выборе типа светильников следует учитывать светотехнические требования, экономические показатели, условия среды. Учитывая размеры помещения и коэффициенты отражения, выбираем двухламповые светильники с защитной решёткой типа ШОД-2 (длина 1200 мм, ширина 600 мм, КПД=85%), предназначенные для использования в нормальных помещениях с хорошим отражением потолка и стен.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами:

Высота помещения $H=2,5$ м; высоту рабочей поверхности над полом принимаем равной $h_p=0,75$ м.

Расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_p; h = 2,5 - 0,75 = 1,75 \text{ (м);}$$

Для создания благоприятных условий на рабочем месте, для борьбы со слепящим действием источников света введены требования ограничения наименьшей высоты светильников над полом. Для двухламповых светильников типа ШОД это расстояние составляет 2,5 (м).

Расстояние между светильниками (максимальное) L определяется как:

$$L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 1,75 = 2,1 \text{ м};$$

Оптимальное расстояние между стеной и светильником:

$$L/3 = 2,1/3 = 0,7 \text{ м.}$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду установить 11 светильников типа ШОД (с длиной 1,2 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 1,2 м и 0,6 м. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рисунок 15).

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $n = 44$.

Находим индекс помещения:

$$i = S / h(A+B),$$

где S – площадь освещаемого помещения, м^2 ; $A=18$ м – длина помещения; $B=6$ м – ширина помещения. Тогда:

$$i = 108 / (1,75(18 + 6)) = 2,57$$

Определяем коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,52$.

Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z / n \cdot \eta,$$

где E_n – нормируемая минимальная освещённость по СанПин 2.2.2./2.4.-1340-03, Лк; K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и прочее, т.е. отражающих поверхностей), (наличие в атмосфере цеха дыма, пыли); Z – коэффициент неравномерности освещения. Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1; n – число светильников.

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 108 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{44 \cdot 0,52} = 2336,54 \text{ Лм}$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД 40 Вт с потоком 2600 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

Получаем:

$$-10\% \leq 10,133\% \leq +20\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 44 \cdot 40 = 1760 \text{ Вт.}$$

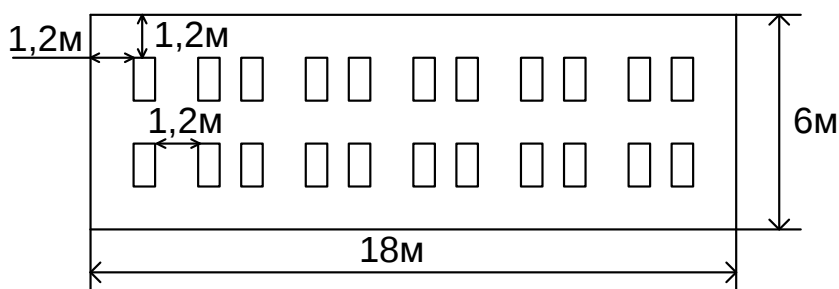


Рисунок 11.1 - План помещения и размещения светильников

Данный расчёт нормы освещения помещения так же является действительным на производстве ОАО «СХК». Из чего можно сделать вывод, что в данном помещении согласно действующим СанПиН 2.2.2./2.4.-1340-03 для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест – 300 Лк, рекомендуемая – 400 Лк, подходит.

➤ **Повышенное значение электромагнитных излучений**

Персональные компьютеры являются источниками широкополосных электромагнитных излучений: мягкого рентгеновского, ультрафиолетового, радиочастотного диапазона, электрических и электростатических полей.

В рассматриваемом случае работа инженера ПК происходит на мониторе Samsung SyncMaster 550s (тип монитора – электронно-лучевая трубка).

Для снижения уровня всех этих полей на мониторе имеется защитный экран. В результате напряженность электростатического поля в зоне оператора не превышает 15 кВ/м, что ниже допустимых норм согласно СанПиН 2.2.2./2.4.-1340-03.

Нормируемыми параметрами электромагнитных полей являются напряжённости E и H . Предельно допустимая напряжённость электромагнитного поля на рабочих местах не должна превышать в течение рабочего дня по электрической и магнитной составляющей нормативов согласно ГОСТ 12.1.006-84, по продолжительности воздействия нормативов ГОСТ 12.1.002-75.

Оценка фактических значений электромагнитных излучений, при невозможности проведения измерений, может быть приведена по паспорту ПК, либо по данным о характеристиках рентгеновского излучения, генерируемого электровакуумными приборами и установками.

Таблица 11.3 - Характеристика рентгеновского излучения

Тип прибора	Мощность дозы, мкР/сек	Примечание
Электронно-лучевые трубки	10 ⁻³ – 10 ⁻²	Излучение направлено от экрана трубки

Анализ испытаний электронно-лучевых трубок показывает, что интенсивность облучения на рабочих местах составляет 1 мкР/с.

Предельно допустимая напряженность электромагнитного поля на рабочих местах не должна превышать нормативов в течение рабочего дня по электрической составляющей согласно таблице 11.3.

Таблица 11.3 - Напряжённость электромагнитного поля

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	25 В/м
электрического поля	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	250 нТл
потока	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для защиты от излучений применяют защитные экраны и ограничивают время работы.

Продолжительность непрерывной работы с компьютером без регламентированного перерыва не должна превышать двух часов. Во время перерывов с целью снижения нервно - эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии, предотвращения развития познотонического утомления выполнять комплексы упражнений.

11.2.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

А. Пожарная безопасность

Пожарная профилактика – это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничения его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара.

Пожары представляют большую опасность для людей и могут причинить огромный материальный ущерб. Основной причиной пожара в рассматриваемом помещении является неисправность электрооборудования, короткое замыкание, нагрев проводов и загорание изоляции, перезагрузка электрических сетей электропроводки, однако, пожар может возникнуть и при неосторожном обращении с огнем. Основы противопожарной защиты предприятий определены ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» и Правилами пожарной безопасности ППБ 01-02-03 РД153-34.0-03.301-00.

Согласно НПБ 105-03 электротехнический отдел по пожароопасности относится к категории Д.

Мероприятия противопожарной профилактики:

- хранить информацию желательно в обособленных помещениях, оборудованных несгораемыми шкафами и стеллажами;
- система вентиляции должны быть оборудована устройством, обеспечивающим автоматическое отключение при пожаре;
- необходимо предусматривать подачу воздуха к ПК для охлаждения;
- система электропитания ПК должна иметь блокировку, обеспечивающую отключение в случае охлаждения;
- работы по ремонту узлов ПК должны производиться в отдельных помещениях;
- необходимо производить очистку от пыли всех аппаратов и узлов ПК (желательно раз в месяц);
- в помещении отдела должна предусматриваться автоматическая пожарная сигнализация, также необходимо устанавливать реле, реагирующее на дым.

Мероприятия пожаротушения подразделяются на:

- организационные (вынужденная эвакуация людей при пожаре);
- технические (вода, водо-химические растворы, огнетушащие пены, инертные газы, ингибиторы и флегматизаторы и т.д.);
- режимные (системы автоматической сигнализации и автоматического пожаротушения, противодымовая защита).

Для обеспечения пожаробезопасности отдела предусмотрены первичные средства пожаротушения: установлена система автоматической сигнализации и два огнетушителя типа ОУ-5. Согласно ППБ01-03 огнетушители устанавливаются в помещениях из расчета один огнетушитель на 40-50 м² площади, но не менее двух в помещении.

Во избежание пожаров необходимо периодически производить инструктаж с пользователями по пожаробезопасности, недопустимо приносить и хранить в комнатах взрывопожароопасные вещества и материалы.

При обнаружении пожара, необходимо:

- вызвать пожарную охрану по «01»;
- обеспечить вынужденную эвакуацию всех людей;
- до прибытия команды пожарной охраны принять все необходимые меры по тушению пожара.

При эвакуации, следует не создавать паники и двигаться в соответствии с планом эвакуации. План эвакуации представлен на рисунке 11.2.

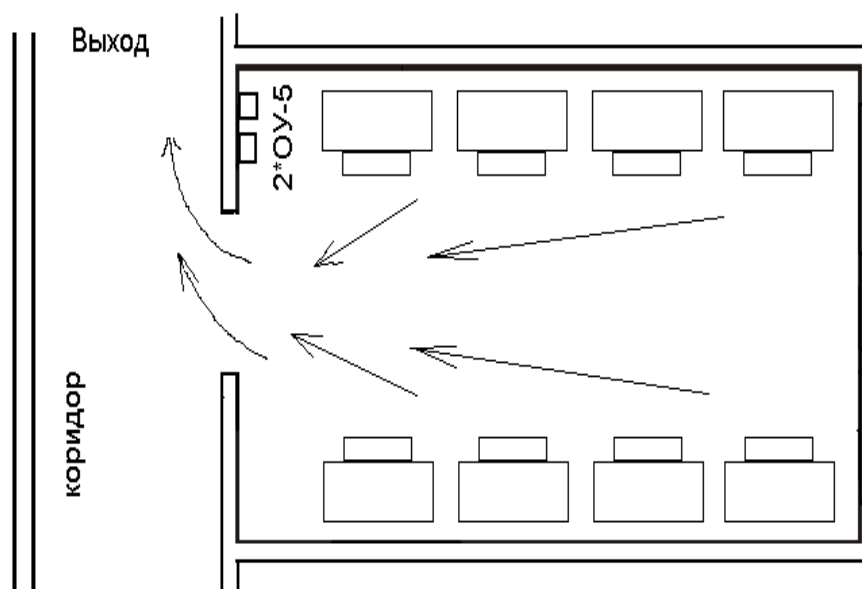


Рисунок 11.2 - План эвакуации

Б. Поражение электрическим током.

Поражение электрическим током: применяемое в производственном процессе электрооборудование напрямую влечет за собой возможность поражения электрическим током, последствия которого могут быть в виде ожогов участков кожи тела, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон, электролиза крови, и как следствие, нарушения нормального функционирования

организма, а также опасного возбуждения клеток и тканей организма, в результате чего они могут погибнуть.

Оказаться под влиянием электрического тока возможно при замыкании на корпус крана или коротком замыкании в пульте управления.

11.3 Экологическая безопасность.

Охрана окружающей среды:

В интересах настоящего и будущего поколений принимается ряд необходимых мероприятий для охраны и научного обоснования, рационального использования земли и ее недр, водных ресурсов и животного мира, для сохранения в чистоте воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей среды.

Энергетика является глобальным экономическим фактором, что объясняет актуальность изучения взаимосвязи экологии и энергетических систем. Если не разрабатывать природоохранных мероприятий в энергосистемах, то возникает опасность нарушения экологического равновесия в природе.

До недавнего времени специалисты энергетики занимались только техническими вопросами в своей области. В настоящее время нельзя решать технические вопросы энергетики, не рассматривая влияния электроэнергетических систем на биосферу, социальные условия труда и жизни людей и связанные с ними отрасли народного хозяйства.

Данное помещение не является потребителем большой мощности, так как ПК и остальное оборудование не являются мощным оборудованием. Поскольку отдел находится в уже существующем здании, то сказать, что наносится ущерб, связанный со строительством тоже нельзя. Электромагнитное излучение от ПК действует только на его пользователей, и при том, при применении необходимых мер предосторожности (описанных ранее) не является вредным даже для них.

Рассмотрим возможность экономии электроэнергии при эксплуатации. Любая экономия электроэнергии – вклад, пусть небольшой в защиту окружающей среды, так как это означает экономию топлива и предотвращение выброса в атмосферу соответствующего количества окислов серы, азота, оксида углерода и др. Поскольку ПК является оборудованием чувствительным к пусковым токам, то не рекомендуется его частое включение и отключение. Можно порекомендовать установку такого режима, как режим ожидания, то есть когда не наблюдается активности со стороны пользователя некоторое время, то компьютер автоматически переходит в режим ожидания. В этом режиме ПК потребляет меньшее количество электроэнергии, но при этом не нужно его отключать.

Также возникают следующие виды отходов, которые могут нанести

вред окружающей среде:

- сброс сточных вод;
- твердые отходы.

Поэтому предприятие должно заключать договора с организациями занимающимися утилизацией данных видов отходов, которые обеспечат своевременный вывоз отходов. Данными организациями являются «Спецавтохозяйство», «Водоканал».

11.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

➤ Взрыв:

Взрывы на промышленных предприятиях обычно сопровождаются обрушениями и деформациями сооружений, пожарами, выходом из строя энергосистем и утечкой из технологических трубопроводов и емкостей вредных веществ. Наиболее часто наблюдаются взрывы котлов в котельных; газов, аппаратов, продукции на химических предприятиях; паров бензина и других компонентов на нефтеперегонных заводах; древесной пыли и лакокрасочных паров на деревообрабатывающих комбинатах и т.п.

Степень и характер поражения сооружений при взрывах во время производственных аварий зависят от:

- мощности взрыва;
- технической характеристики сооружений объекта (конструкция, прочность, размер, форма – капитальные, временные, надземные, подземные);
- планировки объекта, характера застройки;
- ландшафта местности (рельеф, грунты, залесенность);
- метеорологических условий (влажность, температура, направление и сила ветра, наличие осадков).

При образовании на предприятии по различным причинам опасной с точки зрения возможного взрыва газовоздушной смеси рассматриваются три полусферические зоны:

- зона непосредственного бризантного действия газовоздушного взрыва вблизи земли;
- зона действия продуктов взрыва;
- зона действия воздушной ударной волны.

Эффективное воздействие газовоздушной смеси аналогично ядерному взрыву.

Для предотвращения взрывов воздушных смесей, образующихся на предприятиях из-за насыщения воздуха парами бензина, керосина, древесной

пыли и т.д., в первую очередь устраняют источники возможного воспламенения и осуществляют мероприятия, направленные на защиту предприятий от разрушения. Известны пять способов защиты: проектирование прочных ограждающих конструкций, способных выдержать нагрузку, равную максимальному давлению при взрыве; создание во взрывоопасных зонах инертной среды, в которой содержание кислорода было меньше необходимого для поддержания горения; изоляция взрывоопасной зоны прочными стенами; расположение взрывоопасного производства в местах, где в случае взрыва не будет причинен вред окружающей среде; установка специальных предохранительных клапанов для сброса давления, возникающего при взрыве; подавление взрыва. Подавление взрыва основано на следующем принципе: при воспламенении взрывоопасной смеси давление в начальный момент времени поднимается медленно, и в этот момент по сигналу специальных датчиков включается устройство, выпускающее огнегасящее вещество, которое предотвращает распространение пламени.

На предприятиях с взрывоопасной характеристикой производства для обеспечения защиты рабочих и служащих на случай производственных аварий рекомендуется создавать защитные сооружения типа убежищ. При больших авариях эти защитные сооружения могут оказаться поврежденными или заваленными обломками от разрушенных взрывом сооружений, и тогда в ходе спасательных работ необходимо организовать их вскрытие.

Рассмотрим некоторые конкретные природные и техногенные чрезвычайные ситуации (ЧС), поведение в них объекта и меры по повышению устойчивости к этим ЧС. Рабочий кабинет инженера может оказаться в зоне военных действий, радиационного поражения, пожаров.

Под устойчивостью функционирования рабочего места понимают способность его в ЧС выполнять свои функции в соответствии с назначением. На устойчивость функционирования объекта в ЧС влияют следующие факторы: надежность защиты работающих от последствий стихийных бедствий, аварий, а также воздействия первичных и вторичных поражающих факторов оружия массового поражения, способность объекта противостоять в определенной степени этим воздействиям, надежность системы снабжения объекта, устойчивость и непрерывность управления производством и гражданской обороной, подготовленность объекта к ведению спасательных и других неотложных работ. Перечисленные факторы определяют и основные требования к устойчивому функционированию предприятия в условиях ЧС и пути его повышения.

Основные мероприятия по повышению устойчивости, проводимые на объектах в мирное время, предусматривают защиту работающих и инженерно-

технического комплекса от последствий стихийных бедствий, аварий (катастроф), а также первичных и вторичных поражающих факторов ядерного взрыва; обеспечение надежности управления и материально-технического снабжения; светомаскировку объекта; подготовку его к восстановлению и переводу на режим работы в условиях ЧС (ГОСТ Р 22.8.01-96 “Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Ликвидация чрезвычайных ситуаций. Общие требования”, Федеральные законы: “О защите населения от ЧС природного и техногенного характера”, “О промышленной безопасности производственных объектов”, “О радиационной безопасности населения” и др.). Для ликвидации последствий ЧС созданы следующие службы:

- оповещения и связи;
- противорадиационной и противохимической защиты;
- медицинская;
- аварийно-техническая;
- охраны общественного порядка и другие.

Для непосредственного осуществления мероприятий гражданской обороны (ГО) и проведения спасательных работ на всех объектах формируется служба ГО. Основными формированиями ГО являются спасательные отряды (команды). Они предназначены для проведения спасательных работ как в военное время, так и для ликвидации последствий стихийных бедствий и крупных аварий.

На сводные отряды, помимо спасения людей, возлагаются неотложные аварийно-восстановительные работы, тушение пожаров, обеззараживание участков местности, транспорта и техники.

➤ **Обрушение здания:**

Обрушение здания – это чрезвычайная ситуация, возникающая по причине ошибок, допущенных при проектировании здания, отступлении от проекта при ведении строительных работ, нарушении правил монтажа, при вводе в эксплуатацию здания или отдельных его частей с крупными недоделками, при нарушении правил эксплуатации здания, а также вследствие природной или техногенной чрезвычайной ситуации.

Обрушения можно классифицировать по нескольким признакам. По виду чрезвычайной ситуации обрушения зданий и сооружений относятся к чрезвычайным ситуациям техногенного характера и, в свою очередь, подразделяются на:

- обрушение элементов транспортных коммуникаций;

- обрушение производственных зданий и сооружений;
- обрушение зданий и сооружений жилого, социально-бытового и культурного назначения.

По масштабу обрушения можно разделить на полные и частичные. По ведомственному признаку обрушение зданий и сооружений относится к чрезвычайным ситуациям в сфере строительства.

Основными причинами обрушения зданий и сооружений являются некачественное выполнение строительно-монтажных работ (потеря несущей способности узловыми монтажными соединениями из-за допущенных дефектов и отступлений от проектных решений, низкая прочность конструктивных систем и отдельных конструкций, необеспечение требований распределения нагрузки в местах опирания несущих конструкций на каменную кладку, просадка фундаментов), нарушение правил и сроков эксплуатации здания без капитального ремонта, превышение расчетных нагрузок на конструкции при строительстве, реконструкции и выполнении ремонтных работ, а также природные факторы и внешнее воздействие. Невесело констатировать, что значительное число чрезвычайных ситуаций такого рода (порядка 40%) происходит из-за некачественного строительства (низкого качества строительных материалов, нарушения технологии строительства, низкой квалификации рабочих, ошибок в проектировании).

Что касается внешних факторов, негативно влияющих на состояние зданий и сооружений, то среди них можно выделить термическое и барическое воздействие. Опасность термического воздействия на конструкции связана со значительным снижением их строительной прочности при превышении определённой температуры. Степень устойчивости сооружения к тепловому воздействию зависит от предела огнестойкости конструкции. Прочность материала может быть охарактеризована критической температурой подогрева, которая составляет 150 °С для полимерных материалов, 200 °С – для стекла, 250 °С – для алюминия и 500 °С – для стали.

При оценке барического воздействия на здания различают четыре степени разрушения:

- слабые разрушения (в растянутой зоне бетона и кирпичной кладки появляются трещины, повреждение крыш, окон, дверных проёмов; ущерб – 10-15% от стоимости здания);

- средние разрушения (разрушаются второстепенные элементы здания (перегородки, окна, двери), начинается разрушение сжатой зоны бетона и кирпичной кладки в основных несущих элементах, появляются трещины в стенах; ущерб – 30-40%);

- сильные разрушения (сквозные трещины в бетоне несущих элементов, отдельные разломы в кирпичной кладке, значительные остаточные прогибы междуэтажных перекрытий, но конструкции не обрушиваются; ущерб – 50%, ремонт не целесообразен);

- полные разрушения (обрушения и разрушение всех элементов; здания восстановлению не подлежат).

Из вышеперечисленных фактов следует, что качество и надежность зданий и сооружений во многих случаях напрямую зависит от эффективности осуществления комплекса технических, экономических и организационных мер по контролю над созданием строительной продукции, ведением строительных работ, а также эксплуатацией зданий и сооружений.

Одной из основных мер по предотвращению обрушений является повышение физической стойкости зданий и сооружений. Оно осуществляется по следующим направлениям:

- снижение статического и динамического воздействия на отдельные конструктивные элементы и здание (сооружение) в целом; для этого используются воздушные и податливые прослойки (экраны) в грунте внутри и на поверхности строительных конструкций, применяются разгружающие консоли и поверхности, повышается местная и общая податливость строительных конструкций за счет устройства шарнирно-податливых узлов опираний и соединений, уменьшается площадь контакта нагружающей среды со строительными конструкциями, устанавливаются легкобрасываемые конструкции, уменьшается собственный вес строительных конструкций.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе произведено проектирование и расчет следящего электропривода продольной подачи фрезерного станка модели ГФ2171 с ЧПУ. Дано описание технологического процесса, техническая характеристика механизма, описание кинематической схемы механизма. Произведен кинематический расчет и определена эквивалентная угловая жесткость механизма подачи, а также произведен расчет основных элементов силовой схемы привода.

Синтез параметров оптимальной настройки выполнен в предположении линейности системы. Определены ожидаемые показатели качества переходных процессов и выполнено исследование линеаризованной САУ СЭП на имитационной модели с помощью программы Mathlab, посредством которой были получены переходные процессы при различных перемещениях. В линеаризованной САУ СЭП качественные и количественные показатели переходных процессов не зависят от заданного перемещения. Хорошее совпадение ожидаемых показателей качества с результатами имитационных исследований временных характеристик линеаризованной САУ СЭП говорит о том, что коэффициенты регуляторов положения, скорости и тока рассчитаны верно и построенная имитационная модель является адекватной. Имеющиеся расхождения в значениях показателей, полученных на модели и ожидаемых, обусловлены неточностями в обработке графиков.

Исследование логарифмических и динамических характеристик проводилось с помощью программы LACH. Логарифмические характеристики показали, что полоса пропускания по модулю $f_n = 12,6$ Гц, по фазе $f_n = 8$ Гц. Статические характеристики рассчитаны аналитическим методом. Анализ показывает, что система обеспечивает статическое падение частоты вращения, на нижней характеристике равное $3,3\%$ при диапазоне регулирования частоты вращения $D_\omega = 10000$.

Рассмотрено и проанализировано влияние величины входного сигнала СЭП на динамические показатели переходного процесса, было установлено, что при средних и больших входных воздействиях необходимо устанавливать параболический регулятор положения. Проведен расчет параметров параболического регулятора положения и при моделировании в среде Mathlab показан эффект от его введения: все перемещения отрабатываются без перерегулирования и колебаний.

Также были проведены исследования по выбору места установки датчика положения. В двухмассовой механической системе с датчиком положения, установленным на валу электродвигателя при максимальном моменте нагрузки, заданное положение механизма подачи (второй массы) максимальная установившаяся ошибка равна $\Delta L_{уст} = 125$ мкм, что не удовлетворяет требованиям технического задания: $\Delta L_{зад} \leq 1$ мкм.

Для устранения установившейся ошибки работы СЭП с упругой механической системой датчик положения следует ставить на механизме подачи. В этом случае установившаяся ошибка $\Delta L_{уст.} = 0$ мкм. В качестве линейного датчика положения выбран инкрементный круговой фотоэлектрический преобразователь перемещений типа ЛИР -158.

Таким образом, спроектированная система следящего тиристорного электропривода подачи удовлетворяет требованиям технического задания.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства участка путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фрезерного станка модели 16K30 .Паспорт
2. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ. Справочное пособие, 1989
3. Электроприводы унифицированные трёхфазные серии ЭПУ1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ИГРФ.654674.001 ТО 1984.
4. Расчет мощности электроприводов металлорежущих станков. А.Д. Поздеев, Чебоксары ,1988
5. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 1. – Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. – Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 144 с.
6. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 4. Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 152 с.
7. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных электроприводов постоянного тока: Учебное пособие по курсовому проектированию. – Томск: Изд. ТПИ, 1991. – 104 с.
8. Чернышев А.Ю., Ланграф СВ., Чернышев И.А. Исследование систем скалярного частотного управления асинхронным двигателем: Учебно-метод. пособие. /Томск. Политехи. Ун-т. - Томск: Изд-во ТПУ, 2004.-29с.
9. Чернышёв А.Ю., Чернышёв И.А.. Расчёт характеристик электропривода переменного тока. Часть 1. - Асинхронный двигатель: Учебное пособие. - Томск:Издательство ТПУ, 2005.
10. Копылов И.П. Электрические машины. - М.: Высш. шк., Логос, 2000.
11. Руководство по монтажу и вводу в эксплуатацию ACS800. Корпорация ABB,2004.-132с.
12. Экономика и организация производства в дипломных проектах: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / Под общей ред.К. М. Великанова. - 4-е издание перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1986. - 256.
13. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие // И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина; Томский политехнический университет.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.-36с
14. ГОСТ 14254-96 Степени защиты обеспечиваемые оболочками (МЭК 529-89)
15. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
16. СанПиН 2.2.272.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
17. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 Электромагнитные излучения радиочастот-

ного диапазона (Э М И РЧ);ГОСТ 12.1.006-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электромагнитные поля радиочастот.

18. НПБ105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

19.ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.

20. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; СП 51.13330.2011. Защита от шума.

21. ПБ 05-580-03 Правила безопасности на предприятиях по обогащению и брикетированию углей (сланцев)

22. Устройство контроля скорости УКС. Руководство по эксплуатации. - 41с.

23. Трудовой кодекс России (ТК РФ) 2018

24. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности