

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Кафедра электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Регулируемый электропривод запорно-регулирующей арматуры газотранспортной системы

УДК 62-83-52:621.646

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Миржонов Рустам Истам угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Смирнов Александр Олегович	Кандидат технических наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат экономических наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дементьев Юрий Николаевич	Кандидат технических наук, доцент		

Томск – 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт электронного обучения
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
 Кафедра электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Ю.Н. Дементьев
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студент:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Миржонов Рустам Истам угли

Тема работы:

Регулируемый электропривод запорно-регулирующей арматуры газотранспортной системы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1655/с от 09.03.2017г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации на задвижку
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Подробное изучение технологического процесса, выбор двигателя, частотного преобразователя, исследование динамической модели АД во вращающейся системе координат, оптимизация контуров регулирования, исследование электропривода на модели нелинейного асинхронного электропривода с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат.
Перечень графического материала	Кинематическая схема Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода Структурная схема ЭП с векторным управлением Схема имитационной модели электропривода

		Переходные процессы асинхронного электропривода с векторным управлением
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович	
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Заключение		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.03.2017г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Смирнов Александр Олегович	Кандидат технических наук		06.03.2017г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Миржонов Рустам Истам угли		06.03.2017г.

Реферат

Ключевые слова: клиновая задвижка, электропривод, асинхронный двигатель, векторное управление, имитационная модель.

Существенным элементом при добычи, транспортировке, а также хранения газа и нефти является арматура запорная. От нее зависит процесс технологический во всех режимах функционирования.

Одним из путей совершенствования функциональности и надежности трубопроводной арматуры является использование интеллектуального электропривода, способного быстро и качественно выполнить технологическую задачу.

Объектом исследования является задвижка клиновая ЗКЛП 200-16.

Цель работы заключается в исследовании асинхронного электропривода механизма клиновой задвижки при различных режимах работы.

В результате исследования были настроены контура управления электроприводом. На имитационной модели получены переходные процессы скорости, тока и момента в различных режимах.

Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: обеспечение плавного пуска, плавное изменение скорости, ограничение крутящего момента.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2003, также для расчетов использовалась программа MathCad 15, среда Simulink MATLAB.

Оглавление

Введение	8
1. Технологический процесс	10
1.1 Назначение и технические характеристики клиновой задвижки ЗКЛП 200-16	10
1.2 Определение области работы регулируемого электропривода	13
2. Выбор электрооборудования, расчет параметров элементов и характеристик	15
2.1 Схема реализации силовой части регулируемого электропривода с преобразователем частоты	15
2.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя	16
2.3 Выбор типа преобразователя и способа регулирования скорости	20
2.4 Выбор структурной схемы силового канала электропривода	22
3. Расчет статических и предельных характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД	23
3.1 Расчет дополнительных параметров двигателя и преобразователя	23
3.2 Естественные механическая и электромеханическая характеристики электропривода	24
3.3 Определение заданной области работы электропривода	26
4. Расчет линеаризованной САУ электропривода	31
4.1 Структурная схема линеаризованной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением	31
4.2 Оптимизация контуров регулирования	33
5. Имитационное моделирование электропривода задвижки	51
5.1 Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении	51
5.2 Исследование работы электропривода в динамических режимах	55

5.3 Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с моделью двигателя в двухфазной системе координат	57
5.4 Результаты имитационного моделирования	59
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	63
6.1. Инициализация проекта	63
6.1.1 Анализ конкурентных технических решений	64
6.2 Планирование научно-исследовательских и пуско-наладочных работ	67
6.2.1 Планирование научно-исследовательских работ по проекту	67
6.2.2 Планирование пуско-наладочных работ	69
6.2.3 Состав бригады для проведения ПНР	73
6.3 Расчет бюджета проекта по внедрению частотного электропривода	75
6.3.1 Смета затрат на НИР	75
6.3.2 Смета затрат на ПНР	76
6.3.3 Расчет расходов при эксплуатации электропривода (стоимости силовой электроэнергии)	77
6.3.4 Расчет амортизационных отчислений	77
6.3.5 Заработная плата обслуживающего персонала	78
6.3.6 Общая сумма эксплуатационных расходов	79
6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования	80
6.4.1. Интегральный финансовый показатель	80
6.4.2. Интегральный показатель ресурсоэффективности	81
6.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	82
7. Социальная ответственность	86

7.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	86
7.2 Меры безопасности при работе с клиновой задвижкой	87
7.3 Техника безопасности	88
7.4 Производственная санитария	90
7.5 Пожарная безопасность	97
7.6 Охрана окружающей среды	100
7.7 Чрезвычайные ситуации	102
Заключение	103
Список использованных источников	105
Приложение А	107

Введение

На сегодняшний день трубопроводная арматура снабжается электроприводами для повышения надежности, функциональности, а так же увеличения быстродействия всего технологического процесса. Электропривод переменного тока состоит из преобразователя частоты со звеном постоянного тока и инвертора, выполненного на основе широтно-импульсного модулятора. На сегодняшний день преимущественно используются преобразователи с автономными инверторами напряжения. Так как в роли источника напряжения выступает трехфазная сеть переменного тока, то одним из компонентов преобразователя служит трехфазный управляемый или неуправляемый выпрямитель. Для осуществления управления приводом, в контроллер интегрирована микропроцессорная система управления с внешним интерфейсом, который позволяет пользователю значительно расширить возможности применения данного комплекса. Комплект составных аппаратных частей совместно с интегрированным программным обеспечением, дает возможность реализовать на таких основах множество вариантов исполнения и назначения приводов, начиная от разомкнутых систем, заканчивая регулированием скорости и ориентации в замкнутых системах.

В том случае, если привод не обязательно должен соблюдать четкие условия регулирования скорости, применяются обыкновенные системы управления без обратной связи по скорости, осуществляющие работу по принципу U/f -регулирования при различных соотношениях между напряжением и частотой. Широкая область регулирования получается за счет использования IR -компенсации путем увеличения частоты при росте нагрузки.

В том случае, если к динамике предъявлены повышенные требования и при значительных диапазонах изменения скорости, используется векторное бездатчиковое управление и с датчиками обратной связи. Применение векторного управления совместно с датчиком обратной связи по скорости дает возможность

получить область регулирования не меньше 1000 при неизменной перегрузочной способности электропривода и значительных показаний динамики. Особенность подобного привода создавать момент на валу при значениях скорости равной нулю дает возможность применять его в системах управления положения при активной нагрузке.

Для достижения установленной цели нужно реализовать следующие задачи:

1. Выбрать электродвигатель и преобразователь частоты, рассчитать и построить электромеханические характеристики и механические характеристики электродвигателя.

2. Разработать схему структурную САУ частотно-регулируемого электропривода асинхронного с управлением векторным, выполнить расчет по оптимизации контуров регулирования.

3. Разработать модель имитационную в среде программной Matlab, которая позволяет исследовать электропривод механизма задвижки клиновой.

1. Технологический процесс

1.1 Назначение и технические характеристики клиновой задвижки

ЗКЛП 200-16

Под трубопроводной арматурой понимаются регулирующие устройства, реализуемые на трубопроводах и других аппаратах, соединяемых трубопроводом, служащие для организации потоков сред посредством отключения или изменения поперечного сечения в отдельных узлах участков трубопроводного соединения, а так же изменения направления потоков по необходимым направлениям, обеспечения регулировки конфигураций среды, таких как давления, температуры, расхода и т.д. [8]

Затраты на организацию арматурных комплексов трубопроводных систем составляют около десяти процентов от капитальных и эксплуатационных вложений. В ходе эксплуатации задвижки и другие аппараты находятся под самыми различными динамическими нагрузками, таких как больших и малых температур, избыточных давлениях, действий кислотных и щелочных сред. Поэтому, одними из основных требований, предъявляемых к подобным устройствам, являются надежность, долговечность, прочность, взрыво- и пожароустойчивость, устойчивость к коррозии и и многие другие факторы. Рынок, вследствие этого, на сегодняшний день предлагает большое множество всевозможных вариантов исполнения подобных изделий, каждый из которых предлагает определенное приемлемое для заказчика соотношение между этими противоречивыми показателями[9,10].

Одной из основных составляющих частей задвижки является затвор. Он выполняется в форме листа, диска или клина, перемещающегося вдоль перпендикулярной оси движения среды по уплотнительным поверхностям.

Две плоскости, наклоненные под небольшим углом к оси протекания среды, образуя клиновидную форму, называется седлом, в которое опускается затвор,

прикрепленный к шпинделю. По мере закрытия задвижки, затвор движется вниз, перекрывая ход потоку и, приближаясь к нижней конечной точке, за счет клиновидной формы, прижимается к такой же клиновой поверхности седла и уплотнителя. Таким образом, в положении «закрыто» за счет давления шпинделя на затвор, последний оказывается расклиненным в седле, герметизируя тем самым весь узел.

Одним из плюсов такой конструкции является то, что, во-первых, в процессе перемещения затвора, сопротивления среды его ходу не создается, что значительно снижает усилие, необходимое для приведения рабочего механизма в действие; а во-вторых, поток среды протекает прямолинейно, поэтому такой вид арматуры обладает низким коэффициентом местного сопротивления в положении «открыто». В виду того, что форма запорного узла симметрична относительно поперечной оси потока, такие конструкции могут быть использованы при любом направлении движения среды.

Однако, такие конструкции не лишены недостатков. Например, одним из них является ощутимое трение уплотнительного материала о затвор во время его перемещения. Необходимо так же создавать дополнительный объем для расположения затвора в положении «открыто», обычно в два раза больше диаметра самого трубопровода. Однако наиболее серьезным недостатком таких конструкций является эффект стачивания абразивными посторонними включениями, находящимися в потоке. Такой эффект наиболее силен в тот момент, когда затвор находится в промежуточном положении между положениями «закрыто» и «открыто». В этом случае отдельные участки уплотнительных поверхностей оказываются под воздействием активных их обтекаемых потоков, подвергающих относительно мягкий материал физическому износу, который со временем изнашивается до того состояния, при котором задвижка не может обеспечить полной герметичности узла в положении «закрыто».

Подобного рода запорная арматура применяется на крупных трубопроводах, внутренний диаметр которых превосходит 50мм, где не

допускаются гидравлические удары путем резкого перекрытия потока; задвижки в этом случае позволяют выполнить эту процедуру гораздо более плавно.

В данном дипломном проекте рассматривается привод для механизма клиновой задвижки ЗКЛП 200-16 (рис. 1).

Таблица 1 – Основные характеристики клиновой задвижки ЗКЛП 200-16

Диаметр задвижки, мм	Крутящий момент, кгс·м	Частота вращения шпинделя, об/мин	Время полного закрытия или открытия, с
200	10-30	50	44



Рисунок 1 – Внешний вид клиновой задвижки ЗКЛП 200-16

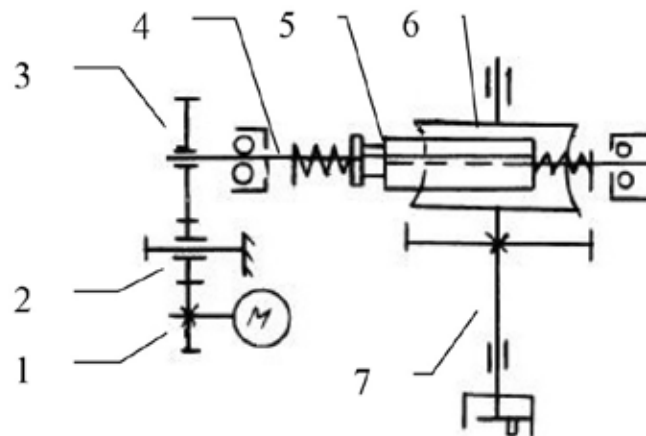


Рисунок 2 – Кинематическая схема привода клиновой задвижки

При пуске электродвигателя вращение в выходному валу 7 передаётся через цилиндрические колёса 1, 2, 3, шлицевый вал 4, червячный вал 5 и червячное колесо 6.

1.2 Определение области работы регулируемого электропривода

Область работы электропривода рис. 3 задана в 4-х квадрантах плоскости координат [1]:

Область длительной работы электропривода ограничена:

- максимальной скоростью $\omega_{ЭП_макс} = 146 \text{ рад / с}$;
- интервалом изменения полезной нагрузки $M_{с_мин} \div M_{с_макс}$ где

$$M_{с_макс} = 8,21 \text{ Нм};$$

$$M_{с_мин} = M_{с_ХХ} = 0,15 \cdot M_{с_макс} = 0,15 \cdot 8,21 = 1,23 \text{ Нм}.$$

Область кратковременной работы привода ограничена:

- максимальной скоростью $\omega_{ЭП_макс} = 146$;
- максимальным моментом электропривода

$$M_{ЭП_макс} = 1,6 \cdot M_{с_макс} = 1,6 \cdot 8,21 = 13,15 \text{ Нм}.$$

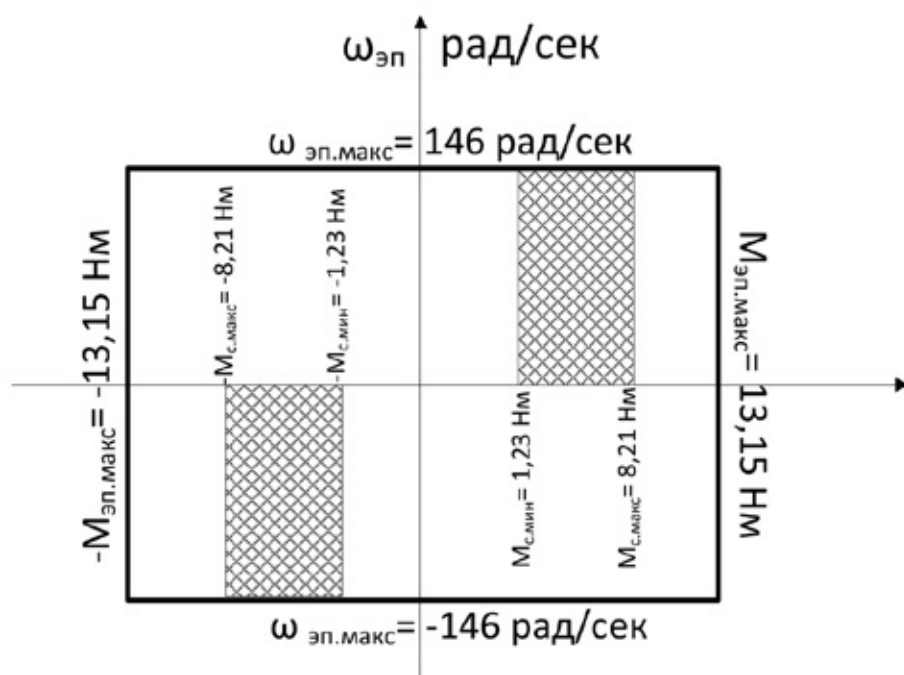


Рисунок 3 – Заданная область работы электропривода

2. Выбор электрооборудования, расчет параметров элементов и характеристик

2.1 Схема реализации силовой части регулируемого электропривода с преобразователем частоты

За основу принципа векторного широтно-импульсного модулирования взято представление о независимых базовых векторах напряжения, то есть о векторах, сформированных из трехфазных напряжений автономного инвертора. Любое из этих напряжений принимает каждое из пяти возможных значений, которые отличаются от вращающихся в пространстве традиционных векторов в установившемся режиме. Шесть комбинаций проводящих состояний вентилях в составе инвертора дают равное количество состояний пространственного вектора на выходе преобразователя.

Смена положения вектора происходит дискретно с шагом 60 градусов. Все шесть вариантов положения вектора рассматриваются как отдельное положение. Кроме того, существуют варианты, при которых в проводящем режиме оказываются все вентили четной группы или нечетной. В это случае, напряжение инвертора на выходе оказывается равным нулю, а такой ситуации соответствует нулевой вектор. Такая группа из шести ненулевых векторов и двух нулевых называется базовыми векторами напряжения. Подобный метод управления электроприводами переменного тока подходит наиболее хорошо для состояния комплекса в целом.

Схема векторного управления ЭП при помощи преобразователя частоты приведена на рис. 4. В состав данного комплекса входят неуправляемый мостовой выпрямитель, автономный инвертор, ШИМ контроллер, осуществляющий регулирование выходной частоты и напряжения; СИФУ ШИМ, САР, дросселя, и фильтра.

Период модуляции, при котором обмотки статора в зависимости от времени по очереди подключаются к разноименным полюсам выпрямителя

как раз и характеризует ШИР. Эти временные отрезки составляются по синусоидальному закону. При тактовых частотах порядка двух- пятнадцати килогерц, в результате действия присущих им фильтрующих свойств, наблюдаются синусоидальные токи.

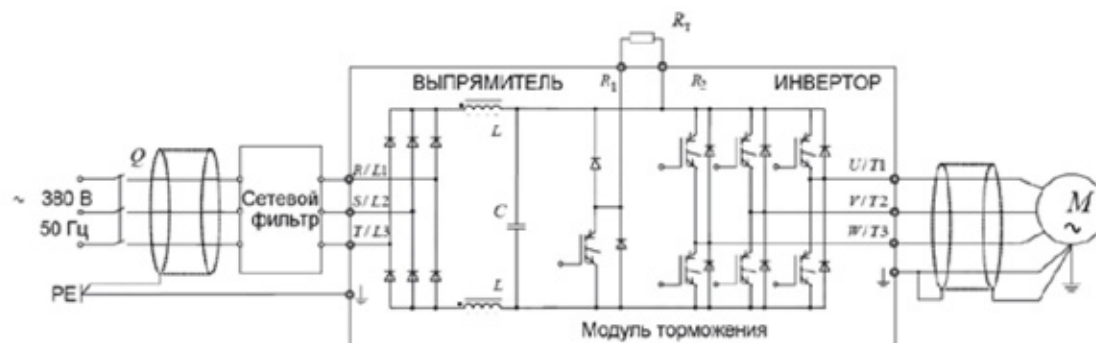


Рисунок 4 – Схема силовой части регулируемого электропривода с преобразователем частоты

2.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя

Задвижка ЗКЛП 200-16 с электроприводом оснащается асинхронным двигателем АИМ-80В4, мощностью 1,5 кВт. Технические данные двигателя АИМ-80В4 представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические данные электродвигателя

Тип двигателя	$n_{ном},$ об/мин	$U_{1H},$ В	$P_{дв.н},$ кВт	При номинальной нагрузке			$s_K, \%$	$J_{дв}, кг \cdot м^2$
				$s_H, \%$	$\cos \varphi_H$	$\eta, \%$		
АИМ-80В4	1500	380	1,5	7	0,80	80,3	42,7	0,0034
$m_{II} = \frac{M_{пуск}}{M_H}$		$m_K = \frac{M_{макс}}{M_H}$		$m_M = \frac{M_{мин}}{M_H}$		$k_{дв} = \frac{I_{пуск}}{I_H}$		Степень защиты
1,8		2,3		1,3		5,1		IEExdllBT4

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{дв.н} = (1 - s_H) n_0 = (1 - 0.07) \cdot 1500 = 1395 \text{ об / мин}$$

$$\omega_{дв.н} = \pi \frac{n_{дв.н}}{30} = 3.14 \cdot \frac{1395}{30} = 146,01 \text{ рад / с}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{дв.н} = \frac{P_H \cdot 10^3}{\omega_{дв.н}} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{146,01} = 10,273 \text{ Нм}$$

Номинальное фазное напряжение при соединении обмоток в звезду:

$$U_{\phi н} = \frac{U_H}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

Номинальный фазный ток при соединении обмоток в звезду:

$$I_{\phi н} = I_{лн} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{\phi н} \cdot \eta \cdot \cos \psi} = \frac{1500}{3 \cdot 220 \cdot 0,803 \cdot 0,80} = 3,538 \text{ А}$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при пуске:

$$I_{макс} = k_{дв} I_{лн} = 5,1 \cdot 3,538 = 18,043 \text{ А}$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике:

$$M_K = m_k \cdot M_{дв.н} = 2,3 \cdot 10,273 = 23,629 \text{ Нм}$$

Пусковой момент при прямом пуске:

$$M_{дв.пуск} = m_{п} \cdot M_{дв.н} = 1,8 \cdot 10,273 = 18,492 \text{ Нм}$$

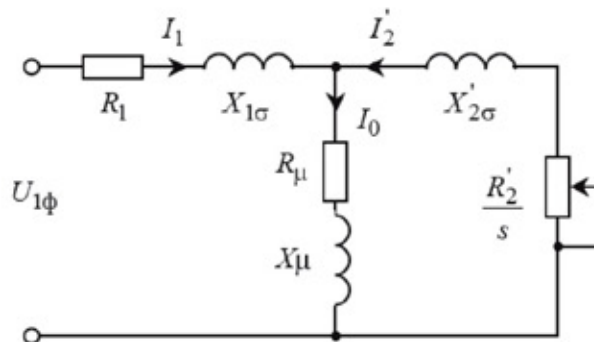


Рисунок 5 – Т-образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p' \cdot I_{1н} (1 - s_n) / (1 - p' \cdot s_n)]^2}{1 - [p' (1 - s_n) / (1 - p' \cdot s_n)]^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2,823^2 - [0,75 \cdot 3,538 (1 - 0,07) / (1 - 0,75 \cdot 0,07)]^2}{1 - [0,75 (1 - 0,07) / (1 - 0,75 \cdot 0,07)]^2}} = 1,608 \text{ А}$$

где $I_{1н}$ - номинальный ток статора двигателя:

$$I_{1н} = \frac{P_H}{m \cdot U_{\phi н} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{1500}{3 \cdot 220 \cdot 0,80 \cdot 0,803} = 3,538 \text{ А}$$

$m=3$ – число фаз асинхронного двигателя;

I_{11} – ток статора двигателя при частичной загрузке;

$$I_{11} = \frac{p' \cdot P_H}{m \cdot U_{\phi n} \cdot \cos \varphi_{p'} \cdot \eta_{p'}} = \frac{0,75 \cdot 1500}{3 \cdot 220 \cdot 0,752 \cdot 0,803} = 2,823 \text{ A}$$

$\cos \varphi_{p'}$ - коэффициент мощности при частичной загрузке

$$\cos \varphi_{p'} = 0,94 \cdot \cos \varphi = 0,752 \text{ o.e.}$$

$\eta_{p'} = \eta_H = 0,803 \text{ o.e.}$ - КПД при частичной загрузке;

$p' = 0,75 \text{ o.e.}$ - коэффициент загрузки двигателя.

Критическое скольжение:

$$s_k = s_H \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} =$$

$$= 0,07 \frac{2,3 + \sqrt{2,3^2 - [1 - 2 \cdot 0,07 \cdot 1,3 \cdot (2,3 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,07 \cdot 1,5 \cdot (2,3 - 1)} = 0,427 \text{ o.e.}$$

где m_k – кратность максимального момента;

значение коэффициента β , находится в диапазоне $0,6 \div 2,5$. Принимаем $\beta = 1,5$.

Определим коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{\text{дв}} \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{1,608}{2 \cdot 5,1 \cdot 3,538} = 1,045 \text{ o.e.};$$

где $k_{\text{дв}}$ – кратность пускового тока.

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\phi n}^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot C_1 \cdot m_k \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,07)}{2 \cdot 1,045 \cdot 2,3 \cdot 1500} = 18,735 \text{ o.e.}$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора АД:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_k) \cdot C_1} = \frac{18,735}{(1,5 + 1/0,427) \cdot 1,045} = 4,669 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,045 \cdot 4,669 \cdot 1,5 = 7,316 \text{ Ом}$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{\text{кн}}$:

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0,427) - 1,5^2} = 1,798 \text{ o.e.}$$

Тогда

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 1,798 \cdot 1,045 \cdot 4,669 = 8,767 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_{2\sigma}' = 0,58 \cdot X_{KH} / C_1 = 0,58 \cdot 8,767 / 1,045 = 4,868 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 8,767 = 3,682 \text{ Ом}$$

ЭДС ветви намагничивания E_m , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{\left(U_{\phi H} \cdot \cos \varphi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H} \right)^2 + \left(U_{\phi H} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{1H}} + X_{1\sigma} \cdot I_{1H} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(220 \cdot 0,80 - 7,316 \cdot 3,538 \right)^2 + \left(220 \cdot \sqrt{1 - 0,80^2} - 3,682 \cdot 3,538 \right)^2} = 208,729 \text{ В} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_m}{I_o} = \frac{208,769}{1,608} = 129,769 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{3,682}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,012 \text{ Ом}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{2\sigma}' = \frac{X_{2\sigma}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{4,868}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,016 \text{ Ом}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания),

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{129,769}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,413 \text{ Ом}$$

Таблица 3– Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, мГн	X_μ , мГн	L_μ , Гн	R_2' , Ом	$X_{2\sigma}'$, Ом	$L_{2\sigma}'$, мГн	X_{KH} , Ом
7,316	3,682	0,012	129,769	0,413	4,669	4,868	0,016	8,767

2.3 Выбор типа преобразователя и способа регулирования скорости

Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть 380/220 В, 50Гц

Выходные параметры преобразователя частоты:

- максимальная выходная частота

$$f_{П.МАКС} > 50 \frac{\omega_{ЭП.макс}}{\omega_0(1-s_K)};$$
$$50 \frac{\omega_{ЭП.макс}}{\omega_0(1-s_K)} = 50 \cdot \frac{146}{146 \cdot (1-0,427)} = 81,16 \text{ Гц};$$
$$f_{П.МАКС} > 81,16 \text{ Гц}.$$

- минимальная выходная частота преобразователя

$$f_{П.МИН} < 50 \frac{\omega_{ЭП.мин}}{\omega_0};$$
$$50 \cdot \frac{\omega_{ЭП.мин}}{\omega_0} = 50 \cdot \frac{54}{157} = 17,97 \text{ Гц};$$
$$f_{П.МИН} < 17,97 \text{ Гц}.$$

Длительно допустимый ток

$$I_{И.Н} \geq I_{1ФН} \frac{M_{с.макс}}{M_{ДВ.Н}}$$
$$I_{1ФН} \cdot \frac{M_{с.макс}}{M_{ДВ.Н}} = 3,538 \cdot \frac{8,22}{10,273} = 2,83 \text{ А}$$
$$I_{И.Н} \geq 2,83 \text{ А}$$

Кратковременно допустимый ток

$$I_{И.МАКС} \geq I_{1ФН} \frac{M_{ЭП.макс}}{M_{ДВ.Н}}$$
$$I_{1ФН} \frac{M_{ЭП.макс}}{M_{ДВ.Н}} = 3,538 \cdot \frac{13,15}{10,273} = 4,528 \text{ А}$$
$$I_{И.МАКС} \geq 4,528 \text{ А}$$

Преобразователь частоты выбираем:

- по номинальному и максимальному кратковременному току
- по выходным параметрам частоты
- по параметрам питающей сети

Таблица 4 - Способ управления

Способ управления	Диапазон регулирования
Векторное управление, без датчика скорости (с внутренней моделью)	100 - 120

Выбираем преобразователь частоты фирмы Schneider-Electric серии ALTIVAR 31. Технические параметры представлены в таблице 5. Преобразователь частоты ATV31 в защитном кожухе отвечает требованиям применений с тяжелыми условиями эксплуатации, для которых необходима степень защиты IP 55. Защищенный ПЧ может устанавливаться в непосредственной близости от двигателя.

Таблица 5 - Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение	Выходная частота	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя
	$U_{\text{ЛЛ}}$	f_c	U_H	f_H	$I_{\text{Н.Н}}$	$I_{\text{Н.МАКС}}$	P_2
	В	Гц	В	Гц	А	А	кВт
ATV31 CU15N4	3x380	50/60	380..500	0.5..500	4,1	6,2	1,5
$f_{\text{ШИМ}} = 8 \text{ кГц}$							
Степень защиты – IP55							

2.4 Выбор структурной схемы силового канала электропривода

В первом приближении воспользуемся упрощенной структурной схемой силового канала электропривода, изображенной на рис. 6. В аднном случае асинхронный двигатель предстален апериодическим звеном первого порядка.

Далее после настройки расчета регуляторов и настройки контуров регулирования воспользуемся моделью асинхронного двигателя в двухфазной системе координат (рис. 7).

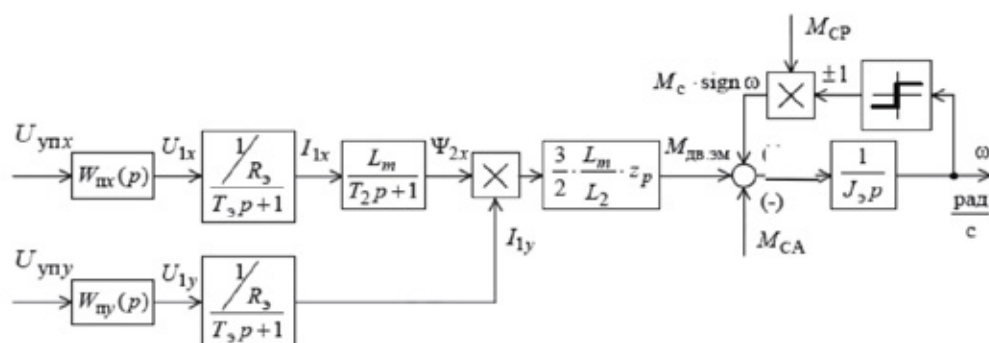


Рисунок 6 – Упрощенная структурная схема силового канала системы преобразователь -асинхронный электродвигатель

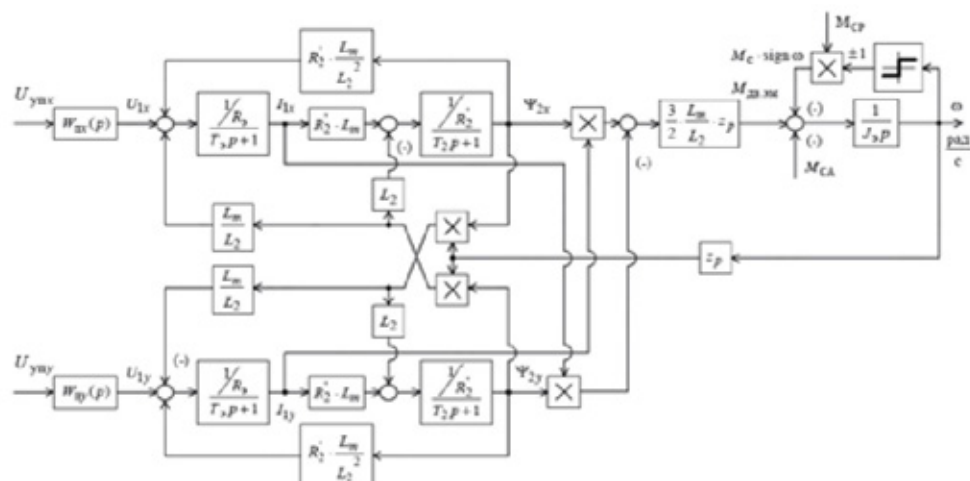


Рисунок 7 – Структурная схема силового канала системы преобразователь – асинхронный электродвигатель в двухфазной неподвижной системе координат

3. Расчет статических и предельных характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД

3.1 Расчет дополнительных параметров двигателя и преобразователя

Проведем расчет дополнительных параметров преобразователя.
Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя

$$k_H = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1ФН}}{U_{уп.макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,11.$$

где $U_{уп.макс}$ - максимальное значение напряжения управления.

Принимаем $U_{уп.макс} = 10В$

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_H = \frac{0,5}{f_{ШИМ}} = \frac{0,5}{8000} = 6,25 \cdot 10^{-5} с.$$

Проведем расчет дополнительных параметров двигателя.
Эквивалентные индуктивности обмоток:

-статора $L_1 = L_{1\sigma} + L_\mu = 0,012 + 0,413 = 0,425 Гн$,

-ротора $L_2 = L'_{2\sigma} + L_\mu = 0,016 + 0,413 = 0,429 Гн$,

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_1 L_2} = 1 - \frac{0,413^2}{0,425 \cdot 0,429} = 0,063 o.e.,$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_\Sigma = R_1 + R'_2 \frac{L_\mu^2}{L_2^2} = 7,316 + 4,669 \frac{0,413^2}{0,429^2} = 11,654 Ом,$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_\Sigma = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_\Sigma} = \frac{0,063 \cdot 0,425}{11,654} = 2,288 \cdot 10^{-3} с,$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R'_2} = \frac{0,429}{4,669} = 0,092 с,$$

Расчет параметров механизма

$$J_M = 0,5 \cdot J_{ДВ} = 0,5 \cdot 3,4 \cdot 10^{-3} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Эквивалентный момент инерции привода

$$J_{\Sigma} = J_{ДВ} + J_M = 3,4 \cdot 10^{-3} + 1,7 \cdot 10^{-3} = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

3.2 Естественные механическая и электромеханическая характеристики электропривода

Механическая характеристика $M(s)$ системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель рассчитывается для частоты $f_H = f_{1H} = 50 \text{ Гц}$ по выражению

$$M(s) = \frac{3U_{1\Phi H}^2 R'_2}{\omega_0 s \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 R'_2}{s X_\mu} \right)^2 \right]}$$

По результатам расчета строится механическая характеристика $\omega(M)$, где

$$\omega = \omega_0(1-s)$$

$$\begin{aligned} M_{\Sigma M.H} &= \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 4,669}{157 \cdot 0,07 \left[8,55^2 + \left(7,316 + \frac{4,669}{0,07} \right)^2 + \left(\frac{7,316 \cdot 4,669}{0,07 \cdot 129,769} \right)^2 \right]} = 11,083 \text{ Нм}; \end{aligned}$$

Момент трения на валу двигателя:

$$M_{с.ДВ} = M_{\Sigma M.H} - M_{ДВ.H} = 11,083 - 10,273 = 0,81 \text{ Нм}.$$

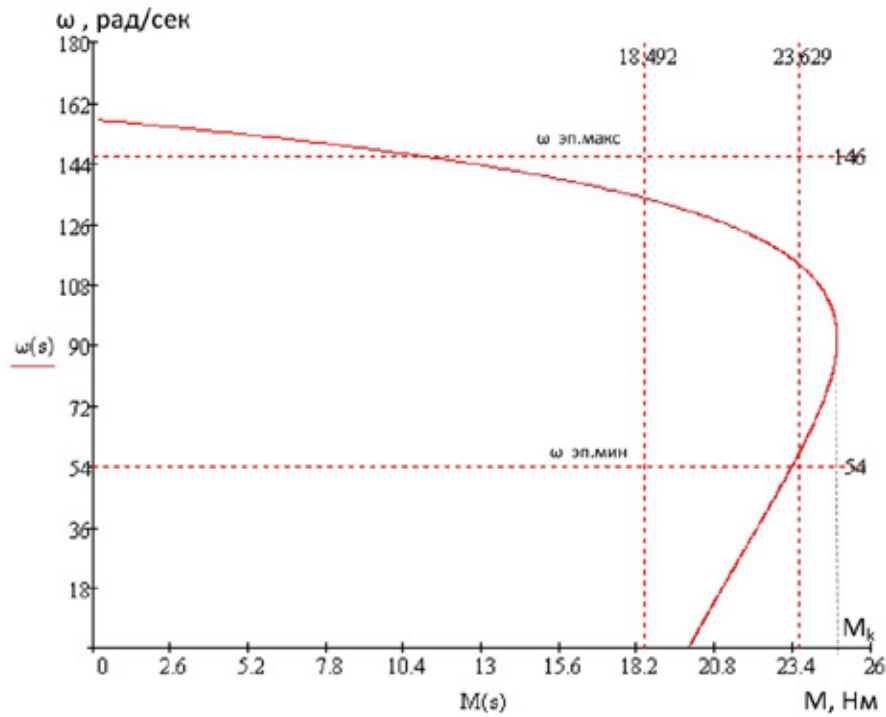


Рисунок 8 - Механическая характеристика АД

2. Электромеханическая характеристика $I(s)$ системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель рассчитывается для частоты $f_H = f_{1H} = 50 \text{ Гц}$ по выражению:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \phi_2(s)};$$

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{KH})^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}};$$

$$\sin \phi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{KH})^2}};$$

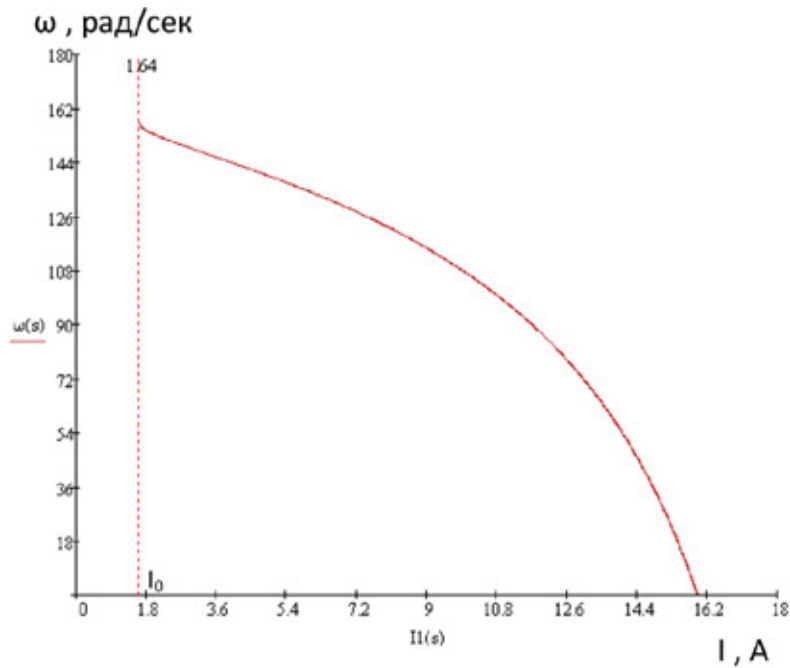


Рисунок 9 – Электромеханические характеристики АД

3.3 Определение заданной области работы электропривода

1. На полученную механическую характеристику $M(\omega)$ наносятся граничные характеристики для длительного и кратковременного режимов работы

$$\begin{aligned} -M_{C.МНН}(\omega) &= const; \\ -M_{C.МАКС}(\omega) &= const; \\ -M_{ЭП.МАКС}(\omega) &= const. \end{aligned}$$

2. Рассчитывается и строится зависимость длительно допустимого момента электродвигателя $M_{дв.длит.доп}(\omega)$

- в зоне работы с номинальным потоком при $f_H \leq f_{1H}$

$$M_{дв.длит.доп}(\omega) = M_{двн} \cdot \left(0,5 + \frac{\omega}{\omega_{двн}} \right) \quad \text{при} \quad \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{двн};$$

$$M_{дв.длит.доп}(\omega) = M_{двн} \quad \text{при} \quad 0,5 \cdot \omega_{двн} < \omega \leq \omega_{двн}.$$

Таблица 6 - Результаты расчета зависимости $M_{дв.длит.доп}(\omega)$

$\omega, \text{рад} / \text{с}$	0	$0,5 \cdot \omega_{дв.н} = 73$	$\omega_{дв.н} = 146,01$
$M_{дв.длит.доп}, \text{Н} \cdot \text{м}$	8,37	10,273	15,41

3. Рассчитывается и строится зависимость максимального допустимого момента электродвигателя $M_{дв.макс}(\omega)$

- в зоне работы с номинальным потоком при $f_H \leq f_{1H}, \omega \leq (\omega_0 \cdot (1 - S_K))$;

$$M_{дв.макс}(W) = M_K \Big|_{f_H=f_{1H}} = const,$$

где

$$M_K = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{KH}^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{R_2'}{X_\mu} \right)^2 \right]} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157 \cdot \left[7,316 + \sqrt{(7,316^2 + 8,55^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{4,669}{129,769} \right)^2 \right]} \right]} = 24,892 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

- в зоне работы с ослабленным потоком при $f_H > f_{1H}, (\omega > \omega_0 \cdot (1 - S_K))$

$$M_{дв.макс}(\omega) = M_K \cdot \frac{\omega_0 \cdot (1 - S_K)}{\omega}$$

Таблица 7 - Результаты расчета зависимости $M_{дв.макс}(\omega)$

$\omega, \text{рад} / \text{с}$	0.0001	$\omega_0 = 157$
$M_{дв.макс}, \text{Н} \cdot \text{м}$	24,892	24,892

4. Рассчитывается и строится зависимость допустимого длительного тока электродвигателя $I_{дв.длит.доп}(\omega)$

- в зоне работы с номинальным потоком ($f_H \leq f_{1H}$)

$$I_{дв.длит.доп}(\omega) = M_{двн} \cdot \left(0,5 + \frac{\omega}{\omega_{двн}} \right) \text{ при } \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{двн};$$

$$I_{дв.длит.доп}(\omega) = I_{двн} \text{ при } 0,5 \cdot \omega_{двн} < \omega \leq \omega_{двн}.$$

Таблица 8 - Результаты расчета зависимости $I_{ДВ.ДЛИТ.ДОП}(\omega)$

$\omega, рад / с$	0	$0,5 \cdot \omega_{ДВ.Н} = 73$	$\omega_{ДВ.Н} = 146$
$I_{ДВ.ДЛИТ.ДОП}, А$	2,983	3,538	5,307

5. Рассчитывается и строится зависимость $I_{C.max}(\omega)$, соответствующая длительной максимальной нагрузке $M_{C.max}(\omega) = const$. Для этого необходимо определить соответствующее $M_{C.max}$ значение скольжения, решив относительно s уравнение:

$$\frac{3 \cdot U_{1ФН}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = M_{C.max}$$

И далее рассчитать значение тока $I_{C.max} \Big|_{f_H=f_{1H}}$ и скорости $(\omega_{T5} = \omega_0 \cdot (1-S))$.

Зависимость $I_{C.max}(\omega)$ рассчитывается по выражениям:

$$I_{C.max}(\omega) = I_{C.max} \Big|_{f_H=f_{1H}}$$

Таблица 9 - Результаты расчета зависимости $I_{СМАКС}(\omega)$

$\omega, рад / с$	$\omega_{ЭП.МИН} = 54$	$\omega_{ЭП.МАКС} = 146$
$I_{C.max}, А$	2,76	2,76

6. Рассчитывается и строится зависимость $I_{ЭП.МАКС}(\omega)$, соответствующая длительной максимальной нагрузке $M_{ЭП.МАКС}(\omega) = const$. Для этого необходимо определить соответствующее $M_{ЭП.МАКС}(\omega)$ значение скольжения решив относительно S уравнение

$$\frac{3 \cdot U_{1ФН}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = M_{ЭП.МАКС}.$$

И далее рассчитать значение тока $I_{ЭП.МАКС} \Big|_{f_H=f_{1H}}$, и скорости $(\omega = \omega_0 \cdot (1-s))$

$$I_{ЭП.МАКС}(\omega) = I_{ЭП.МАКС} \Big|_{f_H=f_{1H}}$$

Таблица 10 - Результаты расчета зависимости $I_{ЭП.МАКС}(\omega)$

$\omega, \text{ рад / с}$	$\omega_{ЭП.МИН} = 54$	$\omega_{ЭП.МАКС} = 146$
$I_{ЭП.МАКС}, A$	4,132	4,132

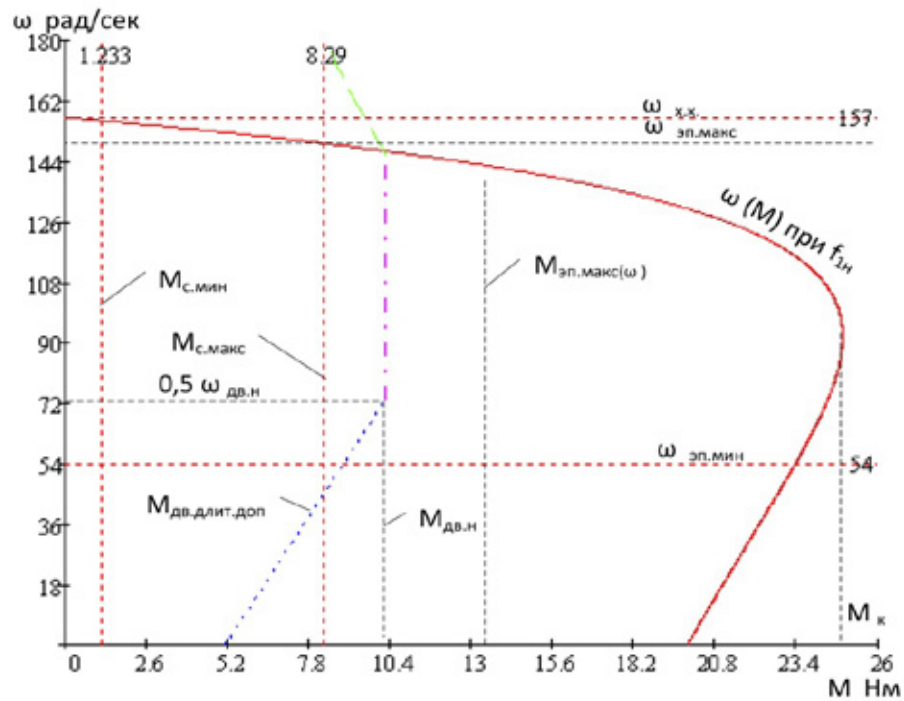


Рисунок 10 - Механическая характеристика электропривода и нагрузки при векторном управлении

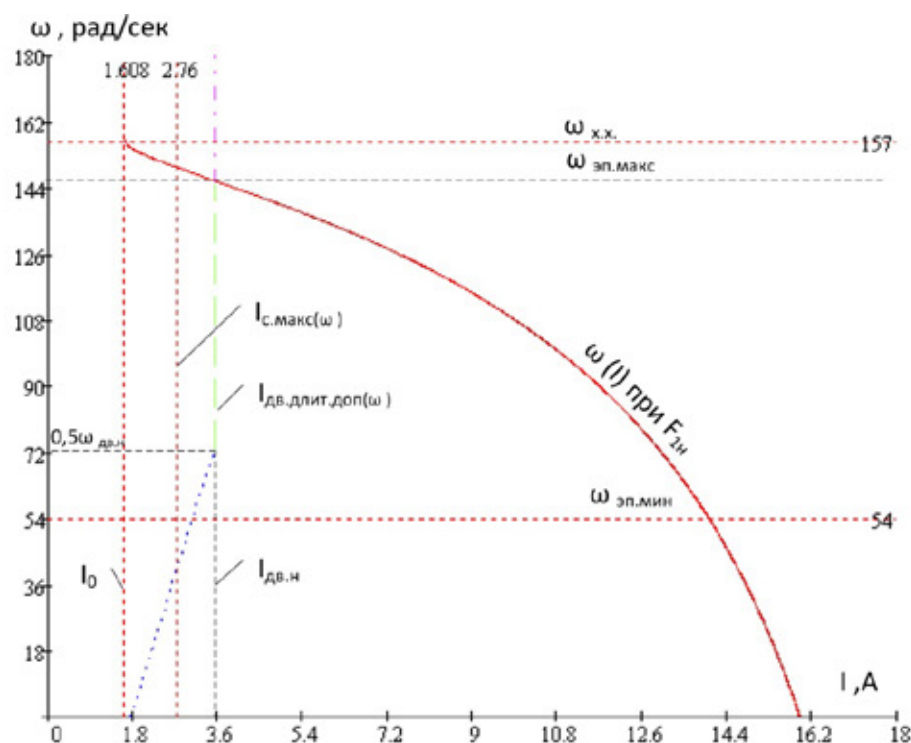


Рисунок 11 - Электромеханическая характеристика электропривода и нагрузки при векторном управлении

Проверка правильности выбора двигателя

По результатам построения механических и электромеханических характеристик электропривода (рис. 10-11) проверяется правильность выбора двигателя

$$M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) \geq M_{\text{с.макс}} \quad 8,37...15,41 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 8,29 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{дв.макс}}(\omega) \geq M_{\text{эп.макс}} \quad 24,892 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 13,15 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) \geq I_{\text{с.макс}} \quad 2,983...5,307 \text{ А} \geq 2,76 \text{ А}$$

Проверка правильности выбора преобразователя

По результатам построения механических и электромеханических характеристик электропривода (рис. 8-9) проверяется правильность выбора преобразователя

$$I_{\text{с.макс}}(\omega) \leq I_{\text{и н}}, \quad 2,76 \text{ А} \leq 4,1 \text{ А};$$

$$I_{\text{эп макс}}(\omega) \leq I_{\text{и макс}}, \quad 4,132 \text{ А} \leq 6,2 \text{ А}.$$

4 Расчет линейризованной САУ электропривода

4.1 Структурная схема линейризованной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением

Структурная схема линейризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением приведена на рис. 12 [3].

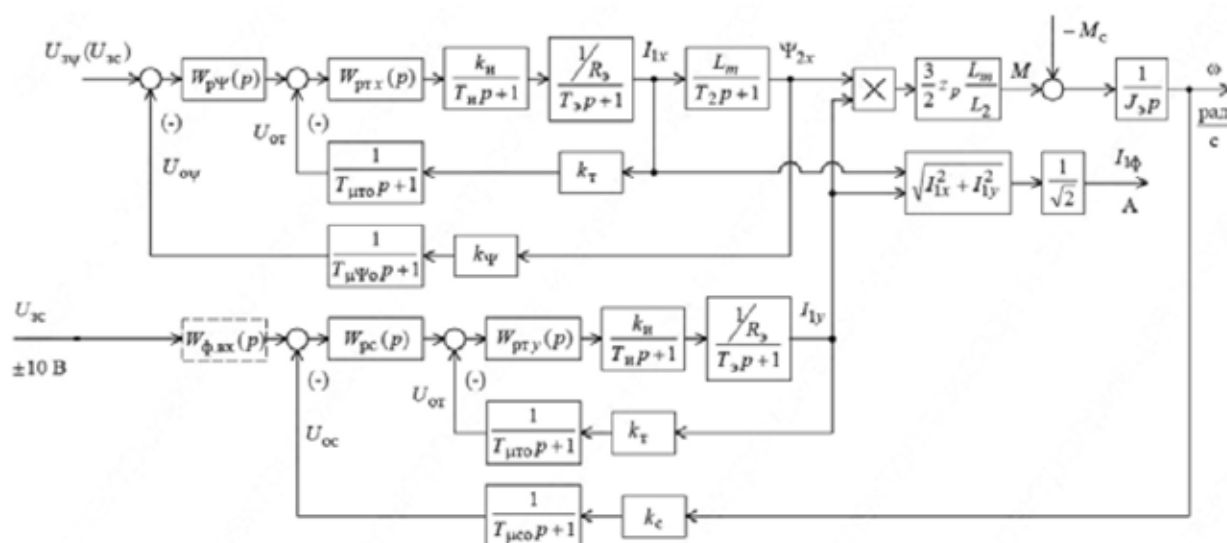


Рисунок 12 - Структурная схема линейризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении.

Электропривод реализован по схеме с независимым управлением потокоцеплением.

На схеме приняты следующие обозначения:

$W(p)_{\text{PT}}$, $W(p)_{\text{P}\Psi}$, $W(p)_{\text{PC}}$ – передаточные функции регуляторов;

k_T – коэффициент обратной связи по току, В/А;

k_{Ψ} – коэффициент обратной связи по потокоцеплению ротора, В/Вб;

k_c – коэффициент обратной связи по скорости В×с/рад;

$T_{\Sigma T} = \frac{1}{f_{\text{изм}}} \cdot n_T = 1 \cdot 10^{-3}$ – период сглаживания результатов измерений тока, с.

Количество измерений принимаем равным $n_T=8$

$$T_{\mu To} = \frac{T_{cT}}{3} = 3,333 \cdot 10^{-3} \text{ - малая постоянная времени цепи обратной связи по}$$

току, с.

$$T_{c\Psi} = (16 \cdot \frac{1}{f_{\text{имм}}}) \cdot n_{\Psi} = 0,01 \text{ - период расчета потокосцепления, с.}$$

Принимаем $n_T=5$.

$$T_{\mu\Psi o} = \frac{T_{c\Psi}}{3} = 2,667 \cdot 10^{-3} \text{ - малая постоянная времени цепи обратной связи по}$$

потокосцеплению, с.

$$T_{cc} = (16 \cdot \frac{1}{f_{\text{имм}}}) \cdot n_c = 0,01 \text{ - период расчета (измерения) скорости, с.}$$

Принимаем $n_c=5$.

$$T_{\mu co} = \frac{T_{cc}}{3} = 3,333 \cdot 10^{-3} \text{ - малая постоянная времени цепи обратной связи по}$$

скорости, с.

Для настройки контуров регулирования необходимо определить следующие дополнительные параметры системы:

– значение номинального потокосцепления двигателя

$$\psi_{2, \text{н}} = \frac{M_{\text{эм.н}}}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_1^2(s_n) - I_0^2}} = \frac{11,083}{\frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0,413}{0,429} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3,538^2 - 1,646^2}} = 0,86 \text{ Вб}$$

– максимально допустимое значение тока при постоянном токоограничении

$$I_{\text{эл.макс}} = \text{const}$$

$$I_{1Y, \text{макс}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{\text{эл.макс}}^2 - I_0^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{325,555^2 - 1,664^2} = 25,41 \text{ А}$$

– максимально допустимое значение тока при зависимом токоограничении

$$M_{\text{эл.макс}} = \text{const}$$

$$I_{1Y, \text{макс}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{макс}}^2 - (I_0 \cdot \frac{\omega_{T,15}}{\omega_{T,14}})^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{325,555^2 - 1,618^2} = 25,41 \text{ А}$$

4.2 Оптимизация контуров регулирования

Характерной особенностью частотно-регулируемых электроприводов переменного тока является относительно большая инерционность в цепи обратной связи контуров регулирования тока, потокосцепления и скорости.

Оптимизация контура тока с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором

Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью и полной компенсацией внутренней отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя приведена на рис. 13. Контур токов и идентичные.

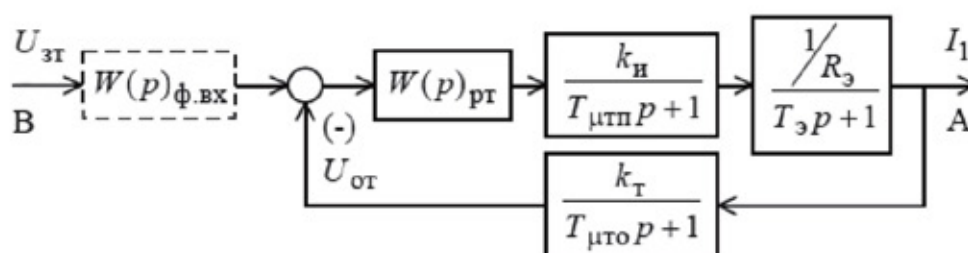


Рисунок 13 - Структурная схема контура тока.

$U_{зт} = 10В$ - напряжение задания на ток;

$T_{μтп} = T_{п} = \frac{0,5}{f_{шм}} = 6,25 \cdot 10^{-5} с$ - малая постоянная времени в прямом канале;

$T_э = 2,288 \cdot 10^{-3} с$ - постоянная времени регулятора;

$k_T = \frac{U_{эТ.МАКС}}{I_{У.МАКС}} = \frac{10}{25,41} = 0,393$ - коэффициент обратной связи по току, В/А;

$k_{PT} = \frac{T_э \cdot R_э}{k_n \cdot k_T \cdot a_T \cdot T_{μтэ}} = 2,752$ - коэффициент усиления регулятора тока;

a_T - коэффициент оптимизации.

$k_n = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1ФН}}{U_{УП.МАКС}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,113$ - максимальный коэффициент регулятора;

$R_э = 11,654 Ом$ - эквивалентное сопротивление;

Постоянная времени регулятора $T_{PT} = T_э$,

Для уменьшения перерегулирования на входе контура устанавливаем фильтр с передаточной функцией:

$$W(p)_{\phi.вх} = \frac{1}{T_{\phi.вх2} p + 1}$$

постоянная времени которого равна $T_{\phi.вх2} = T_{\mu To} = 3,333 \cdot 10^{-4}$ с.

Контур тока имеет следующую передаточную функцию разомкнутого контура

$$W(p)_{раз.т} = \frac{1}{a_T \cdot T_{\mu III} \cdot T_{\mu To} \cdot T_{\mu T\gamma} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu T\gamma}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu T\gamma} \cdot p}$$

Передаточная функция по управлению замкнутого контура тока с фильтром на входе имеет вид:

$$\begin{aligned} W(p)_{т.зам} &= \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu To} \cdot p + 1)}{a_T \cdot T_{\mu III} \cdot T_{\mu To} \cdot T_{\mu T\gamma} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu T\gamma}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu T\gamma} \cdot p + 1} \approx \\ &\approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu To} \cdot p + 1)}{a_T \cdot T_{\mu T\gamma}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu T\gamma} \cdot p + 1} \end{aligned}$$

где, $T_{\mu T\gamma} = T_{\mu III} + T_{\mu To} = 3,958 \cdot 10^{-4}$ - эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура, с;

Настройка контура близка к настройке на модульный оптимум системы второго порядка. Контур является астатической системой регулирования первого порядка по управлению. Ожидаемые показатели качества работы замкнутого контура тока по управлению с фильтром на входе:

- установившаяся ошибка $\Delta I_{уст} = 0$
- полоса пропускания по модулю и фазе

$$\omega_{\Pi}^{(\phi)} = \omega_{\Pi}^{(м)} = \frac{0,71}{T_{\mu III} + T_{\mu To}} = 1,794 \cdot 10^3 \frac{рад}{с}$$

- перерегулирование и время первого и окончательного вхождения в 5 % зону при отработке ступенчатого управляющего воздействия

$$\sigma \approx 4,3\% \quad t_{py1} = t_{py2} \approx 4,1 \cdot (T_{\mu III} + T_{\mu To}) = 1,623 \cdot 10^{-3}$$

На рис. 14 представлена имитационная модель контура тока, а на рис. 1: 17 результаты моделирования. В табл. 11 сведены полученные показатели качества работы контура тока.

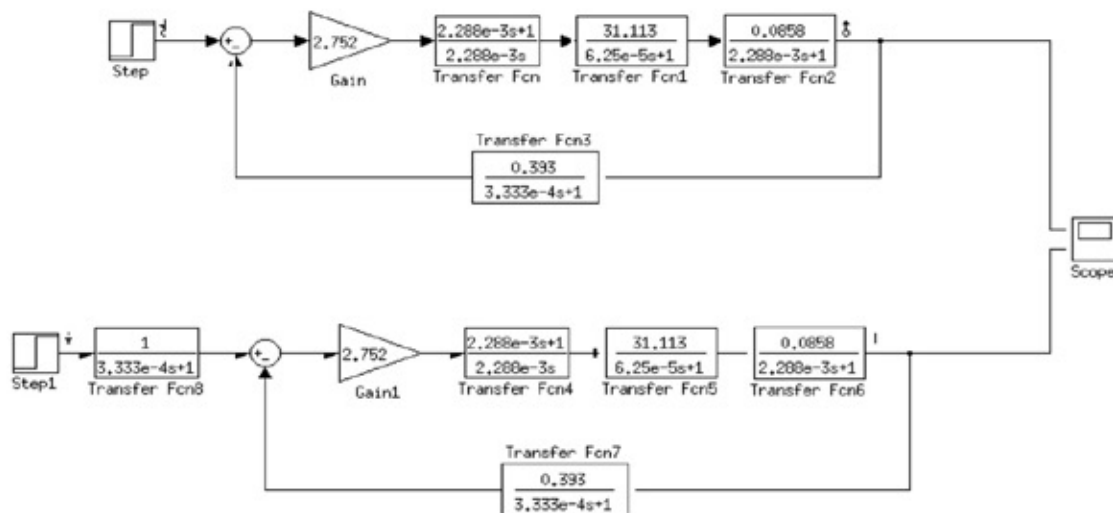


Рисунок 14 - Внешний вид имитационной модели контура тока в программной среде MATLAB Simulink

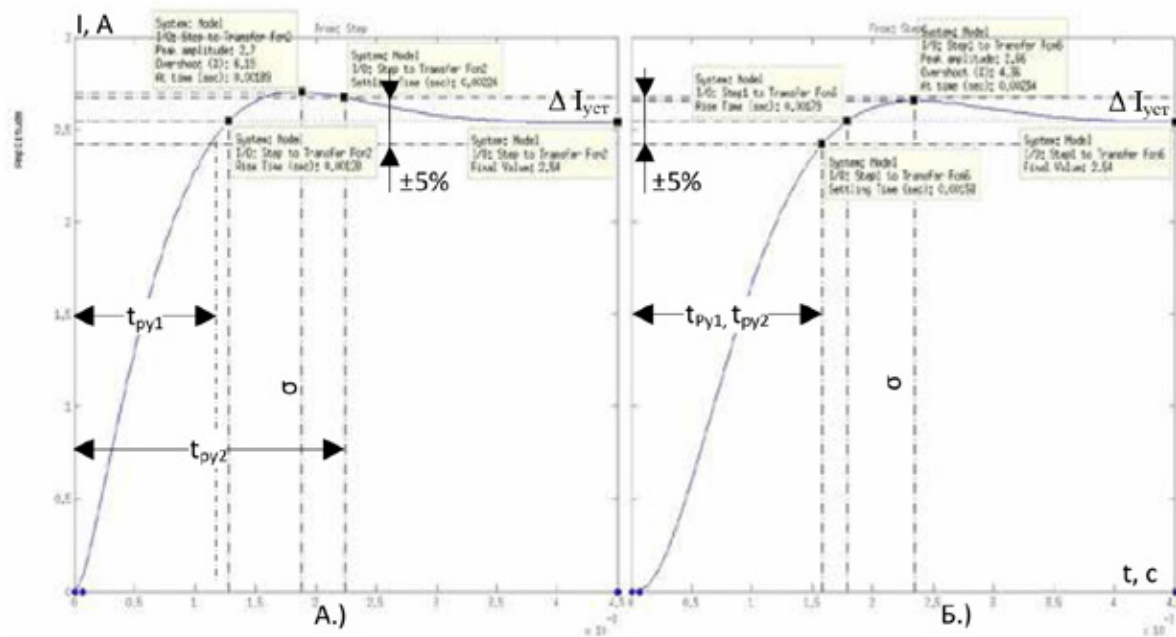


Рисунок 15 - Переходные процессы контура тока с оптимизацией (А – без фильтра; Б- с фильтром)

Таблица 11 - Показатели качества работы контура тока

I_{py1}, c	I_{py2}, c	$\sigma, \%$	$\Delta I_{уст}, A$	
Ожидаемые показатели				
0,001623	0,001623	4,3%	2,54	
Результаты моделирования без фильтра				
0,001723	0,00224	6,19%	2,54	
Результаты моделирования с фильтром				
0,00158	0,00158	4,36%	2,54	
Частотные показатели				
Замкнутый контур без фильтра	Ожидаемые показатели		Результаты моделирования	
	Запас по фазе $\Delta\omega_{II}^{(\Phi)}, рад / сек$	Запас модулю $\Delta\omega_{II}^{(M)}, рад / сек$	Запас по фазе $\Delta\omega_{II}^{(\Phi)}, рад / сек$	Запас модулю $\Delta\omega_{II}^{(M)}, рад / сек$
	1794	1794	1920	1790
Разомкнутый контур с фильтром	Запас по модулю $\Delta L, дБ$		Запас по фазе $\Delta\varphi, град$	
	15		41	

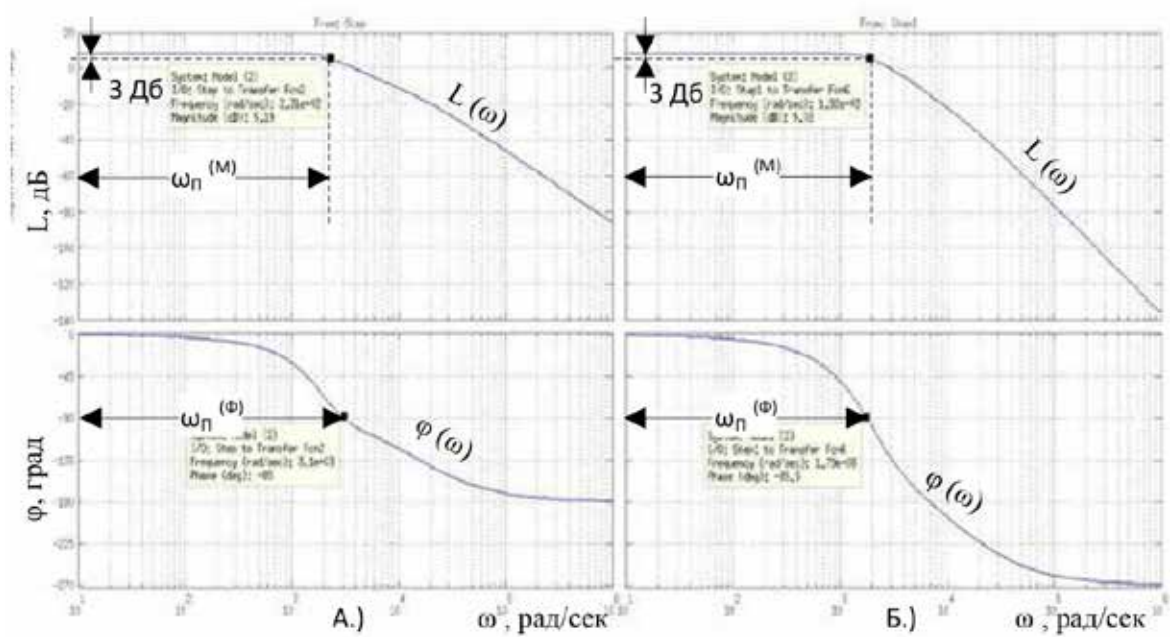


Рисунок 16 - Частотные характеристики замкнутого контура тока
(А- без фильтра, Б- с фильтром)

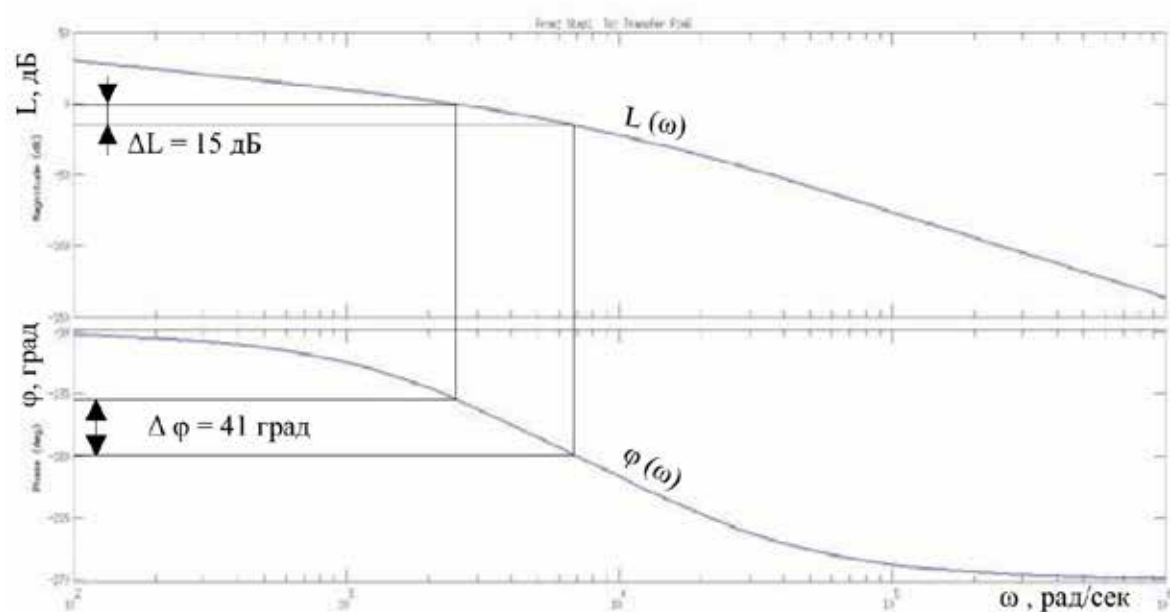


Рисунок 17 - Частотные характеристики разомкнутого контура тока

Оптимизация контура потокосцепления с инерционной обратной связью

При оптимизации контура потокосцепления внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{зам.т}} \approx \frac{1}{\frac{k_T}{T_T \cdot p + 1}}$$

где, $T_T = a_T \cdot T_{\mu T_0} = a_T \cdot (T_{\mu \Pi} + T_{\mu T_0}) = 7,917 \cdot 10^{-4}$ – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

Структурная схема контура потокосцепления с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рис. 18.

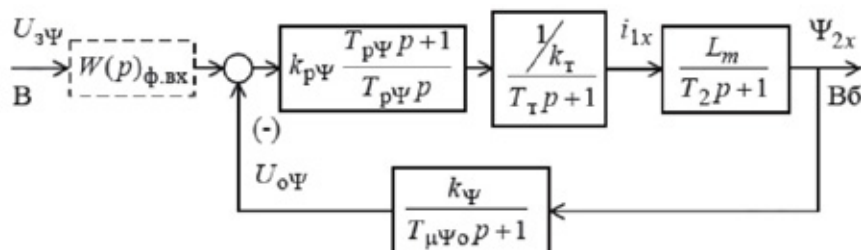


Рисунок 18 - Структурная схема контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

$$W(p)_{p\Psi} = k_{p\Psi} \cdot \frac{T_{p\Psi} \cdot p + 1}{T_{p\Psi} \cdot p}$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора потокосцепления определяются по выражениям

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_{\Psi}} \cdot \frac{1}{a_{\Psi} \cdot (T_T + T_{\mu \Psi o})} = 1,087$$

$$T_{p\Psi} = T_2 = 0,092 \text{ с}$$

где, $k_{\Psi} = \frac{U_{\Psi_{\max}}}{\Psi_{2\text{хн}}} = \frac{10}{0,803} = 11,628$ – коэффициент обратной связи по

потокосцеплению, В/Вб. Принимаем $U_{\Psi_{\max}} = 10\text{В}$.

$a_{\Psi} = 2$ - коэффициент оптимизации

Контур потокосцепления с ПИ-регулятором настроенный таким образом имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{раз},\Psi} = \frac{1}{a_{\Psi} \cdot T_T \cdot T_{\mu\Psi_0} \cdot T_{\mu\Psi_2} \cdot p^3 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_2}^2 \cdot p^2 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_2} \cdot p}$$

– замкнутого контура по управлению

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{у.зам}} &= \frac{\frac{1}{k_{\Psi}} \cdot (T_{\mu\Psi_0} \cdot p + 1)}{a_{\Psi} \cdot T_T \cdot T_{\mu\Psi_0} \cdot T_{\mu\Psi_2} \cdot p^3 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_2}^2 \cdot p^2 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_2} \cdot p + 1} \approx \\ &\approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\Psi_0} \cdot p + 1)}{a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_2}^2 \cdot p^2 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_2} \cdot p + 1} \end{aligned}$$

где, $T_{\mu\Psi_2} = T_T + T_{\mu\Psi_0} = 8,542 \cdot 10^{-4}$ – эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура, с.

Настройка контура близка к настройке на модульный оптимум системы второго порядка. Контур является астатической системой регулирования первого порядка по управлению и обеспечивает нулевую установившуюся ошибку $\Delta\Psi_{\text{уст}}=0$. В зависимости от соотношения малых постоянных времени T_T и $T_{\mu\Psi_0}$ контур имеет следующие динамические показатели качества работы:

– полоса пропускания по модулю

$$\omega_H^{(M)} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{T_{\mu\Psi_2}} = 831 \div 1054 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

– перерегулирование

$$\sigma = (4,3 \div 6,7)\%$$

– время первого вхождения в 5 % зону

$$t_{\text{pyl}} = (4,1 \div 2,75) \cdot T_{\mu\Psi_2} = 3,502 \cdot 10^{-3} \div 2,349 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

На рис. 19 представлена имитационная модель контура потокосцепления, а на рис. 20-22 результаты моделирования. В табл. 12 сведены полученные показатели качества работы контура.

При полученных значениях перерегулирования в контуре потокосцепления установка на входе контура фильтра нецелесообразна.

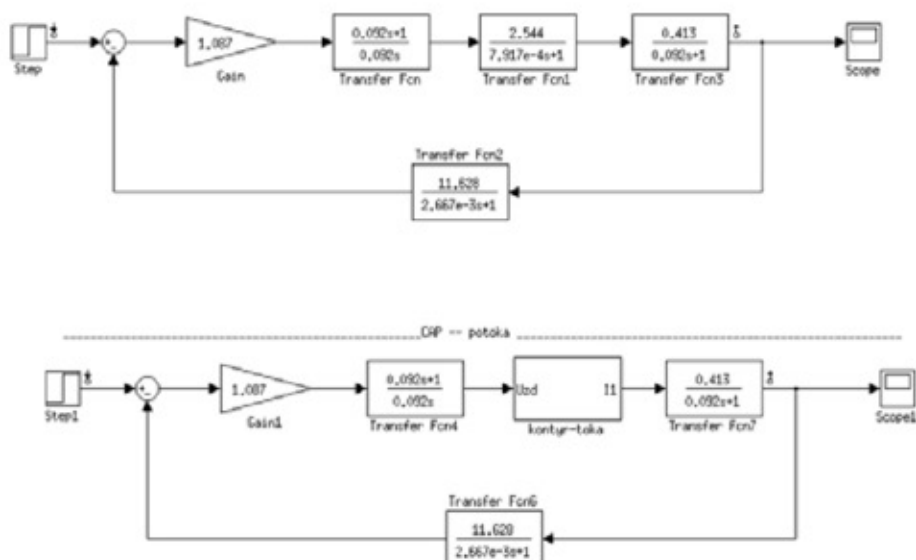


Рисунок 19 - Внешний вид имитационной модели контура потокосцепления и САР потока в программной среде MATLABSimulink

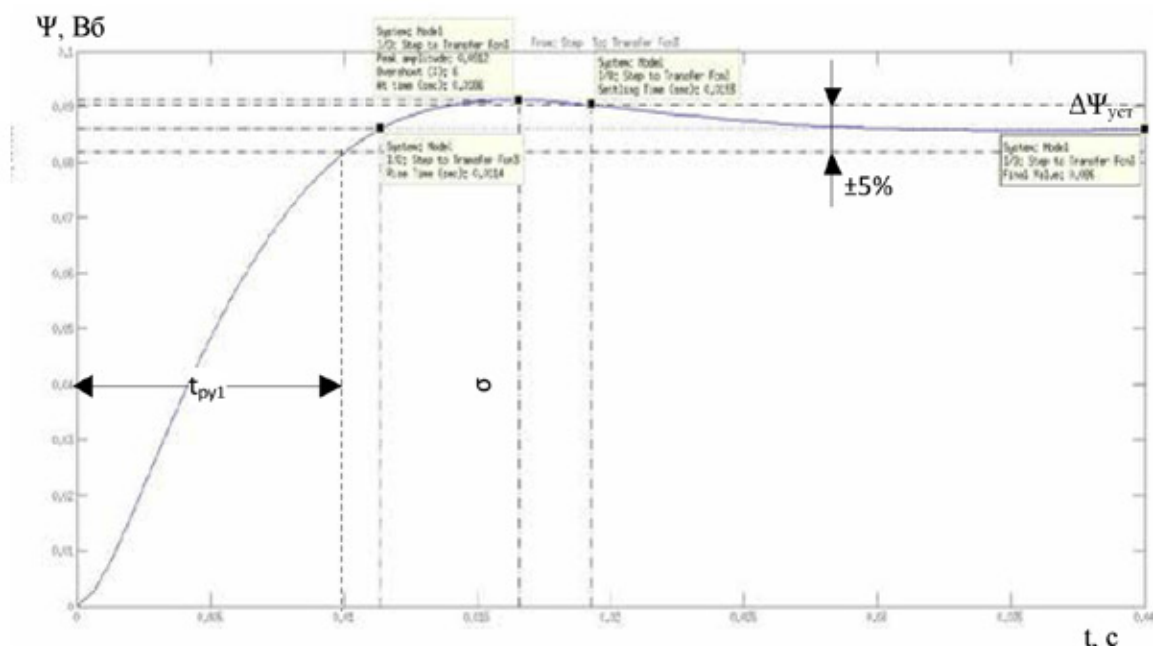


Рисунок 20 - Переходные процессы контура потокосцепления

Таблица 12 - Показатели качества работы контура потокосцепления

I_{py1}, c	I_{py2}, c	$\sigma, \%$	$\Delta\Psi_{уст}, Bб$
Ожидаемые показатели			
0,00951 – 0,014	-	4,3-6,7	0,86
Результаты моделирования			
0,009917	-	6	0,86
Частотные показатели			
Замкнутый контур	Ожидаемые показатели		Результаты моделирования
	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад / сек$	Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / сек$	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад / сек$
	-	205-260	329
Разомкнутый контур	Запас по модулю $\Delta L, дБ$		Запас по фазе $\Delta\phi, град$
	45		43

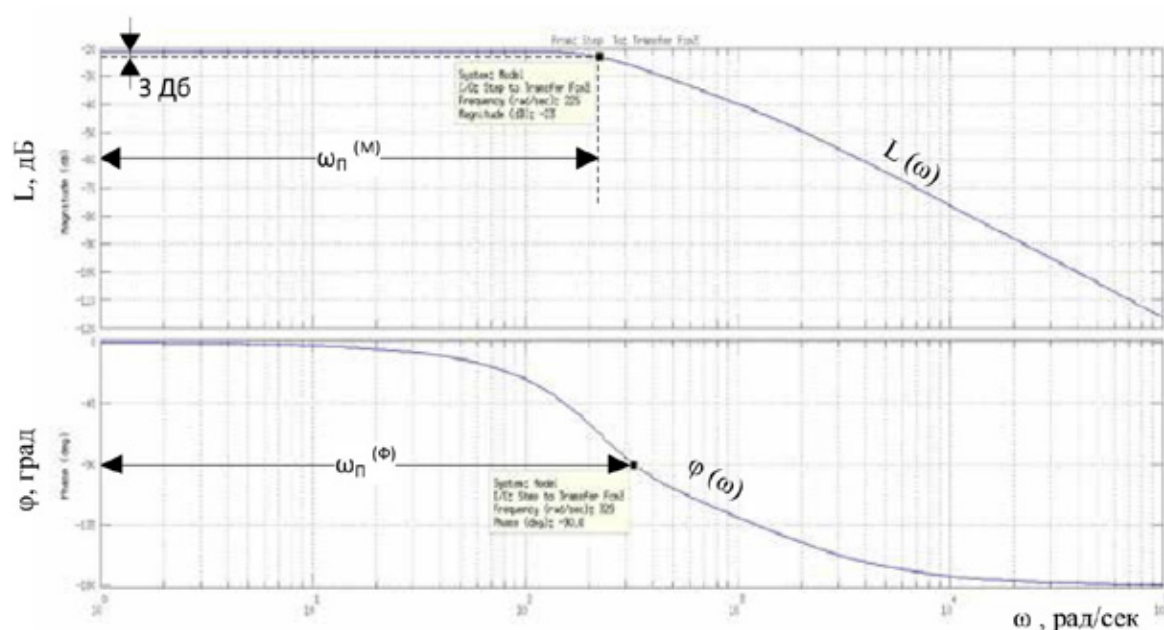


Рисунок 21 - Частотные характеристики замкнутого контура потокосцепления

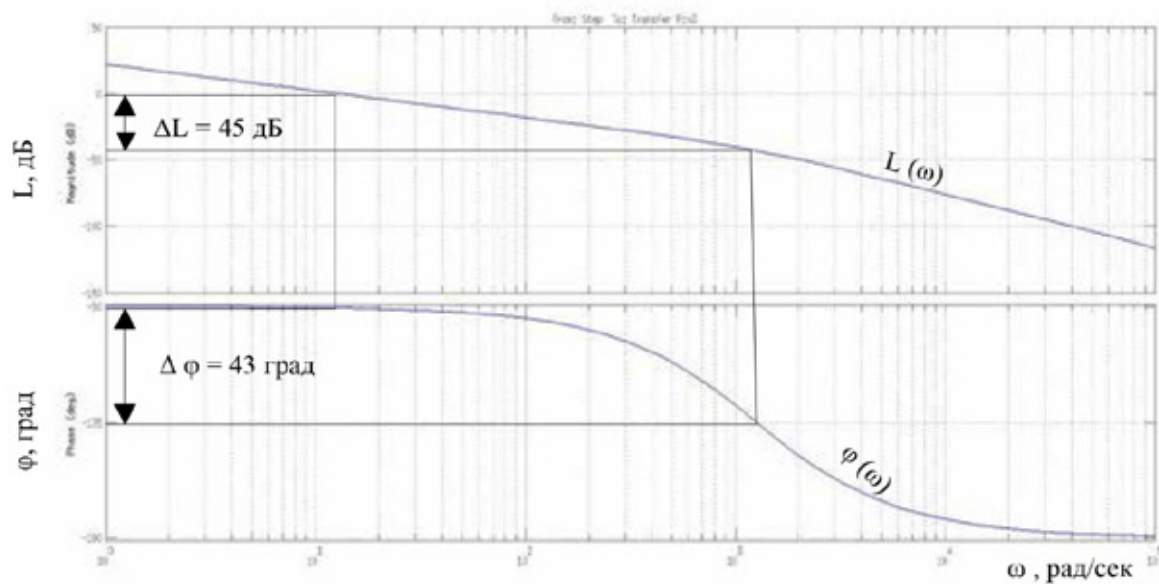


Рисунок 22 - Частотные характеристики разомкнутого контура потокосцепления

Оптимизация контура скорости с ПИ-регулятором

Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рис. 23

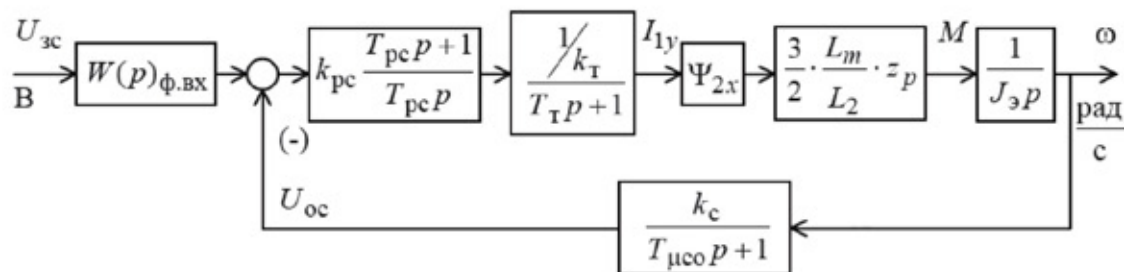


Рисунок 23 - Структурная схема контура скорости с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости

$$W(p)_{pc} = k_{pc} \cdot \frac{T_{pc} \cdot p + 1}{T_{pc} \cdot p}$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяются по выражениям:

$$k_{pc} = \frac{J_э \cdot k_T}{\Psi_{2x} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c(T_T + T_{\mu co})} = 1,428$$

$$T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot (T_T + T_{\mu co}) = 0,017 \text{ с}$$

где, $b_c = a_c = 2$ – коэффициенты оптимизации

Оптимизированный контур скорости с ПИ-регулятором имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W(p)_{раз.с} = \frac{b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu cз} \cdot p + 1}{b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu co} \cdot T_{\mu cз}^2 \cdot p^4 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu cз}^3 \cdot p^3 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu cз}^2 \cdot p^2}$$

– замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{Т.зам} = \frac{1}{k_c} \cdot \frac{(b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu cз} \cdot p + 1) \cdot (T_{\mu co} \cdot p + 1)}{b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu co} \cdot T_{\mu cз}^2 \cdot p^4 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu cз}^3 \cdot p^3 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu cз}^2 \cdot p^2 + b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu cз} \cdot p + 1}$$

где, $T_{\mu cз} = T_T + T_{\mu co}$ – эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура, с.

Оптимизированный контур при обработке ступенчатых управляющих воздействий обеспечивает высокое быстродействие при перерегулировании в общем случае более 4,3 %. Если на входе контура установить фильтр с передаточной функцией:

$$W(p)_{ф.вх} = \frac{1}{T_{ф.вх2} p + 1}$$

постоянная времени которого равна $T_{ф.вх2} = b_c \cdot a_c \cdot (T_T + T_{\mu co}) + T_{\mu co} = 0,02 \text{ с}$.

Настройка контура без фильтров на входе близка к настройке на СО, а с фильтрами – на МО для системы 3-го порядка.

Контур скорости с фильтрами на входе представляет собой астатическую систему 1-го порядка и обеспечивает нулевую статическую ошибку по управлению

Динамические показатели качества работы контура:

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе изменяется в пределах

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{(0,5 \div 0,54)}{T_T + T_{\mu co}} = 121 \div 131 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{(0,36 \div 0,42)}{T_T + T_{\mu co}} = 87 \div 102 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

– перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5 % зону при обработке скачка задания

$$\sigma = (8,1 \div 10)\%$$

$$t_{py1} = (7 \div 5,8) \cdot (T_T + T_{\mu co}) = 0,029 \div 0,024 c \quad t_{py2} = (12 \div 9,5) \cdot (T_T + T_{\mu co}) = 0,05 \div 0,039 c$$

На рис. 24 представлена имитационная модель контура скорости, а на рис. 25-27 результаты моделирования. В табл. 13 сведены полученные показатели качества работы контура скорости.

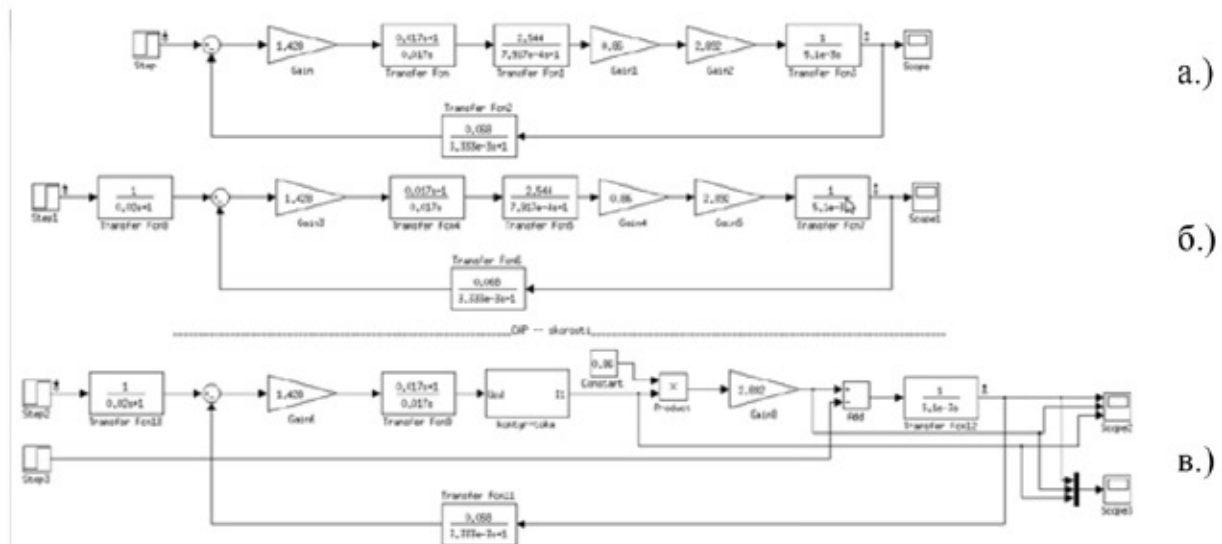


Рисунок 24 - Внешний вид имитационной модели контура скорости с ПИ-регулятором в программной среде MATLAB Simulink (а – без фильтра, б – с фильтром, в – САР скорости)

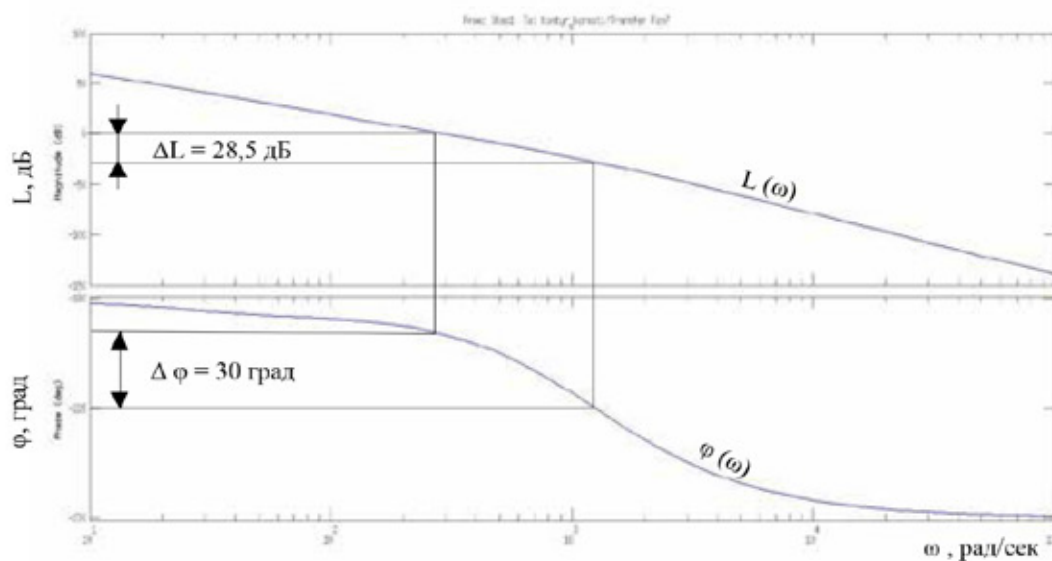


Рисунок 25 - Частотные характеристики разомкнутого контура скорости с фильтром

Таблица 13 - Показатели качества работы контура скорости

t_{py1}, c	t_{py2}, c	$\sigma, \%$	$\Delta\omega_{уст}, \frac{рад}{c}$	
Ожидаемые показатели				
0,029-0,024	0,05-0,039	8,1-10	0	
Результаты моделирования без фильтра				
0,00845	0,0542	48,3	0	
Результаты моделирования с фильтром				
0,0295	-	1,87	0	
Частотные показатели				
Замкнутый контур без фильтра	Ожидаемые показатели		Результаты моделирования	
	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад / сек$	Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / сек$	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад / сек$	Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / сек$
	87-102	121-131	95,5	117
Разомкнутый контур с фильтром	Запас по модулю $\Delta L, дБ$		Запас по фазе $\Delta\varphi, град$	
	28,5		30	

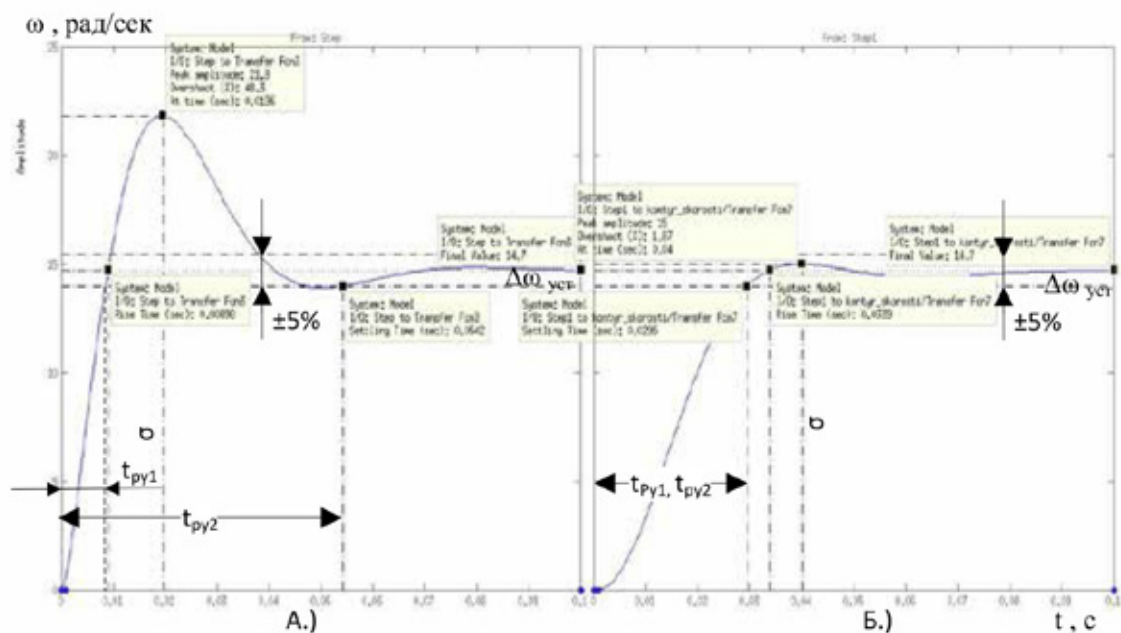


Рисунок 26 - Переходные процессы контура скорости с ПИ-регулятором
(А - без фильтра, Б- с фильтром)

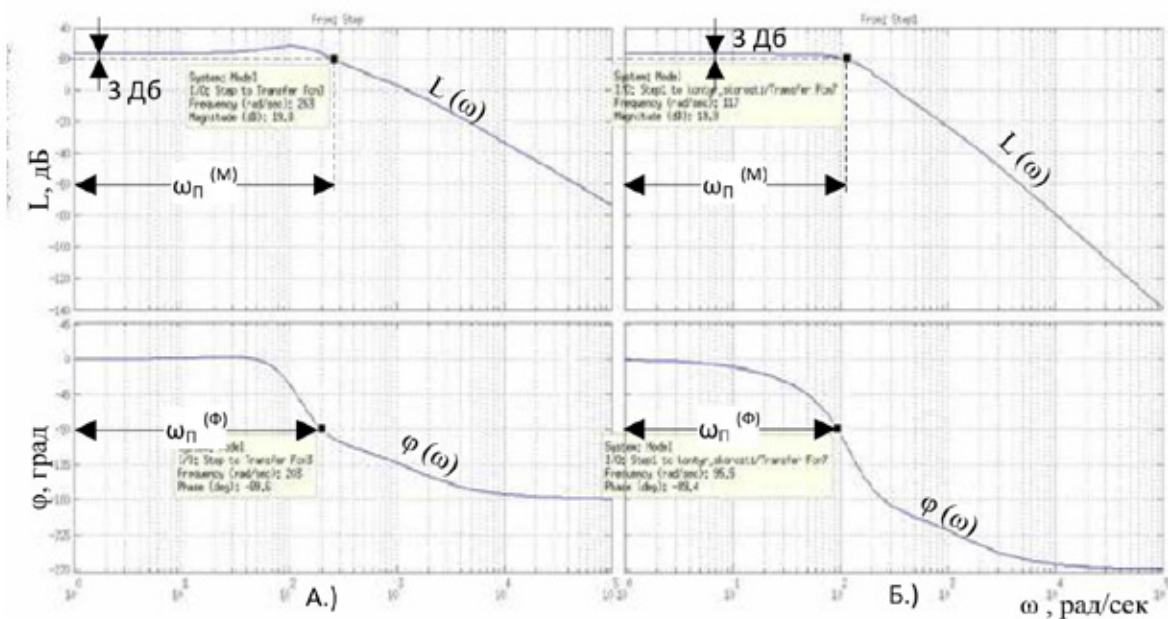


Рисунок 27 - Частотные характеристики замкнутого контура скорости
(А - без фильтра, Б- с фильтром)

Оптимизация контура положения с П- регулятором и безынерционной обратной связью, и контуром скорости с ПИ-регулятором

Для регулировки положения клина задвижки в промежуточных положениях, а также для остановки привода в крайних положениях «открыто» и «закрыто» применяют два варианта.

1. Необходимо установить абсолютный, энергонезависимый датчик положения. Остановка в промежуточных положения клина или в крайних положениях будет происходить, основываясь на показаниях датчика положения. При этом необходимо откалибровать привод: открыто – 0%, закрыто – 100%.

2. Второй способ это введение контура положения. Положение можно высчитать из датчика скорости, но в этом случае при отсутствии питания электропривода контроллер потеряет текущее значение положения.

Структурная схема контура положения с безынерционной обратной связью приведена на рис. 28.

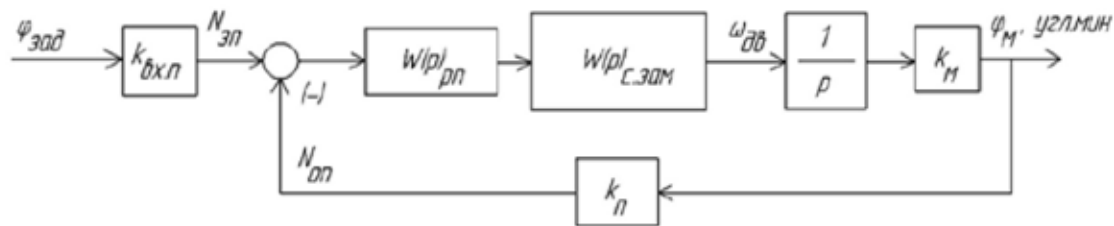


Рисунок 28 – Структурная схема контура положения с безынерционной обратной связью

Передаточная функция П-регулятора положения

$$W(p)_{pn} = k_{pn}$$

Коэффициент усиления регулятора положения находится по выражению

$$k_{pn} = \frac{k_c}{k_M \cdot k_n \cdot a_n \cdot T_{\mu\Pi}} = 3,966 \cdot 10^{-3}$$

где $T_{\mu\Pi} = b_c \cdot a_c \cdot (T_T + T_{\mu c}) = 0,017 \text{ с}$ – эквивалентная малая постоянная времени контура положения.

Оптимизированный контур положения с П- регулятором положения и внутренним контуром скорости с ПИ-регулятором скорости в общем случае имеет следующие передаточные функции:

- разомкнутого контура

$$W(p)_{n.раз} = \frac{1}{a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^3 \cdot T_{\mu c}^4 \cdot p^4 + a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^3 \cdot T_{\mu c}^3 \cdot p^3 + a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot p^2 + a_n \cdot b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c} \cdot p + 1}$$

замкнутого контура по управлению, записанную для входного сигнала $\varphi_{зад}$ в общем случае,

$$W(p)_{n.зам} = \frac{k_{вхл} \cdot \frac{1}{k_n}}{a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^3 \cdot T_{\mu c}^4 \cdot p^4 + a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^3 \cdot T_{\mu c}^3 \cdot p^3 + a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot p^2 + a_n \cdot b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c} \cdot p + 1}$$

Настройка контура положения при коэффициенте оптимизации $a_n=2$ точно соответствует настройке на МО системы 4-го порядка. Замкнутый

контур положения представляет собой астатическую систему 1-го порядка по управлению. Показатели качества работы замкнутого контура положения по управлению определяются следующими значениями:

- статическая ошибка по управлению при постоянном значении задающего сигнала $\varphi_{зад} = \text{const}$

$$\Delta\varphi_{уст} = 0$$

- полоса пропускания контура по модулю и по фазе:

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{0,282}{T_{\mu c s}} = 68,36 \frac{\text{рад}}{c} \quad \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0,182}{T_{\mu c s}} = 44,12 \frac{\text{рад}}{c}$$

- перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5%-ю зону при отработке скачка задания:

$$\sigma = 6,24\%$$

$$t_{py1} = 13,2 \cdot T_{\mu c s} = 0,054 c \quad t_{py2} = 20,3 \cdot T_{\mu c s} = 0,084 c$$

На рис. 29 представлена имитационная модель контура положения, а на рис. 30-32 результаты моделирования. В табл. 14 сведены полученные показатели качества работы контура положения.

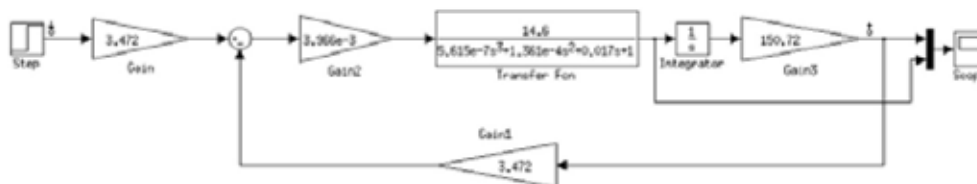


Рисунок 29 – Схема набора имитационной модели контура положения с безынерционной связью в программной среде MATLABSimulink

Таблица 14 – Показатели качества работы контура положения

t_{PY1}, c	t_{PY2}, c	$\sigma, \%$	$\Delta\varphi_{уст}, \text{угл.мин}$	
Ожидаемые показатели				
0,054	0,084	6,24	0	
Результаты моделирования				
0,054	0,088	6,5	0	
Частотные показатели				
Замкнутый контур	Ожидаемые показатели		Результаты моделирования	
	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, \text{рад} / \text{сек}$	Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, \text{рад} / \text{сек}$	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, \text{рад} / \text{сек}$	Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, \text{рад} / \text{сек}$
	44,12	68,36	43,8	65,9
Разомкнутый контур	Запас по модулю $\Delta L, \text{дБ}$		Запас по фазе $\Delta\varphi, \text{град}$	
	8,5		62	

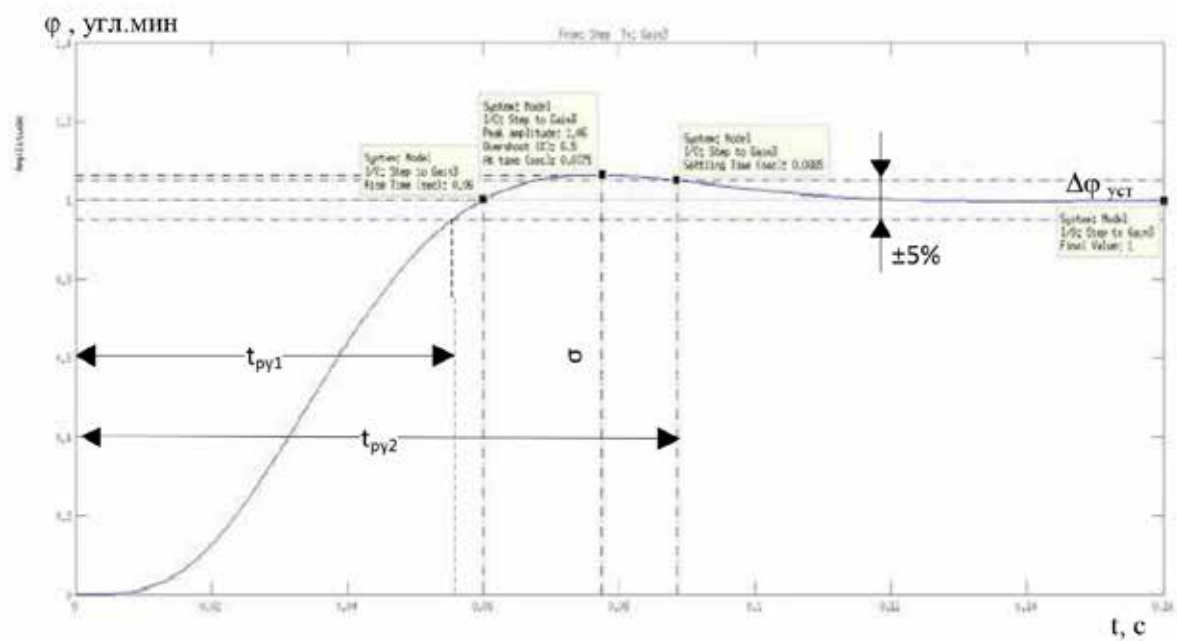


Рисунок 31 - Переходные процессы контура положения

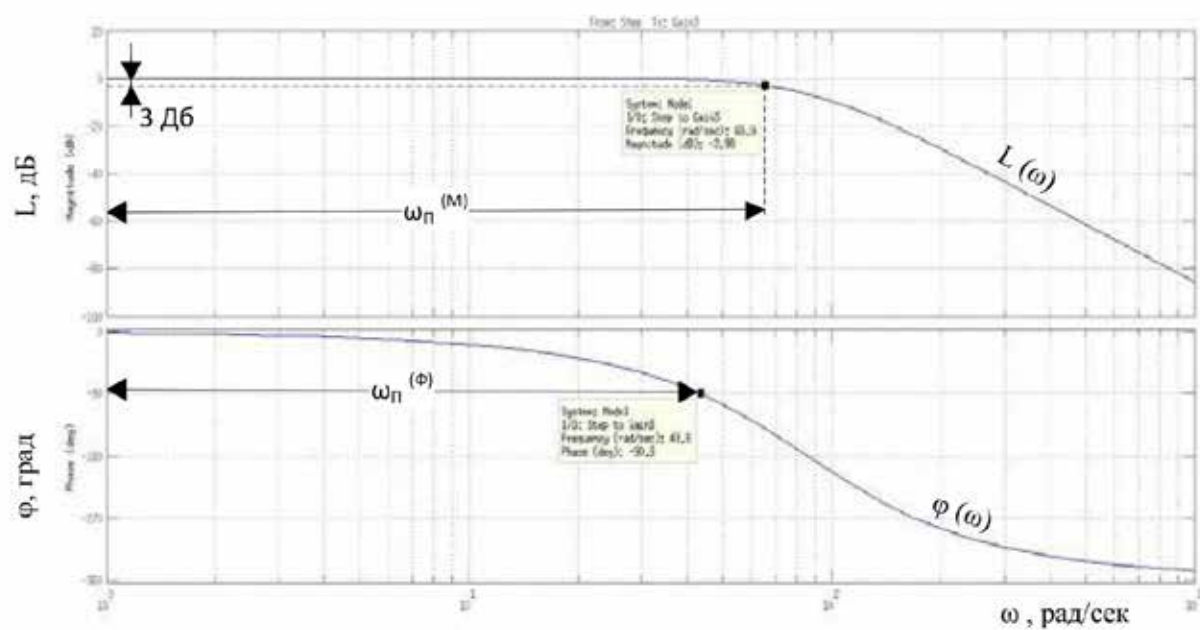


Рисунок 32 - Частотные характеристики замкнутого контура положения

5. Имитационное моделирование электропривода задвижки

5.1 Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

Структурная схема нелинейной САУ асинхронного электропривода с векторным управлением и с обратной связью по положению приведена на рис. 33.

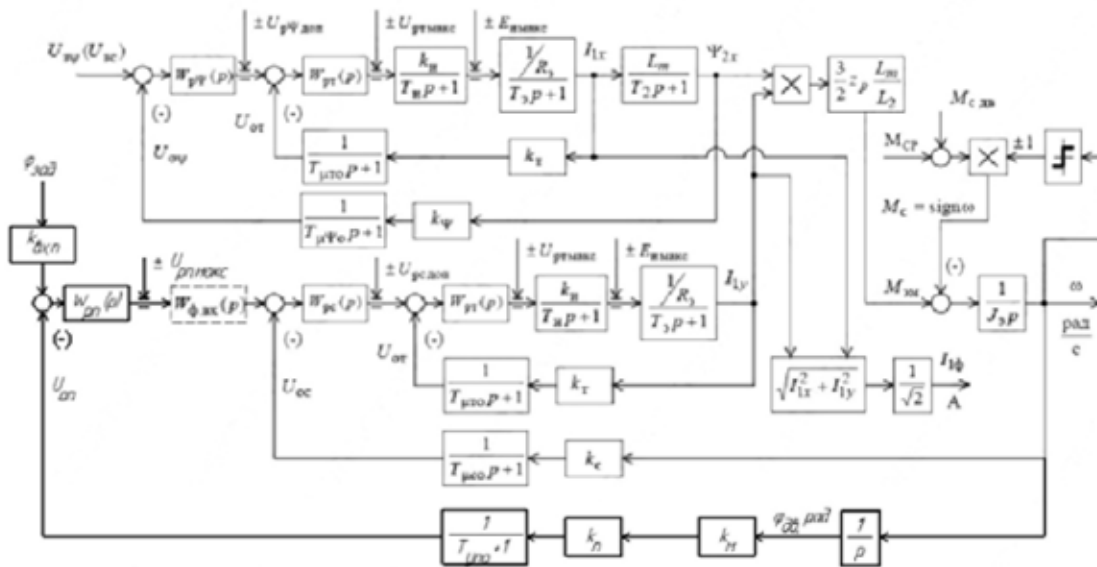


Рисунок 33 - Структурная схема нелинейной непрерывной САУ асинхронного электропривода при векторном управлении с упрощённой моделью двигателя

По схеме рис. 33 была построена имитационная модель в среде Matlab, рис. 34. Данная модель включает в себя отдельные блоки, которые собраны по функциональному назначению. Блок “Kontur_1” (рис. 35) отвечает за канал регулирования потока и включает в себя контур потокосцепления и контур тока. Блок “Kontur_2” (рис. 36) отвечает за канал регулирования скорости и включает в себя контур скорости и второй контур тока. Блока “Reaktivnaya nagruzka” (рис. 37) отвечает за реактивную нагрузку клиновой задвижки. На рис. 38 представлено блок вычисления тока “Vichislitel Ifn”, на рис. 39 – блок регулятора скорости “Regylator-skorosti”, на рис. 40 – регулятор потока “Regylator-potoka”, на рис. 41 – регулятор тока “Regylator-toka”.

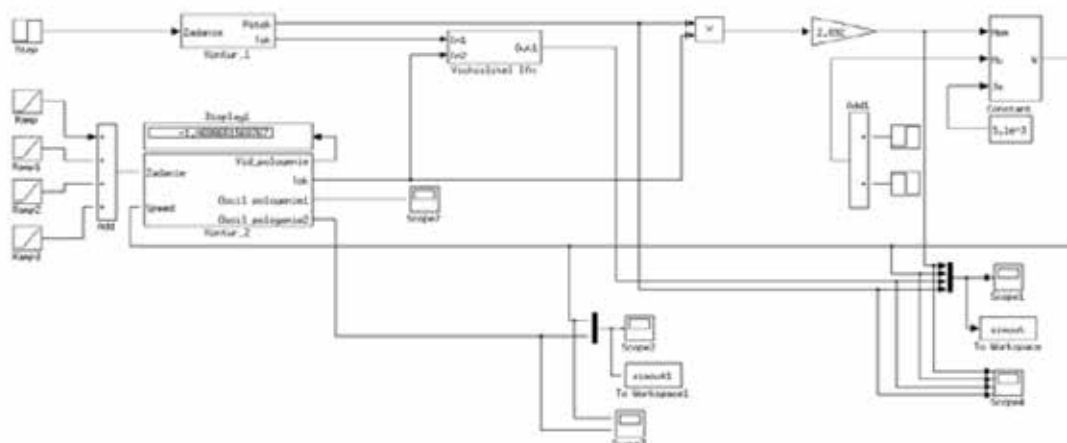


Рисунок 34 - Имитационная модель нелинейной непрерывной САУ асинхронного электропривода при векторном управлении с упрощённой моделью двигателя среде MATLAB

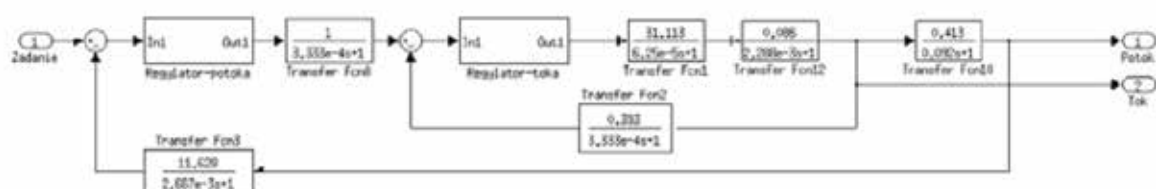


Рисунок 35 – Содержание блока “Kontur_1”

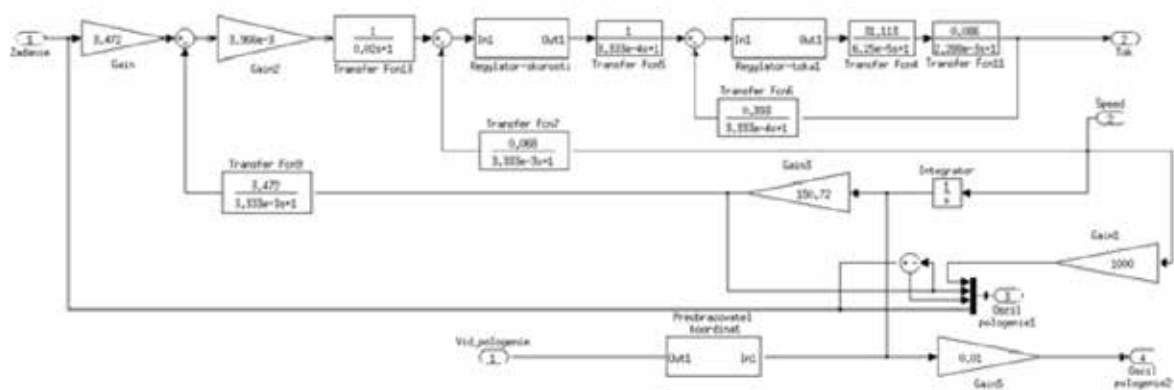


Рисунок 36 – Содержание блока “Kontur_2”

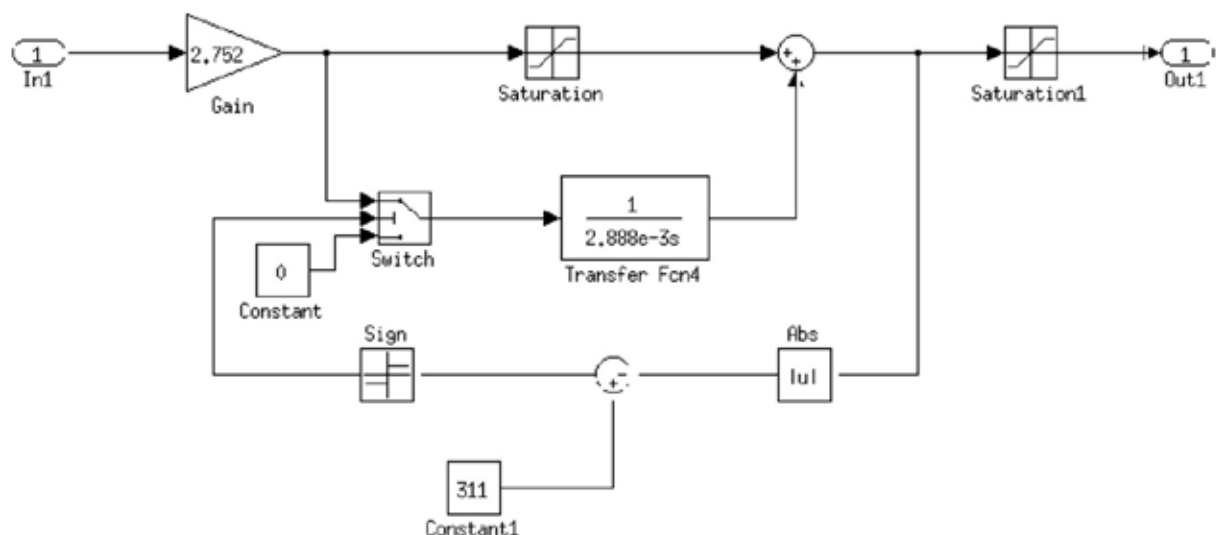


Рисунок 40 – Содержание блока “Regylator-potoka”

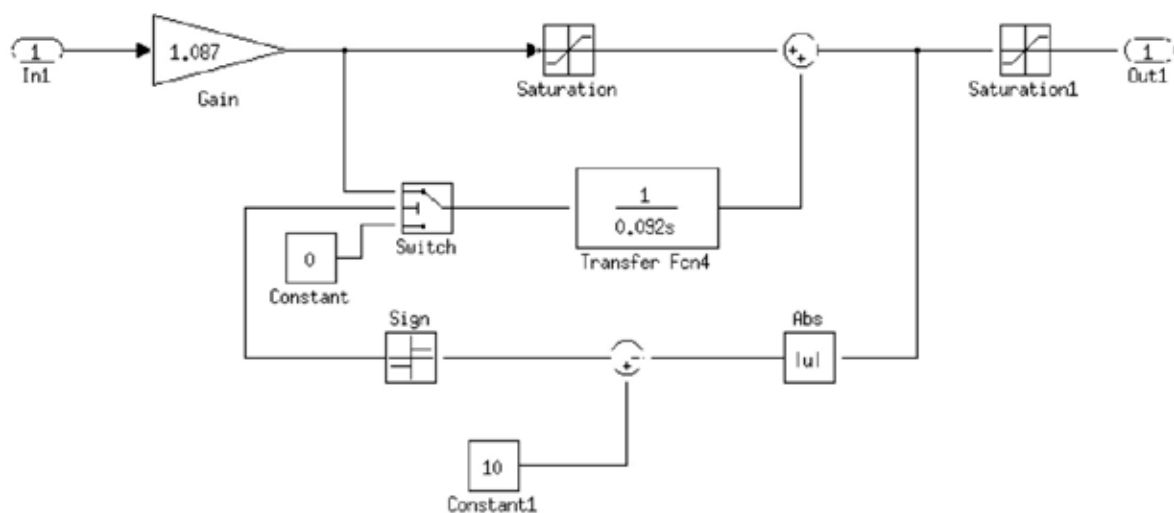


Рисунок 41 – Содержание блока “Regylator-toka”

В результате расчётов контура тока, контура потокосцепления и контура скорости было выявлено, что наилучшие показатели можно достичь, поставив фильтр перед контуром скорости. Остальные контура в фильтрах не нуждаются.

Основные нелинейности характеристик САУ:

- насыщение регуляторов тока, потокосцепления и скорости

$$U_{\text{рт макс}} = \pm 10 \text{ В}, U_{\text{р}\Psi \text{ макс}} = \pm 10 \text{ В}, U_{\text{рс макс}} = \pm 10 \text{ В};$$

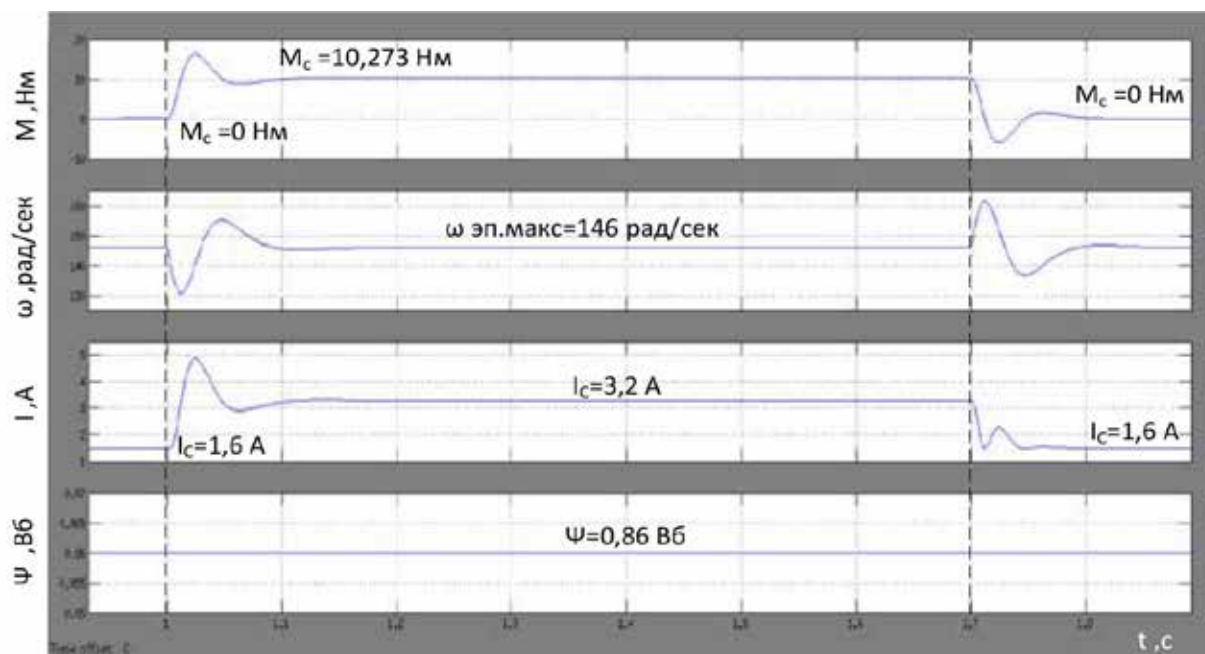


Рисунок 43 – Ввод $t=1$ сек и сброс $t=1,7$ сек нагрузки $M_c=10,273$ Нм, максимальная скорость ЭП.

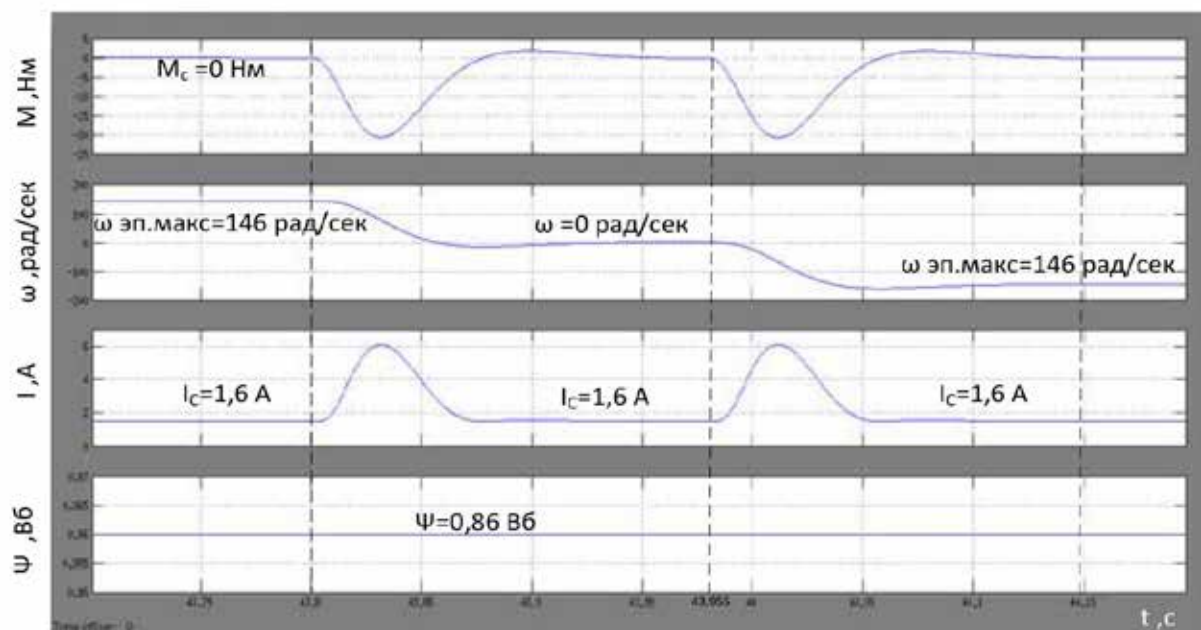


Рисунок 44 - Реверс САУ, без нагрузки в течении времени $t=43,8 - 44,35$ сек,

5.3. Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с моделью двигателя в двухфазной системе координат

Используя программный продукт MATLAB Simulink, реализуем нелинейную непрерывную систему автоматического регулирования частоты АД при векторном управлении с имитацией АД (рис. 45).

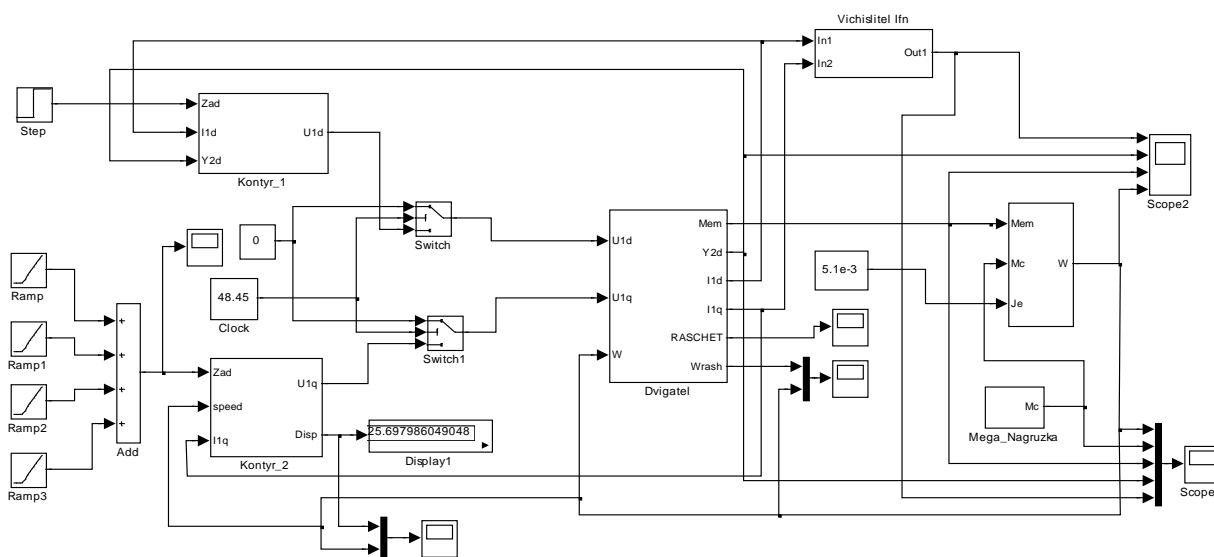


Рисунок 45 – Схема нелинейной непрерывной САУ следящего частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с моделью двухфазного двигателя в программной среде MATLAB Simulink

Схема имитационной модели двигателя представлена на рис. 46

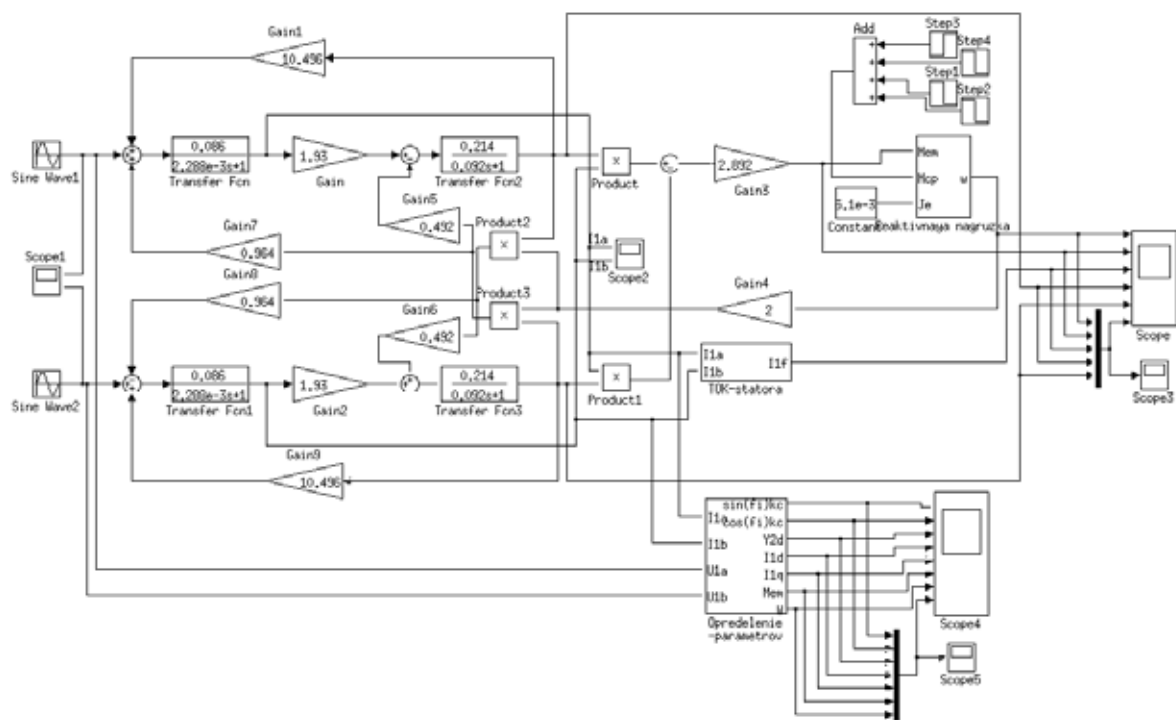


Рисунок 46 – Внешний вид имитационной модели асинхронного электродвигателя с в неподвижной двухфазной системе координат α, β

А так же в комплект системы был добавлен блок “ZIS” – задатчик интенсивности, формирующий управляющий сигнала на скорость с ограниченными значениями первой и второй производных.

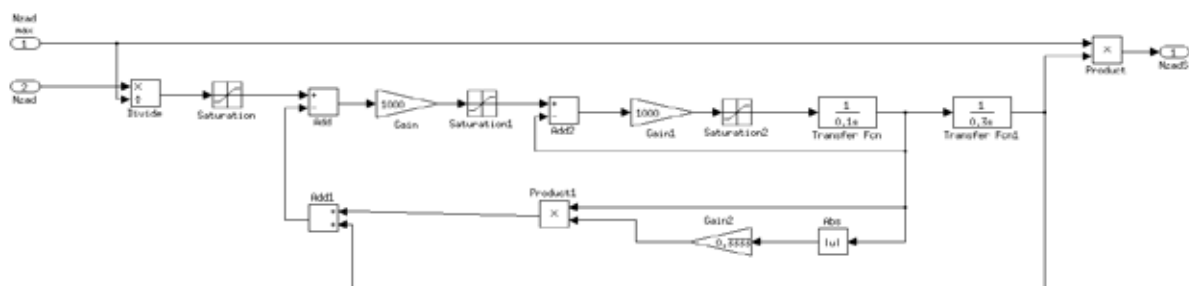


Рисунок 47 – Содержание блока “ZIS”

За имитацию нагрузочного момента отвечает блок “Mega_Nagruzka” (рис. 48)

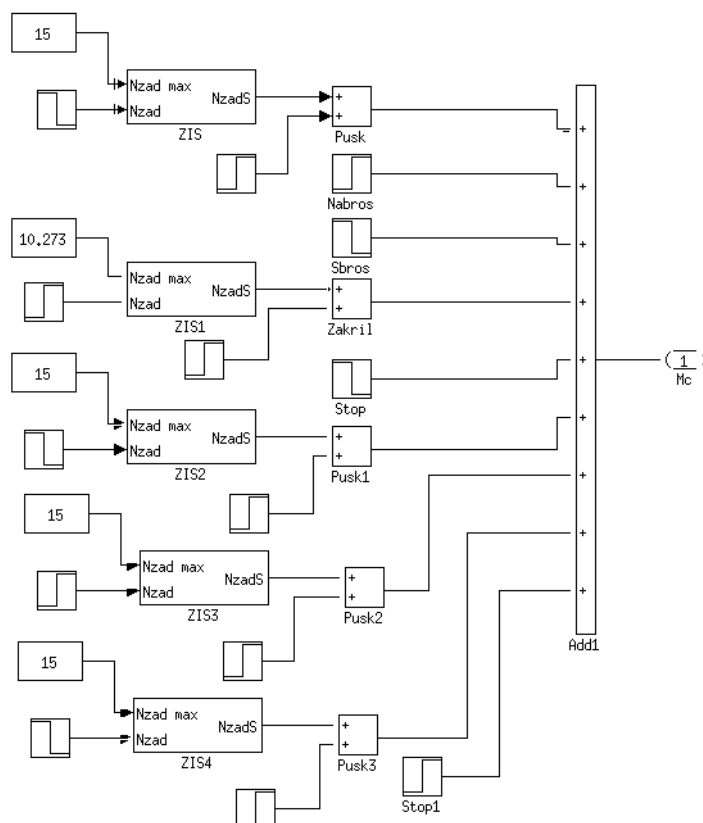


Рисунок 48 – Содержание блока “Mega_Nagruzka”

5.4 Результаты имитационного моделирования

Рисунки 49-53 показывают результаты имитации ЭП клиновой запорной арматуры при векторном положении, с обратной связью по положению.

Рисунок 49 показывает запуск в присутствии нагрузки на начальном этапе формирования потока, а затем и плавный разгон. На рис. 50 видно, что система ведет себя астатично, так как при набросе и сбросе нагрузки происходит так же и бросок скорости.

На рис. 51 показан реверс двигателя. В этом случае задействован блок реактивной нагрузки. На рис. 52 в работе режим ограничения крутящего момента, что требуется в тот момент, когда затвор достиг своих крайних точек, либо когда случилась нештатная блокировка какого либо из механических узлов самой арматуры. В данном случае подобные условия работы заданы путем линейного увеличения момента нагрузки.

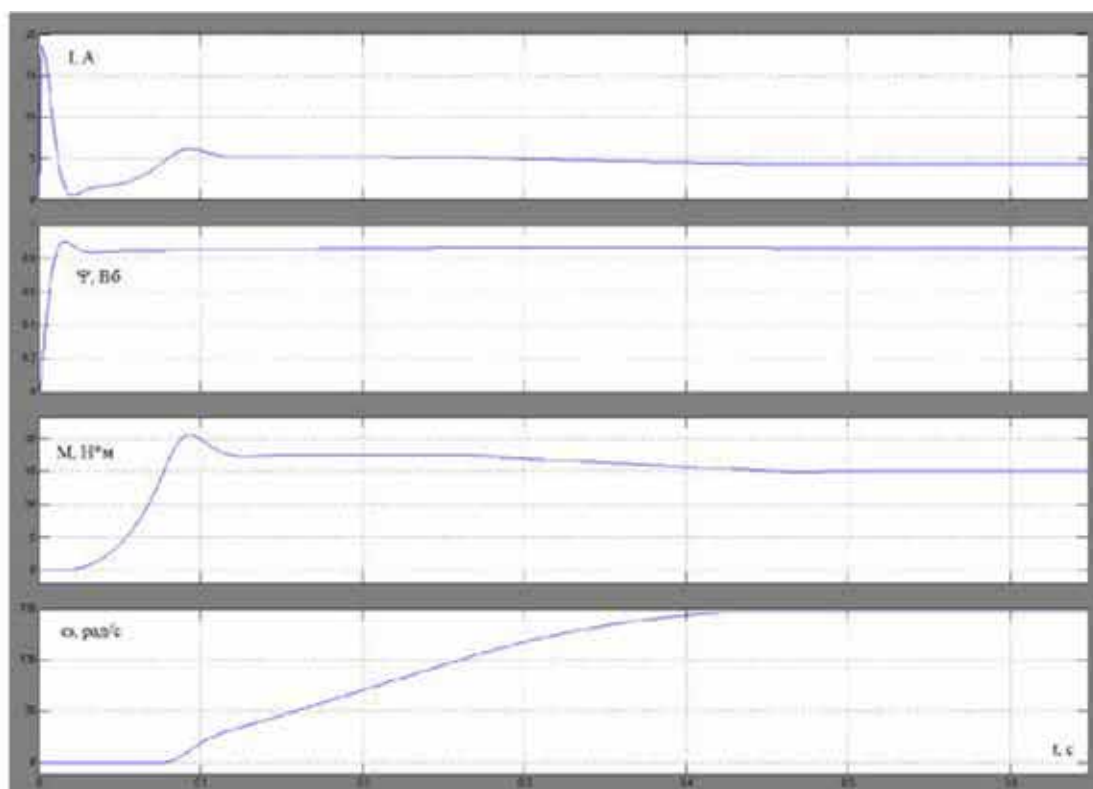


Рисунок 49 – Переходные процессы пуска двигателя под нагрузкой $M_c=15$ Нм

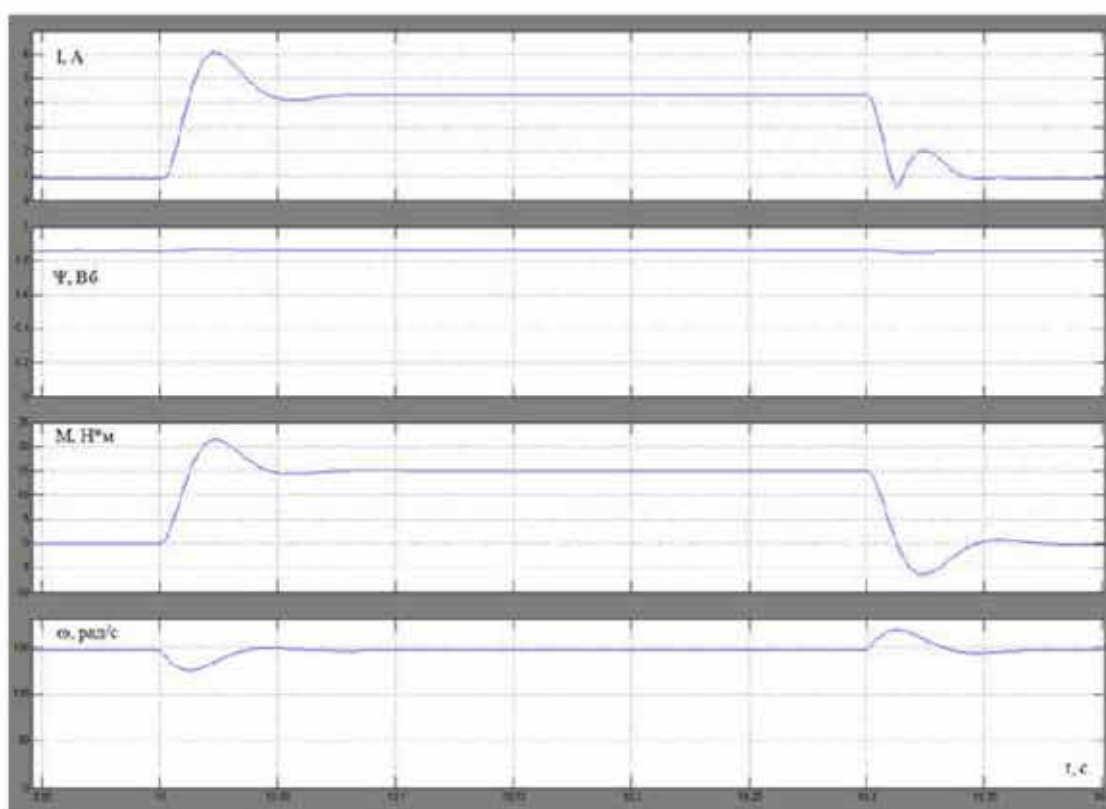


Рисунок 50 – Переходные процессы наброса и сброса нагрузки $M_c=15$ Нм

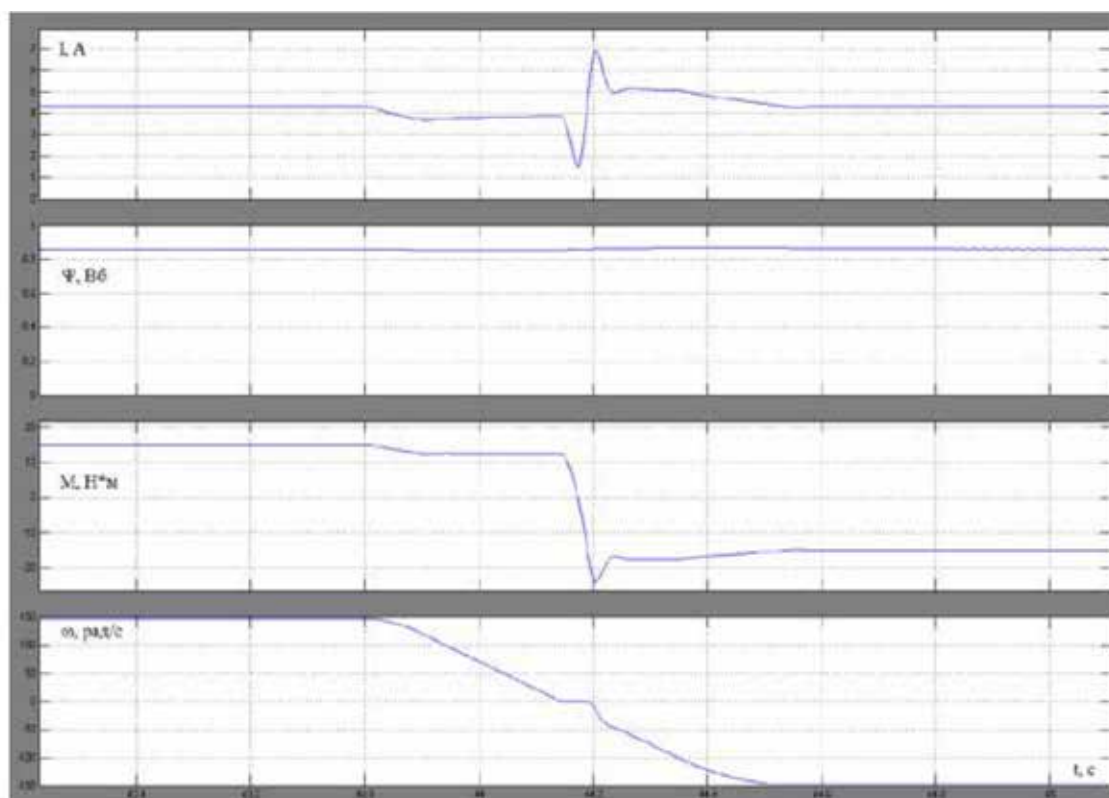


Рисунок 51 – Переходный процесс реверса электропривода

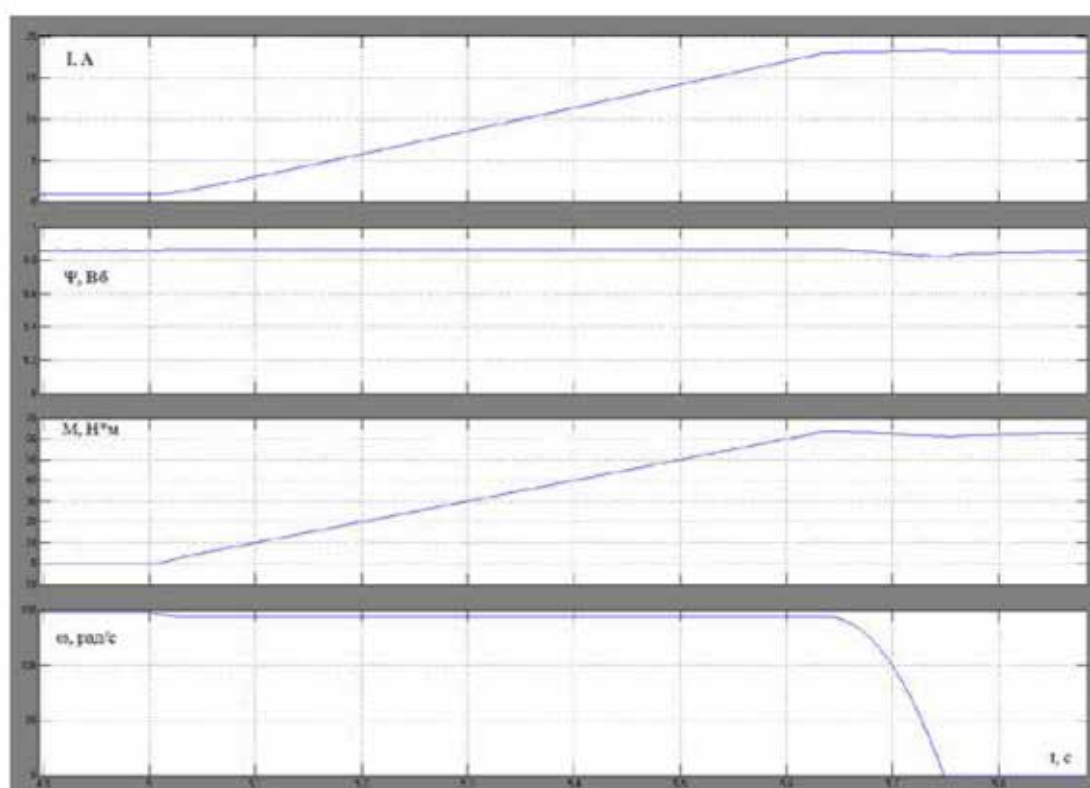


Рисунок 52 – Процесс отработки ограничения момента

Рис. 53 показывает переходный процесс положения выходного элемента ЭП при положении «закрыто» и «открыто». Время полного цикла составляет порядка 90 секунд.

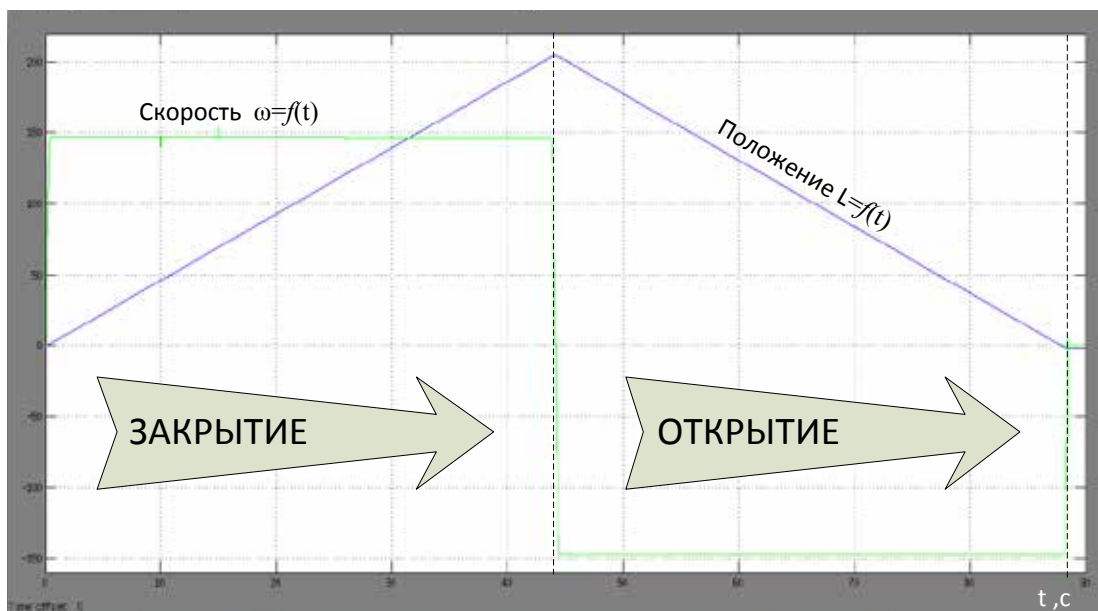


Рисунок 53 – Обработка по положению выходного органа

Основываясь на полученных результатах моделирования, можно сделать вывод, что ЭП реагирует на входные воздействия. Показатели работы комплекса, не превосходят критических значений, а время закрытия и открытия задвижки с заданным моментом находится в приемлемых временных интервалах времени 44 секунды.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Миржонов Рустам Истам угли

Институт	Институт электронного обучения (ИнЭО)	Кафедра	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Примерный бюджет проекта 200 тыс.руб.; - В исследовании задействованы 2 человека: руководитель проекта, инженер-разработчик; - Проект выполняется на базе лаборатории ТПУ - Стоимость оборудования (ПК) – 50 тыс. рублей
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	-Отчисления во внебюджетные фонды – 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения -Планирование научно-исследовательских и пуско-наладочных работ - Определение научно-технической эффективности проекта
2. <i>Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	- Планирование работ по проекту, -Расчет бюджета затрат проекта по внедрению частотного электропривода -Расчет капитальных вложений в основные средства

3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. <i>Оценка технического уровня новшества</i> 2. <i>Смета затрат</i> 3. <i>График Гантта</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Миржонов Рустам Истам угли		

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение ресурсной эффективности проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

В данном разделе будут рассмотрены:

- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование,
- Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения,
- Планирование научно-исследовательских и пуско-наладочных работ,
- Определение научно-технической эффективности проекта,
- Планирование работ по проекту,
- Расчет бюджета затрат проекта по внедрению частотного электропривода,
- Расчет капитальных вложений в основные средства,
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования.

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента

6.1. Инициализация проекта

Проект посвящен разработке и внедрению электропривода клиновой задвижки, выбору преобразователя частоты.

Клиновая задвижка диаметром 200мм предназначена для управления потоками сред путем отключения трубопроводов или их участков, распределение потоков по требуемым направлениям, регулирования различных параметров среды (давления P , расхода G , и т.д.), выпуска среды по требуемому направлению путем изменения проходного сечения в рабочем органе арматуры.

Разработка и внедрение в трубопроводной арматуре электропривода позволяет организовывать высокоэффективные автоматизированные системы управления технологическими процессами, дистанционно управлять технологическим процессом. Частотный электропривод снижает расходы на электроэнергию и эксплуатационные расходы, позволяет повысить надежность и безопасность работы трубопроводов.

Целевым рынком сбыта для разрабатываемого устройства являются предприятия нефтегазовой отрасли. Вместе с тем, аналогичные схемные решения электропривода трубопроводной арматуры, включенного в технологическую линию, можно использовать в различных отраслях промышленности: металлургической, химической .

Ограничений по срокам выполнения проекта нет, примерный бюджет проекта 200 тыс. руб.

6.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты (см. табл.1). Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок

При разработке электропривода в отдающем устройстве разработчик руководствовался следующими соображениями: стоимость двигателя постоянного тока больше, чем асинхронного двигателя, затраты на его эксплуатацию больше (в сравнении с асинхронным двигателем). Выпуск двигателей постоянного тока сокращается, электропривод постоянного тока заменяется электроприводом переменного тока. Решено использовать электропривод переменного тока с частотным регулированием.

Рассматривалось три варианта исполнения электропривода:

1. Преобразователь частоты (далее ПЧ) фирмы Schneider Electric модель ATV31CU15N4, двигатель АИМ-80В; мощностью 1,5 кВт, 1500 об/мин
2. ПЧ фирмы Bosch модель FVCA01.2-1K50-3P4-MDA-LP-NNNN-02VRS, двигатель АИМ-80В; мощностью 1,5 кВт, 1500 об/мин
3. ПЧ фирмы Siemens модель G120C, двигатель АИМ-80В; мощностью 1,5 кВт, 1500 об/мин

Таблица 15. Стоимость комплекта

Наименование комплектующих	Вариант исполнения					
	1		2		3	
	Марка	Стоимость руб.	Марка	Стоимость руб.	Марка	Стоимость руб.
Преобразователь Частоты	Schneider Electric ATV31CU15N4	24648	Bosch Rexroth FV	30166	SINAMICS G120C	37907
Двигатель	АИМ-80В	7045	АИМ-80В	7045	АИМ-80В	7045
Коммутационная аппаратура	комплект	15180	комплект	15180	комплект	15180
Сумма за комплект	46909		52391		60132	

Производим выбор варианта (комплекта) с использованием метода экспертных оценок.

Для проведения оценки выбраны следующие показатели: *технические* – производительность, помехозащищенность, точность, плавность протекания процессов, степень стандартизации и унификации, удобство управления, шум при работе и *экономические* – капитальные вложения, затраты на эксплуатацию, надежность.

По выбранным критериям с помощью экспертов необходимо присвоить коэффициент весомости, отражение их важности.

По каждому критерию необходимо установить оценку степени обеспечения:

Цели	низкий	средний	высокий (выше средней)
Уровень цели Оценка обеспечения цели	1.0	0.5	0

Таблица 16. Сравнительная характеристика электроприводов

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			примечание
		1	2	3	
1	2	3	4	5	4
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Производительность	1	0	0	0	равная у всех комплектов
2. Помехозащищенность	0,5	0	0,5	0	
3. Точность	0,5	0	0	0	у 3-го комплекта точность выше, но у всех комплектов достаточная
4. Плавность протекания процессов	0,5	0	0	0	
5. Удобство встройки	0,2	0	0,5	0	дополнительные затраты на модуль связи
6. Степень стандартизации унификации	0,3	0	1	0,5	2-й комплект - модуль связи, 3-й двигатель больших размеров
7. Удобство управления	0,5	0	0,5	0	
8. Шум при работе	0,1	0,5	0,5	0	3-й комплект имеет лучшие показатели, т.к. ПЧ и АД одного производителя
Экономические критерии оценки эффективности					
9. Капитальные вложения	1	0	0,5	0,5	
10. Затраты на эксплуатацию	0,8	0	0	0	
11. Надежность	0,8	0	0,5	0	надежность 2-го комплекта ниже, т.к. модуль связи произведен штучно, а не серийно
Итого		0,05	1,85	0,65	

В результате сравнения и оценки критериев выбран первый вариант исполнения, т.к. у него оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта. Далее расчеты производятся для комплекта оборудования с ПЧ фирмы Schneider Electric.

6.2 Планирование научно-исследовательских и пуско-наладочных работ

Планирование необходимо для обеспечения оптимального ведения работ, уменьшение затрат, увеличение производительности труда.

6.2.1 Планирование научно-исследовательских работ по проекту

Этапы и содержание НИР сведены в таблицу 17.

Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой либо продукции. Все этапы работы и значения трудоемкости занесены в календарный план-график, таблица 18.

Таблица 17. Этапы и содержание НИР

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1. Разработка технического задания	1.1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
2. Поиск и подбор технической документации	2.1.	Подбор и изучение технических паспортов, спецификаций по теме проекта	Инженер
3. Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ	3.1.	Расчет мощности двигателя	Инженер
	3.2.	Расчет момента инерции	Инженер
	3.3.	Выбор преобразователя частоты	Инженер
	3.4.	Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала. Оптимизация контуров	Инженер
	3.5.	Разработка электрической схемы привода.	Инженер
	3.6.	Анализ результатов	Руководитель, инженер
4. Моделирование работы привода	4.1.	Разработка программы исследований модели	Руководитель, инженер
	4.2.	Создание имитационной модели в среде Simulink программы Matlab	Инженер
	4.3.	Исследование нелинейной САУ СЭП асинхронного привода с векторным управлением	Инженер
	4.4.	Исследование нелинейной САУ СЭП в заданных режимах работы	Инженер
	4.5.	Исследование двухмассовой системы САУ СЭП	Инженер
5. Обобщение и оценка результатов, сдача проекта	5.1	Оценка результатов. Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер

Таблица 18. Календарный план-график
НИР

Этап	Название	Исполнитель	t-емкость, дней		Апрель														Май																				
			рабочие	календарные	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	1																																			
		Инженер																																					
2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель																																					
		Инженер	4	5																																			
3	Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ	Руководитель	1	1																																			
		Инженер	9	13																																			
4	Моделирование работы привода	Руководитель	1	1																																			
		Инженер	6	12																																			
5	Обобщение и оценка результатов	Руководитель	3	3																																			
		Инженер	3	3																																			

6.2.2 Планирование пуско-наладочных работ

Пуско-наладочные работы являются завершающим звеном производства линии, обеспечивающие ввод в эксплуатацию объект. Ниже рассмотрены основные этапы проведения ПНР на линии. Работы выполняются высококвалифицированными специалистами и рабочими по заранее разработанным и согласованным программам. Электротехнические ПНР, согласно [1], должны обеспечивать проверку и испытание электрооборудования в соответствии с действующими правилами устройства электроустановок, технической документацией предприятия-изготовителя оборудования и другими нормативными документами, а также получение заданных проектом электромеханических параметров работы оборудования.

Результат проверок, снятие характеристик аппаратуры, испытания и других работ, входящих в комплекс наладки электроустановок, оформляются в виде протоколов установленной формы, которые прикладываются к акту сдачи объекта в эксплуатацию.

Проведению ПНР в короткие сроки и с высоким качеством в значительной степени способствуют подготовительные мероприятия:

- заблаговременное ознакомление с проектом электроустановки, выявление неточностей, пробелов и других дефектов проекта;
- выявление и подсчёт объёма ПНР, определение необходимого количества наладочного персонала;
- подготовка комплектов наладочной аппаратуры и инструмента;
- составление рабочего графика проведения ПНР и согласование его с монтажной организацией и заказчиком;
- внешний осмотр электрооборудования и установка количества электромонтажных работ;
- определения технических характеристик электрооборудования;
- составление рабочей программы испытаний и наладки электрооборудования с учётом особенностей настраиваемого объекта.

Для того чтобы качественно и в короткие сроки произвести наладку электрооборудования и электрических схем, необходимо хорошее знание данного оборудования, проектные схемы и расчёты электрических параметров. Поэтому наладочный персонал комплектуется из опытных и квалифицированных специалистов.

Цены на проведение ПНР определены, исходя из сложности серийно выпускаемых, освоенных промышленностью электрических устройств, в соответствии с требованиями 3 части СНиП "Организация, производство и приём работ" и технических условий на изготовление и поставку электротехнических устройств.

При составлении смет или расчёте на выполнение работ, когда договором предусматривается промежуточная оплата, следует руководствоваться структурой ПНР, приведённой в таблице 19.

Таблица 19. Структура ПНР

№	Состав работы	Стоимость ПНР (%) от общей сметной стоимости
1	Подготовительные работы	10
2	Наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний технологического оборудования	40
3	Наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования	30
4	Комплексное опробование	15
5	Оформление отчётной и приемно-сдаточной документации	5

Ценами учтены затраты на следующие работы:

1. Подготовительные работы - организаторскую и инженерную подготовку работ; изучение электротехнической части проекта и ознакомление с технической документацией; получение от заказчика согласованных установок

устройств защиты и автоматики; подготовку парка приборов, а также программ наладки и комплекта протоколов.

2. Внешний осмотр электрооборудования на соответствие проекту; проверку и настройку отдельных элементов и функциональных групп; сборку испытательных схем; проверку параметров и снятие характеристик отдельных устройств; измерение сопротивления изоляции; проверку соединения обмоток; регулировку релейной аппаратуры.

3. Наладку электрооборудования под напряжением, включая силовые цепи; снятие и получение необходимых характеристик, сопоставление их с расчётными данными проекта; испытание и наладку оборудования вхолостую и под нагрузкой совместно с технологическим оборудованием.

4. Обеспечение взаимных связей устройств в составе электроустановки и механизмов в составе агрегата; согласование входных и выходных параметров и характеристик отдельных механизмов в составе агрегата; обеспечение на агрегатах электрических и электромеханических параметров и режимов, предусмотренных проектом.

Составление в одном экземпляре протоколов ПНР и испытаний; внесение в протокол схем, которые были изменены в процессе работы.

Таблица 20. Этапы и содержание ПНР

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1. Подготовительный этап	1.1.	Ознакомление с проектом, выявление неточностей. Составление рабочего графика проведения ПНР.	Руководитель, представитель заказчика, бригада наладчиков
	1.2.	Подготовка аппаратуры и инструмента;	Бригада наладчиков
	1.3.	Внешний осмотр электрооборудования и проверка готовности;	Бригада наладчиков
	1.4.	Определение соответствия техническим характеристикам;	Бригада наладчиков
	1.5.	Составление рабочей программы испытаний и наладки с учетом особенностей объекта.	Бригада наладчиков

Таблица 20. Продолжение

2. Проверочные работы	2.1.	Проверка количества электромонтажных работ и их соответствие к рабочим чертежам проекта	Бригада наладчиков
	2.2.	Проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие в необходимых случаях характеристик	Бригада наладчиков
	2.3.	Проверка правильности выполнения схем	Бригада наладчиков
	2.4.	Проверка работы электрических систем, блокировок и автоматики.	Бригада наладчиков
3. Наладочные работы	3.1.	Ввод параметров двигателя в преобразователь частоты, проверка работы системы;	Бригада наладчиков
	3.2.	Проверка работы и функционирования блоков сигнализации и защиты	Бригада наладчиков
	3.3.	Ввод параметров системы в преобразователь частоты	Бригада наладчиков
	3.4.	Проверка диапазона изменения напряжения преобразователя, настройка устройства задания скорости	Бригада наладчиков
	3.5.	Итоговая проверка защиты	Бригада наладчиков
	3.6.	Настройка и снятие необходимых характеристик элементов автоматического управления в соответствии с требованиями технологического процесса, испытание оборудования в холостую	Бригада наладчиков
4. Комплексное опробование	4.1.	Обеспечение взаимных связей устройств в составе электрической установки;	Бригада наладчиков
	4.2.	Согласование входных и выходных параметров на входе и выходе характеристик отдельных механизмов	Бригада наладчиков
	4.3.	Проверка режимов работы системы при управлении с пульта управления	Бригада наладчиков
5. Оформление документации	5.1.	Составление протоколов ПНР	Бригада наладчиков
	5.2.	Приемка линии. Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений, внесенных во время ПНР	Руководитель, представитель заказчика, бригада наладчиков

6.2.3 Состав бригады для проведения ПНР

Число членов бригады и распределение объёмов ПНР между членами бригады зависит от профессиональной подготовки наладчиков и их практического опыта, а также диктуется рядом требований к ПНР:

1. Работы характеризуются узкой специализацией, сложностью.
2. По правилам и нормам эксплуатации и настройки электрооборудования напряжением до 1000 В запрещаются работы на оборудовании, находящемся под напряжением, менее чем двум членам бригады.

Распределение объёма работ между членами выполняет бригадир, как опытный специалист, знающий каждого члена бригады. Продолжительность выполнения любой операции на каждом этапе зависит от технической сложности. Состав бригады, выполняющей ПНР приведён в таблице 21.

Таблица 21. Состав бригады, выполняющей ПНР

	Состав бригады	Категория
1	Инженер-наладчик (бригадир)	I
2	Инженер-наладчик	II
3	Инженер-наладчик	III

С бригадой наладчиков, производящих ПНР, заключено трудовое соглашение, в котором оговорён срок проведения работ и сумма, на которые заключается соглашение. Срок проведения ПНР составляет 15 рабочих дня продолжительностью 8 часов.

Распределение объёма и времени выполнения ПНР по этапам отражено в таблице 22.

Таблица 22. Распределение времени выполнения ПНР

№	Члены бригады	Время выполнения работ по этапам, рабочие дни				
		1	2	3	4	5
1	Инженер-наладчик (бригадир)	1	4	3	2	1
2	Инженер-наладчик	1	4	3	2	1
3	Инженер-наладчик	1	4	3	2	1

По таблице 22, согласно, строим календарный график, на июнь месяц 2017 года, проведения ПНР (таблица 23.).

Таблица 23. График загрузки персонала при выполнении ПНР

Этап	Исполнитель	t-емкость, дни		Выполнение ПНР по дням																													
		Рабочие	Календ-е	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1 – ый	Инженер – наладчик I (бригадир)	1	1	—																													
	Инженер – наладчик II	1	1	—																													
	Инженер – наладчик III	1	1	—																													
2 – ой	Инженер – наладчик I (бригадир)	4	6		—	—	—	—	—	—																							
	Инженер – наладчик II	4	6		—	—	—	—	—	—																							
	Инженер – наладчик III	4	6		—	—	—	—	—	—																							
3 – ий	Инженер – наладчик I (бригадир)	3	5								—	—	—	—	—																		
	Инженер – наладчик II	3	5								—	—	—	—	—																		
	Инженер – наладчик III	3	5								—	—	—	—	—																		
4 – ый	Инженер – наладчик I (бригадир)	2	2													—	—																
	Инженер – наладчик II	2	2													—	—																
	Инженер – наладчик III	2	2													—	—																
5 – ый	Инженер – наладчик I (бригадир)	1	1															—	—														
	Инженер – наладчик II	1	1															—	—														
	Инженер – наладчик III	1	1															—	—														

6.3 Расчет бюджета проекта по внедрению частотного электропривода

6.3.1 Смета затрат на НИР

Расчет сметы затрат на выполнение проекта выполняем согласно метода сметных калькуляций по отдельным статьям расходов, всех видов необходимых ресурсов.

Таблица 24 – Смета затрат на НИР

Статьи расхода	сумма	Примечания
	руб.	
1. Материалы, покупные п/ф и комплектующие изделия	50000	ПК для проектирования
2. Специальное оборудование	-	Стенды, приборы, установки, программы
3. Основная заработная плата научно-производственного персонала	43357	Трудоемкость нормо-д, Стоимость 1-го нормо-д.
4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	4335,7	10% от ст.3
5. Отчисления на внебюджетные фонды	14307,9	30%(ст.3+ст.4)
6. Расходы на научные и производственные командировки	3338,5	7% от(ст.3+ст.4)
7. Расходы и услуги сторонних организаций	55000	Доставка оборудования
8. Накладные расходы	8671,4	20% от ст.3
9. Плановая прибыль	6360,4	7% от (ст.3+4+5+8)
10. Годовая сметная стоимость проекта	135370,9	

6.3.2 Смета затрат на ПНР

Таблица 25. Дополнительные затраты по заработной плате

№	Наименование статей	Плановые (руб.)	Примечание
1	Стоимость работ	19156,31	
2	Районный коэффициент	5746,89	30% от п. 1
3	Коэффициент, действующий при проведении ПНР в зоне работы действующего оборудования	1915,63	10% от п. 1
4	Коэффициент, учитывающий работы на установке, находящейся под напряжением	5746,89	30% от п. 1
5	Основная заработная плата, включая доплаты	32565,72	п.1+п.2+п.3+п.4
6	Дополнительна заработная плата	3256,57	10%отп.5
7	Итого	35882,29	п.5+п.6

Затраты предприятия на проведение пуско-наладочных работ приведены в таблице 26.

Таблица 26. Общая стоимость затрат на проведение ПНР

№	Наименование статей	Плановые (руб.)	Примечание
1	Заработная плата	35882,29	
2	Отчисления в внебюджетные Фонды	10746,69	30%от п.1
3	Накладные расходы	5741,17	16% от п.1
4	Себестоимость работ	52370,15	п.1+ п.2+п.3
5	Прибыль	4189,61	8% от п.4

Таблица 26. Продолжение

№	Наименование статей	Плановые (руб.)	Примечание
6	Цена ПНР	56559,76	п.4+п.5
7	НДС	10180,76	18% от п.6
8	Итого	66740,52	п.6 + п.7

6.3.3 Расчет расходов при эксплуатации электропривода (стоимости силовой электроэнергии)

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Заработная плата обслуживающего персонала
- Амортизационные отчисления
- Затраты на ремонт
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией

6.3.4 Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации, и мы выбираем линейную схему амортизации:

$$A_{год} = K \times \frac{H_A}{100} = 7045 \times \frac{9,6}{100} + 24648 \times \frac{3,5}{100} = 1539 \text{ руб}$$

где К – капитальные вложения в электрооборудование;

H_A – проценты отчислений на амортизацию

- Электродвигатели – 9.6%
- Преобразователи, выключатели, трансформаторы и т.д. – 3.5%

6.3.5 Заработная плата обслуживающего персонала

Обслуживание частотного электропривода, двигателя и редуктора входит в обязанности оперативно-ремонтного персонала ремонтной службы предприятия.

При выполнении работы наладчик автоматических линий имеет повременную оплату труда. Оплата труда включает в себя основную и дополнительную заработную плату. К основной относится оплата, начисленная за проработанное время на предприятии и различные доплаты (сверхурочная работа, работа в выходные дни, региональные надбавки, премии, районный коэффициент).

Оклад наладчика автоматических линий по присвоенному 6 разряду: 9100 руб.

Дневная заработная плата:

$$З_{НАЛ} = \frac{(1,3 \times З_T + \text{Надб}) \times P_K}{F_D};$$

где $З_T$ - оклад в месяц;

$\text{Надб} = 3000 \text{руб}$ надбавка за сложность;

1.4 - доплата за должность;

$P_K = 1,3$ - коэффициент, учитывающий районное регулирование;

$F_D = 22$ количество рабочих дней в месяц.

Рассчитаем основную зарплату:

$$З_{НАЛ} = \frac{(1,4 \times 1,3 \times 9100 + 3000) \times 1,3}{22} = 876,32 \text{ руб/дн}$$

Основная заработная плата за период работы:

$$З_{ОСН} = З \times t_p;$$

где t_p - период рабочего времени:

$t_p = 247$ – период рабочего времени – 1 год (в 2017 году 247 рабочих дней);

Рассчитаем основную заработную плату за год:

$$З_{ОСН} = З_{НАЛ} \cdot t_p = 876,32 \cdot 247 = 216\,450,60 \text{ (руб)};$$

Дополнительная заработная плата – это выплаты за неотработанное время (оплата отпусков и т. д.).

Дополнительная заработная плата рассчитывается:

$$Z_{\text{доп}} = 0.15 \times Z_{\text{осн}};$$

Рассчитаем дополнительную зарплату:

$$Z_{\text{доп}} = 0.15 \cdot Z_{\text{осн}} = 0.15 \cdot 216450,60 = 32\,467,59 \text{ (руб)};$$

Суммарная зарплата:

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 216\,450,60 + 32\,467,59 = 249\,918,18 \text{ (руб)}.$$

Расчет затрат на оплату труда сведем в таблицу 27

Таблица 27. Затраты на оплату труда

Вид затрат	Исполнитель
Основная з/пл, руб.	216 450,60
Дополнительная з/пл, руб.	32 467,59
Итого	249 918,18

Отчисления на внебюджетные фонды

Внебюджетные фонды на сегодняшний день по существующему законодательству составляет 30 %:

$$\text{Внебюджетные фонды} = 30\% \cdot Z_{\Sigma} = 0,30 \cdot 249\,918,18 = 74\,675,46 \text{ (руб)};$$

Обязанности по обслуживанию линии ЛКОР-125 занимают 10% рабочего времени наладчика. Зарплата обслуживающему персоналу в год составит:

$$Z_{\text{ПЕР}} = 249\,918,18 \cdot 0,1 = 24\,991,82 \text{ (руб/год)}.$$

6.3.6 Общая сумма эксплуатационных расходов

Общая сумма эксплуатационных расходов складывается из затраты на силовую энергию C_{Σ} , годовых амортизационных отчислений $A_{\text{год}}$ из зарплат обслуживающего персонала $Z_{\text{ПЕР}}$.

$$P_{\Sigma} = C_{\Sigma} + A_{\text{год}} + Z_{\text{ПЕР}} = 19\,519 + 1539 + 24\,991,82 = 46049,82 \text{ (руб/год)}$$

При расчетах общих затрат на эксплуатацию расходы на электроэнергию составили 19519 (руб/год), заработная плата обслуживающего персонала 24991 (руб/год), амортизационные отчисления 1539 (руб/год). Общая сумма эксплуатационных расходов составила 46049,82 (руб/год).

6.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

6.4.1. Интегральный финансовый показатель

Определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р.}i}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{р}i}$ – стоимость i -го варианта исполнения включая ПНР (таблица 1);

$\Phi_{\text{р}1}=46909+66740= 113649$ руб (с использованием ПЧ фирмы Schneider Electric)

$\Phi_{\text{р}2}=52391+66740= 119131$ руб (с использованием ПЧ фирмы Bosch)

$\Phi_{\text{р}3}= \Phi_{\text{max}}=60132+66740= 126872$ руб (с использованием ПЧ фирмы Siemens)

Φ_{max} – максимальная стоимость всего проекта

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{\text{р}1}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{113649}{126872} = 0,89$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{р2}}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{119131}{126872} = 0.94$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{р3}}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{126872}{126872} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах.

6.4.2. Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определяется следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 28).

Таблица 28 Сравнительная оценка вариантов исполнения

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 ATV31CU15N4	Исп.2 Rexroth FV	Исп.3 SINAMICS G120C
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	3	3
3. Помехоустойчивость	0,15	4	3	5

4. Энергосбережение	0,25	5	5	5
5. Надежность	0,25	5	4	5
6. Материалоемкость	0,15	5	5	3
ИТОГО	1	4,85	4,15	4,4

$$I_{p-исп1}=5\cdot0,1+5\cdot0,1+4\cdot0,15+5\cdot0,25+5\cdot0,25+5\cdot0,15=4,85;$$

$$I_{p-исп2}=5\cdot0,1+3\cdot0,1+3\cdot0,15+5\cdot0,25+4\cdot0,25+5\cdot0,15=4,25;$$

$$I_{p-исп3}=5\cdot0,1+3\cdot0,1+5\cdot0,15+5\cdot0,25+5\cdot0,25+3\cdot0,15=4,5.$$

6.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп1}} = \frac{4.85}{0.89} = 5.45$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп2}} = \frac{4.25}{0.94} = 4.52$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр}^{исп3}} = \frac{4.5}{1} = 4.5$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл. 29) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп1}} = \frac{5,45}{5,45} = 1$$

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}} = \frac{4,52}{5,45} = 0.83$$

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп3}}{I_{исп1}} = \frac{4,5}{5,45} = 0.82$$

Таблица 29. Сравнительная эффективность разработки

№ п/ п	Показатели	Исп.1 ATV31CU15N 4	Исп.2 Rexroth FV	Исп.3 SINAMIC S G120C
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,89	0,94	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	4,25	4,5
3	Интегральный показатель эффективности	5,45	4,52	4,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,83	0,82

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективности указывает на первый вариант исполнения, как наиболее эффективный.

Таким образом:

1. в результате сравнения и оценки критериев комплектов электроприводов выбран преобразователь частоты фирмы Schneider Electric модель ATV31CU15N4, двигатель АИМ-80В мощностью 1,5 кВт, 1500 об/мин, т.к. у данного комплекта оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта.

2. Были составлены графики проведения ПНР, определено количество работников, рассчитаны затраты. На проведение пуско-наладочных работ бюджет составил 66740 рублей, на приобретение оборудования 46909 рублей. Работы были проведены за 15 рабочих дня бригадой из трех человек.

3. На основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, а также по итогам сравнения финансовой и ресурсной эффективности наиболее эффективным получается первый комплект электропривода с использованием ПЧ фирмы Schneider Electric.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Миржонов Рустам Истам угли

Институт	Институт электронного обучения (ИЭО)	Кафедра	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<ul style="list-style-type: none"> - Описание рабочего места оператора клиновой задвижки. Рабочая площадка находится в закрытом помещении. Основное рабочее оборудование – электропривод переменного тока. - Физические вредные факторы: повышения уровня шума, повышения уровня вибрации, превышение электромагнитных излучений; - Физические опасные факторы: электрический ток; движущиеся машины и механизмы производственного оборудования; статическое электричество. - Негативное влияние на окружающую среду: бытовые отходы. - Чрезвычайные ситуации: пожар.
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме.</p>	<p>ГОСТ 12.2.003-91 – 92; ГОСТ 12.1.019; ГОСТ 12.3.009-76 – 77; Р 2.2.2006 – 05; ТК; ПУЭ; ПЭЭП</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ). 	<ul style="list-style-type: none"> - Анализ опасных и вредных производственных факторов; - меры безопасности при работе с клиновой задвижкой.
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - механические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в том числе, статическое электричество, – источники, средства защиты); - вредные производственные факторы. 	<ul style="list-style-type: none"> - Электробезопасность; - механические травмы; - шум и вибрации; - микроклимат на рабочем месте; - освещение рабочего места, расчет искусственного освещения; - пожарная безопасность; - охрана окружающей среды
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). 	<ul style="list-style-type: none"> - охрана окружающей среды; - загрязнение атмосферы; - основные мероприятия по защите окружающей среды.
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС на объекте; - выбор наиболее типичной ЧС; 	<ul style="list-style-type: none"> - Чрезвычайные ситуации;

<ul style="list-style-type: none"> - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	- устойчивость работы предприятия в чрезвычайных ситуациях.
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p>- Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены.</p> <p>-Использовать необходимое оборудование.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Миржонов Рустам Истам угли		

7. Социальная ответственность

Клиновое задвижка диаметром 200мм предназначена для управления потоками сред путем отключения трубопроводов или их участков, распределение потоков по требуемым направлениям, регулирования различных параметров среды (давления P , расхода G , и т.д.), выпуска среды по требуемому направлению путем изменения проходного сечения в рабочем органе арматуры.

Существует ряд факторов, которые могут привести к опасности для здоровья во время проведения работ в производственных помещениях предприятия. Данные факторы могут привести к возникновению несчастных случаев, профессиональных заболеваний, а также пожаров и взрывов.

Выполнение правил и норм по охране труда обеспечивает необходимую безопасность обслуживающего персонала, пожара и взрывобезопасность электроустановок и тем самым обеспечивает комфортную среду на рабочих местах.

7.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Главной задачей охраны труда является обеспечение безопасности и комфортабельности труда, для чего необходимо проанализировать все опасные и вредные факторы, возникающие в процессе данной работы и устранить их. Необходимо рассмотреть все операции, производимые в экспериментальной части данной дипломной работы и применяемое оборудование для ее выполнения, после чего проанализировать все вредные и опасные факторы, возникающие при этом.

Основные опасные факторы:

- механические повреждения при эксплуатации и настройки клиновой задвижки
- повреждение конечностей при транспортировке и установки электропривода;
- поражение электрическим током.

7.2 Меры безопасности при работе с клиновой задвижкой

Основные факторы безопасности при работе электропривода клиновой задвижки определены в должностной инструкции обслуживающего персонала и определяются следующими моментами:

- Все металлические части должны иметь защитное заземление согласно ПУЭ 1.7.126.
- Запрещается производить ремонт, смазку и чистку во время работы.
- Категорически запрещается работать на неисправном оборудовании.
- Запрещается загромождать зону обслуживания.
- Зона обслуживания должна быть хорошо освещена. Переносные светильники должны быть подключены к источнику сверхнизкого напряжения (используется понижающий трансформатор 220/36 в).
- К работе на линии допускаются лица, прошедшие специальное обучение и получившие вводный инструктаж по технике безопасности с обязательным оформлением в журнале инструктажа.

Обязанность оператора перед началом работы:

- проверить исправность оборудования, наличие технологического инструмента;
- убрать из зоны обслуживания все, что мешает работе, освободить и не загромождать проходы;
- при обнаружении неисправностей, заявить о них руководителю;
- перед пуском обязательно закрыть все ограждения.

Основные вредные факторы:

- отклонение параметров микроклимата (температура, скорость движения воздуха, тепловое излучение, влажность воздуха)
- освещенность
- шум
- вибрация

7.3 Техника безопасности

Электробезопасность

Из классификации помещений по характеру окружающей среды данное производственное помещение сухое. В данном помещении имеется железобетонный пол. В результате этого помещение по степени опасности поражения людей электрическим током относится к помещениям с повышенной опасностью.

Основные меры, обеспечивающие электробезопасность при прикосновении к конструктивным частям электрооборудования, заключаются в контроле сопротивления двойной изоляции, применении заземления и защитного отключения.

Предусматривается защитное заземление корпусов всех электрических двигателей, светильников, экструдера, калибратора, тянущего устройства с внутрицеховой шиной заземления. Площади сечений защитных проводников изготовленных из того же материала, что и фазные проводники приведены в таблице 1.

Таблица 30. Наименьшие сечения защитных проводников

Сечение фазных проводников, мм ²	Наименьшее сечение защитных проводников, мм
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Защитное отключение установки используется при появлении напряжения на корпусе относительно земли. Вводной автоматический выключатель типа АП-50 обеспечивает работу электорпривода в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях, перегрузках, недопустимых снижениях напряжения в трехфазных электрических сетях переменного тока напряжением до 400 В частотой 50 Гц. Каждое устройство, входящее в состав линии, защищено автоматическим выключателем типа ВА-47-29 и предохранителями типа ПН-2 рассчитанные на номинальные токи.

Предусматривается двойная изоляция токоведущих частей электропривода. В соответствии с ПУЭ величина изолирующего сопротивления токоведущих частей должна быть не менее 5 МОм.

В данном помещении электропроводка проложена по металлическим лоткам и в трубах, в полу. (провод марки ВВГ, кабель или провод ПР и ПВ в тонкостенных стальных трубах).

Механические травмы

Во избежание механических травм и повреждений на предприятии проводятся мероприятия которые делятся на:

- 1 Организационные (организация обучения и инструктажа лиц, обслуживающих оборудование, контроль за исправностью оборудования, оснастки, инструмента, ведение журнала о исправности оборудования).
- 2 Технические (безопасность эксплуатации электрооборудования). Обеспечиваются комплексом технических мер безопасности, применением электрозащитных средств и правильной организацией эксплуатации действующих электроустановок.

К самостоятельной работе с клиновой задвижкой допускаются лица, достигшие 18-летнего возраста, прошедшие медицинское обследование, вводный инструктаж по ТБ, противопожарной безопасности, инструктаж по охране труда на рабочем месте, стажировку на рабочем месте, проверку знаний безопасных приемов и способов работы. В период обучения (стажировки) работа должна выполняться под руководством опытного рабочего. Самостоятельная работа на оборудовании запрещена.

Обслуживающий персонал в процессе работы обязан проходить:

- повторные инструктажи - не реже одного раза в квартал;
- проверку знаний инструкций по охране труда и действующей инструкции по оказанию первой помощи пострадавшим при несчастных случаях на производстве - один раз в год;
- медицинский осмотр один раз в два года.

Персонал должен быть обеспечен спецодеждой и другими средствами индивидуальной защиты (костюм х/б, берет, перчатки х/б, рукавицы комбинированные).

7.4 Производственная санитария

Производственная санитария в заводских помещениях охватывает широкий круг санитарно-гигиенических вопросов. Ее задачей является создание здоровых и удобных условий труда, улучшение здоровья и трудоспособности работающих, рост производительности труда.

Санитарно-гигиеническая обстановка, определяющая условия труда, характеризуется метеорологическими параметрами, действием вредных и ядовитых веществ, наличием шумов, вибраций, излучений и т.д.

Шум и вибрация

В проектируемом помещении источником шума являются клиновая задвижка.

Предельно допустимый уровень воздействия шума на рабочих местах не превышает 80 дБА. Это определяется тем, что объём помещения достаточно большой по сравнению с количеством электродвигателей.

При проектировании электропривода учитывается, чтобы шум не превышал допустимых значений. Аэродинамический шум также не превышает допустимых значений.

Для защиты от шума используют специальные кожухи из тонких алюминиевых или пластмассовых листов, которые непосредственно устанавливаются на электродвигатели задвижки, с внутренней стороны которых используются звукопоглощающие материалы.

Источниками вибрации так же является электропривод задвижки. Это обуславливается наличием электродвигателя. Для устранения вибрации осуществляют следующие меры:

- в местах крепления электродвигателя к каркасу устанавливают виброизолирующие материалы и прокладки (резина, пластик);
- увеличивают жёсткость конструкции за счёт установления рёбер жесткости

и сварных конструкций.

Для уменьшения вибрации кожухов, различных ограждений выполненных из стальных листов, на них нужно нанести слой резины, пластика, которые рассеивают энергию колебаний.

Микроклимат на рабочем месте

Рабочее место по своему объему и площади должно быть таким, чтобы обеспечить условия для производительности труда и здоровья работающих труда.

Согласно безопасности производственных процессов требуется иметь на одного работающего объем помещения не менее 15 м^3 и площадь не менее $4,5 \text{ м}^2$. Высота производственных помещений должна быть не менее 3,2 м.

Стены и потолки необходимо сооружать из малотеплопроводных материалов, не задерживающих осаждение пыли. Полы должны быть теплыми, эластичными, ровными и нескользкими.

Важную роль для здоровья человека играет состояние окружающей среды, метеорологические условия или микроклимат на производстве.

Микроклимат определяют следующие параметры:

- температура воздуха в помещении, $^{\circ}\text{C}$;
- относительная влажность воздуха, %;
- подвижность воздуха, м/с;
- тепловое излучение, Вт/м.

Эти параметры отдельно и в комплексе влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Проанализируем состояние производственной санитарии в производственных помещениях, где проводились экспериментальные работы.

Температура воздуха является одним из ведущих факторов, определяющих метеорологические условия. Температура воздуха в помещении зависит, в основном от производственного процесса, при осуществлении которого, выделяется тепло. Необходимо обеспечивать

оптимальный микроклимат для обеспечения теплового равновесия между организмом человека и окружающей среды.

Оптимальная температура воздуха в холодный период года составляет $+(21\div 23)$ °С, в летний период $(22-24)$ °С. Для поддержания данной температуры воздуха в холодный период времени предусмотрены батареи центрального отопления. Влажность воздуха влияет на теплообмен в организме человека, затрудняя или облегчая теплообмен организма с окружающей средой. Оптимальная норма относительной влажности должна составлять $(40\div 60)$ %, что соответствует условиям метеорологического комфорта при покое или легкой физической работе.

Движение воздуха внутри помещения происходит при непрерывном движении (нагреве) воздушных масс в пространстве и действием вентиляции.

Вентиляция - это организованный и регулируемый воздухообмен, обеспечивающий удаление из помещения воздуха, загрязненного газами, парами, пылью, а также улучшающий метеорологические условия в помещении.

Во время технологического процесса от электронагревателей экструдера выделяется значительное тепло, которое для поддержания оптимальной температуры в помещении целесообразно отводить с помощью вытяжной вентиляции.

По способу перемещения воздуха в данном помещении предусматривается естественная общеобменная и приточно-вытяжная механическая вентиляция.

По способу перемещения воздуха используется естественная канальная вентиляция, представляющая собой систему вытяжных шахт, в устье которых для усиления тяги предусматриваются дефлекторы.

Также применяют осевой механический вентилятор, который устанавливается снаружи здания в тех местах, где воздух наименее загрязнён. Он применяется для подогрева воздуха, который проходит через фильтры и калориферы.

В холодный период года приточную механическую вентиляцию применяют для подогрева воздуха в помещении. Удаляется воздух через щели окон и дверей. Данный тип вентиляции, т.е. естественная, используется в помещениях с малой концентрацией вредных веществ, при этом воздух в помещение нагнетается вентиляторами.

Освещение на рабочем месте

Правильно выполненная система освещения играет существенную роль в снижении производственного травматизма, уменьшая потенциальную опасность многих производственных факторов, создает нормальные условия работы и повышает общую работоспособность организма. Увеличение освещенности от 100 до 400 лк при напряженной зрительной работе обуславливает повышение производительности труда на 10÷20 %, уменьшение брака на 20 %, снижение количества несчастных случаев на 30 %

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения.

На практике пользуются двумя видами освещения – естественным и искусственным, осуществляемым электрическими лампами.

Производственное освещение характеризуется количественными и качественными показателями. Качественными показателями, определяющими условия зрительной работы, являются фон, контраст объекта с фоном, видимость, цилиндрическая освещенность, показатель ослепленности, показатель дискомфорта и коэффициент пульсации освещенности .

На участке расположения клиновой задвижки , ввиду недостаточного естественного освещения, используется искусственное освещение: люминесцентные лампы типа ЛДЦ-80, которые подвешены на высоте 4,5 м от пола.

Расчет искусственного освещения

В помещении в качестве источников искусственного освещения выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОД-2, с габаритными размерами 1531x266x198 мм. Светильники ОД-2 (открытые двухламповые) предназначены для помещений с хорошим отражением потолка и стен, допускаются при умеренной влажности и запыленности.

При равномерном размещении люминесцентных светильников последние располагаются обычно рядами – параллельно рядам оборудования.

Примем высоту рабочей поверхности над полом $h_p = 0,85$ м; расстояние светильников от перекрытия $h_c = 0,5$ м.

Высота подвеса $h_n = H - h_c = 4,5 - 0,5 = 4$ м, где H – высота помещения.

Высота светильника над рабочей поверхностью $h = h_n - h_p = 4 - 0,85 = 3,15$ м.

Расстояние между соседними светильниками или рядами $L = l \times h$, где $l = 1,4$ исходя из выбранного типа светильника (открытые двухламповые ОД).
 $L = l \times h = 1,4 \cdot 3,15 = \approx 4,41 \approx 4,5$ м.

Оптимальное расстояние L_1 от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным $L/3$.

$L_1 = L/3 = 4,5/3 = 1,5$.

Число светильников определяется на основании графо - аналитического расчета согласно рис. 1. Изобразим схематично в соответствии с исходными данными план помещения, указав на нём расположение светильников, и определим их число.

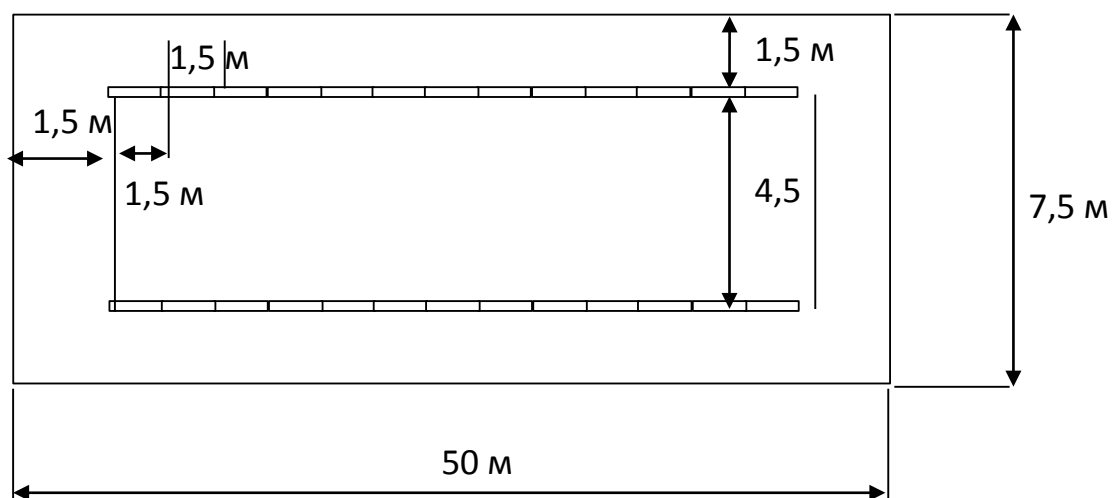


Рисунок 54 – Схема расположения светильников

В нашем случае, полагаем необходимым разместить 2 ряда светильников по 15 светильников в каждом, таким образом, общее количество светильников составит 30 штук.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока.

Световой поток определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \times S \times K \times Z}{n \times h}$$

где E_n – нормируемая минимальная освещённость [30];

Операции, выполняемые на экструзионной линии ЛКОР-125 с обмотчиками, по разряду зрительной работы относятся к IV разряду работ средней точности, в котором наименьший размер объекта различения от 0,5 до 1 мм.

Освещенность для общего освещения должна быть не менее 200 лк.

S – площадь освещаемого помещения, m^2 .

Помещение имеет размеры: длинна $A = 50m$, ширина $B = 7,5m$, высота $H = 4,5m$.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B$$

$$S = 50 \cdot 7,5 = 375m^2$$

$K_3 = 1,5$ – коэффициент запаса, берем исходя из того, что участок на котором находится клиновая задвижка является помещением с малым выделением пыли.

$Z = 1,1$ – коэффициент неравномерности освещения для люминесцентных ламп.

$n = 30$ – число светильников на участке клиновой задвижки, полученное графо – аналитическим расчётом;

h - коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от

индекса помещения i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен Γ_c и потолка Γ_n .

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = S / h(A+B) = 375 / 3,15(50+7,5) \approx 2,07$$

Исходя из того, что в помещении свежепобеленные потолок и стены с окнами, принимаем $h=60$.

Рассчитаем световой поток одного светильника из группы 30 светильников по 1.

$$\Phi = \frac{E_n \times S \times K \times Z}{n \times h} = \frac{200 \times 375 \times 1,5 \times 1,1 \times 100}{30 \times 60} = 6875 \text{ лм}$$

Световой поток, приходящийся на одну лампу

$$\Phi/2 = 3437,5 \text{ лм}$$

Выбираем лампу, наиболее подходящую для текущего светового потока одной лампы:

Таблица.31.

Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Напряжение на лампе, В	Ток лампы, А	Световой поток, лм
80	220	102	0,67	3800

Требуемый световой поток обеспечивает лампа ЛДЦ-80.

Общая электрическая мощность всей системы освещения $P = 2 \cdot 80 \cdot 30 = 4800$ Вт.

Делаем проверку:

$$E_{\text{расч}} = \Phi \times n \times h / S \times K_z \times Z \times 100 = 3800 \times 2 \times 30 \times 60 / 375 \times 1,5 \times 1,1 \times 100 = 221,09 \text{ лк.}$$

$$0,9 E_n < E_{\text{расч}} < 1,2 E_n;$$

$$180 < 221,09 < 240.$$

Проверка выполняется, т. к. необходимый поток светильника не выходит за пределы диапазона (-10 , +20%).

7.5 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность означает состояние объекта или производственного процесса, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей. Пожарная безопасность осуществляется за счет систем предотвращения пожара, организационными и организационно-техническими мероприятиями.

Цех по степени пожарной опасности, согласно можно отнести к категории В, т.к. в нем ведутся работы с применением твердых сгораемых материалов с температурой воспламенения свыше 120 °С. По огнестойкости, производственное помещение, можно отнести к помещениям I группы, т.е. стены кирпичные, а перегородки бетонные.

Для обнаружения начальной стадии пожара в производственных помещениях следует устанавливать систему электрической пожарной сигнализации (ЭПС) с ручным и автоматическим включением. Для ручного включения используются кнопочные извещатели типа ПКИО-9. Тип автоматического извещателя - комбинированные - КИ - I.

Используют дымовые автоматические пожарные извещатели, реагирующие на изменение оптической проницаемости воздуха.

В здании предусматриваются противопожарные двери, люки, тамбур- шлюзы, выполненные из несгораемых материалов с минимальным пределом огнестойкости. Данное помещение имеет 3 эвакуационных выхода из цеха через коридор наружу непосредственно.

Двери на путях эвакуации должны открываться по направлению выхода из здания. Тамбуры должны быть длиной не менее 4м, оборудованные установками автоматического пожаротушения на участке длиной 4м с

объёмным расходом воды 1 л/с на 1 м² пола тамбура.

Для данного здания следует предусмотреть выходы на кровлю лестничных клеток или по наружным пожарным лестницам. Пожарные лестницы следует предусматривать по периметру здания не реже чем через 200 метров.

Все производственные и подсобные помещения цеха обеспечены первичными средствами пожаротушения и пожарным инвентарем, находящимся на доступном месте.

В помещении, где проводилась работа причины пожара могут носить электрический и неэлектрический характер.

Причины электрического характера:

- а) короткое замыкание;
- б) перегрузки;
- в) электрические дуги, искры, возникающие в результате ошибочных операций с коммутационной аппаратурой;
- г) плохие контакты в местах соединения проводников.

Причины неэлектрического характера:

- а) неосторожное обращение с огнем;
- б) неисправность отопительных приборов или нарушение режима их работы;
- в) самовоспламенение некоторых материалов.

В данной работе источником пожара может стать шкаф ШС. Поэтому его не следует оставлять без присмотра. Пожарная безопасность в помещении достигается комплексом профилактических мероприятий. Включающих в себя организационные и технические.

Организационные мероприятия:

1. Проведение инструктажа.
2. Профилактический осмотр оборудования на предмет пожароопасности.
3. Соблюдение чистоты и порядка в помещении.
4. Вывешивание предупредительных плакатов, которые предостерегают о возможности возникновения пожара при несоблюдении правил санитарии.

5. Обучение сотрудников способам и приемам ликвидации пожара.

Технические мероприятия:

1. Защита установок от перегрузок и коротких замыканий.

2. Покрытие легковоспламеняющихся предметов огнеупорным покровом. По окончании работы в помещении сотрудник уходящий последним, обязан:

- а) выключить прибор из сети;
- б) выключить рубильник;
- в) выключить освещение.

К первичным средствам пожаротушения цеха относятся:

- ручные углекислотные огнетушители ОУ-3-ВСЕ
- ручные воздушно-пенные огнетушители ОВП-8(3)-АВ;
- передвижные углекислотные огнетушители ОУ-7
- пожарные краны внутреннего водопровода;
- ящики с песком.

В производственных помещениях установлены пожарные краны диаметром 50 мм с пожарным стволом 50´16 мм и длиной рукава 20 м. Пожарные краны установлены из расчета орошения каждой точки помещения двумя струями, с расходом по 4,6 л/сек каждая. Радиус действия компактной струи 16 м.

Если же пожар возник, то проводят ряд мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, которые делятся на:

- 1. Мероприятия по устранению причин пожара.
- 2. Мероприятия по устранению очагов горения и предупреждения пожара.
- 3. Мероприятия по эвакуации людей и материальных ценностей
- 4. Мероприятия по быстрому тушению пожара.

В случае пожара для быстрой эвакуации людей необходимо соблюдать правила эвакуации.

Эвакуация должна осуществляться в следующем порядке:

- 1. Люди.
- 2. Легковоспламеняющиеся и взрывоопасные вещества.
- 3. Ценные бумаги и документы.

4. Ценное оборудование.

5. Прочие материалы.

7.6 Охрана окружающей среды

Проблема защиты окружающей среды - одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий в атмосферу, водоемы и недра на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряде районов земного шара, особенно в крупных промышленных центрах, уровни загрязнения существенно превышают допустимые санитарные нормы.

В данной дипломной работе источниками загрязнения атмосферы являются:

- Смазочные материалы используемые при эксплуатации задвижки.

Загрязнение атмосферы

Атмосфера всегда содержит в своем составе определенное количество примесей, поступающих в нее от естественных и антропогенных источников. Уровень загрязнения атмосферы естественными источниками является фоновым и мало изменяется со временем. Более устойчивые зоны с повышенными концентрациями загрязнения возникают в местах активной жизнедеятельности человека. Антропогенные загрязнения отличаются многообразием видов и многочисленностью источников их выброса. Рост промышленности в нашем тысячелетии привел к качественно новому загрязнению атмосферы, в частности аэрозолями тяжелых и редких металлов, синтетическими соединениями, не существующими и не образующимися в природе, радиоактивными, канцерогенными, бактериологическими и другими веществами. Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять электрооборудование с малым энергопотреблением.

Основные мероприятия по защите окружающей среды

Для снижения вреда, наносимого окружающей среде при производстве электроэнергии, необходимо искать принципиально новые виды производства

электроэнергии. Безотходная технология является наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий. Это комплекс мероприятий в технологических процессах от обработки сырья до использования готовой продукции, в результате чего сокращается до минимума количество вредных выбросов и уменьшается воздействие отходов на окружающую среду до приемлемого уровня.

В этот комплекс мероприятий входят:

1. Создание и внедрение новых процессов получения продукции с образованием наименьшего количества отходов.
2. Разработка различных типов бессточных технологических систем и водооборотных циклов на базе способов очистки сточных вод.
3. Разработка систем переработки твёрдых отходов производства во вторичные материальные ресурсы.
4. Создание территориально-промышленных комплексов, имеющих замкнутую структуру материальных потоков сырья и отходов внутри комплекса.

До всестороннего внедрения безотходной технологии важными направлениями экологизации промышленного производства следует считать:

1. Совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов примесей и отходов в окружающую среду.
2. Замена токсичных отходов на нетоксичные отходы.
3. Замена не утилизируемых отходов на утилизируемые отходы.
4. Применение пассивных методов защиты окружающей среды: очистка сточных вод от примесей; очистка газовых выбросов от вредных примесей; рассеивание вредных выбросов в атмосфере; глушение шума на путях его распространения; мероприятия по снижению уровней инфразвука, ультразвука и вибраций на путях их распространения; экранирование

источников энергетического загрязнения окружающей среды, захоронение токсичных и радиоактивных отходов.

Защита окружающей среды - это комплексная проблема, требующая усилий ученых многих специальностей. Особое значение имеет количественная оценка последствий загрязнения окружающей среды и, в первую очередь, ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением атмосферы. Защита окружающей среды от загрязнения помимо экономической задачи - повышение общественной производительности труда - включает и социально-экономическую задачу-улучшение условий жизни человека, сохранение его здоровья.

7.7 Чрезвычайные ситуации

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия. Стихийные бедствия - явления природы, возникающие, как правило, внезапно. Они носят чрезвычайный характер и приводят к нарушению нормальной жизни, иногда гибели людей и уничтожению материальных ценностей. К стихийным бедствиям обычно относят:

- землетрясения,
- наводнения,
- селевые потоки,
- оползни,
- снежные заносы и др.

Ликвидация последствий стихийных бедствий организуется, как правило, под руководством специально создаваемых чрезвычайных комиссий. Для непосредственного осуществления мероприятий гражданской обороны (ГО) и проведения спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ на всех объектах формируются службы ГО. Они предназначены как для проведения спасательных работ в военное время, так и для ликвидации последствий стихийных бедствий и крупных аварий.

Сводные отряды (команды, группы) помимо спасения людей осуществляют неотложные аварийно-восстановительные работы: тушение пожаров, обеззараживание участков местности, транспорта, техники.

Важным условием быстрой ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций является соблюдение общественного порядка. Персонал, находящийся на территории предприятия должен проявлять высокую дисциплину, организованность, спокойствие, не поддаваться панике.

Устойчивость работы предприятия в чрезвычайных ситуациях

Сущность устойчивости работы объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях заключается в разработке и заблаговременном проведении комплекса организационных и инженерно-технических мероприятий, направленных на максимальное снижение возможных потерь и разрушений в чрезвычайных ситуациях.

Под устойчивостью работы объекта понимается способность объекта выпускать установленные виды продукции в объемах и номенклатуре, предусмотренных планами в условиях чрезвычайной ситуации.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был рассмотрен и рассчитан следящий электропривод переменного тока с учетом нелинейностей, электропривод питается от 3х – фазной промышленной сети переменного тока с линейным напряжением 380 В частотой 50 Гц.

Был проведен расчет параметров элементов силового канала построена область существования электромеханических характеристик, электромеханические характеристики. Смоделирована работа электропривода механизма клиновой задвижки. Модель отвечает изначальным требованиям по скорости, моменту и времени закрытия\открытия задвижки.

Синтез параметров оптимальной настройки выполнен в предположении линейности системы. Определены ожидаемые показатели качества переходных процессов.

Переходные процессы в реальной система автоматического управления СЭП обычно близко совпадают с процессами в линеаризованных системах только при малых сигналах задания перемещения, но при средних и больших перемещениях переходные процессы в реальных системах имеют значительные количественные отличия от полученных в идеализированных системах, что обусловлено, в первую очередь наличием насыщения регуляторов и ограничения тока в реальном электроприводе. Однако влияние нелинейных характеристик отдельных элементов система автоматического управления СЭП могут привести не только к количественному, но и к качественному изменению переходных процессов. Все это требует проведения дополнительных исследований по настройке реальной система автоматического управления СЭП.

Список использованных источников

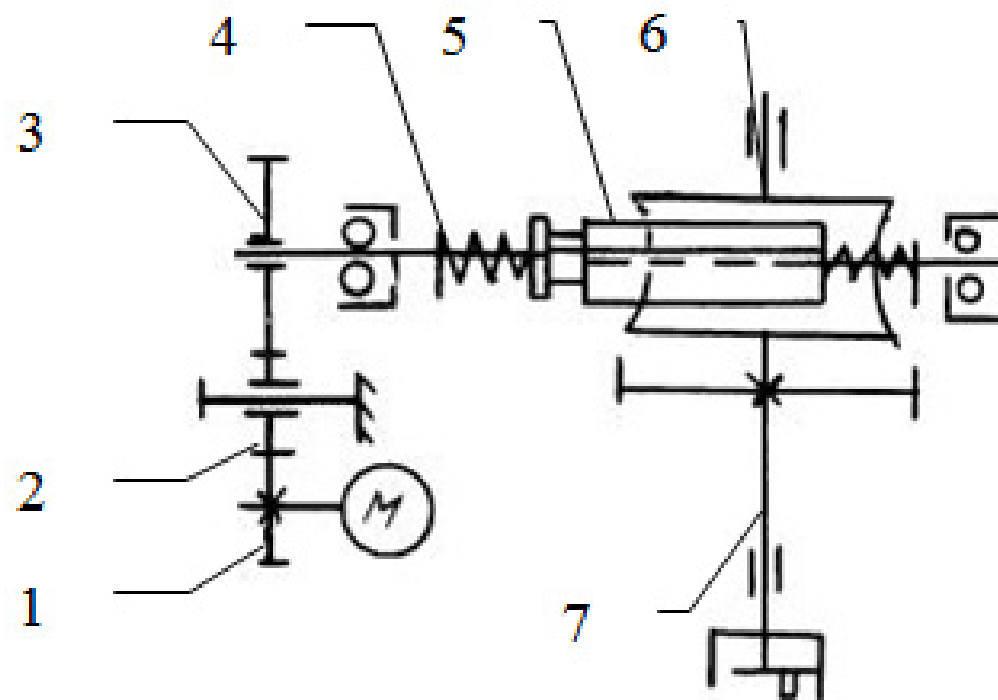
1. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 1. – Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. – Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 144 с.
2. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 469 с.
3. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. – Применение программы DORRA-FUZZY в расчётах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 156 с.
4. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.
5. Усынин Ю. С. Системы управления электроприводов: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 328 с.
6. Черных И. В. Моделирование электрических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink — СПб. ; М. : Питер : ДМК Пресс, 2008. — 288 с.
7. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 : Основы применения : Полное руководство пользователя — М. : СОЛОН-Пресс, 2002-768 с.
8. Гошко А.И.. Арматура трубопроводная целевого назначения. Выбор. Эксплуатация. Ремонт – М.:Машиностроение, 2003-432с.
9. Гошко А.И.. Трубопроводная арматура. Классификация. Исполнения. Термины и определения. Технический справочник из серии “Эксплуатация и ремонт арматуры, трубопроводов, оборудования.” – М.:Инструмент, 2003-126с.

10. Гумеров А.Г., Гумеров Р.С., Акбердин А.М. Эксплуатация оборудования нефтеперекачивающих станций . – М.:ООО “Недра-Бизнесцентр”, 201. – 475с.
11. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием, М.: Академия, 2006. – 272 с.
12. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
13. Сковрцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
14. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.
15. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.
16. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-возкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.
17. <http://www.esbk.ru/price.html> цена АИМ-80В4 (7045)
18. <http://electroautomatica.ru/atv31cu15n4?yclid=2406435179076782312> цена ПЧ ATV31CU15N4
19. <http://www.etm.ru/cat/nn/9640174/> ПЧ SINAMICS
20. <http://www.saa.su/product/fv---1,5-kvt-3-x-380v-preobrazovatel-chastoty-1,5kw-380v-bosch-rexroth-lcd-display/> Bosch Rexroth серии Fv

Приложение А

Графический материал.

Кинематическая схема клиновой задвижки



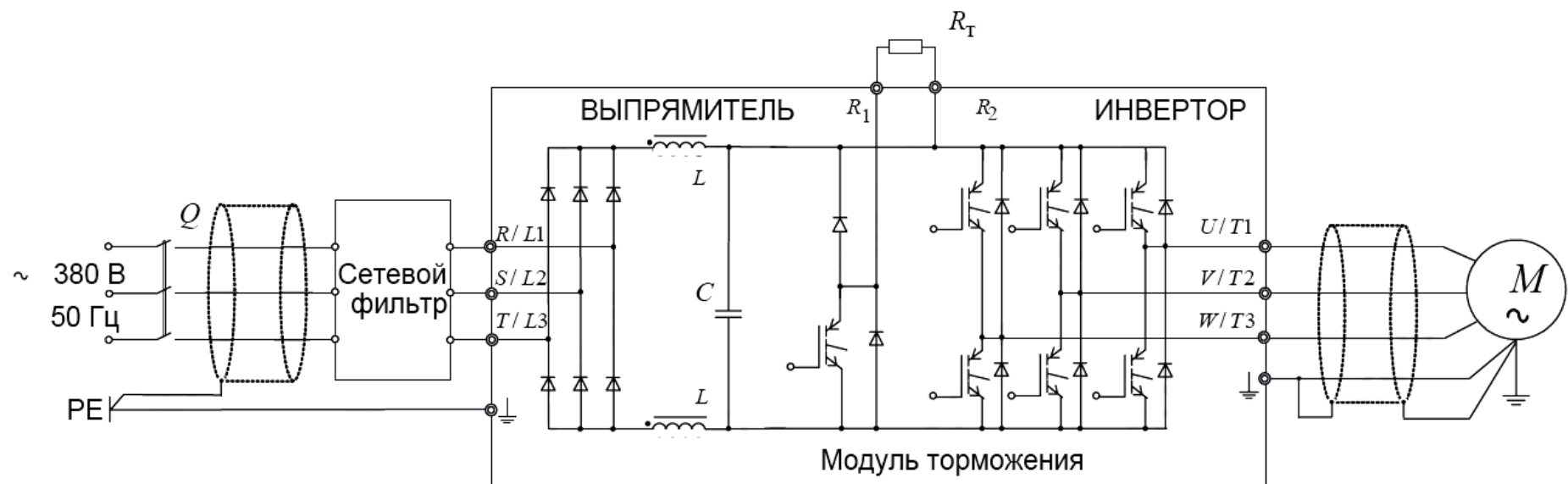
Технические данные электродвигателя

Тип двигателя	$n_{ном},$ об/мин	$U_{IH},$ В	$P_{ДВ.Н},$ кВт	При номинальной нагрузке			$s_K, \%$	$J_{ДВ}, кг \cdot м^2$
				$s_H, \%$	$\cos \varphi_H$	$\eta, \%$		
АИМ-80В4	1500	380	1,5	7	0,80	80,3	42,7	0,0034
$m_{II} = \frac{M_{ПУСК}}{M_H}$		$m_K = \frac{M_{МАКС}}{M_H}$		$m_M = \frac{M_{МИН}}{M_H}$		$k_{ДВ} = \frac{I_{ПУСК}}{I_H}$	Степень защиты	
1,8		2,3		1,3		5,1	IExdIIIBT4	

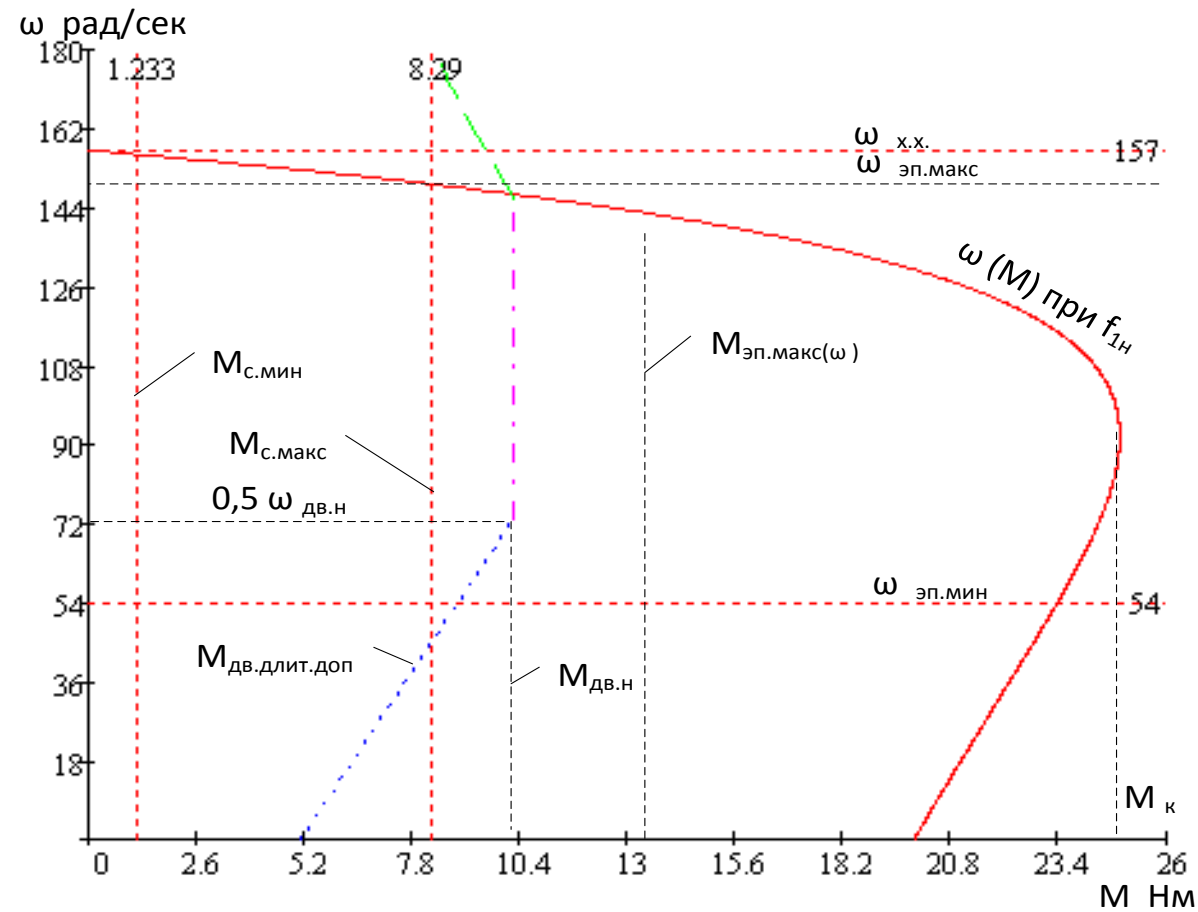
Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение	Выходная частота	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя
	$U_{1Л}$	f_c	U_H	f_H	$I_{H.H}$	$I_{H.МАКС}$	P_2
	В	Гц	В	Гц	А	А	кВт
ATV31 CU15N4	3x380	50/60	380..500	0.5..500	4,1	6,2	1,5
$f_{ШИМ} = 8 \text{ кГц}$							
Степень защиты – IP55							

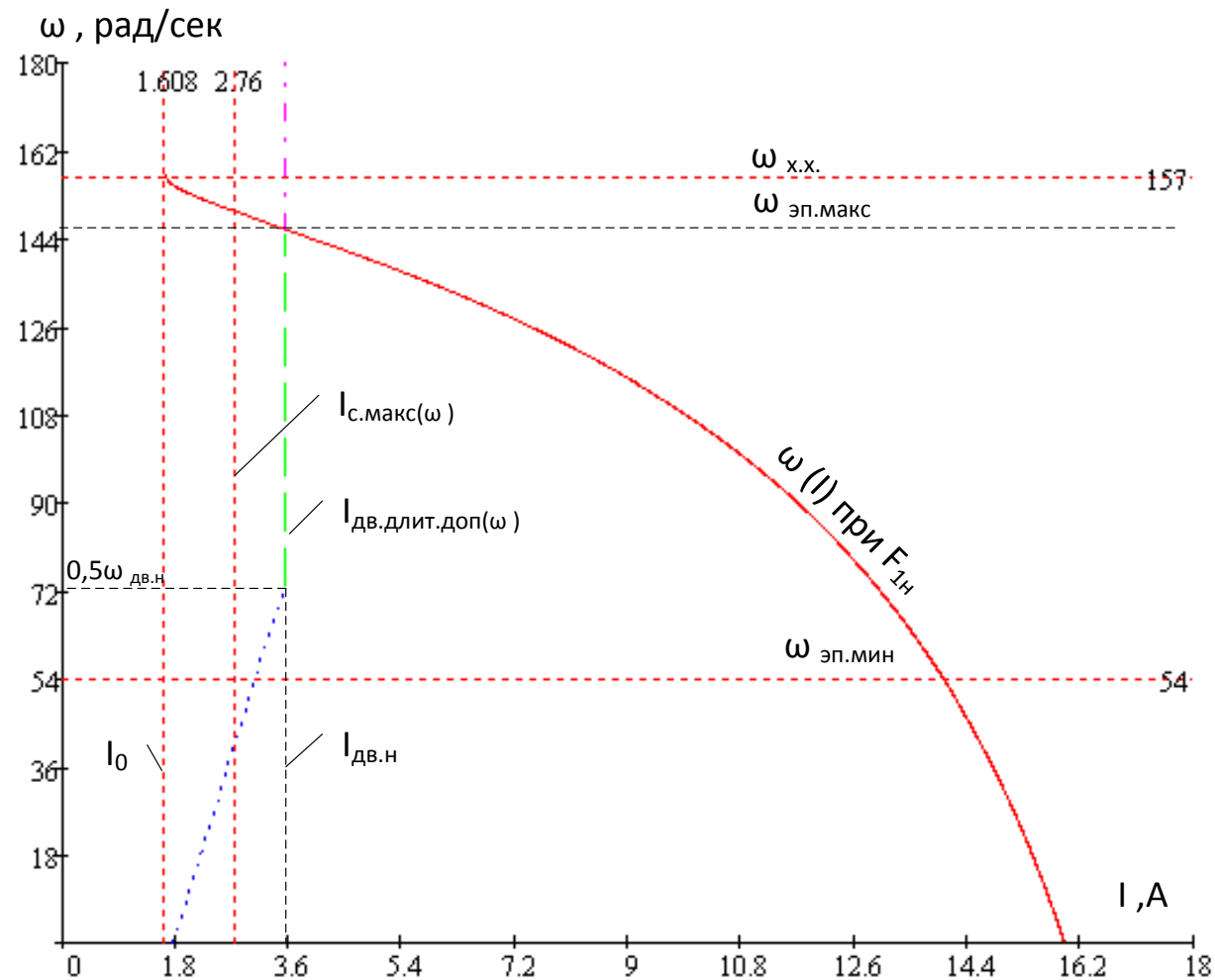
Схема силовой части регулируемого электропривода



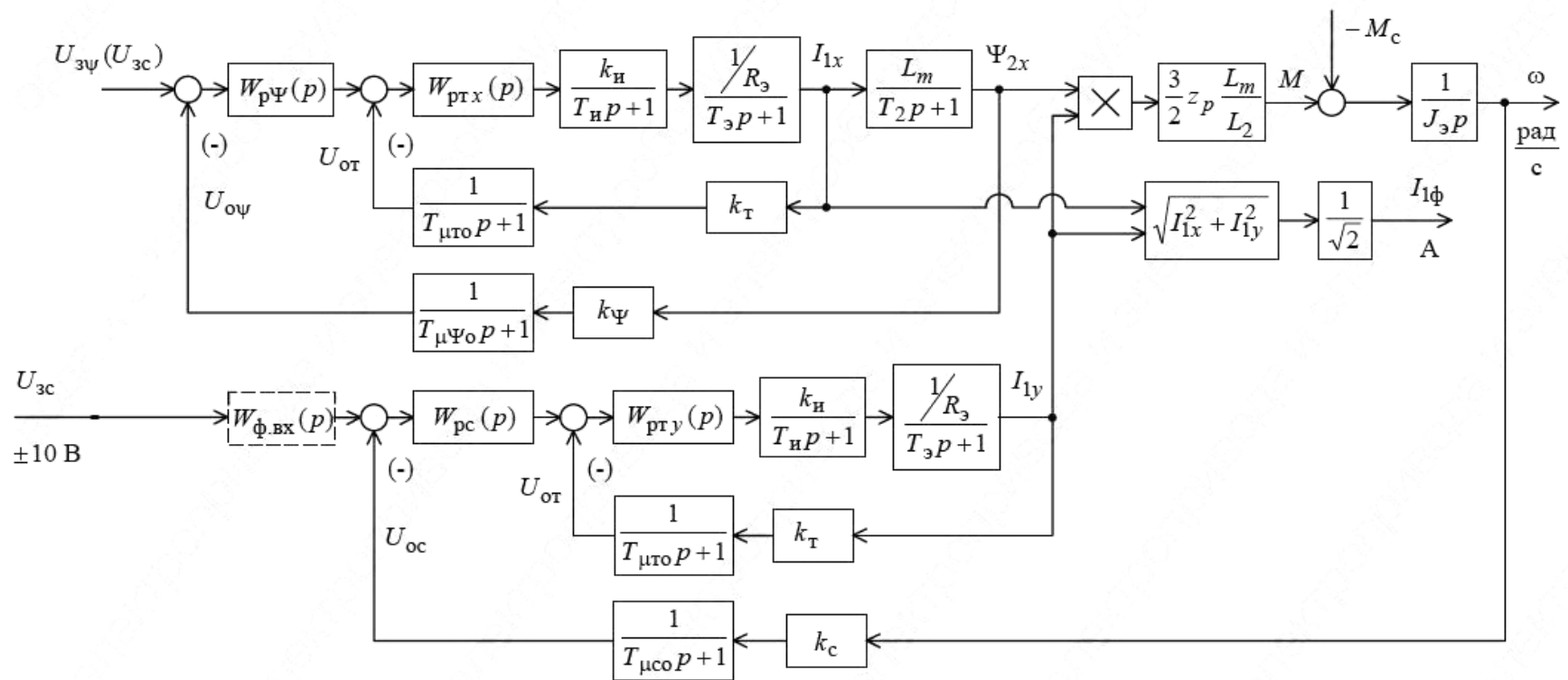
Механическая характеристика и область работы электропривода



Электромеханическая характеристика и область работы электропривода



Структурная схема векторного управления электроприводом



Имитационная модель электропривода клиновой задвижки

