

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Частотно-регулируемый электропривод лифта</b>

УДК 62-83-523:621.876.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Мишин Иван Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Янковская А.Е.	д.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

\_\_\_\_\_ 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)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Мишину Ивану Андреевичу

Тема работы:

**Частотно-регулируемый электропривод лифта**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2018г.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации на лифт
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Подробное изучение технологического процесса, выбор двигателя по кинематической схеме лифта, исследование динамической модели АД во вращающейся системе координат, оптимизация контуров регулирования, исследование электропривода лифта на модели нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат.

<b>Перечень графического материала</b>	Кинематическая схема Функциональная схема частотно-регулируемого ЭП Структурная схема динамической модели АД во вращающейся системе координат Структурная схема нелинейного ЭП с векторным управлением Переходные процессы нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Заключение

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.04.2018г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Янковская А.Е.	д.т.н.		05.04.2018г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Мишин Иван Андреевич		05.04.2018г.

## Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из шести глав. Общий объем работы 112 с., включая 56 рисунка, 36 таблиц, 21 источников, 1 приложение.

Возрастающий парк подъемных механизмов требует совершенствования средств внутреннего транспорта зданий на основе современных научно-технических достижений.

В настоящее время в нашей стране стоит проблема замены устаревшего лифтового оборудования с релейно-контакторной системой управления на более надежную, безопасную и простой в обслуживании систему управления лифта.

Большинство электроприводов лифта представляют собой конструкцию, состоящую из асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, редуктора, тормозного устройства и релейно-контакторной схемы управления.

Благодаря развитию микропроцессорной техники и систем частотно-регулируемого электропривода переменного тока, одним из вариантов решения проблемы является применение системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель. Регулирование скорости двигателей переменного тока изменением частоты подводимого к статору напряжения по существу весьма экономично и может обеспечить плавное регулирование в широких пределах. Для обеспечения этого способа регулирования скорости необходимо преобразовательное устройство, позволяющее плавно регулировать частоту и по соответствующему закону изменять при этом напряжение переменного тока.

Целью работы является разработка регулируемого электропривода лифта.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word, также для расчетов использовалась программа MathCad 14, среда Simulink пакета MATLAB. Для обработки графиков использовалась программа Microsoft Visio.

## Содержание

1.	Общие вопросы проектирования	8
1.1	История развития лифтового электропривода	8
1.2	Классификация электроприводов лифта	11
1.3	Требования к электроприводу лифта	12
2.	Разработка электропривода лифта	14
2.1	Выбор электродвигателя лифта	14
2.2	Выбор преобразователя частоты	17
2.3	Выбор автоматического выключателя и пускателя	21
2.4	Выбор датчиков	24
2.5	Выбор станции управления лифтом	25
3.	Разработка функциональной схемы системы электропривода	29
4.	Математическое описание электропривода лифта	31
4.1	Расчет параметров схемы замещения электродвигателя	31
4.2	Расчет статических характеристик при частотном управлении	33
4.3	Динамическая модель АД во вращающейся системе координат для расчета переходных процессов	36
4.4	Расчет параметров преобразователя	42
4.5	Структурная схема линеаризованной САУ	42
4.6	Оптимизация контуров регулирования САУ электропривода	45
4.6.1	Оптимизация контура тока	45
4.6.2	Оптимизация контура потокосцепления	47
4.6.3	Оптимизация контура скорости	51
4.6.4	. Отработка контуром скорости возмущающих воздействий	54
4.7	Имитационное исследование САУ регулируемого электропривода с точной моделью двигателя	56
4.8	Математическое описание механической части лифта	63
4.9	Исследование электропривода лифта	68
	ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	73

5.1 Потенциальные потребители проекта. Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование	74
5.2 Обоснование выбранного оборудования и принятого способа управления агрегатами.	74
5.3 Анализ и оценка научно-технической уровня проекта	75
5.4 Анализ конкурентных технических решений	75
5.5 Планирование комплекса работ на создание проекта	76
5.1.1 Планирование проектных работ	76
5.1.2 Планирование пуско-наладочных работ (ПНР)	77
5.6 Бюджет проектной работы	79
5.6.1 Расчет бюджета проектной работы	79
5.6.2 Расчет капитальных затрат	79
5.6.3 Расчет заработной платы исполнителей проекта	80
5.6.4 Расчет пенсионных и страховых отчислений	81
5.6.5 Расчет накладных расходов	81
5.7 Формирование бюджета по монтажу и ПНР лифта	81
5.8 Расчет расходов при эксплуатации электропривода	82
5.9 Расчет амортизационных отчислений	82
5.10 Расчет заработной платы обслуживающего персонала	82
5.11 Расчет общей суммы эксплуатационных расходов	83
5.12. Определение ресурсосберегающей и экономической эффективности проекта	83
5.12.1 Расчет интегрального финансового показателя	83
5.12.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности	83
5.12.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения проекта	84
<b>ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»</b>	<b>85</b>
<b>6. Социальная ответственность</b>	<b>86</b>
Введение	86
6.1. Техногенная безопасность	87
6.2 Производственный шум	87

6.3	Вибрация	88
6.4	Электробезопасность	89
6.5	Защита от механического повреждения	90
6.6	Охрана окружающей среды	90
6.7	Правовые и организационные мероприятия обеспечения безопасности	92
6.8	Защита в чрезвычайных ситуациях	93
	Заключение	97
	Список использованных источников	99
	Conclusion	101
	Приложение А	103

## **1. Общие вопросы проектирования**

### **1.1 История развития лифтового электропривода**

Развитие любой отрасли хозяйственной деятельности человечества во все времена определялось побудительными причинами и достигнутым уровнем технологии.

Первые упоминания о лифте имеется в трудах римского архитектора Ветрувия, который сообщает о том, что Архимед построил подъемный аппарат, вероятно, еще в 236 году до нашей эры. В литературных источниках более позднего периода упоминается о подъемных устройствах с кабиной, подвешенной на пеньковом канате и приводимой в движение вручную или с использованием силы животных.

Так, в середине 6 века нашей эры такого рода подъемные устройства применялись в Синайском монастыре Египта. В 13 веке - в дворцовых и монастырских постройках Франции. В 17 веке прообразы лифтов имелись в дворцовых постройках Англии (Виндзорский замок) и Франции (летающий стул Велайера в одном из парижских дворцов). С середины 18 столетия лифты стали применяться в России (лифты дворцовых построек Царского Села и усадьбы Кусково). В 1795 году И.П. Кулибин создал лифт с винтовым механизмом подъема для Зимнего Дворца. В 1816 году лифт был установлен в Главном здании подмосковной усадьбы Архангельское.

Отмеченные выше факты единичного появления лифтов не отражало какой-либо стойкой тенденции развития техники. Создание единичных образцов подъемников для транспортировки людей было продиктовано прихотью состоятельных людей и творческим воображением изобретателей.

История развития лифтостроения реально началась в конце 19 и начале 20 столетия в связи с бурным развитием капитализма в Европе и Северной Америки. [5]

Сосредоточение больших масс населения в городах и непрерывно возрастающая стоимость земли привело к строительству зданий повышенной этажности, которые не могли удовлетворительно функционировать без надежной системы внутреннего пассажирского и грузового транспорта.



К этому времени, в других отраслях хозяйственной деятельности, появились достаточно компактные источники механической энергии: гидродвигатели, паровые машины, двигатели внутреннего сгорания и электрические машины.

Металлургическая промышленность успешно осваивала производство стального проката и стальных канатов. Успешно развивалась электротехническая отрасль, которая освоила производство компонентов систем телеграфной и телефонной связи, которые могли послужить основой для создания релейно-контактной системы управления работой лифта.

Настоятельная потребность в лифтовом оборудовании зданий и сооружений на фоне динамично развивающейся промышленности заложили реальную основу развития лифтостроения.

Первые подъемники, послужившие прототипом современных лифтов, появились в США в 1850 году (лифт Уотермена), в 1852 году - лифт Отиса с ловителями кабины, которые включались при обрыве канатной подвески. В этот период кабины лифтов приводились в движение от паровой машины и имели барабанную лебедку. [5]

В 1867 году появились лифты с гидравлическим приводом в виде гидроцилиндра с плунжером, к которому непосредственно крепилась кабина лифта. Применялись конструкции с противовесом и без противовеса.

Низкая надежность стальных канатов и реальная опасность обрыва канатной подвески стимулировала поиски конструктивных решений надежных устройств аварийного включения ловителей кабины.

В 1878 году впервые был изобретен ограничитель скорости, автоматически включающий ловители при аварийном превышении скорости движения кабины.

Параллельно с совершенствованием конструкции узлов безопасности лифтов идет поиск соответствующих систем привода. На смену паровым машинам и двигателям внутреннего сгорания приходит электропривод.

Уже в 1880 в Германии появляется первый электрический лифт Сименса с реечным механизмом подъема и приводом постоянного тока.

К началу 20 столетия лифты с электроприводом заняли доминирующее положение постепенно вытесняя лифты с другими системами привода.

Дальнейшее расширение масштабов высотного строительства в США и организация серийного производства лифтов поставили под сомнение целесообразность применения барабанных лебедок, параметры которых существенно зависели от высоты подъема кабины, что несомненно препятствовало унификации конструкции лифтов и сдерживало их серийное производство.

К концу 19 столетия были созданы лифтовые лебедки с канатоведущим шкивом (КВШ), в которых подъемное усилие создавалось за счет фрикционного взаимодействия тяговых канатов с ободом шкива. Это изобретение послужило хорошей основой дальнейшего совершенствования конструкции лифтов.

Применение КВШ позволило снять целый ряд актуальных проблем.

Появилась возможность подвески кабины на нескольких параллельных ветвях тяговых канатов, что существенно повысило безопасность транспортировки пассажиров.

Была исключена опасность затягивания кабины под перекрытие шахты, так как при посадке противовеса на буфер, натяжение канатов падало и скольжение канатов прекращало дальнейший подъем кабины.

Несомненным достоинством применения КВШ в лифтовых лебедках явилась независимость их параметров от высоты подъема кабины. Это открывало широкие перспективы организации массового серийного производства лифтов на основе принципов унификации и стандартизации узлов и деталей. [5]

В 1922 году в Чикаго был установлен первый безредукторный привод.

За последние 80 в области лифтостроения, мировые компании приобрели значительный опыт в данной сфере. Сегодня созданы лифтовые лебедки, способные перемещать со скоростью 1000 метров в минуту и больше. На сегодняшний день мировыми лидерами в области лифтостроения занимаются компании OTIS, KONE, ABB.

## 1.2 Классификация электроприводов лифта

По типу привода подъемного механизма:

- Лифты электрические;
- Лифты гидравлические.

По виду транспортируемого груза:

- Пассажирские:
  - Для жилых зданий;
  - Общественных зданий;
  - Зданий промышленных предприятий;
  - Для малоэтажных жилых зданий;
  - Больничные лифты.
- Грузовые:
  - Обычные грузовые лифты (грузоподъемность до 5000 кг);
  - Грузовые малые лифты;
  - Тротуарные лифты;
  - Грузопассажирские лифты.

По скорости движения кабины:

- Лифты тихоходные (до 1 м/с);
- Лифты быстроходные (от 1 м/с до 2 м/с);
- Лифты высокоскоростные (от 2 м/с до 7 м/с).

По строению лебедки лифта:

- Лебедка электрического лифта с редуктором;
- Лебедка электрического лифта без редуктора.

По конструкции привода лифта:

- Лифты с лебедкой барабанного типа;
- Лифты с лебедкой с канатоведущим шкивом (КВШ).

По системам управления лифтом:

- Одиночное управление;
- Групповое управление группой лифтов.

### 1.3 Требования к электроприводу лифта

Основные требования на проектирование, изготовление и эксплуатацию лифтового оборудования отражены в ГОСТ «Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов» и Технических условиях на проектирование лифтов [2,8].

- Отклонение рабочей скорости движения кабины от номинальной должно быть не более  $\pm 15\%$ .
- Ограничитель скорости движения кабины должен срабатывать, если скорость движения кабины вниз превысит номинальную не менее чем на 15% и не более 40% - для лифтов с номинальной скоростью от 0,5 до 1,6 м/с включительно.
- Номинальный диаметр тяговых канатов должен быть не менее 8 мм – для лифтов, в которых допускается транспортировка людей.
- Номинальный диаметр каната, приводящего ограничитель скорости, должен быть не менее 6 мм.
- У лифтов, оборудованных лебедкой с канатоведущим шкивом, должна быть исключена возможность подъема противовеса при неподвижной кабине.
- Конструкция должна быть рассчитана на нагрузки, действующие в эксплуатационных, испытательных и аварийных режимах.
- Между канатоведущим органом лебедки и тормозом должны быть не размыкаемая кинематическая связь.
- Тормозной момент должен создаваться при помощи пружин или груза.
- Эксплуатационные характеристики лифта в определяющей степени зависят от конструкции и параметров подъемного механизма.

Точность остановки кабины определяется величиной разности отметок пола кабины и пола этажной площадки. Порог, образующийся в результате неточности остановки, представляет опасность для пассажиров и затрудняет погрузочно-разгрузочные работы с применением напольного транспорта или монорельсовой системы разгрузки кабины.

Неточность остановки определяется зависимостью тормозного пути кабины от массы груза и направления движения в момент торможения.

При торможении поднимающейся кабины, остановка произойдет несколько ниже порога разгрузочной площадки, тогда как порожняя кабина пройдет больший путь и остановится выше этого уровня. При движении вниз будет наблюдаться обратная картина.

Согласно рекомендации «Правилам устройства и безопасной эксплуатации лифтов» точность остановки кабины для пассажирских лифтов составляет  $\pm 20$  мм [8].

Плавность движения кабины количественно определяется уровнем ускорения при разгоне и торможении подъемного механизма. По нормам «Правил устройства и безопасной эксплуатации лифтов» максимальная величина ускорения (замедления) кабины в нормальных эксплуатационных режимах пассажирских лифтов не должна превышать  $2 \text{ м/с}^2$ , максимальная величина замедления кабины лифтов при остановке кнопкой «Стоп» должно быть не более  $9.81 \text{ м/с}^2$ . При посадке кабины на ловители или буфер в аварийных ситуациях допускается ускорение до  $25 \text{ м/с}^2$  [8].

Эффект физиологического воздействия ускорений существенно зависит от времени их действия. Так, при времени действия ускорений менее  $0.04 \text{ с}$ , человеческий организм удовлетворительно переносит ускорения около  $30\text{-}40 \text{ м/с}^2$ . Поэтому «Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов» допускают кратковременное превышение ускорения замедления кабины.

Комфортабельность условий перевозки пассажиров определяется минимальной величиной времени ожидания лифта на посадочной площадке, плавностью и точностью остановки, отсутствием шума и вибрации в кабине, наличием хорошей вентиляции салона и достаточной освещенностью.

Общедоступность пользования лифтом предполагает наличие простой и понятной системы управления движением из кабины и этажных площадок.

Бесшумность работы лифта обеспечивается рядом мер по снижению уровня шума и предотвращению его распространения по несущим

конструкциям здания. С этой целью, лебедка лифта и другие узлы оборудования устанавливается на амортизаторы и к их конструкции предъявляются повышенные требования относительно уровня шума и вибрации.

Снижение уровня электромагнитных помех может быть гарантировано хорошим качеством экранировки источников помех электрооборудования лифтовой лебедки и установкой высокочастотных фильтров электрической силовой цепи питания лифта.

## 2. Разработка электропривода лифта

### 2.1 Выбор электродвигателя лифта

Для выбора электродвигателя лифта произведем расчет на основании упрощенной кинематической схемы лифта, представленной на рисунке 1.

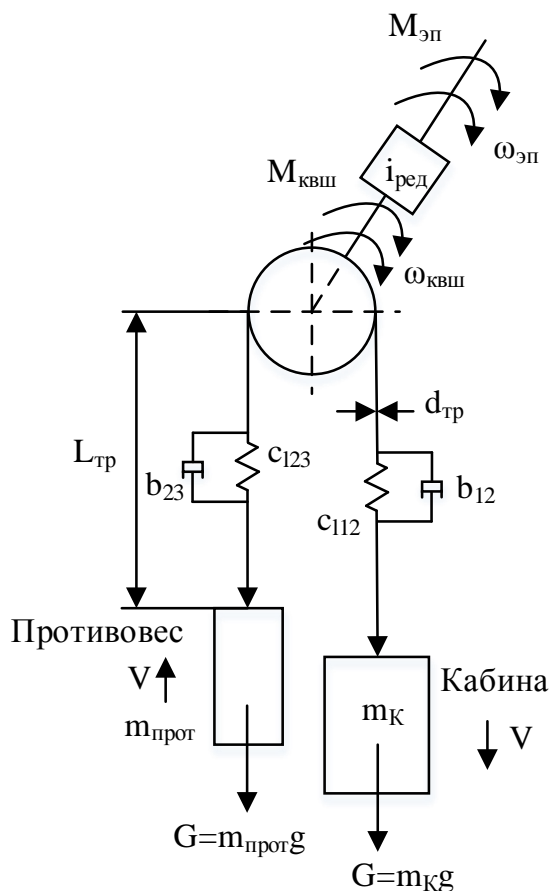


Рисунок 1 – Упрощенная кинематическая схема лифта

Параметры и характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1- Параметры и характеристики кинематической схемы лифта

Обозначение	Величина	Описание параметра
$\gamma_c$	$7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$	Плотность стали
$J_{AD}$	$0,021 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	Момент инерции АД
$D_{квш}$	0,32 м	Диаметр канатоведущего шкива
$L_{квш}$	0,06 м	Толщина канатоведущего шкива
$D_{тд}$	0,35 м	Диаметр тормозного диска
$L_{тд}$	0,01 м	Толщина тормозного диска
$L_2$	0,8 м	Расстояние между канатоведущим шкивом и отводящей опорой
$E_{тр}$	$1,25 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$	Модуль продольной упругости для стальных тросов
$L_{тр}$	40 м	Длина тросов
$L_{трк}$	1,3 ... 40 м	Длина тросов со стороны кабины
$L_{трпрот}$	40 ... 1 м	Длина тросов со стороны противовеса
$d_{тр}$	$8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	Диаметр одного троса
$N_{тр}$	3	Количество параллельно соединенных тросов
$k_3$	0,5	Коэффициент заполнения сечения тросов
$m_l$	400 кг	Максимальная масса людей, находящихся в кабине лифта
$m_k$	800 кг	Масса кабины лифта
$m_{прот}$	1000 кг	Масса противовеса
$\rho = D_{квш}/2$	0,16 м	Радиус приведения
$\lambda_{вт}$	0,15	Логарифмический декремент затухания механических колебаний под действием внутренних сил вязкого трения.
$V$	1 м/с	Линейная скорость движения кабины лифта

Скорость вращения канатоведущего шкива:

$$\omega_{квш} = \frac{V}{\rho} = \frac{1}{0,16} = 6,25 \text{ рад/с}$$

Статический момент на канатоведущем шкиву [12]:

$$M_{квш} = (m_l + m_k - m_{прот}) \cdot g \cdot \rho = (400 + 800 - 1000) \cdot 9,81 \cdot 0,16 = 313,92 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

Передаточное число редуктора:

$$i = \frac{\omega_{\text{дв}}}{\omega_{\text{квн}}} = \frac{104,7}{6,25} = 16,75$$

Исходя из требуемого передаточного числа редукторы выбираем одноступенчатый червячный редуктор РЧП-180-18,5-51-У2-С:

- Передаточное число – 18,5;
- Номинальная мощность на быстроходном валу при 1000 об/мин – 8,1 кВт;
- Номинальный крутящий момент на тихоходном валу – 1450 Н·м;
- КПД – 0,86 [10].



Рисунок 2 – Одноступенчатый червячный редуктор РЧП-180

Требуемый момент двигателя:

$$M_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{квн}}}{i} \cdot \eta_{\text{ред}} = \frac{313,92}{18,5} \cdot 0,86 = 14,593 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где  $i$  – передаточное число редуктора;

$\eta_{\text{ред}}$  – КПД редуктора.

Требуемая мощность двигателя:

$$P_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{дв}} \cdot \omega_{\text{дв}}}{\eta} = \frac{14,593 \cdot 104,7}{0,6} = 2,5 \text{ кВт}$$

Выбираем двигатель типа 5АИ112МВ6 со следующими параметрами:



Таблица 2 – Параметры двигателя

$P_{ном},$ кВт	$U_{ном},$ В	$I_{ном},$ А	$\eta,$ %	$\cos\varphi$	$n_{ном},$ об/мин	$S_{ном},$ о.е.	$J_{дв},$ кг·м <sup>2</sup>	$I_{п}/I_{н}$	$M_{п}/$ $M_{н}$	$M_{макс}$ / $M_{н}$
4	220	9,6	81	0,78	953	0,047	0,021	6,5	2,1	2,1



Рисунок 3 – Асинхронный электродвигатель 5АИ112МВ6

## 2.2 Выбор преобразователя частоты

С учетом выбранного электродвигателя, производим выбор ПЧ.

Предварительный выбор ПЧ был сделан на ПЧ фирмы ЭЛЕСИ специализированной серии для лифтов ESD-TCL [1]. Серия преобразователей частоты (ПЧ) ESD-TCL оптимизирована для применения в составе главного привода грузопассажирских лифтов жилых и административных зданий, и предназначена для управления скоростью вращения и крутящим моментом электродвигателей (ЭД) переменного тока мощностью от 5,5 до 22 кВт.

На основании параметров лифта и мощности электродвигателя по таблице выбора модели ПЧ был сделан выбор марки ESD-TCL-7.5.

Таблица 3 – Таблица выбора моделей

Тип лифта (кг/м/с)	Мощность ЭД, кВт*	Тип ПЧ (с ДС)	Тип ПЧ (без ДС)
400 / 0,6	4,0...5,0 кВт	ESD-TCL-5,5	ESD-TCL-5,5
400 / 1	5,0...5,5 кВт	ESD-TCL-5,5	ESD-TCL-7,5
630 / 1	6,5...7,5 кВт	ESD-TCL-7,5	ESD-TCL-11
630 / 1,6	9,0...11,0 кВт	ESD-TCL-11	ESD-TCL-15
1000 / 1	13,0...15,0 кВт	ESD-TCL-15	ESD-TCL-18
1000 / 1,6	15,0...18,5 кВт	ESD-TCL-18	ESD-TCL-22

\* может отличаться в зависимости от производителя лебедки

На основании [1] можно сделать вывод, что ПЧ выбран верно, и не требует дополнительных расчетов.

На рисунке 4 приведен внешний преобразователя.



Рисунок 4 – Внешний вид преобразователя серии ESD-TCL  
На рисунке 5 приведена схема соединения ПЧ.

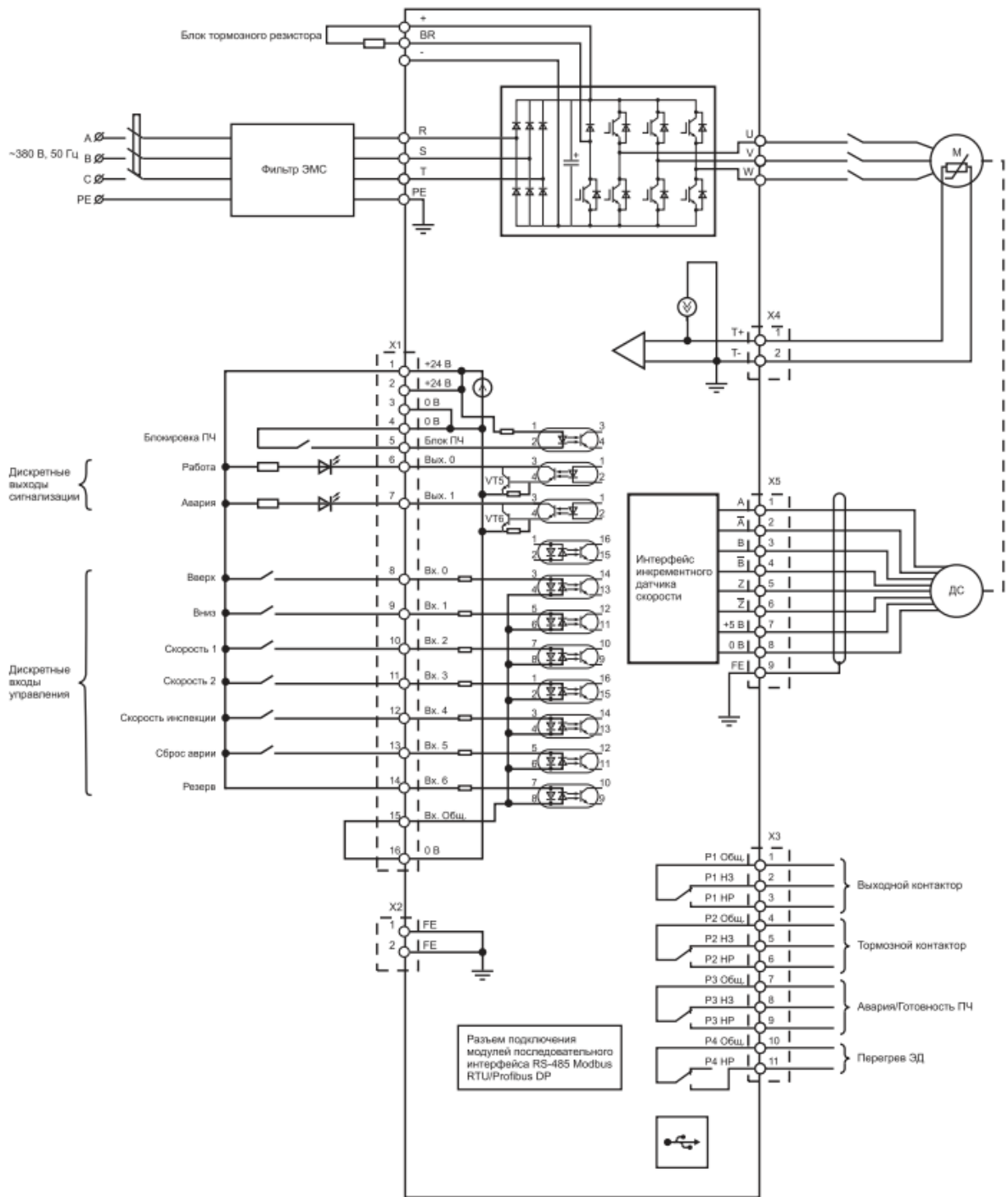


Рисунок 5 – Схема подключений ПЧ

В таблице 4 приведены основные свойства и характеристики ПЧ марки ESD-TCL.

Таблица 4 – Технические данные

Параметры	Характеристики
Функции управления	
Скалярный в разомкнутой системе	диапазон регулирования скорости 1:10
Скалярный с обратной связью по скорости	диапазон регулирования скорости 1:40
Векторный в разомкнутой системе	диапазон регулирования скорости 1:20
Векторный с обратной связью по скорости	диапазон регулирования скорости 1:1000
Диапазон изменения частоты выходного напряжения, Гц	0...320 (шаг 0,1 Гц)
Стабилизация момента электродвигателя, %	±5
Пусковой момент, % от номинального значения, не менее	200
Ток срабатывания защиты при коротком замыкании, % от номинального значения	200
<b>Электрические параметры</b>	
Мощность управляемого электродвигателя, кВт	3-22
Перегрузочная способность: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ при токе 150-200 % от номинального значения, с</li> <li>■ при токе 120-150 % от номинального значения, с</li> </ul>	60 180
Напряжение питающей сети, В	380 (-15% .. +10%)
Частота питающей сети, Гц	50 ± 2
Встроенный источник питания дискретного интерфейса внешних устройств: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ напряжение питания, В</li> <li>■ ток нагрузки, мА</li> </ul>	24 300

Таблица 5 – Технические данные. Продолжение

Параметры сигналов ввода-вывода	
Многоцелевые входные дискретные каналы управления. Напряжение, В Количество каналов, шт.	Настраиваемая логика Р или N 24 8
Многоцелевые выходные дискретные каналы управления, тип «Открытый коллектор»: ■ напряжением постоянного тока, В ■ постоянным током, мА Количество каналов, шт.	24 150 2
Релейный выход: ■ переменное напряжение, В, не более ■ переменным током, А, не более ■ постоянное напряжение, В, не более ■ постоянным током, А, не более Количество каналов, шт.	250 2 30 2 4
Вход подключения датчика температуры электродвигателя: Диапазон измерения сопротивления датчика, кОм	0.1...4
Дифференциальный импульсный вход (подключение датчика скорости): Напряжение, В Ток, мА Частота, кГц	5 100 0 -300
Интерфейсы связи	USB для связи с ПК; RS-485 (Modbus RTU, Profibus DP)
Максимальная скорость обмена, Кбит/с	115
Условия эксплуатации	
Степень защиты	IP20
Диапазон рабочих температур, °С	-10...+50
Относительная влажность при температуре 35 °С, %, не более	95
Атмосферное давление, кПа	84...106,7
Параметры надёжности	
Срок службы, лет, не менее	15
Время наработки на отказ, часов, не менее	50000
Гарантийный срок эксплуатации, мес.	24
Защитные функции ESD-TCL ■ Ведение журнала событий ■ Защита от обрыва фаз входных / нагрузки ■ Защита от понижения / превышения напряжения ■ Защита от перегрева преобразователя частоты ■ Защита от перегрева электродвигателя (по датчику температуры) ■ Защита от перегрева тормозного резистора ■ Времятоковая защита ■ Защита от КЗ м/у фазами / на землю ■ Контроль опрокидывания двигателя ■ Контроль потери задания скорости / связи по послед. Интерфейсу ■ Контроль работы вентилятора / датчика температуры	Есть Есть Есть Есть Есть Есть Есть Есть Есть Есть Есть
Отображаемые параметры ■ Выходная частота инвертора ■ Выходное напряжение ■ Средний ток электродвигателя (действующее значение) ■ Частота вращения вала ЭД (датчика положения) ■ Причина остановки ЭД ■ Параметры разгона и торможения	Есть Есть Есть Есть Есть Есть

### 2.3 Выбор автоматического выключателя и пускателя

Для защиты двигателей от токов короткого замыкания, токов перегрузки необходимо выбрать автоматические выключатели. Защитные аппараты выбираются по току электромагнитного расцепителя, току теплового расцепителя и току короткого замыкания.

1. Необходимо определить пусковой ток, зная номинальный ток электроприемника:

$$I_{\text{ПУСК}} = 6,5 \cdot I_N = 6,5 \cdot 9,6 = 62,4 \text{ A}$$

2. Определяем кратковременный ток:

$$I_{\text{КР}} = 1,25 \cdot I_{\text{ПУСК}} = 1,25 \cdot 62,4 = 78 \text{ A}$$

3. Ток электромагнитного расцепителя должен быть больше кратковременного тока:

$$I_{\text{ЭМ}} \geq I_{\text{КР}}$$

По время-токовой характеристике отключения выбираем уставку электромагнитного расцепителя равную 10, т.е.

$$I_{\text{ЭМ}} = 10 \cdot I_N = 10 \cdot 9,6 = 96 \text{ A}$$

где  $I_N$  - номинальный ток двигателя.

Проверка по току короткого замыкания:

$$I_{\text{КЗ}} \geq I_{\text{ЭМ}};$$

$$I_{\text{КЗ}} = 10 \cdot I_N = 10 \cdot 9,6 = 96 \text{ A}.$$

Выбираем автоматический выключатель фирмы IEK марки ВА47-29 с характеристикой электромагнитного расцепителя «С» и номинальным током 10 А [16].



Рисунок 6 – Автоматический выключатель ВА47-29

Для коммутации силовой цепи электродвигателя выбираем малогабаритный контактор серии КМИ фирмы IEK марки КМИ-11210.

Технические характеристики контактора приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики КМИ

Номинальное рабочее напряжение переменного тока $U_{\text{н}}$ , В	400
Номинальный рабочий ток $I_{\text{н}}$ , категория применения АС-3 ( $U_{\text{н}} < 400$ в), А	12
Условный тепловой ток $I_{\text{th}}$ ( $t^{\circ} < 40^{\circ}$ ), категория применения АС-1, А	25
Максимальная кратковременная нагрузка ( $t < 1$ с), А	216
Номинальное напряжение катушки управления $U_{\text{с}}$ , В~	230
Мощность потребления катушки при $U_{\text{с}}$ , ВА	60
Механическая износостойчивость, млн. циклов	2



Рисунок 7 – Внешний вид контактора КМИ

## 2.4 Выбор датчиков

Информация о скорости и пройденном пути поступает в систему управления с помощью энкодера E100H, специально предназначенного для элеваторных систем.



Рисунок 8 – Инкрементный энкодер E100H фирмы «Autonics»

Основные технические данные:

- Число меток на оборот - 1024
- Питание 24 VDC  $\pm 5\%$
- Уровень выходного информационного сигнал  $\pm 5\text{В}$
- Максимальная скорость вращения 3600 об/мин

Для получения информации о напряжении и токе в статорной обмотке двигателя используем датчики тока и напряжения на основе эффекта Холла фирмы «LEM» Германия [17].

Датчик тока LA 55-P:

- Диапазон измерений от 0 до  $\pm 70\text{ А}$
- Точность 0,65% от  $I_{\text{ном}}$
- Температура от  $-25$  до  $+85\text{ }^\circ\text{C}$

Датчик напряжения LV 25-P:

- диапазон измерений ток от  $0 \dots 14 \cdot 10^{-3}\text{ А}$  (0-700В)
- номинальный выходной ток 25 мА
- температура от 0 до  $+70\text{ }^\circ\text{C}$

## 2.5 Выбор станции управления лифтом

Выбираем станцию управления лифтами серии СУЛ производства ООО «ЭЛПРО-М» [14].





Рисунок 9 – Внешний вид станции

Станция разработана из потребностей модернизации существующего парка лифтового оборудования. Для реализации данной задачи при разработке станций управления были учтены особенности существующих схем управления лифтами. При этом соблюдается полное соответствие маркировки всех внешних цепей, что значительно упрощает монтаж станции. Кроме того схема управления станций серии СУЛ реализована таким образом, что замена существующего шахтного оборудования не требуется.

Разработанные станции управления являются универсальными устройствами, так как могут использоваться не только при модернизации лифтов, но и новом строительстве. Определенная гибкость достигается использованием микропроцессорного контроллера, на базе которого создана станция. Данное устройство анализирует состояние всех датчиков и приборов безопасности и управляет режимами работы лифта. Контролер имеет

текстовую двухстрочную индикацию, позволяющую определить местоположение кабины, состояние дверей, направление и скорость движения, а также точную остановку. При возникновении внештатной ситуации, на дисплее отображается причина аварии. Все события и аварии фиксируются в энергонезависимой памяти устройства. Кроме того в станции реализована возможность доступной параметризации микропроцессорного контроллера с указанием количества этажей (до 32-х), типа датчиков позиционирования, наличия подпольного контакта и других параметров.

В станции управления лифтом предусмотрен интерфейс RS232, RS485. Это позволяет производить управление лифтом и передавать информацию о состоянии лифта в диспетчерский пункт.

Учитывая необходимость высокой надежности устройства в станции предусмотрена дублированная система безопасности. В случае выхода из строя микропроцессорного устройства по какой-либо причине безопасность обеспечивается с помощью электрических блокировок, полностью исключающих движение кабины с открытыми дверьми и в аварийных ситуациях.

Необходимо отметить, что для сборки станций серии СУЛ подобрано оборудование зарубежных производителей высокого качества с относительно невысокой стоимостью, что позволяет повысить надежность и износостойкость станций при сохранении доступной цены на изделие. При необходимости замена каких-либо составных частей изделия не вызовет особых сложностей.

Компоновка станции учитывает все необходимые требования для удобства монтажа, наладки и обслуживания. Все оборудование расположено в одной плоскости с возможностью доступа к нему. Разводка проводов выполнена в пластиковых коробках с разделением силовых и контрольных цепей.

Таким образом, учитывая, что в большинстве случаев причиной выхода из строя лифтов является износ устаревших релейных станций управления при нормальной работоспособности остального оборудования, простая замена

старой станции на новую значительно упрощает ремонт и позволяет в кратчайшие сроки восстановить нормальную работу лифта.

Краткая техническая характеристика предлагаемой станции серии СУЛ:

1. Станция обеспечивает управление движением лифтовой кабины с автоматическим закрытием/открытием дверей в лифтовой шахте.

2. Станция реализует алгоритм смешанного управления пассажирского лифта со скоростью движения от 0,25 м/с до 1,6 м/с для сооружений до 32 этажей и грузоподъемностью от 240 кг. до 5000 кг..

3. Станция обеспечивает аварийную остановку лифта в случае нарушения цепей безопасности.

4. Станция имеет возможность подключения до 150 внешних сигналов напряжением 24 В.

5. Станция может функционировать в одном из следующих режимов :

- нормальная работа - основной режим работы лифта по обслуживанию приказов и вызовов;

- режим управления из машинного помещения - режим работы лифтов без обслуживания приказов и вызовов. Управление движением кабины производится с помощью кнопок, расположенных на лицевой части станции;

- режим ревизии - режим работы без обслуживания приказов и вызовов. Управление движением кабины производится с кнопочного аппарата на крыше кабины. Движение происходит только на малой скорости;

- режим аварии - данный режим устанавливается автоматически при обнаружении станцией признака аварийного состояния. Движение лифта не выполняется. На индикаторе отображаются коды аварийных состояний.

- режим перевозки пожарных подразделений (ППП).

6. Станция выполняет автоматический выход из аварийного состояния при исчезновении причин аварии.

7. Станция имеет индикацию следующих параметров:

- номер этажа;

- положение дверей;
- наличие ДТО;
- направление движения;
- скорость движения;
- зарегистрированные приказы и вызовы;
- коды аварий.

8. Станция имеет возможность выдачи аварийной и оперативной информации по RS232, RS485 в систему диспетчеризации.

9. Рабочие условия эксплуатации станции:

- температура окружающего воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$
- относительная влажность окружающего воздуха от 20 до 80% при температуре  $+25^{\circ}\text{C}$
- атмосферное давление 84 – 106,6 кПа (630 – 800 мм рт. ст.)

10. Изделие предназначено для работы во взрывобезопасной среде, не содержащей агрессивных паров в концентрации, разрушающих металл и изоляцию, ненасыщенной пылью и водяными парами.

11. Защита от выхода из строя двигателя дверей путем ограничения количества циклов открывания-закрывания.

### 3. Разработка функциональной схемы системы электропривода

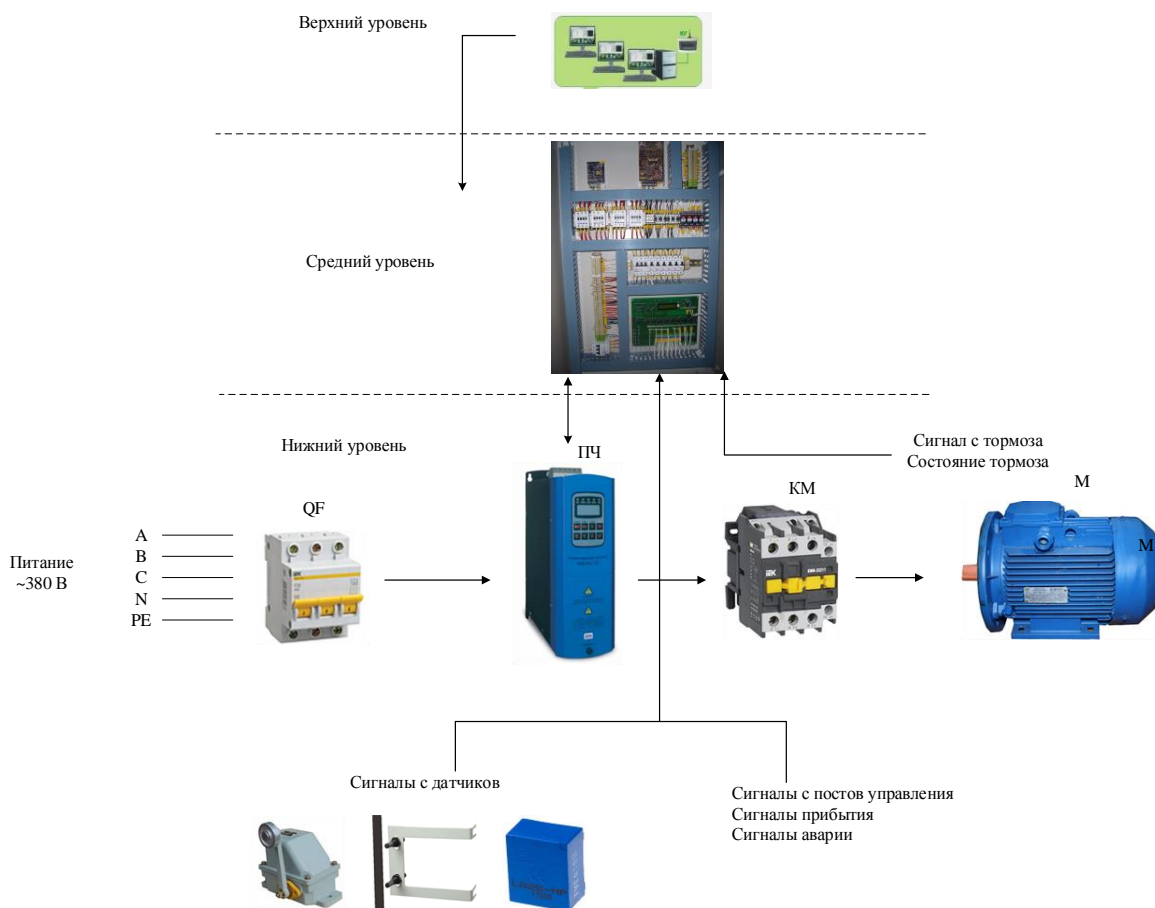


Рисунок 10 – Блок схема соединения аппаратных средств

Приведем расшифровку аббревиатур, приведенных на схеме.

QF – автоматический выключатель, ПЧ – преобразователь частоты, М – электродвигатель, КМ – контактор, ПЛК – программируемый логический контроллер.

Для управления технологическим процессом передвижения пассажирского лифта была разработана, трехуровневая структура комплекса технических средств. Данная структура определяет высокую эффективность, надёжность работы и удобство эксплуатации автоматизированной системы управления.

#### Верхний уровень

В последнее время наблюдается тенденция к оснащению зданий сложным инженерным и коммуникационным оборудованием. Появляется необходимость вести наблюдение за основными системами жизнеобеспечения здания для предупреждения и быстрого реагирования на неисправности.

Данную задачу позволяет решить автоматизированная система контроля лифтового хозяйства. Предназначена для оперативного наблюдения за состоянием лифтового оборудования и своевременного реагирования в случае аварийной ситуации используя каналы GSM сетей связи. Работа системы осуществляется в автоматическом режиме по заранее заложенному алгоритму работы.

Система состоит из центрального диспетчерского пункта (ЦДП), включающего автоматизированные рабочие места (АРМ) диспетчеров и блоков мониторинга (БМ), устанавливаемых в машинных помещениях лифтов.

АРМ диспетчера включает в себя компьютер с установленным специализированным программным обеспечением «Диспетчер-лифт» и коммутационное устройство, осуществляющее связь с БМ.

БМ имеют модульную структуру, которая может быть оптимизирована в зависимости от специфики объектов контроля и обеспечивает:

- дистанционное включение и выключение лифта;
- оповещение о несанкционированном доступе посторонних лиц в машинное отделение;
- оповещение о несанкционированном доступе посторонних лиц в шахту лифта;
- контроль наличия пассажира в лифте;
- оповещение о возникновении аварийных ситуаций:
- нахождение лифта между этажами,
- неисправность привода дверей кабины,
- неисправность системы охраны шахты(датчиков дверей шахты),
- неисправность основного привода(лебедки),
- проникновение человека в шахту лифта,
- многократный реверс дверей.
- дистанционное включение голосовой связи диспетчера с кабиной лифта;
- снятие показаний с счетчика электроэнергии.

## Средний уровень

Средний уровень предназначен для программно-логического управления процессом по заданным алгоритмам и построен на базе станции управления лифтом серии СУЛ производства ООО «ЭЛПРО-М».

## Нижний уровень

Основу нижнего уровня составляют полевые средства автоматизации: контрольно-измерительные приборы, исполнительные механизмы.

Преобразователь частоты марки ESD-TCL необходимый для частотного управления электродвигателем лифта.

Электродвигатель с короткозамкнутым ротором марки 5АИ112МВ6, необходимы для перемещения кабины лифта.

Датчики положения, определяющие точное местонахождение кабины в шахте, конечные выключатели, комплекты устройств для замедления кабины лифта

## 4. Математическое описание электропривода лифта

### 4.1 Расчет параметров схемы замещения электродвигателя

Для расчета механических и электромеханических характеристик произведем расчет параметров схемы замещения [13].

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1H}^2 - [p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H)]^2}{1 - [p_* \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H)]^2}} = \\ = \sqrt{\frac{7,27^2 - [0,75 \cdot 9,6 \cdot (1 - 0,047) / (1 - 0,75 \cdot 0,047)]^2}{1 - [0,75 \cdot (1 - 0,047) / (1 - 0,75 \cdot 0,047)]^2}} = 2,26 \text{ А,}$$

где  $I_{1H} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot \cos \phi_H \cdot \eta_H} = \frac{4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,78 \cdot 0,81} = 9,593 \text{ А}$  - номинальный ток

статора двигателя;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot \cos \phi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,761 \cdot 0,81} = 7,27 \text{ А}$$
 - ток статора двигателя при

частичной нагрузке;

$$\cos \phi_{p_*} = 0,99 \cdot \cos \phi_H = 0,99 \cdot 0,81 = 0,761$$
 - коэффициент мощности при частичной

загрузке;

$p_* = P / P_H = 0,75$  о.е. - коэффициент загрузки двигателя;

Критическое скольжение:

$$s_k = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$
$$= 0,051 \cdot \frac{2,1 + \sqrt{2,1^2 - [1 - 2 \cdot 0,047 \cdot 1,3 \cdot (2,1 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,047 \cdot 1,3 \cdot (2,1 - 1)} = 0,216,$$

где  $\beta = 0,6 - 2,5$ , принимаем  $\beta = 1,3$ .

Определяем коэффициент:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{2,46}{2 \cdot 6,5 \cdot 9,6} = 1,018,$$
$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,047)}{2 \cdot 1,018 \cdot 2,1 \cdot 4 \cdot 10^3} = 8,09$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_k) \cdot C_1} = \frac{8,09}{(1,3 + 1/0,216) \cdot 1,018} = 1,341 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,018 \cdot 1,341 \cdot 1,3 = 1,775 \text{ Ом}$$

Определим параметр  $\gamma$ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания  $X_{KH}$ :

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0,216^2) - 1,3^2} = 4,438,$$

тогда  $X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 4,438 \cdot 1,018 \cdot 1,341 = 6,06 \text{ Ом}$ .

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_{2\sigma H}' = 0,58 \cdot X_{KH} / C_1 = 0,58 \cdot 6,06 / 1,018 = 3,452 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть



определено по следующему выражению:

$$X_{1\sigma H} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 6,06 = 2,545 \text{ Ом}$$

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

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \phi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sqrt{1 - \cos \phi_{1H}} + X_{1\sigma H} \cdot I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,81 - 1,775 \cdot 9,6)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,81} + 2,545 \cdot 9,6)^2} = 191,622 \text{ В} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{mm} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{191,622}{4,26} = 84,79 \text{ Ом}$$

## 4.2 Расчет статических характеристик при частотном управлении

При частотном регулировании скорости выбираем следующий закон управления:

$$\frac{U_{1j}}{f_{1j}} = const$$

при следующих значениях частот напряжения обмотки статора:

$$f_{1H} = 50 \text{ Гц}, f_{12} = 40 \text{ Гц}, f_{13} = 30 \text{ Гц}, f_{14} = 5 \text{ Гц}$$

Относительное значение частоты питающей сети:

$$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1H}} = \frac{50}{50} = 1, f_{2*} = \frac{40}{50} = 0,8, f_{3*} = \frac{30}{50} = 0,6, f_{4*} = \frac{5}{50} = 0,1$$

Фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя:

$$\begin{aligned} U_{11} &= U_{1H} \cdot f_{1*} = 220 \cdot 1 = 220 \text{ В}, U_{12} = U_{1H} \cdot f_{2*} = 220 \cdot 0,8 = 176 \text{ В}, \\ U_{13} &= U_{1H} \cdot f_{3*} = 220 \cdot 0,6 = 132 \text{ В}, U_{14} = U_{1H} \cdot f_{4*} = 220 \cdot 0,1 = 22 \text{ В} \end{aligned}$$

Синхронная угловая скорость:

$$\begin{aligned} \omega_{01} &= \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}{z_p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{3} = 104,7 \text{ рад/с}, \omega_{02} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{12}}{z_p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 40}{3} = 83,78 \text{ рад/с}, \\ \omega_{03} &= \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{13}}{z_p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 30}{3} = 62,83 \text{ рад/с}, \omega_{04} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{14}}{z_p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 5}{3} = 10,47 \text{ рад/с} \end{aligned}$$

где  $z_p$  – число пар полюсов.

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot (1 - \omega / \omega_{0j}) \left[ X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{1 - \omega / \omega_{0j}} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{(1 - \omega / \omega_{0j}) \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}$$

$\omega$ , рад/с

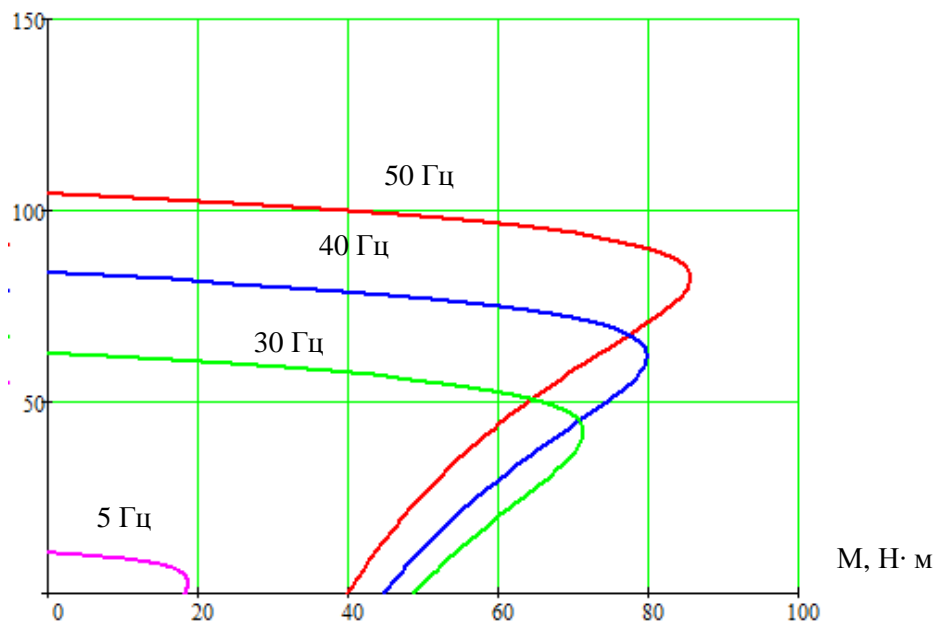


Рисунок 11 – Механические характеристики  $M=f(\omega)$  при частотном регулировании скорости с законом регулирования  $U_{1j}/f_{1j}=\text{const}$

Электромеханическая характеристика  $\Gamma_2=f(\omega)$  для заданного закона регулирования:

$$\Gamma_2' = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{1 - \omega / \omega_{0j}} \right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{j*}^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{(1 - \omega / \omega_{0j}) \cdot X_{\mu H} \cdot f_{j*}} \right)^2}}$$

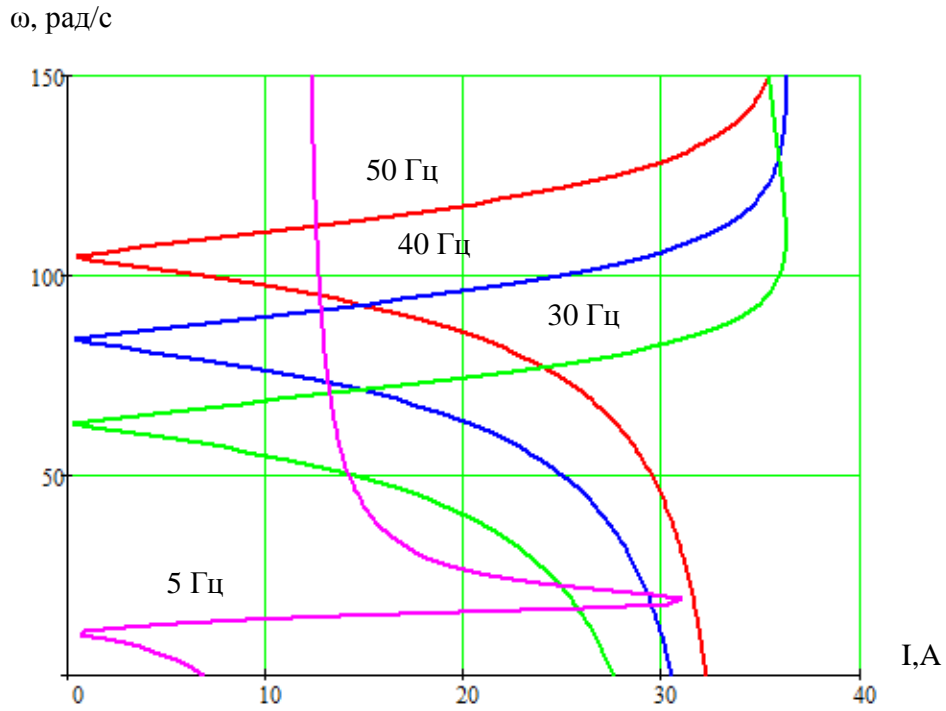


Рисунок 12 – Электромеханические характеристики  $\Gamma^2=f(\omega)$  при частотном регулировании скорости с законом регулирования  $U_{1j}/f_{1j}=\text{const}$   
 Электромеханическая характеристика  $I_1=f(\omega)$  при частотном управлении

:

$$I_1 = \sqrt{I_0'^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0' \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2},$$

$$\text{где } \sin \varphi_2 = \frac{X_{KH} \cdot f_{j^*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{1 - \omega/\omega_0}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{j^*}^2}}, \quad I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma n} + X_{\mu n})^2 \cdot f_{j^*}^2}}$$

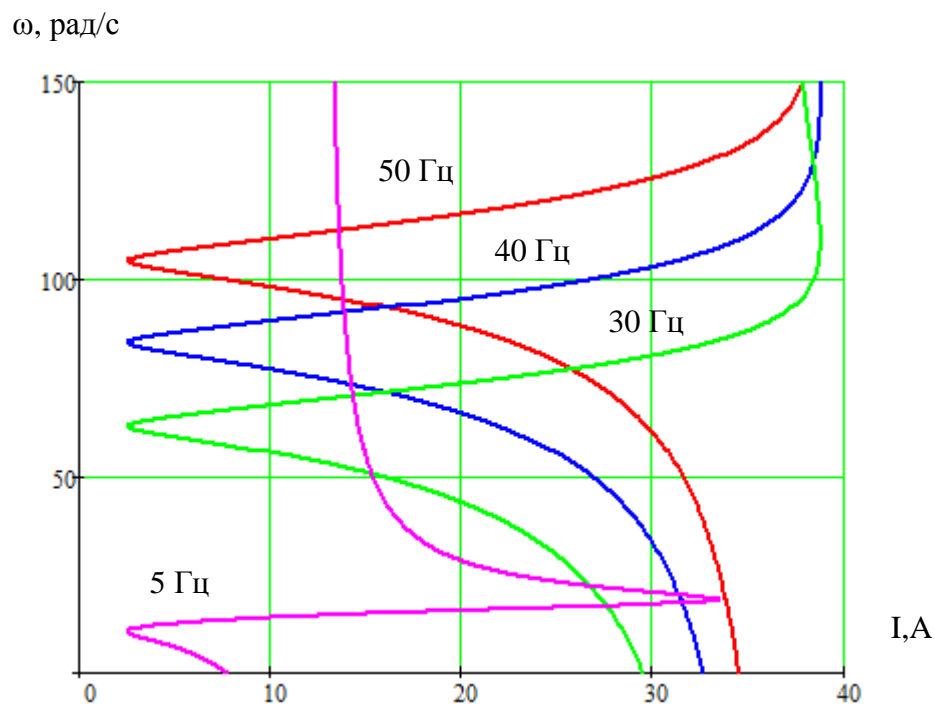


Рисунок 13 – Электромеханические характеристики  $I_1=f(\omega)$  при частотном регулировании скорости с законом регулирования  $U_{1j}/f_{1j}=\text{const}$

#### 4.3 Динамическая модель АД во вращающейся системе координат для расчета переходных процессов

Математическое описание и структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат  $d, q$ , ориентированной по вектору потокосцепления ротора [9]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1d} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1d} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} - \omega_{\text{кс}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}; \\ U_{1q} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1q} + \omega_{\text{кс}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}; \\ 0 = (T_2 \cdot p + 1) \cdot \Psi_{2d} - L_m \cdot I_{1d}; \\ \omega_{\text{кс}} = z_p \cdot \omega + \frac{L_m \cdot R_2'}{L_2} \cdot \frac{I_{1q}}{\Psi_{2d}}; \\ M_{\text{эм}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot I_{1q}; \\ \omega = \frac{1}{J \cdot p} \cdot (M_{\text{эм}} - M_c); \\ R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2}; \quad T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2'}. \end{array} \right.$$

где  $U_{1d} = U_{1q} = U_1$  – постоянные по форме составляющие напряжения статора в ориентированной по вектору потокосцепления ротора  $\vec{\Psi}_2$ , вращающейся синхронно с полем статора системе координат  $d, q$ ;

$I_{1d}, I_{1q}$  – составляющие тока статора в системе координат  $d, q$ , А;

$\Psi_{2d} = |\vec{\Psi}_2|$  – потокосцепление ротора в системе координат  $d, q$ , Вб.

Уравнениям соответствует приведенная на рисунке 14 структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, выполненная во вращающейся системе координат  $d, q$  ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора.

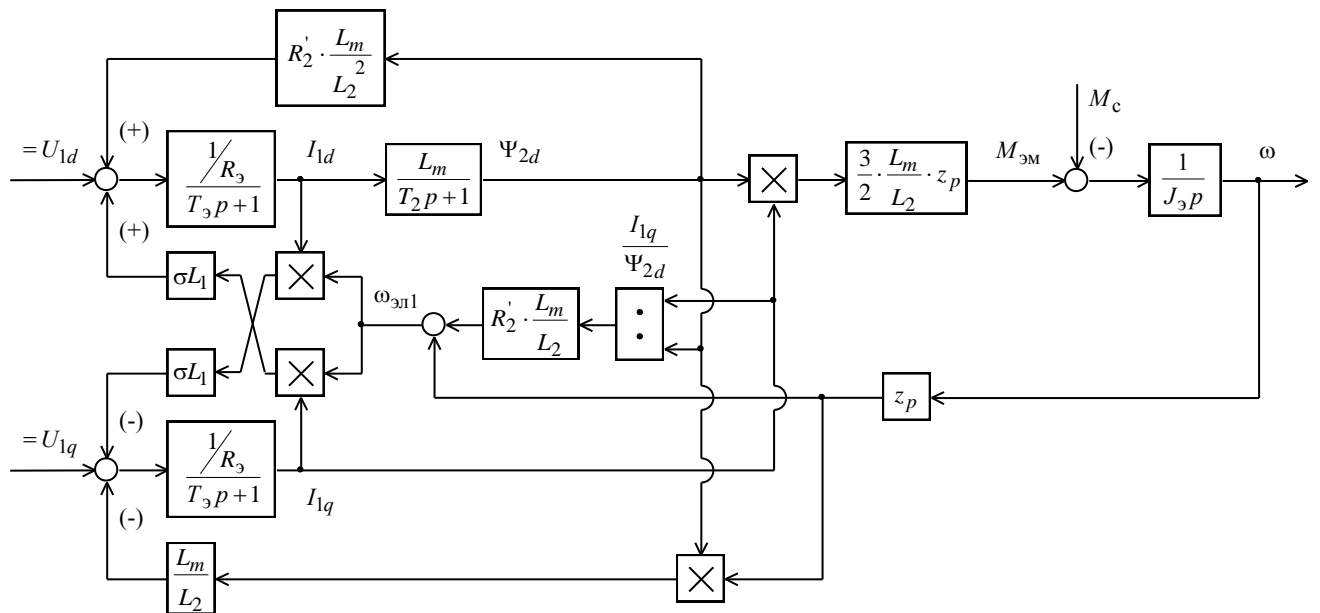


Рисунок 14 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

Далее по структурной схеме имитационной модели АД во вращающейся системе координат собираем такую же модель в среде Matlab Simulink.

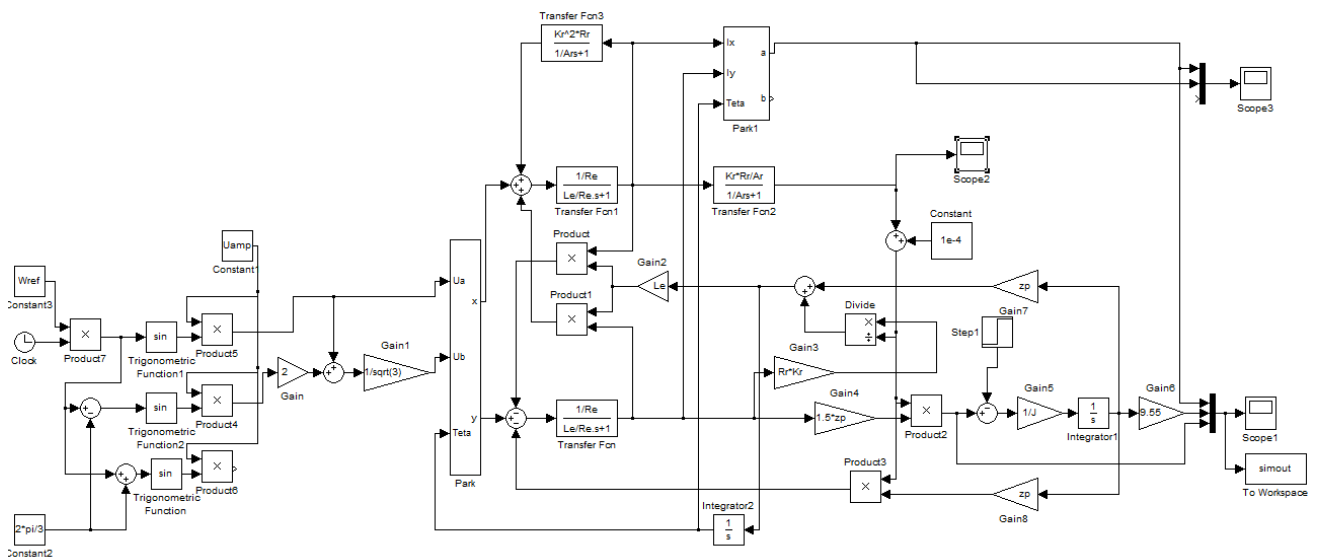


Рисунок 15 – Имитационная модель АД во вращающейся системе координат собранная в среде Matlab Simulink

На вход имитационной модели АД подаем трехфазное напряжение с частотой 50 Гц.

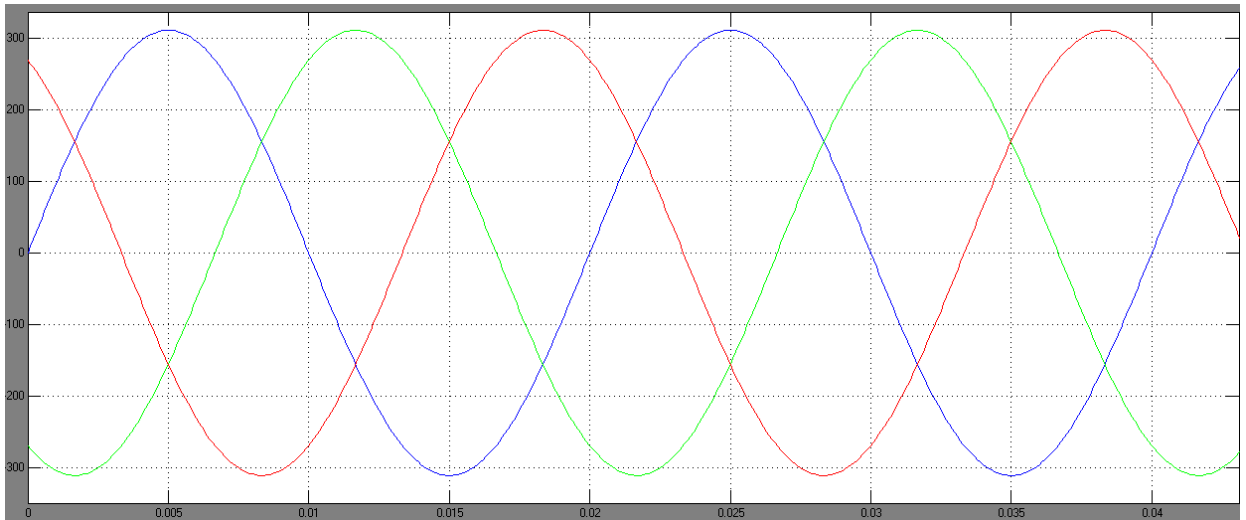


Рисунок 16 – Графики напряжений в трехфазной система координат собранной в среде Matlab Simulink

После делаем преобразование трехфазной системы координат в двухфазную систему координат.

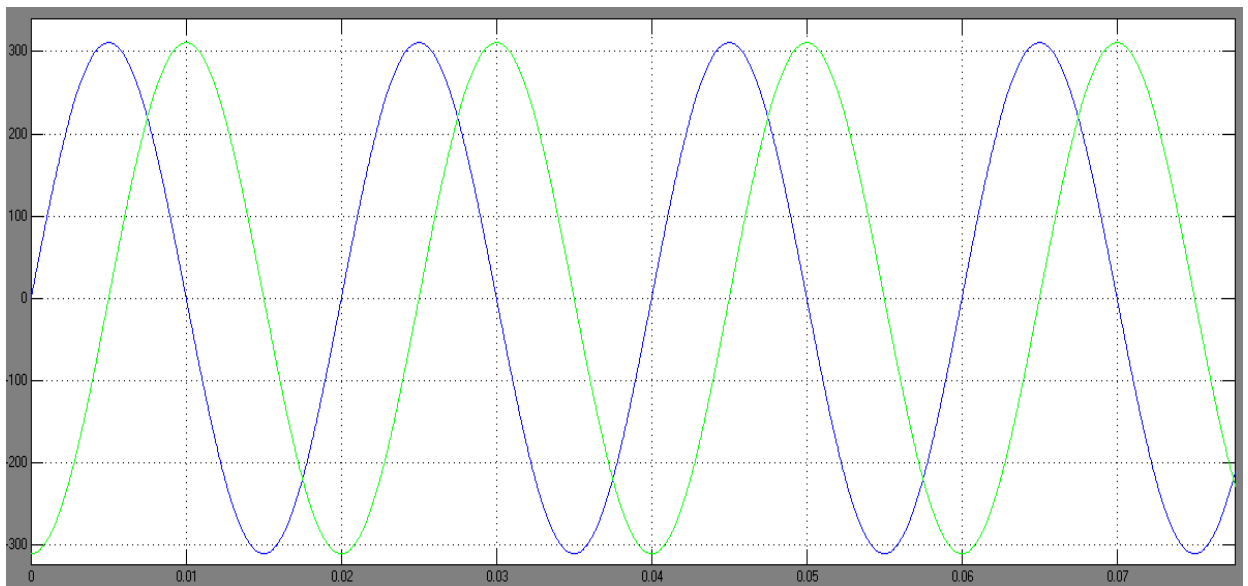


Рисунок 17 – Графики напряжений в двухфазной система координат собранной в среде Matlab Simulink

Как видно из графиков напряжений мы перешли от трёхфазной системы к двухфазной системе координат с частотой 50 Гц. Угол сдвига между фазами составляет 90 градусов.

И последним этапом преобразования напряжения во вращающуюся систему координат.

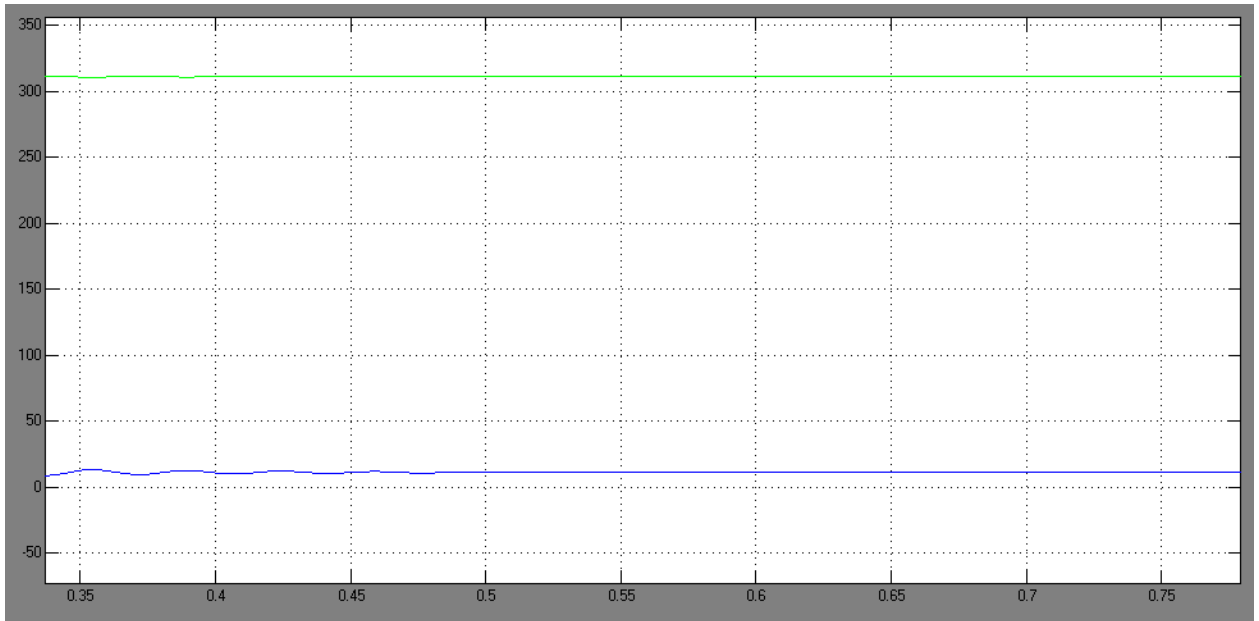


Рисунок 18 – Графики напряжений во вращающейся система координат собранной в среде Matlab Simulink

Как видно из графиков напряжений мы перешли от двухфазной системы к вращающейся системе координат с неподвижными векторами  $U_d = 311 \text{ В}$  и  $U_q = 0 \text{ В}$ .

Далее вводим в М-File паспортные данные и параметры схемы замещения АД.

```

parametri.m
1 clear all
2 dt=1/100000;
3 f=50;
4 Uamp=220*sqrt(2);
5 Wfreq=2*pi*f;
6 % Параметры двигателя
7 Rs=2.146;
8 Rr=1.595;
9 Lm=0.141;
10 Ls=0.148;
11 Lr=0.15;
12 zp=3;
13 J=0.021;
14 Mnom=40.64;
15 Q=1-Lm^2/(Ls*Lr);
16 Re=Rs+Rr*Lm^2/Lr^2;
17 Te=Q*Ls/Re;
18 T2=Lr/Rr;

```

Name	Value
J	0.0210
Lm	0.1410
Lr	0.1500
Ls	0.1480
Mnom	40.6400
Q	0.1045
Re	3.5553
Rr	1.5950
Rs	2.1460
T2	0.0940
Te	0.0043
Uamp	311.1270
Wfreq	314.1593
dt	1.0000e-05
f	50

Рисунок 19 – М-File с паспортными данными и параметрами схемы замещения АД марки 5АИ112МВ6



Производим расчет имитационной модели АД во вращающейся системе координат в среде Matlab Simulink и получаем графики переходных процессов: скорости, тока и момента представлены на рисунке 20.

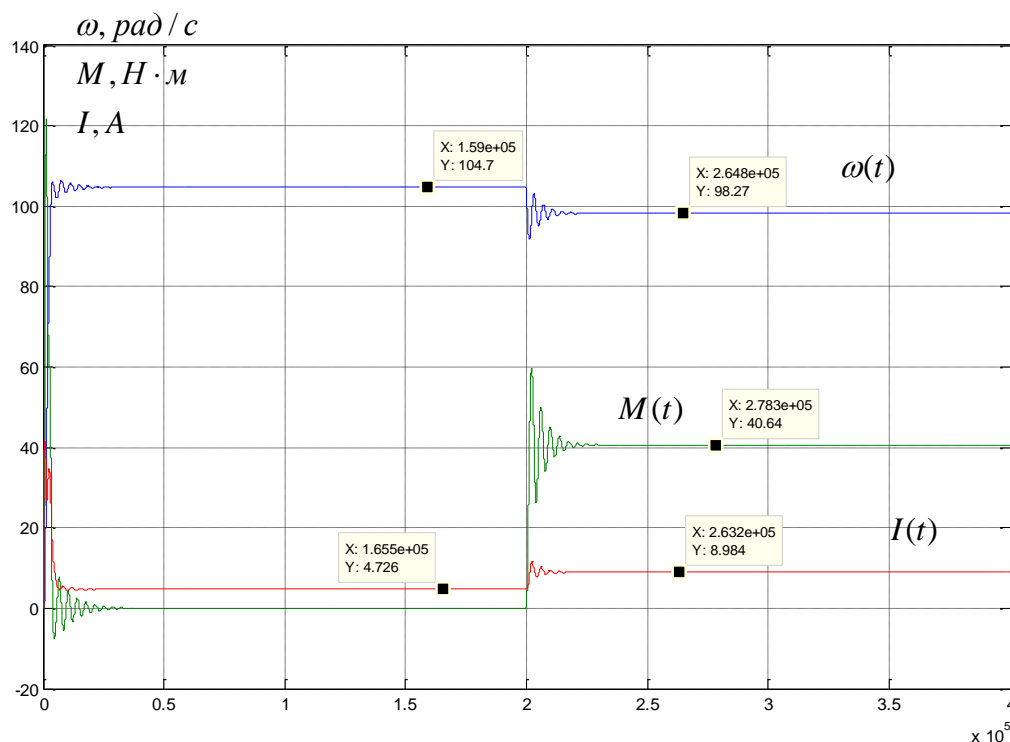


Рисунок 20 – Графики переходных процессов тока, момента и скорости динамической модели АД во вращающейся системе координат собранной в среде Matlab Simulink

Таблица 7 – Сравнение расчетных и полученных моделированием координат

Выходные координаты	Расчетные	Полученные моделированием
$n, \text{ рад/с}$ до нагрузки	104,7	104,7
$n, \text{ рад/с}$ после нагрузки	98,43	98,27
$I_n, A$	9,6	8,9
$M_n, H \cdot m$	40,64	40,64

Как видно из таблицы расчетные и экспериментальные результаты практически совпадают, из чего можно сделать вывод, что модель работает правильно.

#### 4.4 Расчет параметров преобразователя

Инвертор с ШИМ может быть представлен линейным усилителем с коэффициентом усиления

$$k_u = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\phi n}}{N_{уп. макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{1} = 311,13,$$

где  $N_{уп. макс}$  - максимальное значение управления на входе преобразователя [11].

Инерционность инвертора характеризуется чистым запаздыванием на величину периода широтно-импульсной модуляции

$$T_{шум} = \frac{1}{f_{шум}} = \frac{1}{10 \cdot 10^3} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с},$$

где  $f_{шум}$  - несущая частота инвертора, Гц.

С целью упрощения описания инвертора рекомендуется представить его аperiodическим звеном

$$W(p)_u = \frac{k_u}{T_u \cdot p + 1}$$

с эквивалентной постоянной времени

$$T_u = T_{шум} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

#### 4.5 Структурная схема линеаризованной САУ

Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ частотнорегулируемого двухзонного асинхронного электропривода с векторным управлением приведена на рис. 21 [11].

Структурная схема САУ асинхронного электропривода реализована на основании структурной схемы силового канала преобразователь частоты - двигатель, в которой внутренние связи в двухфазном асинхронном двигателе либо компенсированы, либо не учитываются.

САУ электропривода реализована по схеме с независимым управлением потокосцеплением. В однозонном электроприводе управление на входе контура потокосцепления постоянное  $N_{3\psi} = N_{3\psi \text{ макс}} = \text{const}$  (показано пунктиром). В двухзонном электроприводе во второй зоне поток возбуждения двигателя необходимо уменьшать с увеличением скорости. Для этой цели на входе контура потокосцепления устанавливается блок формирования задания

потокосцепления (БФЗΨ), выходной сигнал которого может быть задан в виде зависимости от заданной скорости  $N_{3\Psi}(N_{3c})$  или фактической  $N_{3\Psi}(\omega)$  скорости. Ослабление поля двигателя в двухзонном электроприводе в соответствии с зависимостью  $N_{3\Psi}(N_{3c})$  возможно только при наличии датчика интенсивности скорости. В общем же случае должна формироваться зависимость потокоцепления ротора от фактической скорости двигателя  $N_{3\Psi}(\omega)$ .

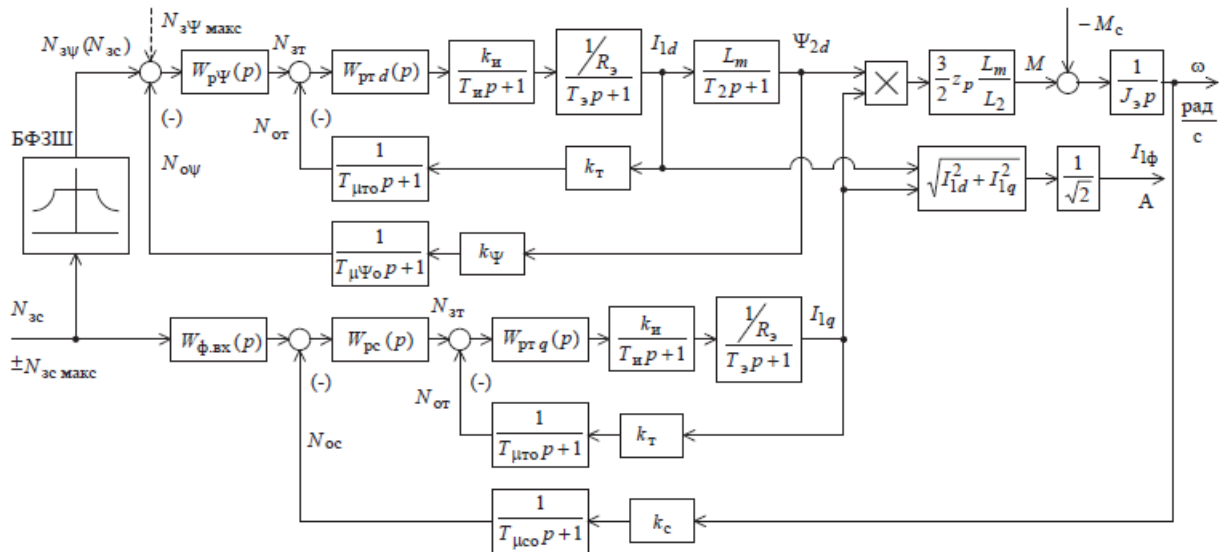


Рисунок 21 – Структурная схема линейризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

На схеме рисунка 21 обозначены:

$W(p)_{pT}, W(p)_{p\Psi}, W(p)_{pc}$  – передаточные функции регуляторов тока, потокоцепления и скорости;

$k_T$  – коэффициент обратной связи по току, 1/А;

$k_\Psi$  – коэффициент обратной связи по потокоцеплению ротора, 1/Вб;

$k_c$  – коэффициент обратной связи по скорости, 1/(рад/с);

$T_{\mu To}, T_{\mu\Psi o}, T_{\mu co}$  – малые постоянные времени цепи обратной связи по току, потокоцеплению и скорости, с.

Принимаем следующие значения периодов модуляции:

$n_{oc.T} = 2$  - количество периодов модуляции для измерения тока;

$n_{oc.c} = \frac{T_{oc.T}}{T_{шмм}} = 15$  - количество периодов модуляции для измерения скорости;

$n_{oc.ψ} = n_{oc.c} = 15$  - количество периодов модуляции для измерения или расчет потокосцепления;

Значения малой постоянной времени цепи обратной связи определяется интервалом преобразования результатов измерения или расчет соответствующей регулируемой координаты электропривода:

$$T_{μTo} = T_{oc.T} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

где  $T_{oc.T} = T_{шмм} \cdot n_{oc.T} = 1,5 \cdot 10^{-3}$  - интервал преобразования результатов измерения тока, с;

$$T_{μψo} = T_{oc.ψ} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

где  $T_{oc.ψ} = T_{шмм} \cdot n_{oc.ψ} = 1,5 \cdot 10^{-3}$  - интервал расчет потокосцепления, с;

$$T_{μTo} = T_{oc.T} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

где  $T_{oc.T} = T_{шмм} \cdot n_{oc.T} = 1,5 \cdot 10^{-3}$  - интервал измерения скорости, с.

Оценим ожидаемое предельное значение полосы пропускания регулируемого электропривода (контура скорости)

$$f_{pэн} = \frac{0,36 \cdot f_{шмм}}{2 \cdot \pi \cdot [n_{oc.c} + 2 \cdot n_{oc.T} + 2]} = \frac{0,36 \cdot 10 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot [15 + 2 \cdot 2 + 2]} = 27 \text{ Гц}$$

Тогда параметры структурной схемы, необходимы для оптимизации контуров регулирования:

-значение номинального потокосцепления двигателя

$$\psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 4,305 \cdot 0,141 = 0,858 \text{ Вб};$$

-максимально допустимое значение тока  $I_{1qмакс}$

$$I_{1qмакс} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{(I_{эн.макс})^2 - (I_0)^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{(16,451)^2 - (4,305)^2} = 22,454 \text{ А}$$

где

$$I_{эн.макс} = \sqrt{\left(\frac{M_{эн.макс}}{\sqrt{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \left(\frac{L_m}{L_2}\right) \cdot \psi_{2н}}\right)^2 + (I_0)^2} = \sqrt{\left(\frac{40,64}{\sqrt{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot \left(\frac{0,141}{0,15}\right) \cdot 0,858}\right)^2 + (4,305)^2} = 16,451 \text{ А}$$

## 4.6 Оптимизация контуров регулирования САУ электропривода

### 4.6.1 Оптимизация контура тока

Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью и полной компенсацией внутренней отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя приведена на рисунке 22. Контуров тока  $I_{1d}$  и  $I_{1q}$  идентичные [11].

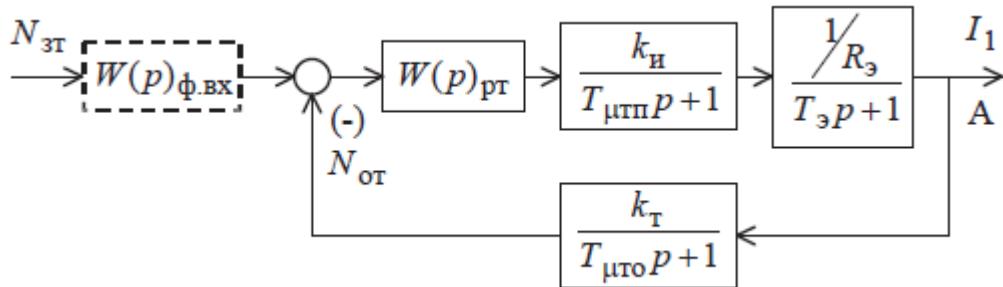


Рисунок 22 – Структурная схема линейризованного контура тока

На схеме рисунка 22 приняты следующие обозначения:

$N_{зт}$  – задание ток;

$T_{\mu пп} = T_{и} = 1 \cdot 10^{-4}$  с - малая постоянная времени в прямом канале контура тока;

$k_T = \frac{N_{зт. макс}}{I_{1q макс}} = \frac{1}{22,454} = 0,045 \frac{1}{A}$  - коэффициент обратной связи по току.

Передаточная функция ПИ-регулятора тока

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

Коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{пт} = \frac{T_э \cdot R_э}{k_{и} \cdot k_T \cdot a_T \cdot (T_{\mu пп} + T_{\mu то})} = \frac{4,487 \cdot 10^{-3} \cdot 3,547}{311,13 \cdot 0,045 \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3}} = 0,359 \frac{1}{A}$$

где  $a_T = 2$  - коэффициент оптимизации контура тока.

Постоянная времени регулятора тока

$$T_{пт} = T_э = 4,487 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

$\sigma = 4.3\%$  - перерегулирование;

$t_{пу1}^{(5)} = 4,1 \cdot (T_{\mu пп} + T_{\mu то}) = 4,1 \cdot 0,0016 = 0,00656$  с - время первого согласования;

$t_{пу2}^{(5)} = 4,1 \cdot (T_{\mu пп} + T_{\mu то}) = 4,1 \cdot 0,0016 = 0,00656$  с - время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего задания;

$$\omega_n^{(M)} = \omega_n^{(\Phi)} = \frac{0,71}{(T_{\mu III} + T_{\mu O})} = \frac{0,71}{0,0016} = 444 \frac{\text{рад}}{\text{с}} - \text{полоса пропускания по модулю и фазе}$$

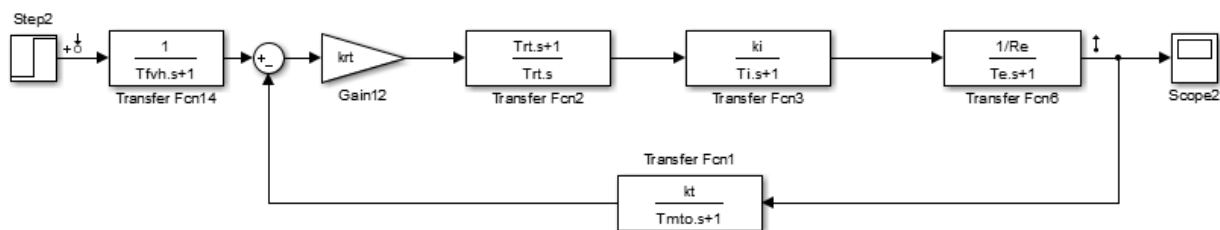


Рисунок 23 – Имитационная модель контура тока в среде Matlab Simulink

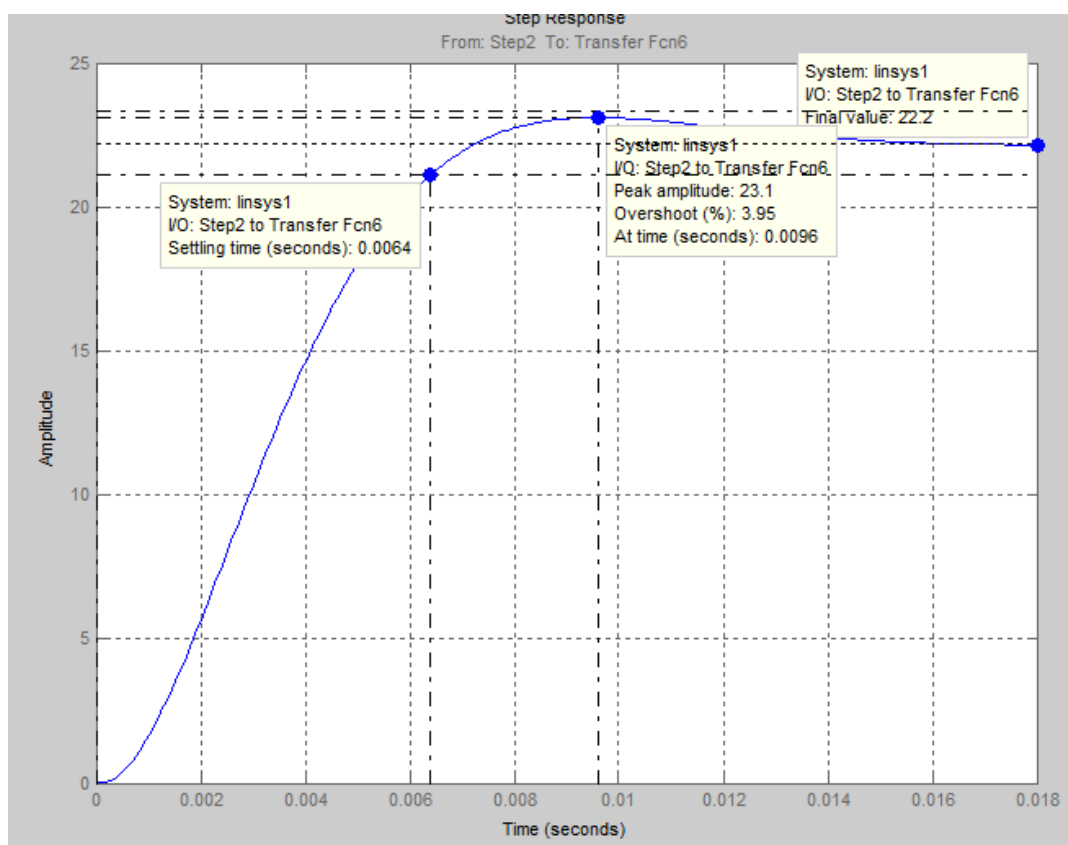


Рисунок 24 – Временная характеристика контура тока

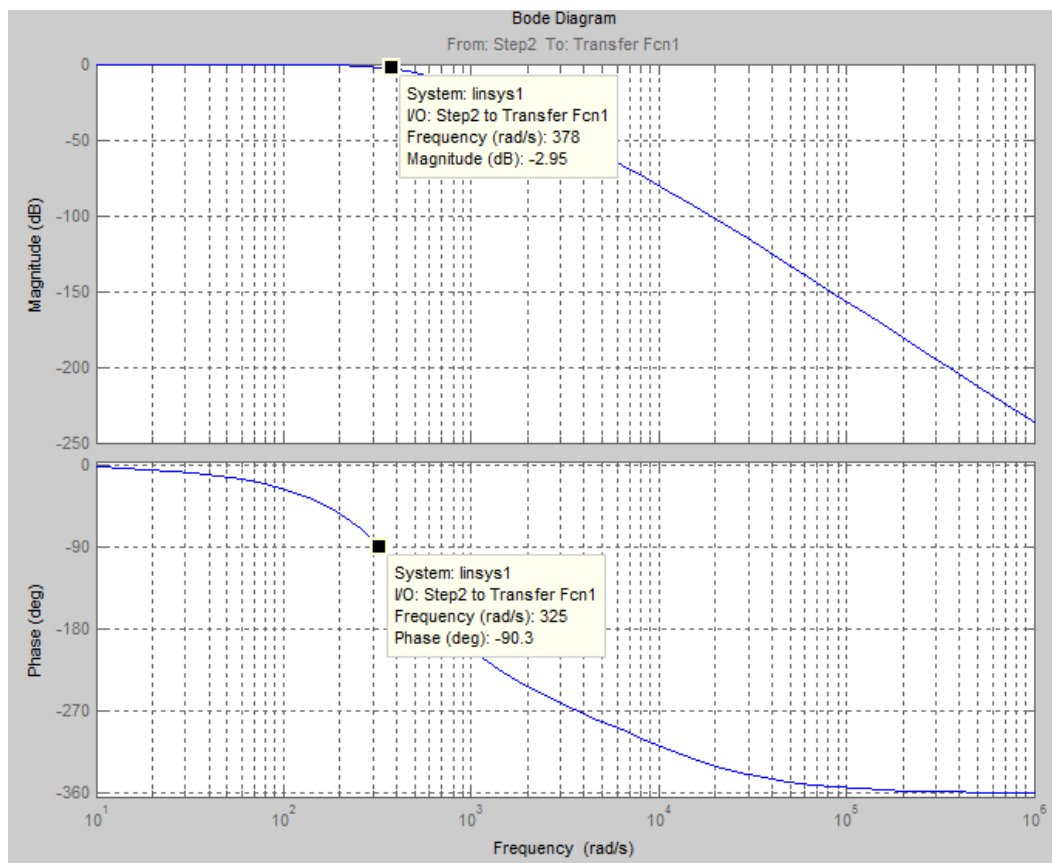


Рисунок 25 – Амплитудно-фазовая частотная характеристика замкнутого контура тока

Для наглядности сведем результаты моделирования в таблицу.

Таблица 8 – Показатели качества переходного процесса в контуре тока

$t_{py1}^{(5)}, c$	$t_{py2}^{(5)}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta\omega_{II}^{(M)}, рад / c$	$\Delta\omega_{II}^{(M)}, рад / c$
Ожидаемые показатели				
0,00656	0,00656	4,3	444	444
Результаты моделирования				
0,00645	0,00645	3,84	378	378

Анализ полученных результатов моделирования показывает, что они согласуются с ожидаемыми показателями работы контура.

#### 4.6.2 Оптимизация контура потокосцепления

Структурная схема контура потокосцепления с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рисунке 26 [11].

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

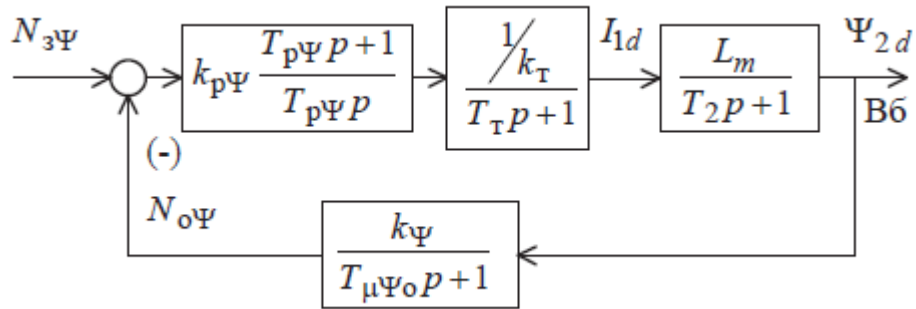


Рисунок 26 – Структурная схема линейризованного контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока

$$T_T = a_T \cdot (T_{\mu\Pi\Pi} + T_{\mu\Gamma_0}) = 2 \cdot 0,0016 = 0,0032 \text{ c}$$

Коэффициент обратной связи контура по потокосцеплению

$$k_\Psi = \frac{N_{3\Psi, \text{макс}}}{\Psi_{2н}} = \frac{1}{0,858} = 1,165 \frac{1}{\text{Вб}}$$

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:

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_\Psi} \cdot \frac{1}{a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi_3}} = \frac{0,094 \cdot 0,045}{0,141 \cdot 1,165} \cdot \frac{1}{2 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3}} = 2,719 \frac{1}{\text{Вб}};$$

$$T_{p\Psi} = 0,045 \text{ c},$$

где  $T_{\mu\Psi_3} = T_{\mu\Psi_n} + T_{\mu\Psi_0} = 3,2 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3} = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ c}$  - эквивалентная малая постоянная контура потокосцепления;

$T_{\mu\Psi_n} = T_T = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ c}$  - малая постоянная времени в прямом канале контура потокосцепления;

$T_{\mu\Psi_0} = n_{oc,\Psi} \cdot T_{II} = 15 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ c}$  - малая постоянная времени в цепи обратной связи контура потокосцепления;

$a_\Psi = 2$  - коэффициент оптимизации контура потокосцепления.

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура потокосцепления:



$\sigma = 8,1\%$  - перерегулирование;

$t_{py1}^{(5)} = 7 \cdot (T_{\mu yn} + T_{\mu yo}) = 7 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3} = 0,033 \text{ с}$  - время первого согласования;

$t_{py2}^{(5)} = 12 \cdot (T_{\mu yn} + T_{\mu yo}) = 12 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3} = 0,056 \text{ с}$  - время переходного процесса при обработке ступенчатого управляющего задания;

$\omega_n^{(M)} = \frac{0,5}{(T_{\mu yn} + T_{\mu yo})} = \frac{0,5}{4,7 \cdot 10^{-3}} = 106 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  - полоса пропускания по модулю.

$\omega_n^{(\phi)} = \frac{0,36}{(T_{\mu yn} + T_{\mu yo})} = \frac{0,36}{4,7 \cdot 10^{-3}} = 77 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  - полоса пропускания по фазе.

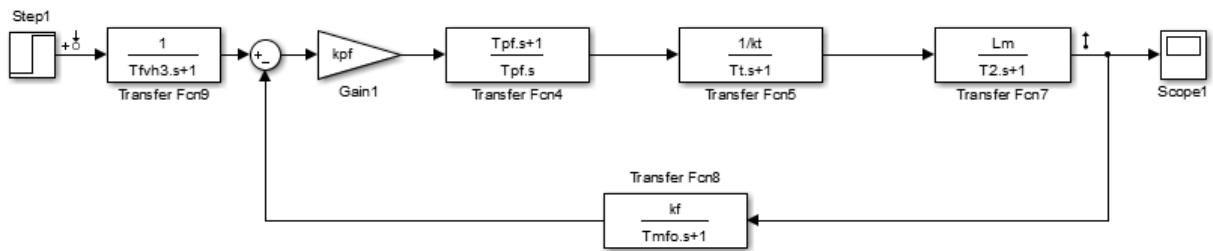


Рисунок 27 – Имитационная модель контура потокосцепления в среде Matlab Simulink

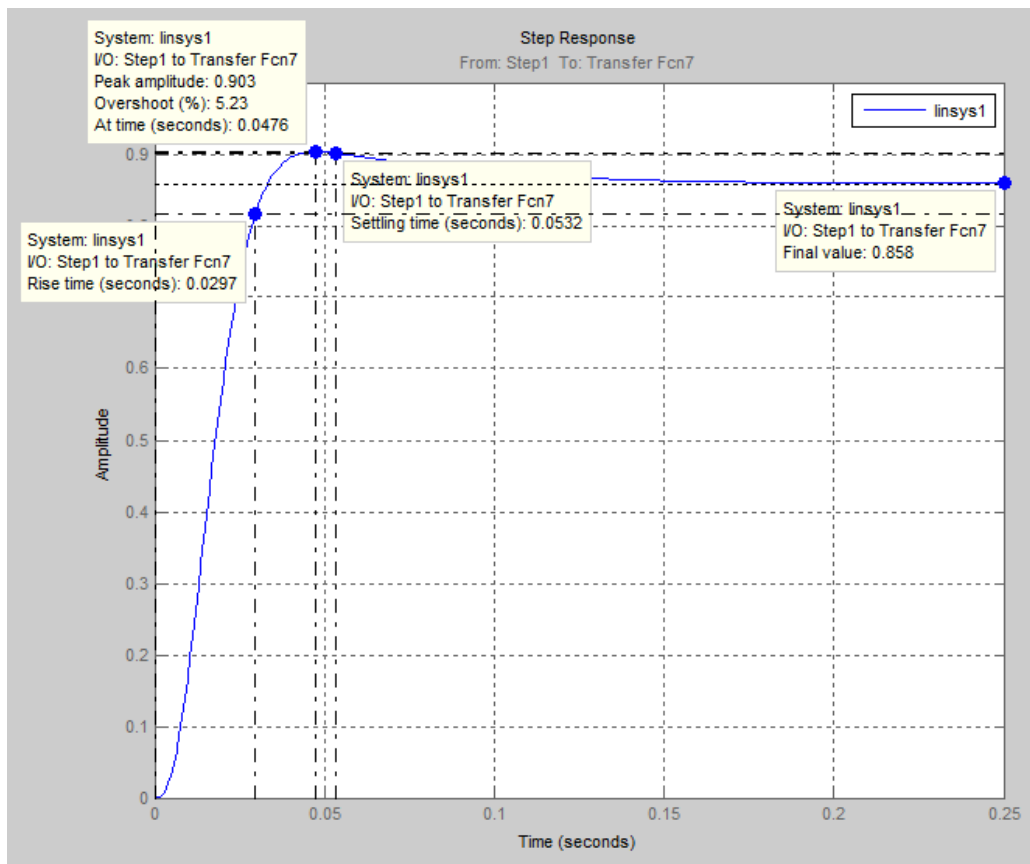


Рисунок 28 – Временная характеристика контура потокосцепления

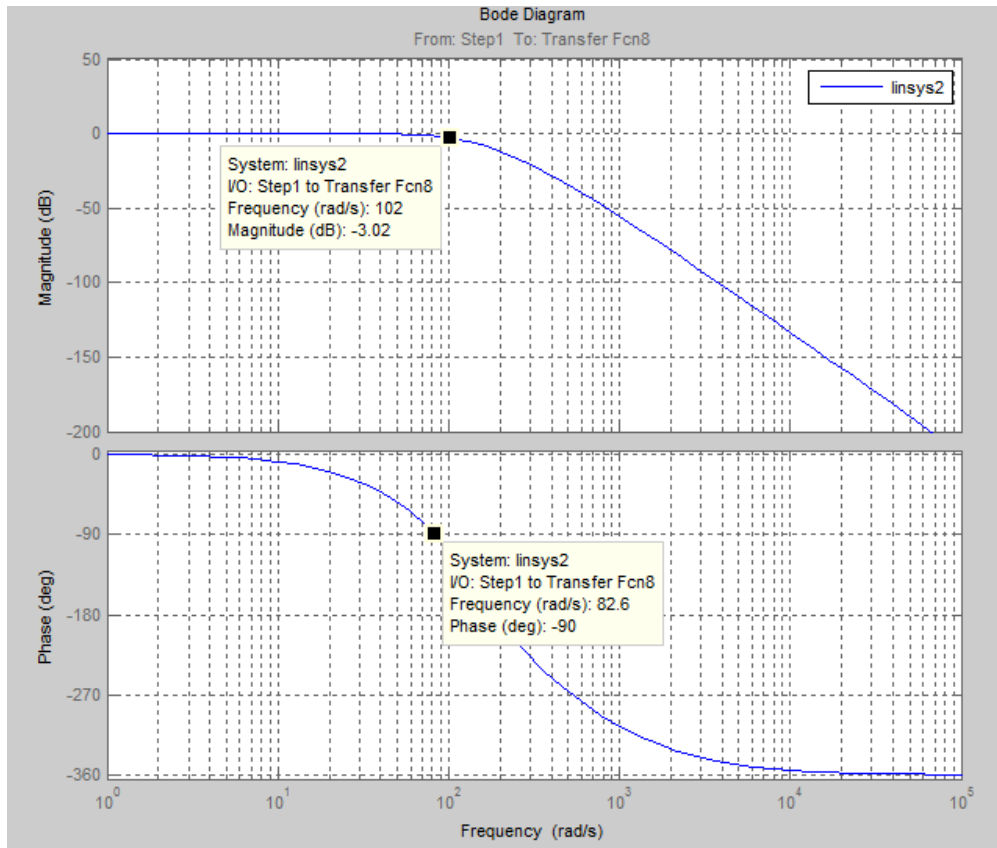


Рисунок 29 – Амплитудно-фазовая частотная характеристика замкнутого контура потокосцепления

Для наглядности сведем результаты моделирования в таблицу.

Таблица 9 – Показатели качества переходного процесса в контуре тока

$t_{py1}^{(5)}, c$	$t_{py2}^{(5)}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta\omega_{II}^{(m)}, rad / c$	$\Delta\omega_{II}^{(m)}, rad / c$
Ожидаемые показатели				
0,033	0,056	8,1	106	77
Результаты моделирования				
0,0297	0,0532	5,23	102	83

Анализ полученных результатов моделирования показывает, что они согласуются с ожидаемыми показателями работы контура.

#### 4.6.3 Оптимизация контура скорости

Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рисунке 30 [11].

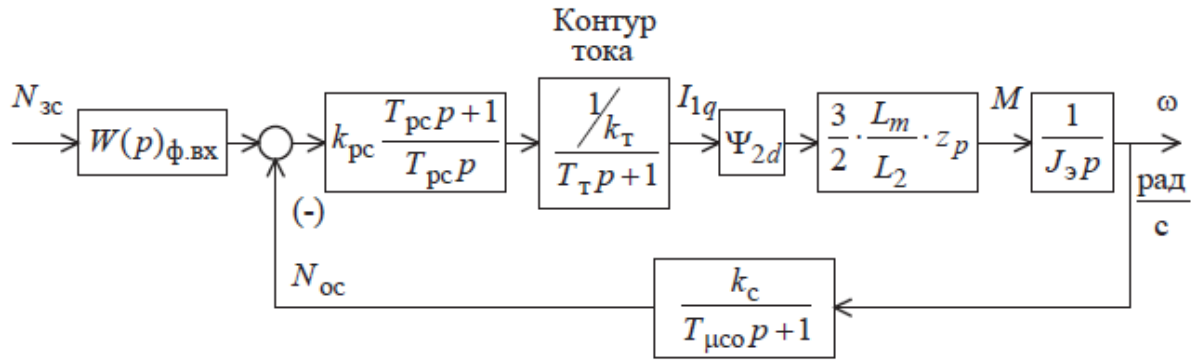


Рисунок 30 – Структурная схема линейризованного контура скорости с ПИ-регулятором

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:

$$k_{pc} = \frac{J_{э} \cdot k_T}{\Psi_{2d} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot T_{\mu c э}} = \frac{0,021 \cdot k_T}{0,858 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,141}{0,15} \cdot 3 \cdot 0,01} \cdot \frac{1}{2 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3}} = 2,706 \frac{1}{рад/с}$$

$$T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c э} = 2 \cdot 2 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3} = 0,019 \text{ с},$$

где  $T_{\mu c э} = T_{\mu c н} + T_{\mu c о} = 3,2 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3} = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ с}$  - эквивалентная малая постоянная контура скорости;

$T_{\mu c н} = T_T = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$  - малая постоянная времени в прямом канале контура скорости;

$T_{\mu c о} = n_{oc.c} \cdot T_{II} = 15 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$  - малая постоянная времени в цепи обратной связи контура скорости;

$a_c = b_c = 2$  - коэффициент оптимизации контура скорости.

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура скорости:

$\sigma = 8,1\%$  - перерегулирование;

$t_{py1}^{(5)} = 7 \cdot (T_{\mu c н} + T_{\mu c о}) = 7 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3} = 0,033 \text{ с}$  - время первого согласования;

$t_{py2}^{(5)} = 12 \cdot (T_{\mu c н} + T_{\mu c о}) = 12 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3} = 0,056 \text{ с}$  - время переходного процесса при обработке ступенчатого управляющего задания;

$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{0,5}{(T_{\mu c н} + T_{\mu c о})} = \frac{0,5}{4,7 \cdot 10^{-3}} = 106 \frac{рад}{с}$  - полоса пропускания по модулю.

$$\omega_{\Pi}^{(\phi)} = \frac{0,36}{(T_{\mu cn} + T_{\mu co})} = \frac{0,36}{4,7 \cdot 10^{-3}} = 77 \frac{\text{рад}}{\text{с}} - \text{полоса пропускания по фазе.}$$

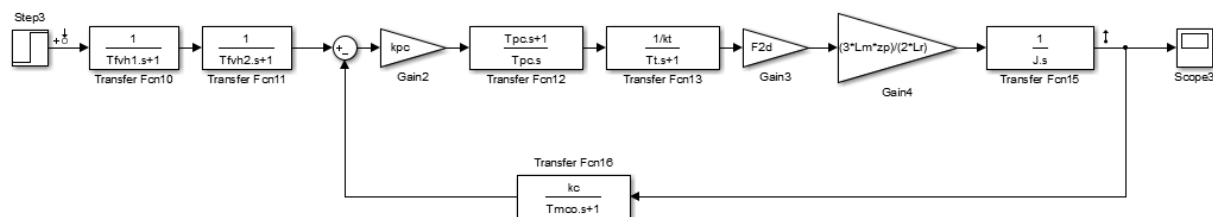


Рисунок 31 – Имитационная модель контура скорости в среде Matlab Simulink

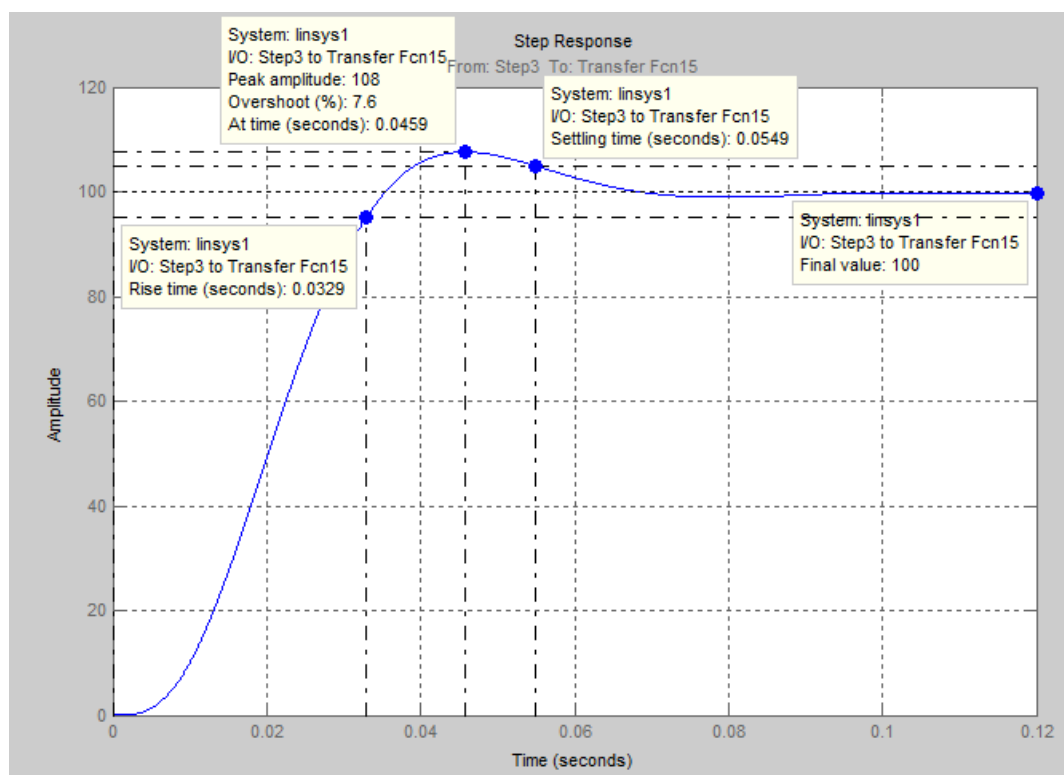


Рисунок 32 – Временная характеристика контура скорости

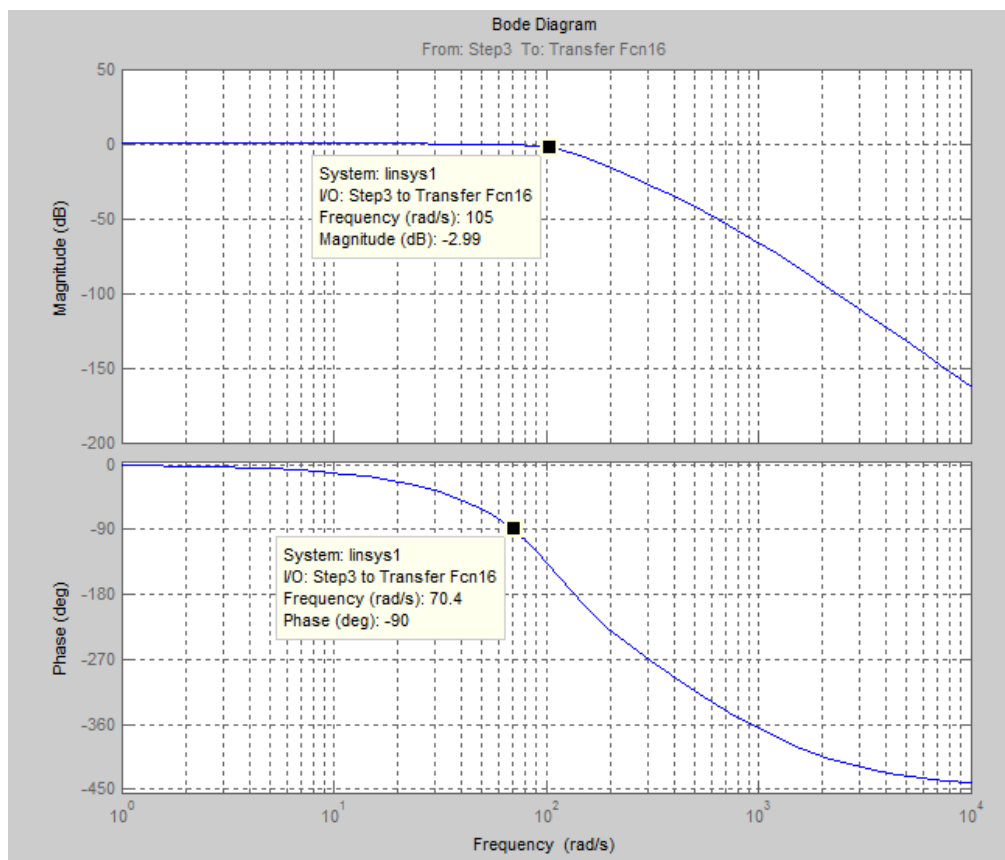


Рисунок 33 – Амплитудно-фазовая частотная характеристика замкнутого контура скорости

Для наглядности сведем результаты моделирования в таблицу.

Таблица 10 – Показатели качества переходного процесса в контуре тока

$t_{py1}^{(5)}, c$	$t_{py2}^{(5)}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / c$	$\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / c$
Ожидаемые показатели				
0,033	0,056	8,1	106	77
Результаты моделирования				
0,0329	0,0549	7,6	105	70

Анализ полученных результатов моделирования показывает, что они согласуются с ожидаемыми показателями работы контура.

#### 4.6.4. Отработка контуром скорости возмущающих воздействий

Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором, при отработке возмущающего воздействия приведена на рисунке 34 [11].

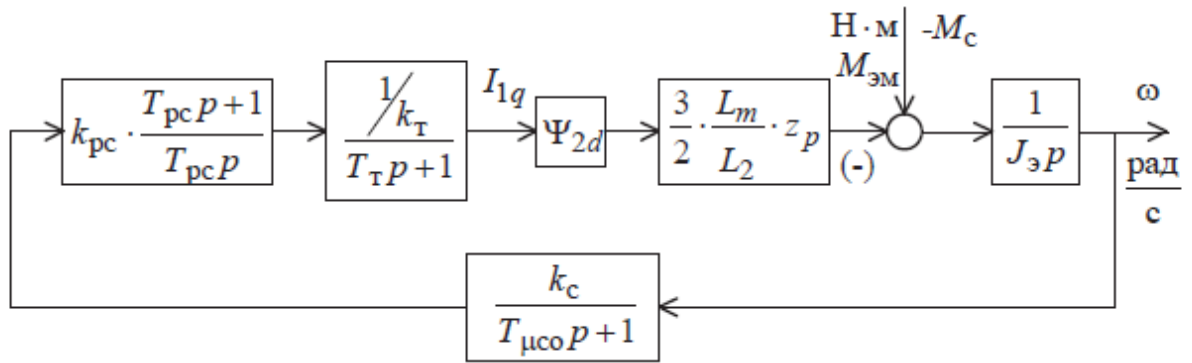


Рисунок 34 – Структурная схема линейризованного контура скорости с ПИ-регулятором при отработке возмущающего воздействия

Ожидаемые показатели качества работы контура скорости при отработке ступенчатого возмущающего воздействия

$$\Delta M_c = 0,5 \cdot (M_{\text{смакс}} - M_{\text{смин}}) = 0,5 \cdot (43,124 - 40,64) = 1,243 \text{ Н} \cdot \text{м} :$$

$$\Delta \omega_{\text{в.ст}} = 0 \frac{\text{рад}}{\text{с}} - \text{установившаяся ошибка по возмущению};$$

$$\Delta \omega_{\text{в.макс}} = \frac{1,75 \cdot (T_T + T_{\text{мсо}})}{J_э} \cdot \Delta M_c = \frac{1,75 \cdot (3,2 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3})}{0,021} \cdot 0,487 = \frac{\text{рад}}{\text{с}} - \text{динамический}$$

провал скорости при набросе нагрузки  $\Delta M_c$  ;

$t_{\text{пр}} = 12,5 \cdot T_{\text{мсо}} = 12,5 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3} = 0,059 \text{ с}$  - время отработки возмущающего воздействия.

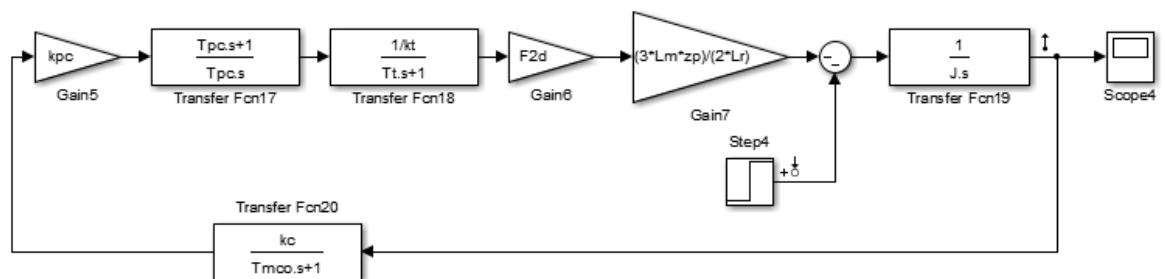


Рисунок 35 – Имитационная модель контура скорости при отработке возмущающего воздействия в среде Matlab Simulink

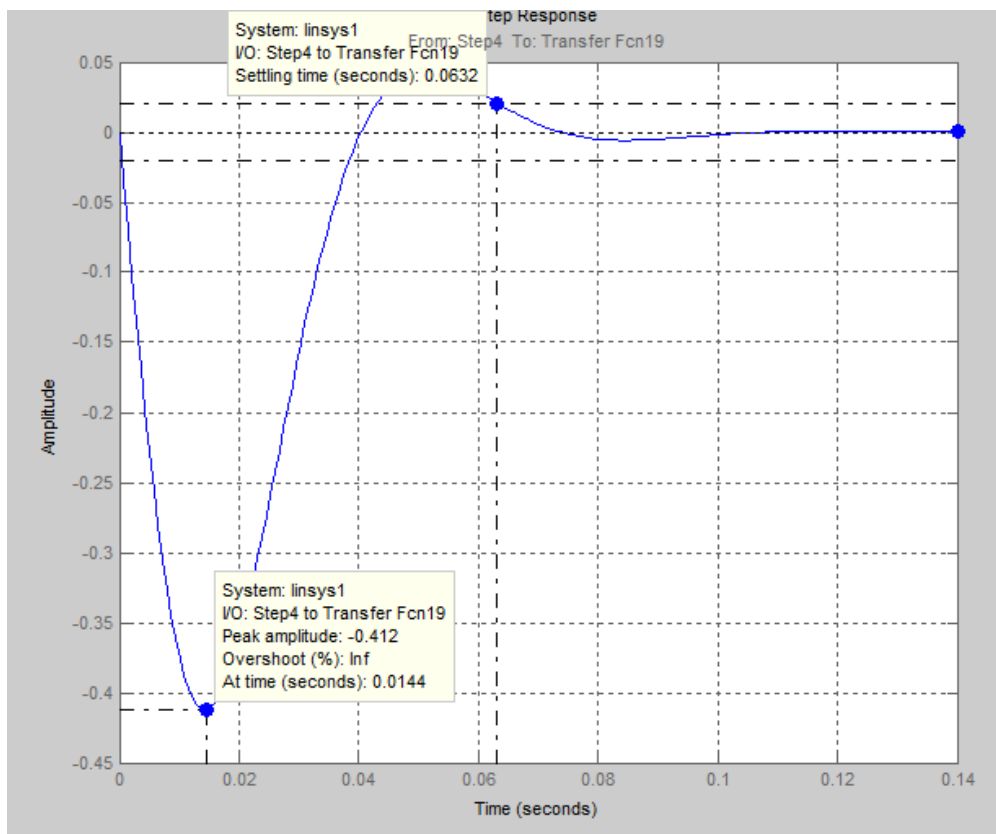


Рисунок 36 – Переходные характеристики контура скорости при обработке возмущающего воздействия

Для наглядности сведем результаты моделирования в таблицу.

Таблица 11 – Показатели переходных процессов по возмущению контура скорости с ПИ-регулятором при  $\Delta M_c = 1,243 \text{ Н} \cdot \text{м}$

$\Delta\omega_{в.макс}, \frac{рад}{с}$	$\Delta\omega_{в.ст}, \frac{рад}{с}$	$t_{pe}, с$
Ожидаемые показатели		
0,487	0	0,059
Результаты моделирования		
0,412	0	0,0632

Анализ полученных результатов моделирования показывает, что они согласуются с ожидаемыми показателями работы контура при обработке ступенчатого возмущающего воздействия.

## 4.7 Имитационное исследование САУ регулируемого электропривода с точной моделью двигателя

Далее по структурной схеме, представленной на рисунке 37 [11], собираем имитационную модель линеаризованного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат с ориентацией по вектору потокосцеплений ротора.

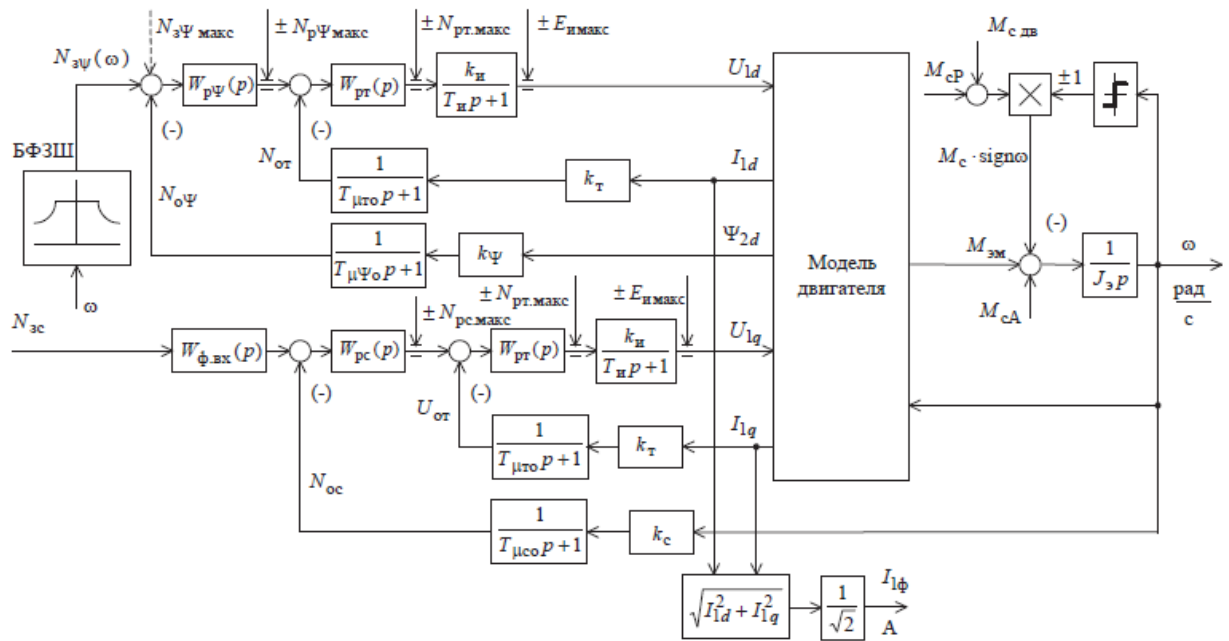


Рисунок 37 – Структурная схема нелинейной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

На основании данной структурной схемы собираем имитационную модель в среде Matlab Simulink рисунок 38.



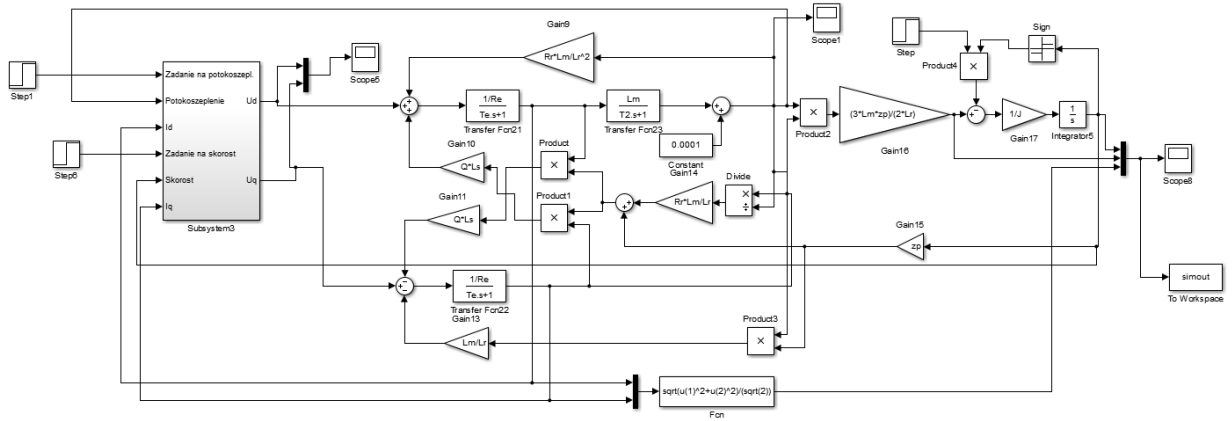


Рисунок 38 - Имитационная модель линейризованной система ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат с ориентацией по вектору потокосцепления ротора

Графики переходных процессов потокосцепления и скорости линейризованного асинхронного ЭП с векторным управление на базе модели АД в неподвижной системе координат представлены на рисунках 39 и 40 соответственно.

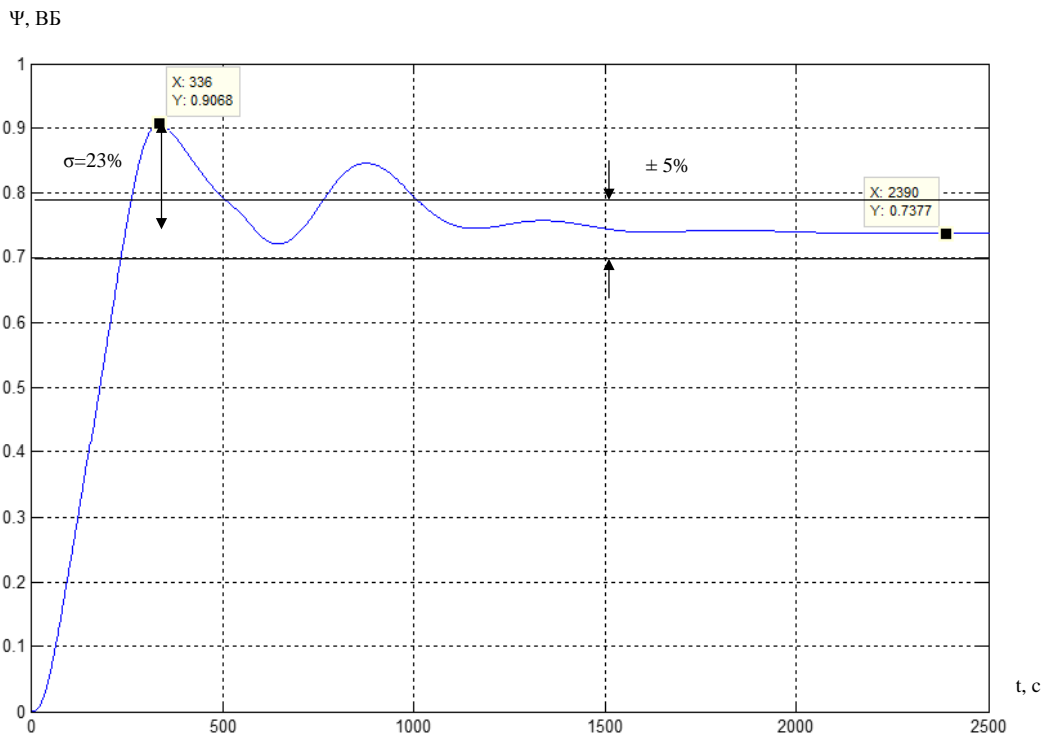


Рисунок 39 – Переходной процесс потокосцепления линейризованного асинхронного ЭП с векторным управление на базе модели АД во вращающейся системе координат

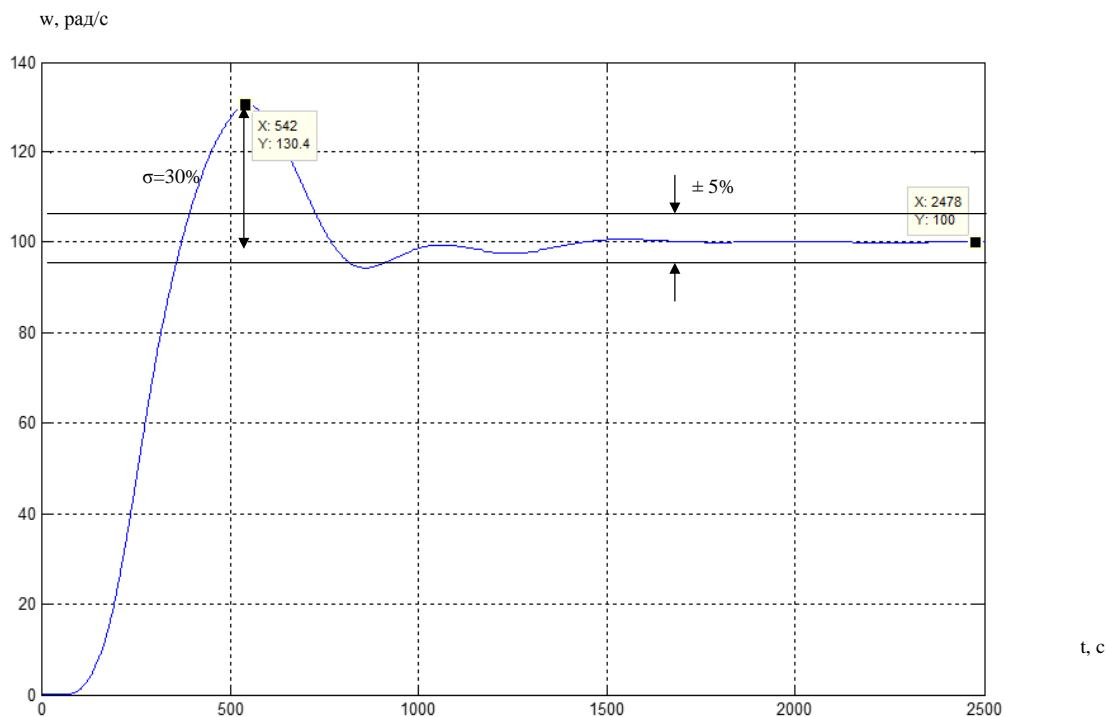


Рисунок 40 – Переходной процесс скорости линейризованного асинхронного ЭП с векторным управление на базе модели АД во вращающейся системе координат

После исследования линейризованного асинхронного ЭП с векторным управление на базе модели АД во вращающейся системе координат и неподвижной произведём исследование нелинейного асинхронного ЭП с векторным управление на базе модели АД в стационарной системе координат. Для того чтобы система стала нелинейной необходимо введения ограничений на выходе регуляторов.

- ограничение максимальной амплитуды напряжения, подводимого к обмоткам АД;
- ограничение токов, протекающих в обмотках статора АД;
- ограничение момента, развиваемого на валу АД.

Для организации качественного управления приводом при различных режимах работы необходима динамическая регулировка моментного усилия развиваемого на валу приводного двигателя. Только в этом случае будет возможна оптимальная настройка для точных режимов работы электропривода.

$$\sqrt{U_x^2 + U_y^2} \leq U_{\text{MAX}}$$

$U_x$  - формирование магнитного потока в АД;

$U_y$  - формирование момента на валу АД.

$$U_x \approx 0.312 \cdot U_{\text{MAX}}$$

$$U_y \approx 0.95 \cdot U_{\text{MAX}}$$

Рекомендации для задания уровня ограничений на выходе регуляторов тока.

$$\sqrt{I_x^2 + I_y^2} \leq I_{\text{MAX}}$$

$I_x$  - намагничивающая часть составляющей тока статора АД;

$I_y$  - эта составляющая пропорциональна моментному усилию, развиваемому на валу АД;

$I_{\text{MAX}}$  - максимальный ток статора АД, кратковременно допускаем перегрузки до  $2 \dots 3 I_{\text{ном}}$ ;

$I_{x \text{ MAX}}$  - ограничение намагничивающей составляющей тока статора АД,  $1,5 \dots 2 I_{\text{ном}}$ ;

$I_{y \text{ MAX}}$  - определяет максимальный момент, развиваемый на валу АД,  $2 \dots 3 I_{\text{ном}}$ .

Недостатки

Введение ограничений на выходе регуляторов приводит к изменению характера переходных процессов, полученных ранее при оптимизации.

Для приведения картины переходных процессов к удовлетворительному виду требуются дополнительные изменения структурной схемы системы управления.

Применение ПИД-регуляторов с возможностью коррекции интегрального насыщения.

Установка задатчиков интенсивности во входных управляющих каналах для формирования плавного изменения заданий по скорости и потокосцеплению.

Интегральное насыщение возникает, когда ПИ или ПИД-регулятор в течение длительного времени должен компенсировать ошибку, лежащую за пределами диапазона управляемой переменной.

Последствия: перерегулирование, колебательность, затягивание времени ПП

Поскольку выход регулятора ограничен, ошибку крайне сложно свести к нулю.

В данном проекте для коррекции интегральной составляющей в ПИ-регуляторе вводим обратную связь по насыщению. Структурная схема такого регулятора приведена на рисунке 45.

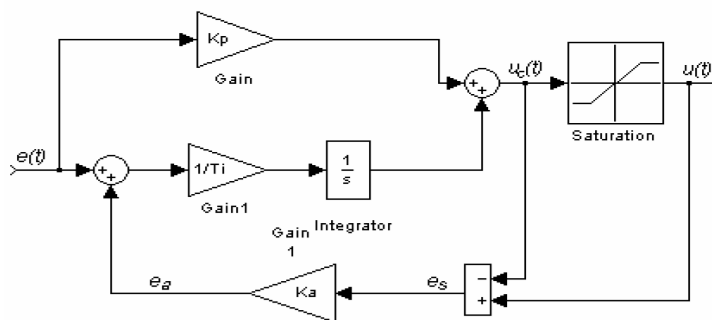


Рисунок 41 – ПИ-регулятор с обратной связью по насыщению

Также для формирования плавного изменения заданий по скорости и потокосцеплению были установлены задатчики интенсивности. Применение задатчиков интенсивности во входных управляющих каналах позволяет уменьшить влияние нелинейностей, присутствующих в системе. Кроме интенсивности изменения сигнала, задержка на формирование задания в канале скорости позволяет рациональнее использовать ресурс источника и уменьшить влияние нелинейностей.

С учетом всех ограничений на выходах регуляторов и коррекции интегрального насыщения в ПИ-регуляторах, а также задатчиков интенсивности во входных управляющих каналах собираем имитационную модель нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД в стационарной системе координат.

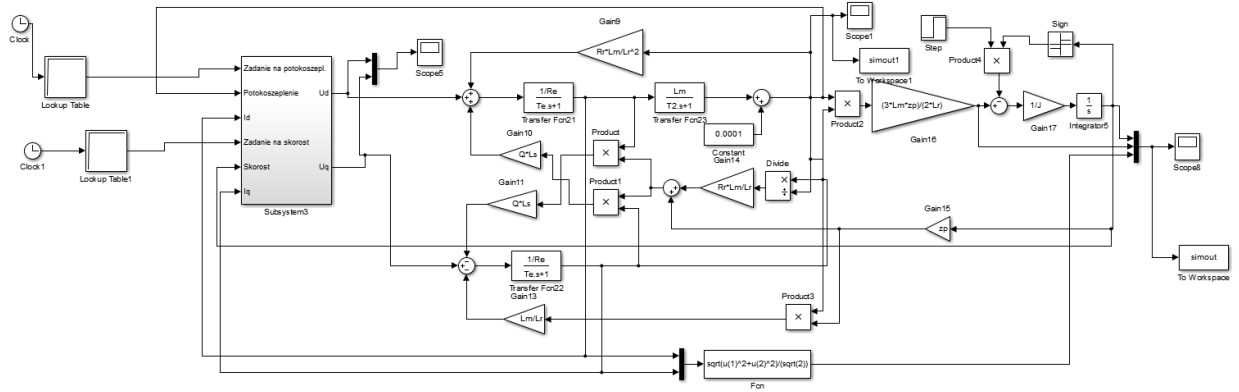


Рисунок 42 - Имитационная модель нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат

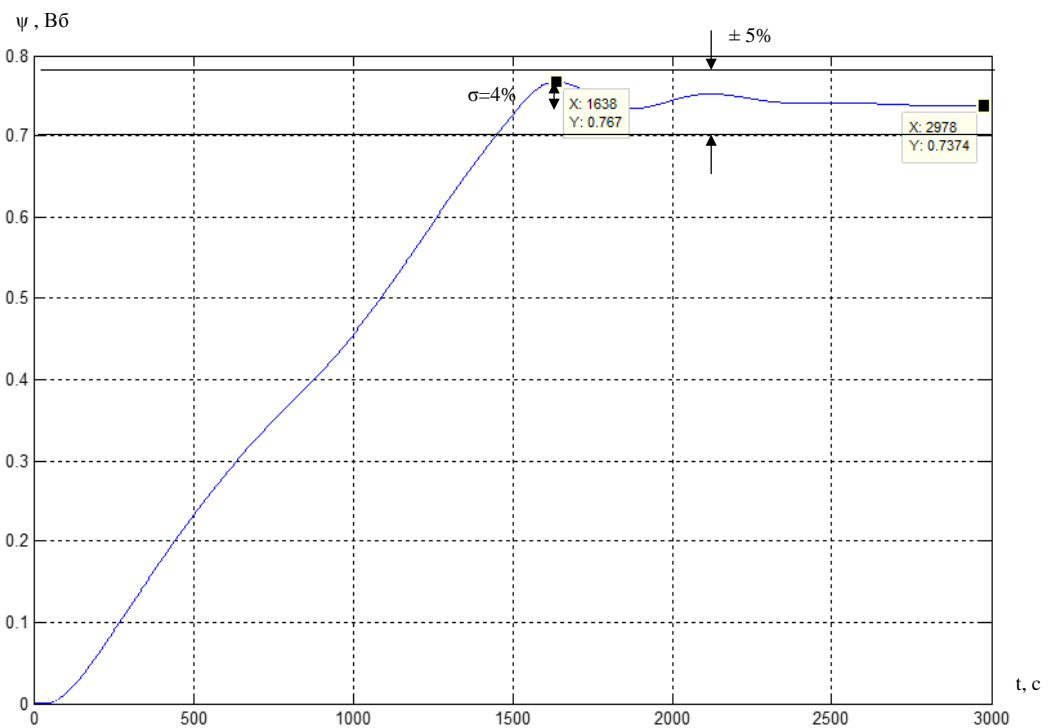


Рисунок 43 – Переходной процесс потокосцепления нелинейного асинхронного ЭП с векторным управление на базе модели АД во вращающейся системе координат

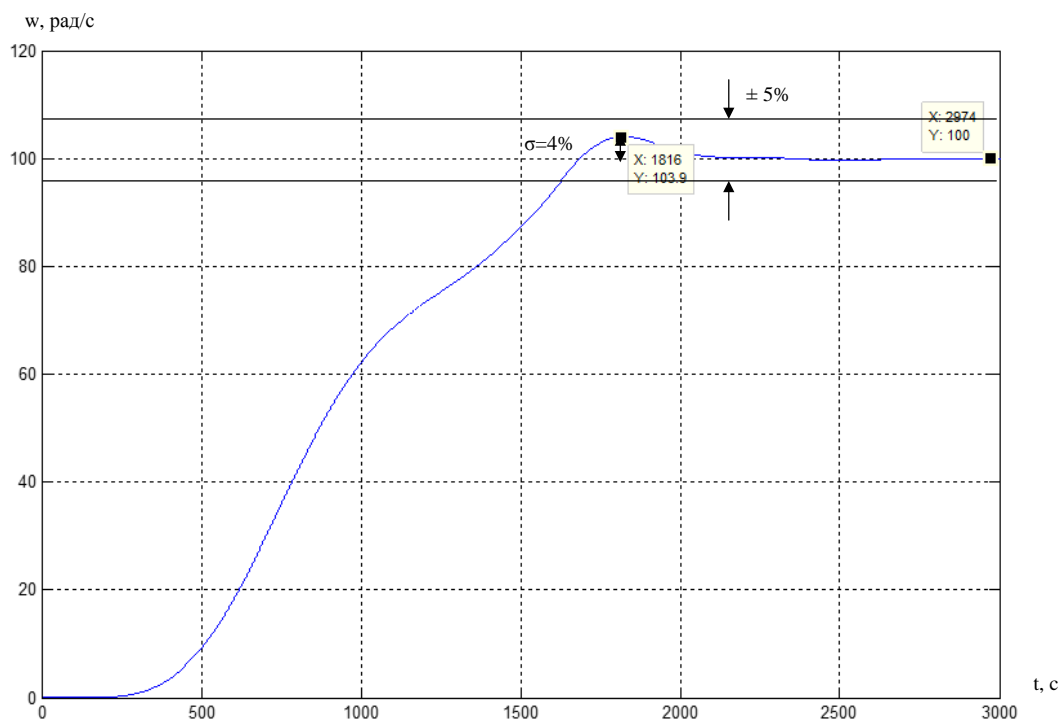


Рисунок 44 – Переходной процесс скорости нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат

Из результатов моделирования видно, что перерегулирование потокосцепления уменьшилось с 23 % до 4%, а скорости с 30% до 4%. Но увеличилось время установившегося режима.

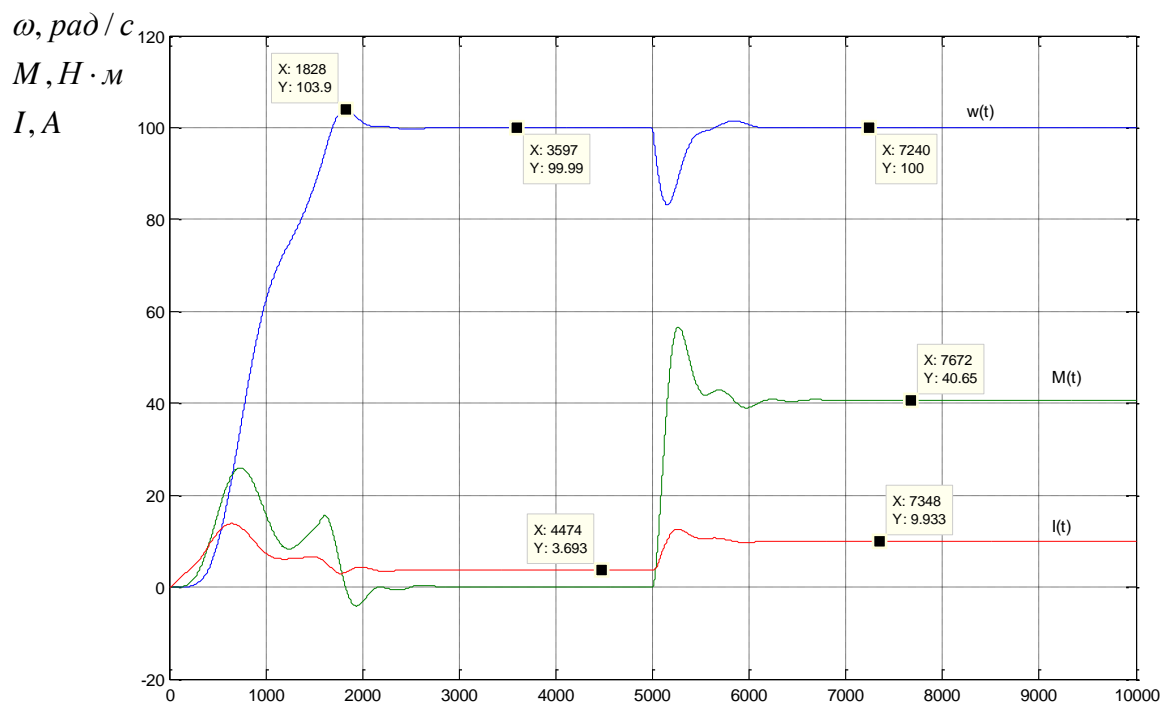


Рисунок 45 – График переходных процессов тока, скорости и момента нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат

На рисунке 45 представлены графики переходных процессов тока и момента нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД в стационарной системе координат. Как видно из графика момент выходит на свое номинальное значение без ошибки. Амплитудное значение тока немного больше своего номинального значения ( $9,9 > 9,6$ ). Как видно из графика переходного процесса привод в нелинейной системе обрабатывает задание на скорости с нулевой ошибкой без нагрузки и под нагрузкой.

#### 4.8 Математическое описание механической части лифта

При соблюдении условий отсутствия буксования расчетная динамическая модель лифта имеет вид крутильной системы, приведенной к валу двигателя (рисунок 46) [4].

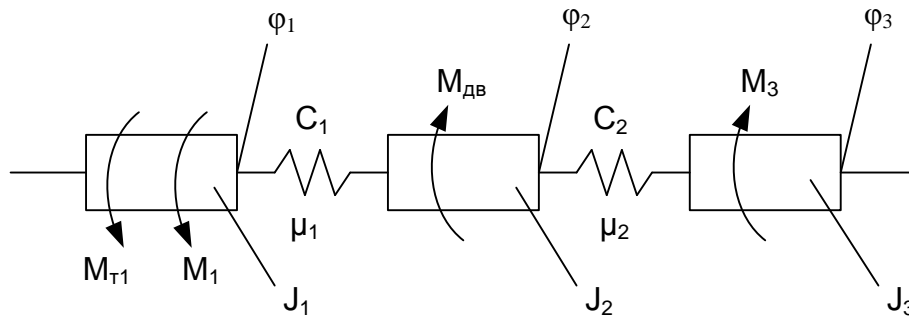


Рисунок 46 – Динамическая модель лифта

Уравнения движения тел системы:

$$\ddot{\varphi}_1 = (C_1 \cdot \varphi_2 - C_1 \cdot \varphi_1 + \mu_1 \cdot \dot{\varphi}_2 - \mu_1 \cdot \dot{\varphi}_1 - M_1 - M_{T1}) / J_1;$$

$$\ddot{\varphi}_2 = (C_1 \cdot \varphi_1 - C_1 \cdot \varphi_2 - C_2 \cdot \varphi_2 + C_2 \cdot \varphi_3 + \mu_1 \cdot \dot{\varphi}_1 - \mu_1 \cdot \dot{\varphi}_2 - \mu_2 \cdot \dot{\varphi}_2 + \mu_2 \cdot \dot{\varphi}_3 + M_{дв}) / J_2;$$

$$\ddot{\varphi}_3 = (C_2 \cdot \varphi_2 - C_2 \cdot \varphi_3 + \mu_2 \cdot \dot{\varphi}_2 - \mu_2 \cdot \dot{\varphi}_3 + M_3) / J_3;$$

где  $J_1, J_2, J_3$  – моменты инерции кабины и груза, лебедки, противовеса, приведенных к валу двигателя;

$C_1, C_2$  – жесткость канатов подвески кабины и противовеса, приведенных к крутильной на валу двигателя;

$\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты демпфирования колебаний в подвесках кабины и противовеса;

$M_{T1}, M_1, M_{дв}, M_3$  – крутящие моменты от силы трения кабины с грузом о направляющие, веса кабины и груза, двигателя и веса противовеса;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  – углы поворота кабины, ротора двигателя и противовеса.

Параметры системы:

$$J_1 = \frac{(m_k + m_g) \cdot R_{ш}^2}{u_p^2} = \frac{(800 + 400) \cdot 0,16^2}{18,5^2} = 0,09 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad - \quad \text{момент инерции}$$

кабины и груза, приведенный к валу двигателя;

$$J_3 = \frac{m_{пр} \cdot R_{ш}^2}{u_p^2} = \frac{1000 \cdot 0,16^2}{18,5^2} = 0,075 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad - \quad \text{момент инерции противовеса,}$$

приведенный к валу двигателя;

$$J_p = 0,021 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad - \quad \text{момент инерции ротора двигателя;}$$

$$J_m = 0,076 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad - \quad \text{момент инерции муфты с тормозным шкивом;}$$

$$J_{max} = 0,439 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad - \quad \text{момент инерции маховика;}$$



$\delta=1,15$  – коэффициент, учитывающий моменты инерции вращающихся масс редуктора и шкивов;

$$J_2 = (J_p + J_M) \cdot \delta + J_{\max} = (0,021 + 0,076) \cdot 1,15 + 0,439 = 0,551_{\text{кг}} \cdot \text{м}^2 \quad - \quad \text{момент}$$

инерции лебедки, приведенный к валу двигателя;

$$C_2 = \frac{k_{\text{л.пр}} \cdot R_{\text{ш}}^2}{u_p^2} \quad - \quad \text{жесткость канатов и пружин подвески противовеса,}$$

приведенная к крутильной на валу двигателя, определяется для двух положений кабины на 12-ом и на 1-ом этажах:  $C_2=26,93$  Н·м/рад,  $C_2=19,457$  Н·м/рад; при этом линейная жесткость пружин подвески противовеса  $k_{\text{пр}}=n_{\text{пр}} \cdot k'_{\text{пр}}=292890$  Н/м, линейная жесткость канатов подвески противовеса

$$k_k = \frac{n_k \cdot F_k \cdot E_k}{l_k} = 3,31 \cdot 10^6 \text{ Н/м}, \quad k_k = 0,2548 \cdot 10^6 \text{ Н/м}, \quad \text{где } n_{\text{пр}}=3 \quad - \quad \text{количество}$$

пружин в подвеске,  $k'_{\text{пр}}=97630$  Н/м – линейная жесткость одной пружины,  $l_k=3,3\text{м}$  – длина отвеса канатов подвески противовеса, когда кабина находится на 1-ом этаже,  $l_k=48,3\text{м}$  – длина отвеса канатов подвески противовеса, когда кабина находится на 12-ом этаже. Линейная жесткость подвески противовеса

$$k_{\text{л.пр}} = \frac{k_{\text{пр}} \cdot k_k}{k_{\text{пр}} + k_k}; \quad \text{если кабина находится на 1-ом этаже } k_{\text{л.пр}}=0,26 \cdot 10^6 \text{ Н/м}, \quad \text{если}$$

кабина находится на 12-ом этаже  $k_{\text{л.пр}}=0,136 \cdot 10^6$  Н/м.

Коэффициенты демпфирования (рассеивания) колебаний в подвесках

$$\text{кабины } \mu_1 = \frac{\psi \cdot \sqrt{J_1 \cdot C_1}}{2 \cdot \pi} \quad \text{и} \quad \mu_2 = \frac{\psi \cdot \sqrt{J_3 \cdot C_2}}{2 \cdot \pi} \quad \text{противовеса, где } \psi = \frac{\Delta\Pi}{\Pi} = 2 \cdot l_n \cdot \frac{a_i}{a_{i+1}} \quad -$$

относительное рассеивание энергии колебаний;  $\Delta\Pi$  – энергия рассеиваемая системой за один цикл колебаний, Дж;  $\Pi$  – энергия системы, отвечающая амплитуде цикла колебаний, Дж;  $a_i$  – амплитуда  $i$ -го колебания;  $a_{i+1}$  – амплитуда  $i+1$ -го колебания.

Коэффициенты определялись для положений кабины на 1-ом и 12-ом этажах соответственно:  $\mu_1=0,118$  Н·м·с/рад,  $\mu_2=0,115$  Н·м·с/рад,  $\mu_1=0,474$  Н·м·с/рад,  $\mu_2=0,23$  Н·м·с/рад.

Н.И. Григорьев [9] дает значение  $\psi$  для рассеяния энергии в канатах  $\psi=0,4 \dots 0,6$ ; примем в расчетах  $\psi=0,6$ .

Силы тяжести кабины, груза, противовеса отнесем к внешним силам, действующим на систему. Силу трения кабины в направляющих, также отнесем к внешним силам. Моменты крутящие, развиваемые двигателем или механическим тормозом отнесем к моментам внешних сил, действующих на систему. Трением в направляющих противовеса пренебрегаем.

Моменты, крутящие приведенные к валу двигателя:

$$M_1 = \frac{(m_k + m_{zp}) \cdot g \cdot R_{ш}}{u_p} = 18,5 = 101,812 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad - \text{ от веса кабины и груза;}$$

$$M_{T1} = \frac{0,07 \cdot m_{zp} \cdot g \cdot R_{ш}}{u_p} = \frac{0,07 \cdot 400 \cdot 9,81 \cdot 0,16}{18,5} = 2,376 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad - \text{ от силы трения кабины с}$$

$$\text{грузом о направляющие; } M_3 = \frac{m_{np} \cdot g \cdot R_{ш}}{u_p} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,16}{18,5} = 84,843 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad - \text{ от веса}$$

противовеса.

Для расчета режимов подъема кабины с грузом примем следующее правило знаков:  $\varphi_1 > 0$ ,  $\varphi_2 > 0$ ,  $\varphi_3 > 0$  – соответствуют режиму подъема кабины (соответственно режиму опускания противовеса),  $M_{дв} > 0$  – двигательный режим работы привода,  $M_{дв} = 0$  – двигатель вращается с синхронной угловой скоростью (или выключен),  $M_{дв} < 0$  – генераторный режим работы двигателя. Моменты от веса и сил трения направлены, как показано на рис. 50.

Для численного решения уравнения движения тел системы используется приложение к системе MatLab, пакет Simulink. В качестве примера показана схема, моделирующая уравнение движение тел при пуске (рисунок 47) и графики изменения кинематических и силовых параметров (рисунок 38).

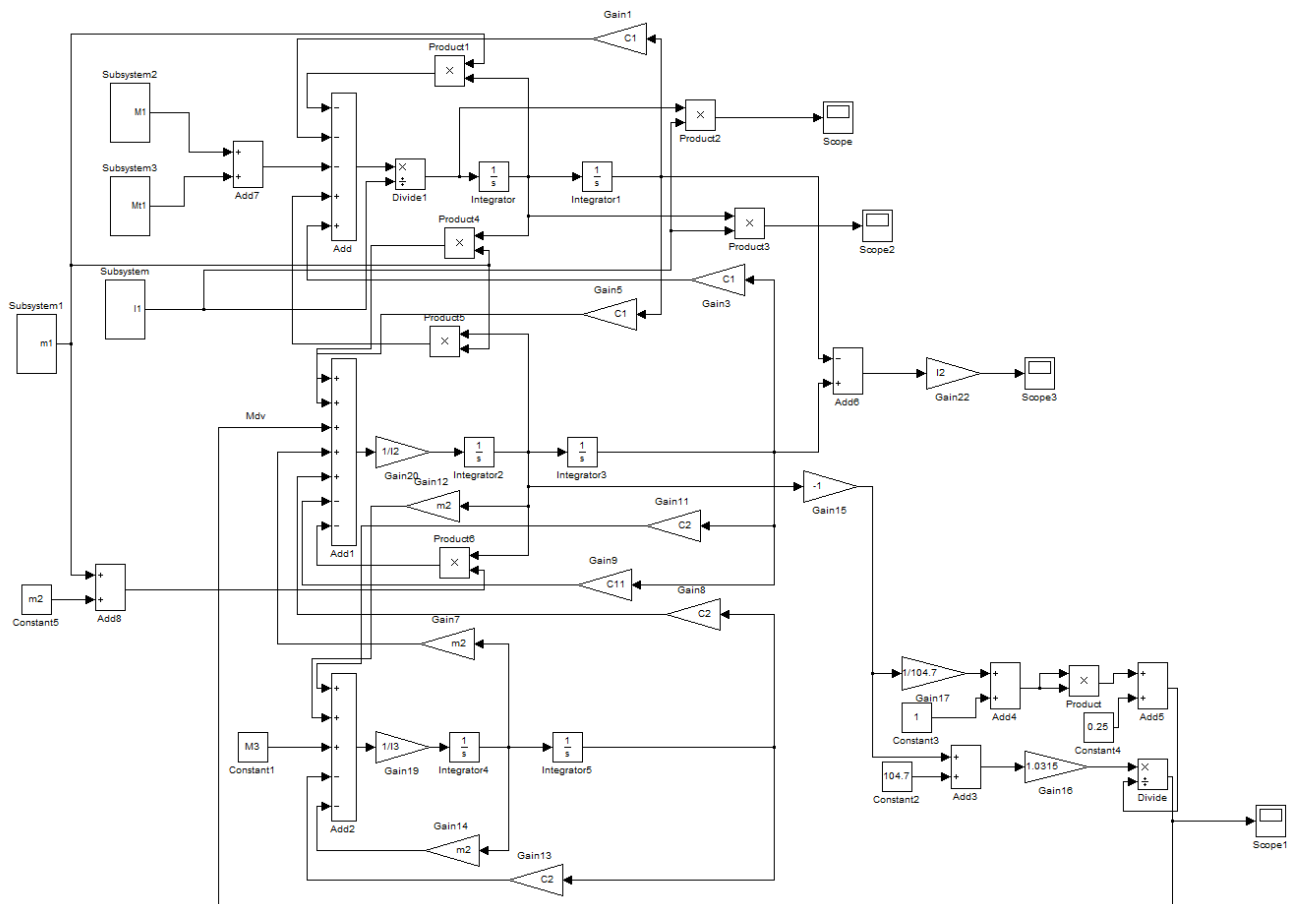


Рисунок 47 – Схема, моделирующая пуск лифта собранная в среде Matlab Simulink

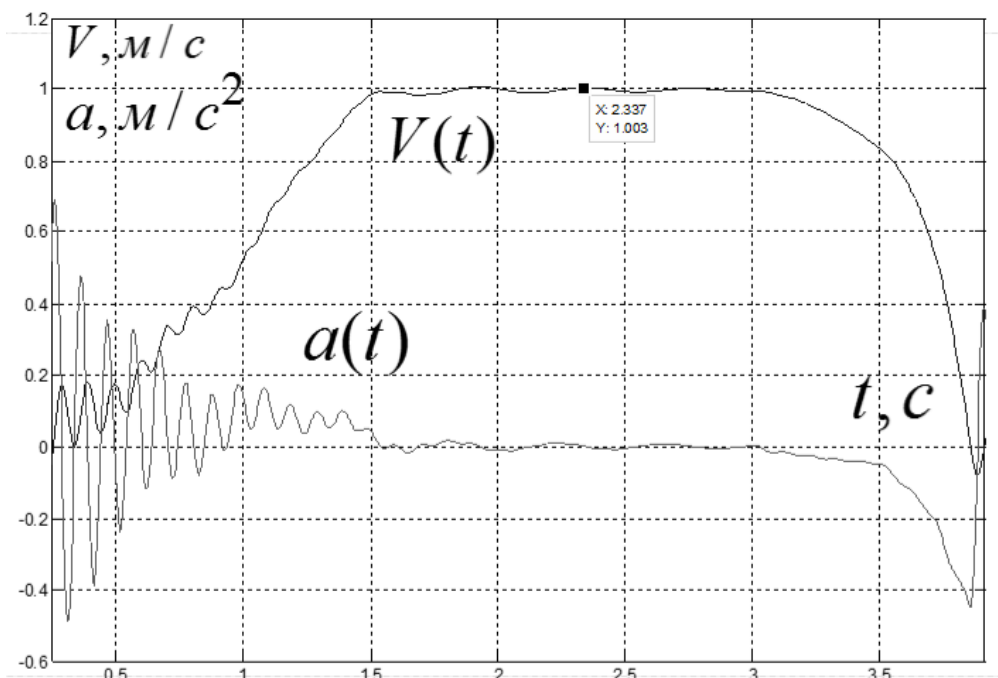


Рисунок 48 – Ускорение и скорость кабины

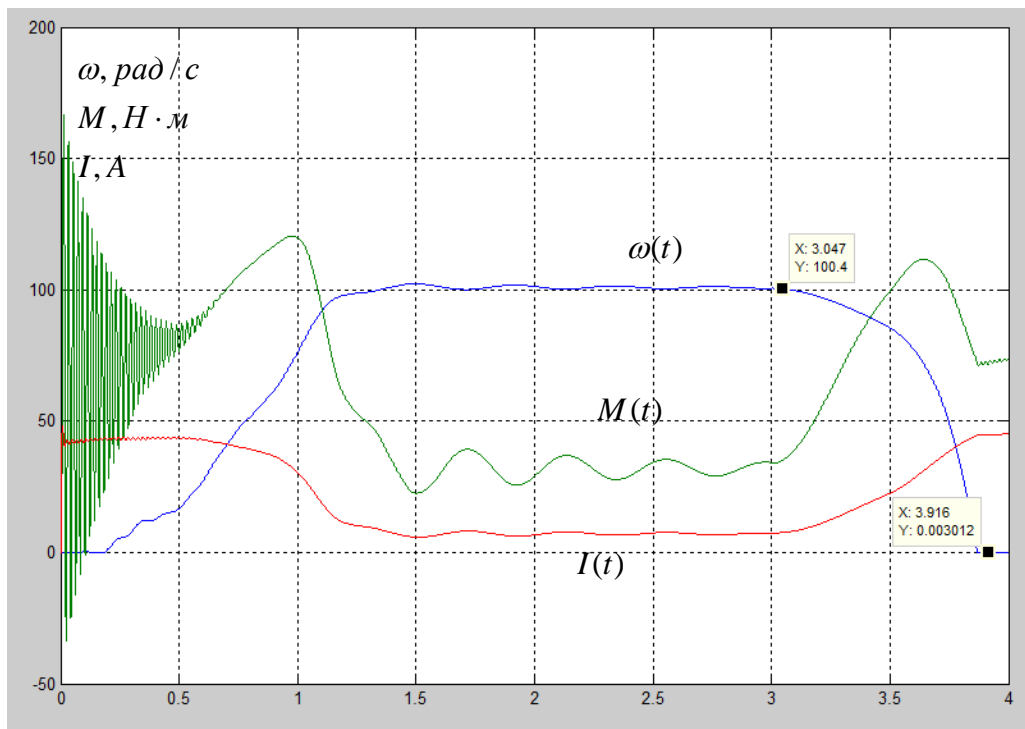


Рисунок 49 – Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса подъема кабины

На рис. 48 представлены переходные процессы ускорения и скорости кабины лифта. Из полученных данных видно, что скорость кабины устанавливается до требуемого значения за 1,5 с. Ускорение кабины не превышает допустимого значения 1,5 м/с<sup>2</sup>, что удовлетворяет необходимым требованиям, предъявляемым к пассажирским лифтам, с точки зрения комфорта и безопасности.

#### 4.9 Исследование электропривода лифта

После проверки работоспособности модели нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат в номинальном режиме работы, проверим работоспособность электропривода лифта на данной модели нормальных условиях работы.

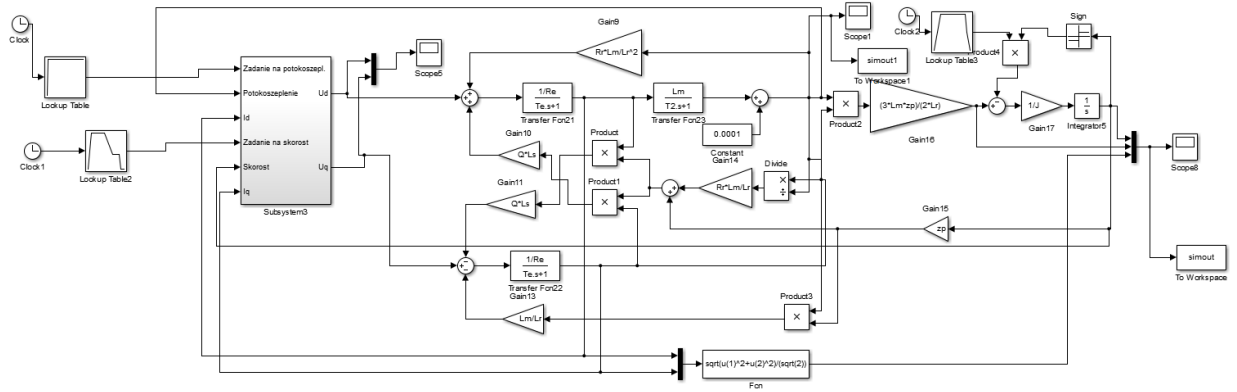


Рисунок 50 - Имитационная модель для исследования, режимов работы электропривода лифта в Matlab Simulink

1. Подъём кабины лифта. Цикл работы: разгон с 0 до требуемой скорости 100 рад/с, работа на требуемой скорости, торможение с требуемой скорости до пониженной 30 рад/с, работа на пониженной, торможение с пониженной до 0.

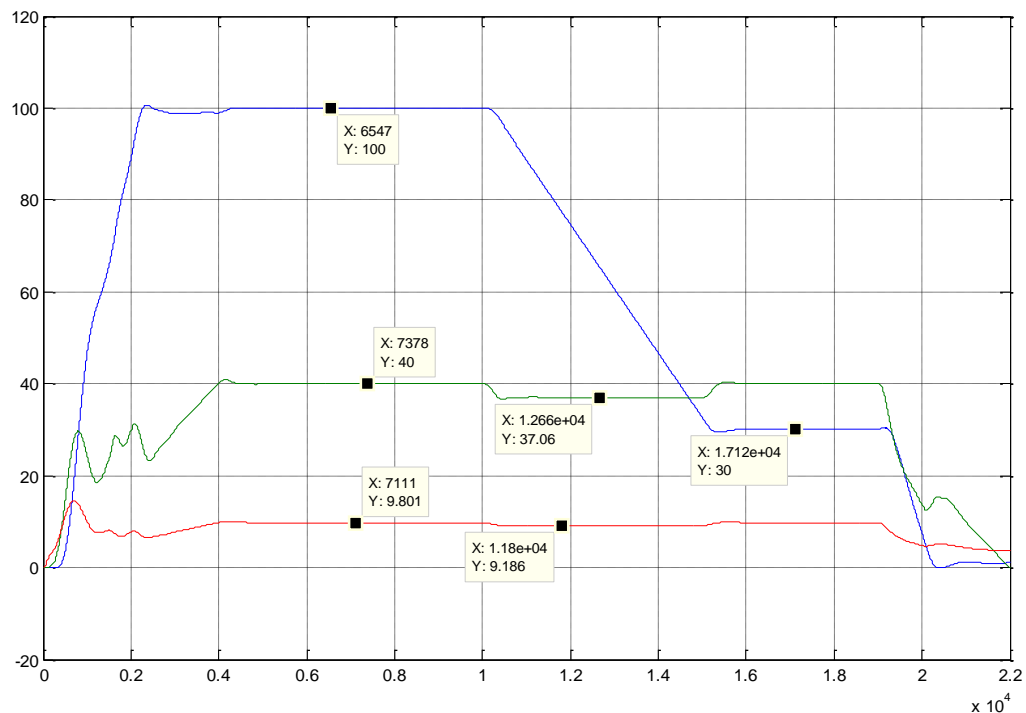


Рисунок 51 – Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса подъема кабины

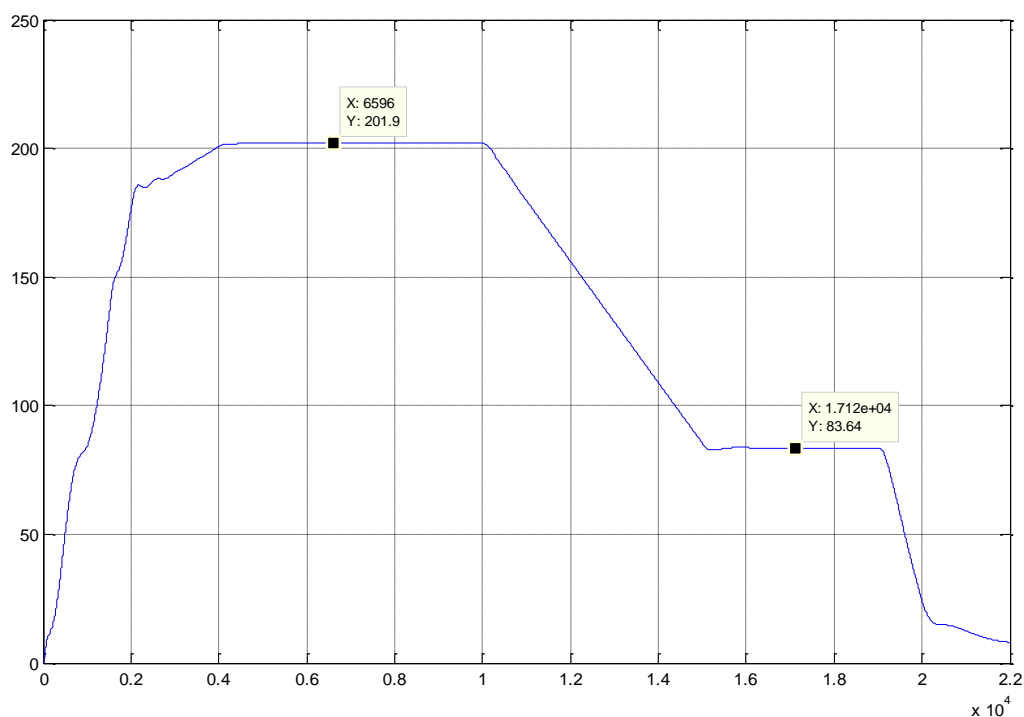


Рисунок 52 - График изменения напряжения на обмотках статора АД, при моделирование процесса подъёма кабины лифта

Как видно из графиков переходного процесса скорости при подъёме кабины лифта отрабатывает задание на скорость с нулевой ошибкой. Из графиков переходного процесса тока видно, что в установившихся режимах амплитудное значение тока практически соответствует номинальному  $I_n = 9,8$  А, а в переходных режимах максимальное амплитудное значение тока составляет 9,2 А. По графику изменения напряжения можно сказать, что подводимое напряжение на обмотке статора не превышает действующего значения фазного напряжения и максимальная его величина составляет 201,9 В.

2. Опускание кабины лифта. Цикл работы: разгон с 0 до требуемой скорости -100 рад/с, работа на требуемой скорости, торможение с требуемой скорости до пониженной -30 рад/с, работа на пониженной, торможение с пониженной до 0.

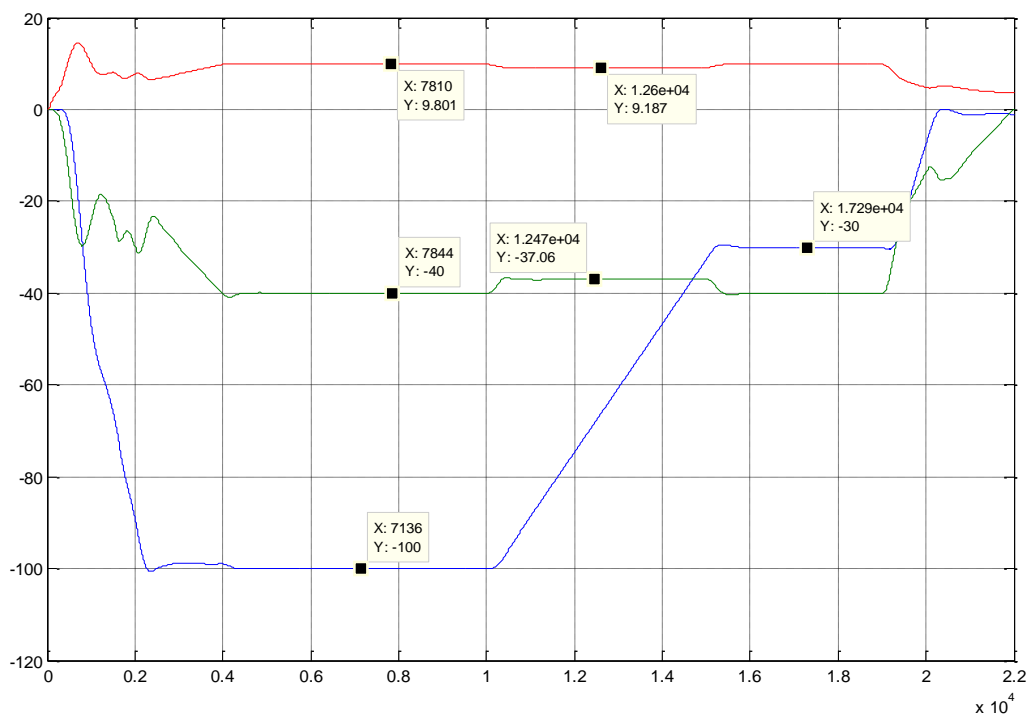


Рисунок 53 – Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса опускания кабины

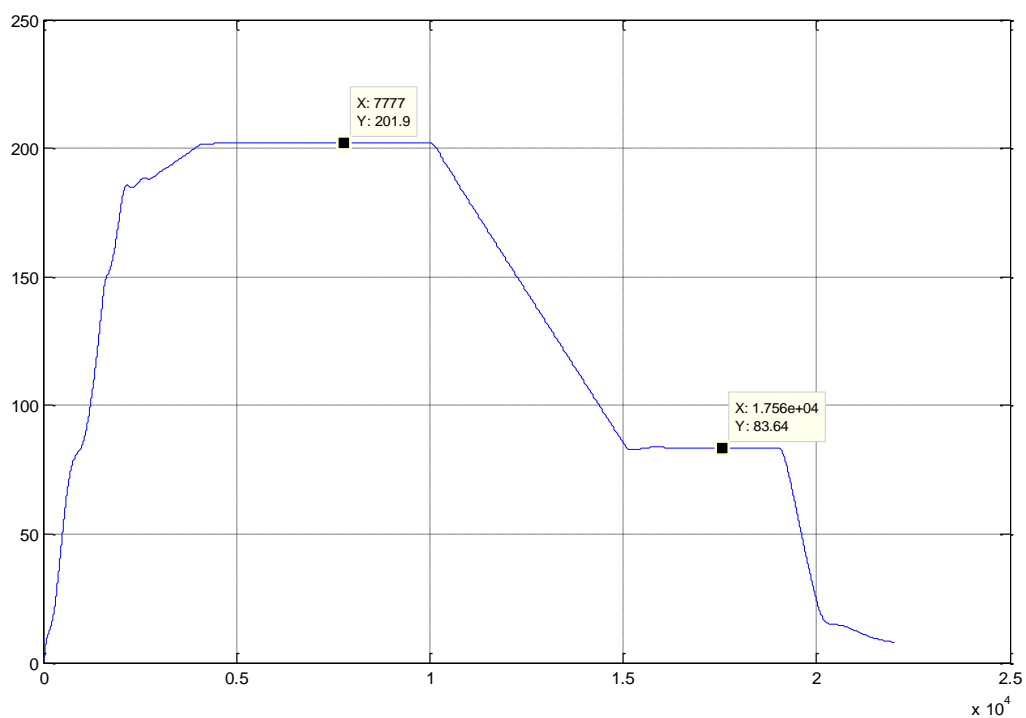


Рисунок 54 - График изменения напряжения на обмотках статора АД, при моделировании процесса опускания кабины лифта

Как видно из графиков переходного процесса скорости при опускании кабины лифта отрабатывает задание на скорость с нулевой ошибкой. Из

графиков переходного процесса тока видно, что в установившихся режимах амплитудное значение тока практически соответствует номинальному  $I_n = 9,8$  А, а в переходных режимах максимальное амплитудное значение тока составляет 9,2 А. По графику изменения напряжения можно сказать, что подводимое напряжение на обмотке статора не превышает действующего значения фазного напряжения и максимальная его величина составляет 201,9 В.



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

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗА1	Мишин Иван Андреевич

<b>Институт</b>	<b>Инженерная школа энергетики</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Электроэнергетика и электротехника</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Электроэнергетика и электротехника</b>

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

<i>1. Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Приблизительная сумма затрат на выполнение проекта составляет 1 миллион рублей, -В реализации проекта задействованы 5 человек: руководитель проекта, инженер-разработчик, 3 электромонтера;
<i>2. 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»
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- Отчисления во внебюджетные фонды – 30,2% от ФОТ

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, - Потенциальные потребители результатов НТП, - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
<i>2. Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	- Планирование работ по проекту, -Расчет бюджета затрат на проектирование, в т. ч. расчет капитальных вложений в основные средства
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение ресурсной и экономической эффективности исследования - Определение научно-технической эффективности

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5ГЗА1	Мишин Иван Андреевич		

## 5.1 Потенциальные потребители проекта. Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование

Потенциальными потребителями проекта являются жилые и офисные дома и комплексы, гостиницы и коттеджи. Данный проект был выполнен по заказу ООО «Кузнецклифт» для оказания жилищно-коммунальных услуг в жилых домах г. Новокузнецка.

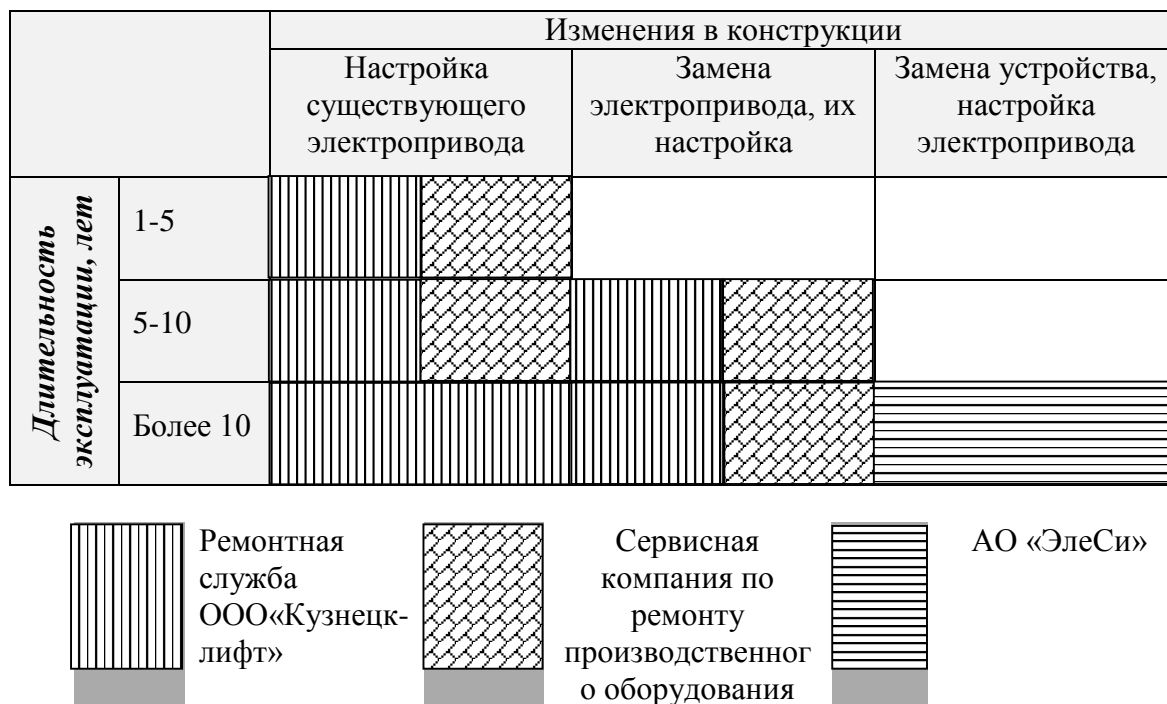


Рисунок 55. Карта сегментирования рынка услуг по разработке и внедрению в производстве электропривода.

## 5.2 Обоснование выбранного оборудования и принятого способа управления агрегатами.

При выборе ПЧ были рассмотрены варианты таких фирм как Omron, АВВАС, Веспер, ЭлеСи, но как видно ПЧ фирмы ЭлеСи при прочих равных дешевле.

Таблица 1 – Стоимость ПЧ

Производитель ПЧ	Стоимость
OmronA1000	48550
АВВАС880	53590
ВесперЕЗ-9100	42085
ЭлеСиESD-TCL-7,5	38200

## 5.3 Анализ и оценка научно-технической уровня проекта

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i * П_i = 0,6*9+0,4*6+0,2*10+0,2*4= 10,6.$$

где Уровень новизны ( $k_1 = 0,6$ ) - сравнительно высокий НТУ ( $П_1 = 9$ ); Теоретический уровень ( $k_2 = 0,4$ ) - разработка способа (алгоритм, устройство, программы) ( $П_2 = 6$ ); Возможность реализации ( $k_{3,4} = 0,2$ ) - в течение первых лет ( $П_3 = 10$ ); в масштабах отрасли ( $П_4 = 4$ ).

10,6 - достаточно высокий научно-технический уровень значимости и эффективности проекта.

## 5.4 Анализ конкурентных технических решений

Таблица 2 – Параметры рассматриваемых систем

	Варианты		Прим.
	Суш/ая СУ	СУ на базе ПЧ АО «ЭлеСи»	
1. составных частей	4	2	
2. Число типов элементов	4	2	
3. Ориг/х элементов	2	2	
4. Стоимость покупных компл/х		Стоимость в 2 раза больше	Снижение эн/потр.
5. Показатели надежности		Плавное изменение производительности, защита от механических перегрузок. Защита от перегрузки, от к.з. на землю, сверхтоков, тепловая защита двигателя, токоограничение и ограничение перенапряжения.	Отсут. щеточного аппарата
6. Питание:			
а) вид	U=380 В	U=380 В	
б) мощность	P=4 кВт	P=4 кВт	
7. Габариты		Меньше в 2 раза	
8. Масса		Легче в 2 раза	

Сравнение вариантов представленных на рынке.

Таблица 3 – Коэффициенты весомости критериев сравнения

Преобразователь частоты	Критерий сравнения					
	Ур.кап. вложений	ур. надежн.	ур. обслуживания	завыш. мощность и эл/прив. а	ур. экспл. затрат	генер. помех
ЭлесиESD-TCL-7,5	0,5	0,7	1	0,8	0,7	0,9
OmronA1000	0,7	0,8	1	0,7	0,8	0,9
ABBACS880	0,9	0,9	1	0,7	0,9	0,9
ВесперE3-9100	0,6	0,7	1	0,8	0,8	0,9

## 5.5 Планирование комплекса работ на создание проекта

### 5.1.1 Планирование проектных работ

$$T_{pi} = \frac{t_{ож}i}{\chi_i},$$

Где  $T_{pi}$  - продолжительности работы в рабочих днях;  $t_{ож}$  – ожидаемое время выполнения работ;  $\chi_i$  – число, одновременно работающих исполнителей на данном этапе.

Таблица 4 – Продолжительность проектных работ

№	Содержание работ	$t_{ож}$	$\chi_i$	$T_p$	$T_k$
1	Разработка технического задания на проектирование	3	2	1,5	2
2	Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	3	1	3	4
3	Описание объекта модернизации	10	2	5	7
4	Разработка структурной схемы ЭП	6	2	3	4
5	Кинематическая схема механизма	10	2	5	7
6	Расчет мощности и выбор электродвигателя	3	1	3	4
7	Выбор системы и алгоритма управления. Подбор оборудования для управления (ПЧ, контроллер, датчики)	7	2	3,5	5
8	Создание скалярных систем управления, согласно з. Костенко. Компенсация потерь.	8	2	4	6
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	11	2	5	7
10	Разработка программы имитационного моделирования	11	2	5,5	8
11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	7	2	3,5	5
12	Технико-экономические расчеты	8	2	4	6
13	Составление пояснительной записки	20,5	1	20,5	30
14	Разработка графического сопровождения проекта	7	2	3,5	5
	Итого:	116,5		70	100

Длительность этапов в календарных днях:

$$T_{ki} = T_{pi} * k,$$

$$\text{где: } k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}},$$

где:  $T_{кг}$  – количество календарных дней в году;  $T_{вд}$  – количество выходных дней в году;  $T_{пд}$  – количество праздничных дней в году;

Таблица 5 – Календарный план разработки проекта

#	Вид работы	Исполнители	T <sub>к</sub>	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Разработка технического задания на проектирование	Руководитель, Инж.-разраб.	2	■				
2	Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	Инж.-разраб.	4	■				
3	Описание объекта модернизации	Руководитель, Инж.-разраб.	7	■	■			
4	Разработка структурной схемы ЭП	Руководитель, Инж.-разраб.	4	■	■			

Продолжение таблицы 5 – Календарный план разработки проекта

5	Кинематическая схема механизма	Руководитель, Инж.-разраб.	7		■			
6	Расчет мощности и выбор эл.двигателя	Инж.-разраб.	4		■			
7	Выбор системы и алгоритма управления. Подбор оборудования для управления (ПЧ, контроллер, датчики)	Руководитель, Инж.-разраб.	5		■			
8	Создание скалярных систем управления, согласно з. Костенко. Компенсация потерь.	Руководитель, Инж.-разраб.	6		■			
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Руководитель, Инж.-разраб.	7		■			
10	Разработка программы имитационного моделирования	Руководитель, Инж.-разраб.	8		■			
11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Руководитель, Инж.-разраб.	5		■			
12	Технико-экономические расчеты	Руководитель, Инж.-разраб.	6		■			
13	Составление пояснительной записки	Инж.-разраб.	30			■	■	
14	Разработка графического сопровождения проекта	Руководитель, Инж.-разраб.	5				■	

■ - инженер – разработчик

■ - руководитель

### 5.1.2 Планирование пуско-наладочных работ (ПНР)

Таблица 6 – Содержание ПНР

№	Содержание работы	Исполнитель	Дни
1	1,1 ознакомление с документацией проекта;	- руководитель проекта; - бригада электромонтеров	3
	1,2 составление графика ПНР, а также графика испытаний и наладки объекта	- руководитель проекта; - бригада электромонтеров	7
	1,3 подготовка оборудования и инструмента	- бригада электромонтеров	3
	1,4 осмотр электрооборудования и проверка соответствия технических характеристик	- бригада электромонтеров	2
2	2,1 монтаж оборудования	- бригада электромонтеров	15

	2,2 настройка двигателя и системы в ПЧ	- бригада электромонтеров	5
	2,3 монтаж и проверка блокировок и сигнализации	- бригада электромонтеров	10
	2,4 проверка системы в холостую; снятие необходимых характеристик СУ	- руководитель проекта; - бригада электромонтеров	5
3	3,1 проверка системы управления под нагрузкой с пульта управления	- руководитель проекта; - бригада электромонтеров	5
	3,2 корректировка параметров СУ	- бригада электромонтеров	5
4	4,1 составление протоколов ПНР	- руководитель проекта; - бригада электромонтеров	3
	4,2 внесение корректировок в ПНР	- бригада электромонтеров	2
	4,3 сдача объекта в эксплуатацию	- руководитель проекта; - бригада электромонтеров	5

Таблица 7 – Календарный план ПНР

№	Содержание работы	Исполнители	T <sub>к</sub>	Июнь	Июль	Август
1	Ознакомление с документацией проекта; характеристик	-рук. проекта; -бр. монтеров	3			
	Составление графика ПНР, а также графика испытаний и наладки объекта	-рук. проекта; -бр. монтеров	7			
	Подготовка оборудования и инструмента	- бр. монтеров	3			
	Осмотр электрооборудования и проверка соответствия технических характеристик	- бр. монтеров	2			
2	Монтаж оборудования	- бр. монтеров	15			
	Настройка параметров двигателя и системы в преобразователе частоты	- бр. монтеров	5			
	Монтаж и проверка защитных блокировок и сигнализации	- бр. монтеров	10			
	Проверка системы управления без нагрузки (в холостую); снятие необходимых характеристик СУ	-рук. проекта; -бр. монтеров	5			
3	Проверка системы управления под нагрузкой с пульта управления	-рук. проекта; -бр. монтеров	5			
	корректировка параметров СУ	- бр. монтеров	5			
4	Составление протоколов ПНР	- бр. монтеров	3			
	Внесение изменений в ПНР, выявленных во время работ	-рук. проекта; -бр. монтеров	2			
	Сдача объекта в эксплуатацию	-рук. проекта; -бр. монтеров	5			

- бригада электромонтеров; - руководитель проекта.

## 5.6 Бюджет проектной работы

### 5.6.1 Расчет бюджета проектной работы

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1+k_T) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расхi},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при разработке проекта;  $N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при разработке проекта;  $C_i$  – цена  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов;  $k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15 % от стоимости).

Таблица 8 – Материальные затраты проектной работы

Наименование	Кол-во		Цена за ед., руб.		Затраты $Z_m$ , руб	
	1	2	1	2	1	2
Бумага печатная	200	-	1	-	230	-
Картридж	1	-	1000	-	1150	-
Тетрадь общая	1	1	50	50	57,5	57,5
Ручка	1	3	10	10	11,5	34,5
Мел	-	10	-	10	-	115
Литература	2	2	1000	1000	2300	2300
Итого					6256	

### 5.6.2 Расчет капитальных затрат

Таблица 9 – Капитальные затраты

№	Наименование	Цена за ед., руб.
1	- программное обеспечение;	15000
	- электродвигатель <sup>1</sup> ;	13680
	- преобразователь частоты <sup>2</sup> ;	38200
	- датчики <sup>3,4</sup> ;	11081
	- лифтовая станция <sup>5</sup> ;	50000
	- пускорегулирующая аппаратура	18120
	- прочие расходы (кабеля, изолирующие материалы, клеммы, метизы и др.)	10000
	Итого по разделу 1	156081
2	- стоимость монтажных и пусконаладочных работ (15% от р.1)	23412
3	- транспортные расходы (15% от р.1+р.2)	26924
	Общая стоимость проекта по закупке, монтажу и доставке оборудования	206417

<sup>1</sup><http://www.etm.ru/cat/nm/6475168/>

<sup>2</sup><http://elesy.ru/>

<sup>3</sup>[http://amitron.promportal.su/goods\\_1001968.htm](http://amitron.promportal.su/goods_1001968.htm)

<sup>4</sup><http://www.compel.ru/infosheet/LEM/LA55-P/>

<sup>5</sup><http://www.elprom-rit.com/production/lift/>

Расчет капитальных вложений проводился с учетом цен действительных на 16.02.18г.

Итоговая сумма капитальных затрат на приобретение необходимого оборудования составила 206417 руб.

### 5.6.3 Расчет заработной платы исполнителей проекта

Расчет основной заработной платы разработчика проекта:

$$ЗП_{\text{разр.}} = (З_{\text{ок}} + k_{\text{пр}} + k_{\text{с}}) * k_{\text{р}}(10450 + 3135 + 5000) * 1,3 = 24160,5 \text{ руб./мес.},$$

где  $З_{\text{ок}} = 10450$  руб. – оклад;  $k_{\text{пр}}$  – премия (30% от оклада);  $k_{\text{р}} = 1,3$  – районный коэффициент;  $k_{\text{с}} = 5000$  руб. – надбавка за разработку нового проекта.

Расчет дневной заработной платы разработчика проекта:

$$ЗП_{\text{разр.д.}} = \frac{ЗП_{\text{разр.}}}{F_{\text{д}}} = \frac{24160,5}{22} = 1098,2 \text{ руб./день.},$$

где  $F_{\text{д}} = 22$  дня – количество рабочих дней в месяце.

Расчет заработной платы разработчика проекта за период работы:

$$ЗП_{\text{разр.пер.}} = ЗП_{\text{разр.д.}} * F_{\text{пер}} = 1098,2 * 100 = 109820 \text{ руб.},$$

где  $F_{\text{пер}} = 100$  дней – период работы разработчика проекта.

Расчет основной заработной платы руководителя проекта:

$$ЗП_{\text{рук.}} = (З_{\text{ок}} + k_{\text{пр}} + k_{\text{с}}) * k_{\text{р}} = (14400 + 4320 + 5000) * 1,3 = 30836 \text{ руб./мес.}$$

Расчет дневной заработной платы руководителя проекта:

$$ЗП_{\text{рук.д.}} = \frac{ЗП_{\text{рук.}}}{F_{\text{д}}} = \frac{30836}{22} = 1401,6 \text{ руб./день}$$

Расчет заработной платы руководителя проекта за период работы:

$$ЗП_{\text{разр.пер.}} = ЗП_{\text{разр.д.}} * F_{\text{пер}} = 1401,6 * 170 = 238272 \text{ руб.},$$

где  $F_{\text{пер}} = 170$  дней – период работы руководителя проекта;

Расчет основной заработной платы электромонтера 5 разряда:

$$ЗП_{\text{эл.5р.}} = (З_{\text{ок}} + k_{\text{пр}} + k_{\text{б}}) * k_{\text{р}}(12330 + 3699 + 3000) * 1,3 = 24737,7 \text{ руб./мес.},$$

где  $k_{\text{б}} = 3000$  руб. – надбавка за руководство бригадой;

Расчет дневной заработной платы электромонтера 5 разряда:

$$ЗП_{\text{эл.5р.д.}} = \frac{ЗП_{\text{эл.5р.}}}{F_{\text{д}}} = \frac{24737,7}{22} = 1124,4 \text{ руб./день.}$$

Расчет заработной платы электромонтера 5 разряда за период работы:

$$ЗП_{\text{эл.5р.пер.}} = ЗП_{\text{эл.5р.д.}} * F_{\text{пер}} = 1124,4 * 70 = 78708 \text{ руб.},$$

где  $F_{\text{пер}} = 70$  дней – период работы электромонтера 5р.;

Расчет основной заработной платы электромонтера 4 разряда:

$$ЗП_{\text{эл.4р.}} = (З_{\text{ок}} + k_{\text{пр}} + k_{\text{сл}}) * k_{\text{р}} = (10450 + 3135 + 1500) * 1,3 = 19610,5 \text{ руб./мес.},$$

где  $k_{\text{сл}} = 1500$  руб. – надбавка за сложность работы;

Расчет дневной заработной платы электромонтера 4 разряда:

$$ЗП_{\text{эл.4р.д.}} = \frac{ЗП_{\text{эл.4р.}}}{F_{\text{д}}} = \frac{19610,5}{22} = 891,4 \text{ руб./день.}$$

Расчет заработной платы электромонтера 4 разряда за период работы:

$$ЗП_{\text{эл.4р.пер.}} = ЗП_{\text{эл.4р.д.}} * F_{\text{пер}} = 891,4 * 70 = 62398 \text{ руб.}$$

Т.к. электромонтеров 4 разряда двое, то их оплата за весь период работы будет составлять 124796 руб.

В таблице 31 приведены данные о заработной плате всех исполнителей проекта:



Таблица 10 – Заработная плата исполнителей проекта

Должность	Основная з.п., руб.	Дневная з.п., руб.	З.п. за период, руб.
Инженер – разработчик	24160,5	1098,2	109820
Руководитель проекта	30836	1401,6	238272
Эл.монтер 5 р.	24737,7	1124,4	78708
Эл.монтер 4 р.	19610,5	891,4	62398
Эл.монтер 4 р.	19610,5	891,4	62398
Итого			551596

Таким образом, на заработную плату всех исполнителей проекта необходимо выделить 551596 руб..

### 5.6.4 Расчет пенсионных и страховых отчислений

$$З_{внеб} = k_{внеб} * ЗП_{об} = 0,3 * 551596 = 165478,8 \text{ руб.},$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату пенсионных и страховых отчислений (в 2016 году  $k_{внеб} = 30,2\%$ );  $ЗП_{об} = 551596$  руб. – заработная плата всех исполнителей за весь период разработки и монтажа;

### 5.6.5 Расчет накладных расходов

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = (З_м + З_к + ЗП_{об} + З_{внеб}) * k_{нр} = (6256 + 206417 + 551596 + 165478,8) * 0,16 = 148760 \text{ руб.},$$

где  $k_{нр} = 16\%$  - коэффициент учитывающий накладные расходы;

### 5.7 Формирование бюджета по монтажу и ПНР лифта

Таблица 11 – общая стоимость затрат по монтажу и ПНР

№	Наименование затрат	Сумма затрат, руб.
1	Бюджет проектной работы	6256
2	Капитальные затраты	206417
3	Заработная плата исполнителей	551596
4	Отчисления во внебюджетные фонды (30,2% от п.3)	165478,8
5	Накладные расходы (16 % от п.1+...+4)	148760
6	Прибыль монтажной организации (8% от п.3+...+5)	69267
7	Итого	1147775

### 5.8 Расчет расходов при эксплуатации электропривода

Силовая электроэнергия рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} * F_{\text{д}} * k_{\text{м}} * k_{\text{е}} * k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} * k_{\text{с}}} = \frac{4 * 3750 * 0,7 * 0,7 * 0,8}{0,93 * 0,95} = 6655 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $P_{\text{уст}}$  – мощность установленного оборудования, кВт;  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;  $k_{\text{м}}$  – коэф. одновременного использования электродвигателей (0.7);  $k_{\text{в}}$  – коэф. использования оборудования по машинному времени (0.7);  $k_{\text{з}}$  – средний коэф. загрузки оборудования (0.8);  $k_{\text{с}}$  – коэф., учитывающий потери в сети (0.93);  $k_{\text{дв}}$  – коэф., учитывающий потери в двигателях (0.95).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} * C_{\text{э}} = 6655 * 2,05 = 13642,75 \text{ руб./год.},$$

где  $C_{\text{э}}$  – стоимость одного кВт·ч электроэнергии для промышленных предприятий.

## 5.9 Расчет амортизационных отчислений

$$A_{\text{год}} = K * \frac{H_{\text{А}}}{100},$$

где  $K$  – капитальные вложения в электрооборудование;  $H_{\text{А}}$  – проценты отчислений на амортизацию.

Для электродвигателей :  $A_{\text{год}} = 13680 * \frac{9,6}{100} = 1313,3 \text{ руб.}$

Для преобразователя частоты:  $A_{\text{год}} = 38200 * \frac{3,5}{100} = 1337 \text{ руб.}$

Для общей системы электропривода:  $A_{\text{год}} = 206417 * \frac{9,6}{100} = 19816 \text{ руб.}$

## 5.10 Расчет заработной платы обслуживающего персонала

Оклад дежурного электромонтера 5 р., обслуживающего лифты, составляет 12330 руб.

Расчет основной заработной платы электромонтера 5 разряда:

$$ЗП_{\text{осн}} = (З_{\text{ок}} + k_{\text{пр}} + k_{\text{с}}) * k_{\text{р}} = (12330 + 3699 + 3000) * 1,3 = 24737,7 \text{ руб./мес.}$$

где  $k_{\text{с}} = 3000 \text{ руб.}$  – надбавка за стаж;

Расчет дневной заработной платы электромонтера 5 разряда:

$$ЗП_{\text{осн.д.}} = \frac{ЗП_{\text{осн.}}}{F_{\text{д}}} = \frac{24737,7}{22} = 1124,4 \text{ руб./день.}$$

Расчет заработной платы электромонтера 5 разряда за период работы:

$$ЗП_{\text{осн.г.}} = ЗП_{\text{осн.д.}} * F_{\text{пер}} = 1124,4 * 247 = 277726,8 \text{ руб./год.}$$

где  $F_{\text{пер}} = 247 \text{ дней}$  – период работы электромонтера 5 р.;

Расчет дополнительной платы электромонтера 5 разряда:

$$ЗП_{\text{доп.}} = 0,15 * ЗП_{\text{осн.г.}} = 0,15 * 277726,8 = 41659 \text{ руб.}$$

Итого заработная плата электромонтера 5 р. обслуживающего лифты в год составляет:

$$ЗП_{\text{пол.}} = ЗП_{\text{осн.}} + ЗП_{\text{доп.}} = 277726,8 + 41659 = 319385,8 \text{ руб./год.}$$

## 5.11 Расчет общей суммы эксплуатационных расходов

$$P_{\text{общ.}} = C_{\text{эл}} + A_{\text{год}} + 3П_{\text{пол}},$$

$$P_{\text{общ.}} = 13642,75 + 22791,2 + 319385,8 = 355819,75 \text{ руб./год.}$$

Общие эксплуатационные расходы в год 355819,75 руб./год.

## 5.12. Определение ресурсосберегающей и экономической эффективности проекта

### 5.12.1 Расчет интегрального финансового показателя

Интегральный финансовый показатель рассчитывается на основании таблицы 1 по формуле:  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р.}i}}{\Phi_{\text{max}}}$ , где  $\Phi_{\text{р.}i}$  – стоимость итого варианта исполнения;  $\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения проекта;

### 5.12.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

$$I_{\text{р}i} = \sum a^i * b^i,$$

где  $a^i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $b^i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки (устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания)

Таблица 12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Критерии	Весовой коэф.	Элеси	Веспер	Omron	ABB
Простота и удобство эксплуатации	0,15	10	10	10	10
Помехоустойчивость	0,15	9	8	8	7
Энергосбережение	0,25	10	10	10	10
Надежность	0,2	10	10	10	10
Ремонтопригодность	0,15	10	10	10	10
Материалоемкость	0,1	10	9	8	6
Итого	1	9,85	9,6	9,5	9,15

### 5.12.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения проекта

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{\text{р-исп.}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}},$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp,i} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.max}},$$

Таблица 13 – Сравнительная эффективность проекта

№	Показатель	Элеси	Веспер	Omron	ABB
1	Интегральный финансовый показатель проекта	0,955	0,958	0,964	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности проекта	9,85	9,6	9,5	9,15
3	Интегральный показатель эффективности проекта	10,31	10,02	9,85	9,15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,97	0,95	0,89

Сравнение указывает на первый вариант исполнения, как наиболее эффективный.

#### Заключение

В экономической части ВКР подтверждена необходимость замены старой системы управления, и высокая эффективность системы частотного регулирования.

Также были составлены календарные планы работ. Составлена смета затрат. Величина затрат на реализацию проекта составила 1184120,4 рублей.

По итогам сравнения наиболее эффективным получается электропривод с преобразователем частоты Элеси ESD-TCL-7.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А1	Мишин Иван Андреевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является частотно-регулируемый электропривод лифта. Лифт предназначен для подъема и спуска людей и (или) грузов в кабине.</i>
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.  1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.	<i>Вредными факторами являются:</i> 1. Превышение уровней шума; 2. Вибрация.  <i>Опасными факторами являются:</i> 1. Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования; 2. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	- Анализ воздействия объекта на окружающую среду.
<b>3. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	-Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. -Организация и охрана труда
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	- Перечень возможных ЧС на объекте; - Пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5г3а1	Мишин Иван Андреевич		

## **6. Социальная ответственность**

### **Введение**

Социальная ответственность (socialresponsibility) - ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения;
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется в ее взаимоотношениях. [15]

Тема дипломного проекта является частотно-регулируемый электропривод лифта.

Данный проект подходит для пассажирских лифтов, где регулирование скорости подъема кабины лифта осуществляется при помощи релейно-контакторной системы управления на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Не смотря на простоту данного метода, он имеет ряд существенных недостатков: низкую энергетическую эффективность, низкий КПД установки, а также ведет к увеличению механических нагрузок на установку.

В связи с этим данный проект решает вопрос о модернизации системы управления и электропривода подъема кабины лифта.

Электропривод лифта должен обеспечивать надёжную, безопасную и непрерывную работу в течение всего срока эксплуатации. В качестве основного элемента электропривода используется частотный преобразователь марки ESD-TCL производства российской фирмы «ЭЛЕСИ» и лифтовая станция серии СУЛ производства фирмы «ЭЛПРОМ», представленная в виде шкафного изделия с микроконтроллером и электронных аппаратов.

### **6.1. Техногенная безопасность**

Обзор возможных вредных производственных факторов произведём по стандартам, определяющим степень учёта их важности.

ГОСТ 12.2.007.0-75 распространяется на электротехнические изделия и устанавливает требования безопасности, предотвращающие или уменьшающие до допустимого уровня воздействие на человека следующих факторов, связанных с такими изделиями: электрического тока; электрической искры и дуги; движущихся частей изделия; частей изделия, нагреваемых до высоких температур; опасных и вредных материалов; используемых в конструкции изделия, а также опасных и вредных веществ, выделяющихся при его эксплуатации; шума и ультразвука; вибрации; электромагнитных полей, теплового, оптического и рентгеновского излучения.

Данный стандарт устанавливает также требования, снижающие вероятность возникновения пожара от: электрической искры и дуги; частей изделия, нагреваемых до высоких температур, в том числе от воздействия электромагнитных полей; применения пожароопасных материалов, используемых в изделии, выделяющих опасные и вредные вещества при эксплуатации и хранении.

### **6.2 Производственный шум**

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека. Согласно ГОСТ 22011-95 [2] допустимый уровень звука при установившемся движении 55 дБ, при открывании и закрывании дверей 60 дБ. По частотной

характеристике создаваемые шумы можно отнести к низкочастотным ( $f_{ст} < 250$  Гц).

Для снижения шума в производственных помещениях применяют различные методы:

- уменьшение уровня шума в источнике его возникновения;
- звукопоглощение и звукоизоляция;
- рациональное размещение оборудования и балансировка вращающихся частей.

Для ослабления шума в помещениях их внутренние поверхности облицовывают и обивают звукопоглощающими материалами.

### **6.3 Вибрация**

Вибрация - является вредным производственным фактором. Измерение вибрации производится прибором ВШВ-003, снабженным датчиком вибрации. Нормативным документом, рассматривающим уровни вибрации для различных категорий рабочих мест, служебных помещений является ГОСТ 12.1.003-88.

Согласно [3] виброскорость пола кабины при установившемся движении кабины  $0,06 \cdot 10^{-2}$  м/с.

Методы борьбы с вибрацией:

- установлением причин появления механических колебаний и их устранением;
- использование эффекта вибродемпфирования – превращение энергии механических колебаний в другие виды энергии;
- использование виброгасящих фундаментов для оборудования;
- применение виброизоляторов из резины, пробки, стальных пружин;

Согласно методическим указаниям [6] анализируем факторы рабочей зоны на предмет опасных проявлений.



## 6.4 Электробезопасность

Цепи сети, включая нулевой вывод, не должны быть соединены с доступными токопроводящими частями. Измерительные и управляющие цепи, предназначенные для подсоединения к опасным плавающим напряжениям, не должны быть соединены с доступными для прикосания токопроводящими частями прибора. Измерительные и управляющие цепи, соединенные с доступными для прикосания токопроводящими частями или недостаточно изолированные от них, а также изолированные выходные цепи с напряжением до 42В должны быть изолированы от цепей сети или других цепей с опасным напряжением: воздушными зазорами, путями утечки и компонентами по II классу защиты или воздушными зазорами, путями утечки и компонентам по I классу защиты и защитным экраном, соединенным с защитным заземлением. Внутренние цепи» имеющие части под опасным напряжением должны быть изолировать от частей, доступных для прикосания в соответствии с требованиями классов защиты I или II и должны быть расположены так, чтобы случайное ослабление проводов не явилось причиной появления опасного напряжения на частях, доступных для прикосания.

Сопротивление изоляции для приборов класса защиты I и II между закороченными цепями сети или эквивалентными им цепями изолированными от корпуса, с одной стороны и другими цепями, доступными для прикосания извне и корпусом прибора - с другой стороны, при рабочем напряжении до 500 В должно быть, МОм не менее: 2 - для основной изоляции приборов; 5 - для дополнительной изоляции; 7 - для усиленной изоляции, а также для двойной изоляции, при невозможности проведения испытания ее составных частей.

Изоляция электрическая гальванически разделенных цепей питания относительно корпуса и цепей входных - выходных сигналов в течение 1 минуты должны выдерживать напряжение синусоидальной формы 500В (при 24В), 1500 (при ПО и 220 В).

Минимальное сопротивление между цепями:

40 МОм - при нормальных условиях,

10 МОм - при верхнем значении температуры,

2 МОм - при верхнем значении влажности.

Значение тока утечки между каждым полюсом сети электропитания и всеми доступными для прикасания токопроводящим и частями, соединенными вместе, не должно превышать значений, приведенных в таблице 3 ГОСТ 26104-89.

### **6.5 Защита от механического повреждения**

При работе механизмов лифта возникает опасность механического повреждения при контакте человека с подвижными частями привода.

Для исключения возможности этого контакта применяют защитные кожухи и ограждения.

Для безопасной человека в кабине лифта применены все необходимые системы автоматики(концевые выключатели, настройка привода открывания двери, регулирование скорости движения и т.п.), отвечающие требованиям Правил [8]

### **6.6 Охрана окружающей среды**

Деграция окружающей среды - процесс, в результате которого снижается способность экосистем поддерживать постоянство качества жизни.

Предотвратить повреждение окружающей среды всегда намного проще и дешевле, чем пытаться восстановить уже разрушенные экосистемы. По этой причине правительственные программы, объявляющие своей целью "очистку окружающей среды", направлены обычно лишь на ограничение действующих источников загрязнения.

При работе электростанции на твердом топливе оказывает влияние на элементы среды:

- воздух: основные поставщики углекислого газа, сернистого ангидрида, оксидов азота, продуктов для кислых осадков, аэрозолей, сажи, загрязнение радиоактивными веществами, тяжелыми металлами;

- почва и грунты: загрязнение почв вблизи предприятий, загрязнение тяжелыми металлами, радиоактивными веществами, кислыми осадками.

- вода: тепловое и химическое загрязнение, загрязнение продуктами вымывания биогенов и ядовитых веществ (алюминий) из почв и грунтов;
- экосистема и человек: основной агент разрушения и гибели экосистем, особенно озер и хвойных лесов. Эвтрофикация вод и их цветение. На человека через загрязнение воздуха, воды, продуктов питания, разрушение природы, строений, памятников и т.п.

Пути решения проблем:

1. Использование и совершенствование очистных устройств.
2. Уменьшение поступления соединений серы в атмосферу, десульфация горючих видов топлива химическими или физическими методами.
3. Экономия электроэнергии, и как следствие, уменьшения или стабилизации поступления загрязнений в среду.
4. Уменьшить потери, связанные с передачей на расстояние.

Электрические сети высокого напряжения оказывают неблагоприятное влияние на техно- и биосферу.

Российская предельно-допустимая гигиеническая норма 10 мкТл внутри жилых помещений и 50 мкТл на территории зоны жилой застройки (СанПиН 2.1.2.1002-00). Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует придерживаться в качестве безопасного уровня 0,2 мкТл, учитывая относительную неизученность отдаленных последствий воздействия этого фактора.

Организационные мероприятия по защите от неблагоприятного влияния МП:

- зоны с уровнями МП превышающими предельно допустимые, где по условиям эксплуатации не требуется даже кратковременное пребывание персонала;

- осмотр электрооборудования, находящегося под напряжением должен осуществляться из зон с уровнями МП удовлетворяющими нормативным требованиям; ремонт электрооборудования следует производить вне зоны влияния МП.

К техническим относятся мероприятия, снижающие уровни МП на рабочих местах путем экранирования источников МП или рабочих мест. Экранирование должно осуществляться посредством материалов с высокой относительной магнитной постоянной или активных экранов.

Источником электрических полей промышленной частоты (ЭП ПЧ) являются токоведущие части действующих электроустановок, находящиеся под напряжением (линии электропередач, генераторы, трансформаторы и др.)

Нормы на предельно допустимые напряженности электрического поля (ЭП) на промышленной частоте для персонала установлены в ГОСТ 12.1.002 – 84;

- $E \geq 25$  кВ/м - пребывание в ЭП без средств защиты не допускается;
- $20 < E < 25$  кВ/м - пребывание в ЭП не более 10 минут;
- при  $5 < E \leq 20$  кВ/м допустимое время пребывания в ЭП вычисляют как  $T, \text{ часов} = (50/E)^{-2}$  ;
- $E \leq 5$  кВ/м пребывание в ЭП допускается в течение полного рабочего дня.

В целях защиты населения от воздействия электрического поля ВЛ устанавливаются санитарно-защитные зоны. Санитарно-защитной зоной является территория вдоль трассы ВЛ, в которой напряженность электрического поля превышает 1 кВ/м.

Основными видами средств коллективной защиты от воздействия электрического поля токов промышленной частоты являются экранирующие устройства - составная часть электрической установки, предназначенная для защиты персонала в открытых распределительных устройствах и на воздушных линиях электропередач.

## **6.7 Правовые и организационные мероприятия обеспечения безопасности**

С целью поддержания системы электропривода в исправном и работоспособном состоянии на протяжении всего срока эксплуатации, предусмотрены следующие мероприятия:

- обслуживание лифта осуществляется лифтером и включает в себя проведение ежемесячных осмотров лифта;

- аварийно-технического обслуживания и модернизация лифта;
- ежегодное подготовка лифта в техническому освидетельствованию[8].

Обслуживание лифта должно проводиться электромехаником, лифтером, оператором в соответствии с производственными инструкциями и инструкцией по эксплуатации лифта.

При отсутствии диспетчерского пункта наличие оператора не требуется. Допускается возлагать обязанности лифтера на электромеханика.

## **6.8 Защита в чрезвычайных ситуациях**

### **Пожарная безопасность**

Кабины грузовых лифтов со сплошными дверями, кроме лифтов с наружным управлением, а также кабины пассажирских лифтов для жилых и общественных зданий и зданий промышленных предприятий должны иметь естественную вентиляцию.

Кабины пассажирских, больничных и грузовых лифтов (с проводником) со сплошными дверями в тропическом исполнении должны иметь естественную и принудительную вентиляцию.

Пассажирские лифты с автоматическими дверями со скоростью 1,0 м/с и более должны иметь режим работы "пожарная опасность", включающийся в работу по сигналу от систем автоматической пожарной сигнализации здания и обеспечивающий, независимо от загрузки и направления движения кабины, возвращение ее на основную посадочную площадку, открытие и удержание в открытом положении дверей кабины и шахты.

Облицовку купе кабины, плафоны, настилы полов, а также кнопки приказов и вызывных постов следует изготавливать из негорючих или трудногорючих материалов.

В крыше кабины лифта, используемого для перевозки пожарных подразделений, должен быть предусмотрен люк размером не менее 700x500 мм. Люк должен быть оборудован выключателем, контролирующим его запираение.

Двери шахты лифта должны быть противопожарными второго типа и соответствовать требованиям СНиП 2.01.02 (разделы 3 и 4).

Предел огнестойкости дверей шахты пассажирского лифта для жилых зданий со скоростью до 1,0 м/с включительно не устанавливается.

Двери шахты грузовых лифтов допускается не оснащать устройством для самозакрывания.

Грузовые малые лифты с двумя остановками допускается исполнять в металлокаркасной шахте с ограждением из металлических листов. При этом противопожарные требования к шахтным дверям не предъявляются.

При технических неисправностях или стихийных бедствиях (землетрясение, наводнение и т.д.) для безопасности человека в лифте применены следующие выключатели безопасности, отвечающие требованиям Правил [8]:

- концевые (п. 6.4.9);
- закрытия двери кабины (п. 5.5.21);
- замка двери перегородки кабины (п. 3.6);
- замка аварийной двери кабины (п. 5.5.26);
- закрытия двери шахты (п. 5.1.29);
- автоматического или неавтоматического замков двери шахты (п. 5.1.29);
- закрытия аварийной двери шахты (п. 5.1.32);
- замка аварийной двери шахты (п. 5.1.32);
- проема обслуживания шахты (п. 4.2.8);
- закрытия двери приямка (п. 4.2.25);
- замка люка кабины (п. 5.5.28);
- закрытия люка тротуарного лифта (п. 5.2.6);
- автоматического замка люка тротуарного лифта (п. 5.2.6);

- загрузки кабины (п. 6.4.25) ;
- перегрузки кабины (п. 6.4.18);
- ограничителя скорости (п. п. 5.8.3, 5.8.4);
- ловителей (п. 5.7.11);
- слабины тяговых канатов (цепей) (п. 6.4.29);
- натяжного устройства уравнивающих канатов (п. 6.4.31);
- натяжного устройства каната ограничителя скорости (п. 5.8.5);
- устройства ручного привода лебедки (п. 5.4.8);
- тормоза безредукторной лебедки (п. 5.4.15);
- убирающегося упора в приямке (п. 4.2.22);
- гидравлического буфера (п. 5.9.7);
- приямка (п. 6.4.37);
- кнопка "Стоп" (п. 6.4.36 с учетом требований п. 6.3.4)

### **Заключение по социальной ответственности**

Сложная проблема производства энергии и сохранения окружающей среды волнует всех людей и в первую очередь специалистов и ученых, которые предлагают разные способы ее решения.

В моей работе рассмотрен яркий пример того как можно улучшить состояние окружающей среды. Разрабатываемая система управления электроприводом является энергосберегающей. Привод с регулируемой частотой вращения вала электродвигателя может также работать в "режиме ожидания", что снижает потребление электроэнергии, что в свою очередь связано с уменьшением воздействием на окружающую среду.

В системе предусмотрен также электромагнитный фильтр, который исключает образование помех другим электрическим системам здания и соответствует директивным указаниям по электромагнитной совместимости.

Изоляционные прокладки между подлѐбѐдными балками и стеной шахты сводят до минимума передачу вибраций к зданию от лифтовой системы.

Тем самым можно сказать, что работа является социально значимой для общества.



## Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка регулируемого электропривода лифта, который будет соответствовать техническим условиям и требованиям; качественная и количественная оценка динамических процессов, происходящих в электромеханической системе лифта.

Для достижения поставленных задач, создания современной и надежной системы управления технологическим процессом, первым шагом в работе было подробное изучение протекания технологического процесса и особенностей, требований и условий работы лифта.

Для повышения надежности работы лифта разработана трехуровневая структура комплекса технических средств. Произведен расчет и выбор основного оборудования системы.

Следующим этапом работы было создание динамической модели АД во вращающейся системе координат для расчета переходных процессов. Проанализировав результаты моделирования можно сказать о том, что модель ведет себя адекватно. Номинальная скорость, ток и момент соответствует расчетным величинам скорости и момента.

Были собраны модели для оптимизации и настройке контуров регулирования электропривода.

Также была создана динамическая модель лифта. Скорость подъема кабины соответствует техническому заданию.

На основании модели двигателя во вращающейся системе координат и модели лифта разрабатываем имитационную модель нелинейного электропривода лифта с учетом нелинейностей и ограничений на выходе регуляторов. На данной модели проверена работоспособность разработанного электропривода.

Проанализировав работу привода лифта, можно сказать о том, что при отработке полученных заданий отсутствуют броски тока и момента, скорость

выходит на номинальную без существенной ошибки, т.е. исследуемый электропривод полностью соответствует предъявляемым требованиям.

Проанализировав выше сказанное можно сказать о том, что поставленные цели и задачи были достигнуты. Результаты, полученные при выполнении данной работы могут с успехом применяться при разработки новых и модернизации существующих лифтов.

Также в данной работе были рассмотрены основные вопросы социальной ответственности проекта и рассчитана смета капитальных затрат.

## Список использованных источников

1. Автоматизация технологических процессов. Компания ЭЛЕСИ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elesy.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
2. ГОСТ 22011-95. Лифты пассажирские и грузовые. Технические условия. - Введ. 1997 - 01 - 01. - Минск: Изд-во стандартов, 1995. (Межгосударственные стандарты).
3. ГОСТ 22011-95 Лифты пассажирские и грузовые. Технические условия
4. Исследование переходных процессов в электромеханической системе пассажирского лифта с использованием программной системы Matlab. С.В. Бондарев, Ю.П. Горбатенко, О.В. Загора.
5. Лифты. Учебник для вузов /под общей ред. Д.П.Волкова - М.: изд-во АСВ, 1999. - 480 стр. с илл.
6. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистров всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ На/Сост. Ю.В.Бородин, В.Н.Извеков, Е.В.Ларионова, А.М.Плахов. - То Томск: Изд - во Томского политехнического универ-та, 2014. – 20 с.
7. Нагрузка кранов. Григорьев Н.И. –М. –Л. : Машиностроение, 1964.
8. Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов: ПБ 10-558-03: утв. Ростехнадзором России 16.05.03 : обязат. для всех м-в, ведомств, предприятий и орг., независимо от их орг.-правовой формы и формы собственности, а также для индивидуал, предпринимателей. - СПб. :ДЕАН, 2005. - 172 с.: ил.
9. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 354 с.
10. Производственно-технический центр «Привод» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.reductor58.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

11. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 476с.
12. Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 6. — Механическая система электропривода постоянного тока : Учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. - Томск: Изд-во Том. политех, ун-та, 2004. - 144 с.: ил. - Библиогр.: с. 140.
13. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213с.
14. ЭЛПРО-М [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elprom-it.com/>, свободный. – Загл. с экрана.
15. ICCSR26000 : 2011 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ. ТРЕБОВАНИЯ
16. ИЕК [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.iek.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
17. LEM [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.lem.com/ru/ru>, свободный. – Загл. с экрана.
18. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
- 19 Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
20. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
21. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

## **Conclusion**

The purpose of this final qualification work is development of the adjustable electric drive of the elevator which will conform to specifications and requirements; a quality and quantitative standard of the dynamic processes happening in electromechanical system of the elevator.

For achievement of objectives, creation of a modern and reliable control system of technological process, the first step in work there was a detailed studying of course of technological process and features, requirements and operating conditions of the elevator.

The three-level structure of a complex of technical means is developed for increase of reliability of operation of the elevator. Calculation and the choice of the capital equipment of system is made.

Creation of dynamic model HELL in the rotating system of coordinates for calculation of transition processes was the following stage of work. Having analysed results of modeling it is possible to tell that the model behaves adequately. Rated speed, current and the moment corresponds to settlement sizes of speed and the moment.

Models for optimization and control of contours of regulation of the electric drive have been collected.

Also the dynamic model of the elevator has been created. Speed of raising of a cabin corresponds to the specification.

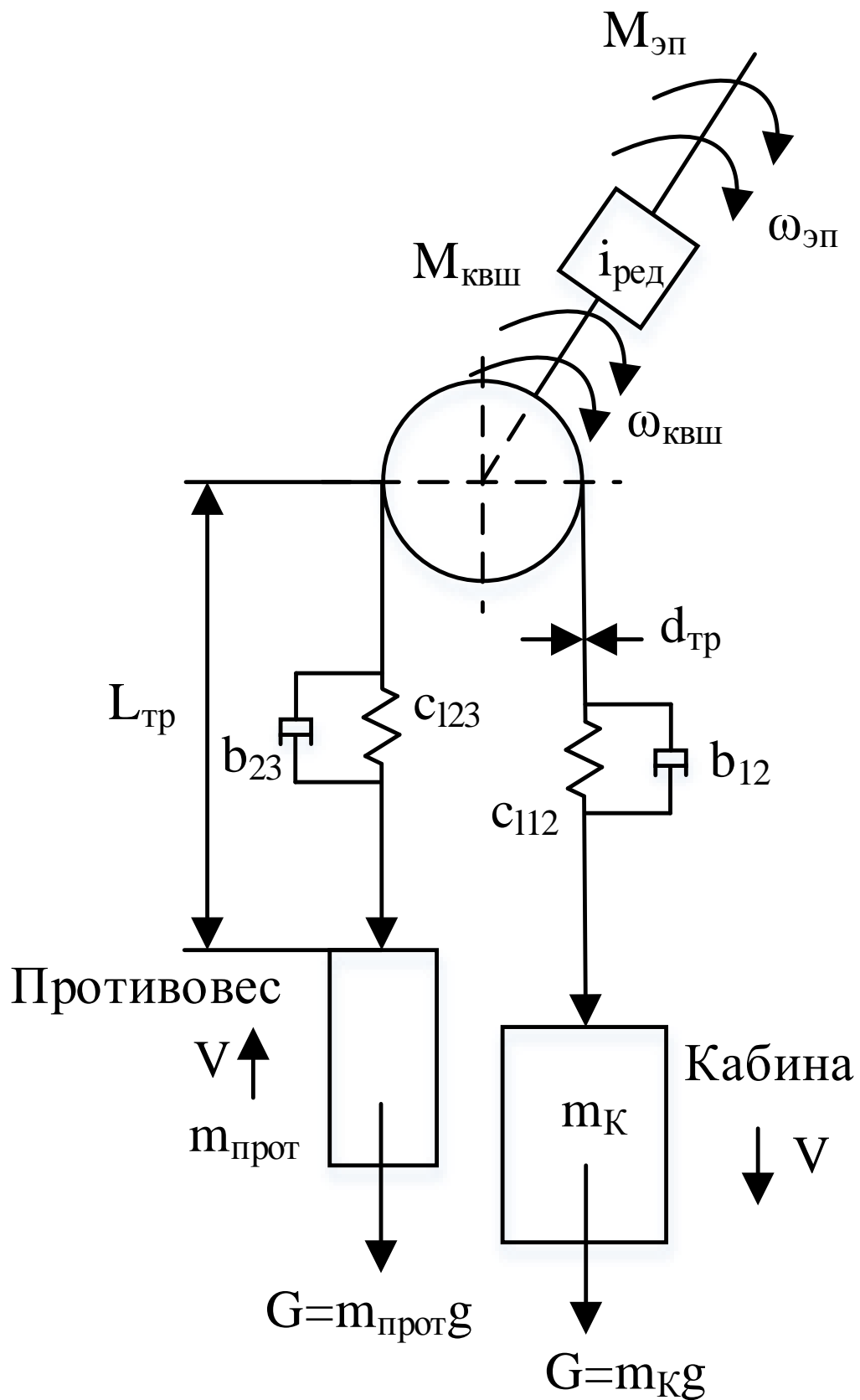
On the basis of engine model in the rotating system of coordinates and model of the elevator we develop imitating model of the nonlinear electric drive of the elevator taking into account not linearities and restrictions at the exit of regulators. On this model operability of the developed electric drive is checked.

Having analysed operation of the drive of the elevator, it is possible to tell that at working off of the received tasks there are no throws of current and the moment, speed leaves on nominal without essential mistake, i.e. the studied electric drive completely conforms to qualifying standards.

Having analysed above told it is possible to tell that goals and tasks have been reached. The results received when performing this work can be applied with success when developing new and modernizations of the existing elevators. Also in this work the main questions of social responsibility of the project have been considered and the estimate of capital expenditure is calculated.

## **Приложение А**

Графическая часть.



Упрощенная кинематическая схема лифта



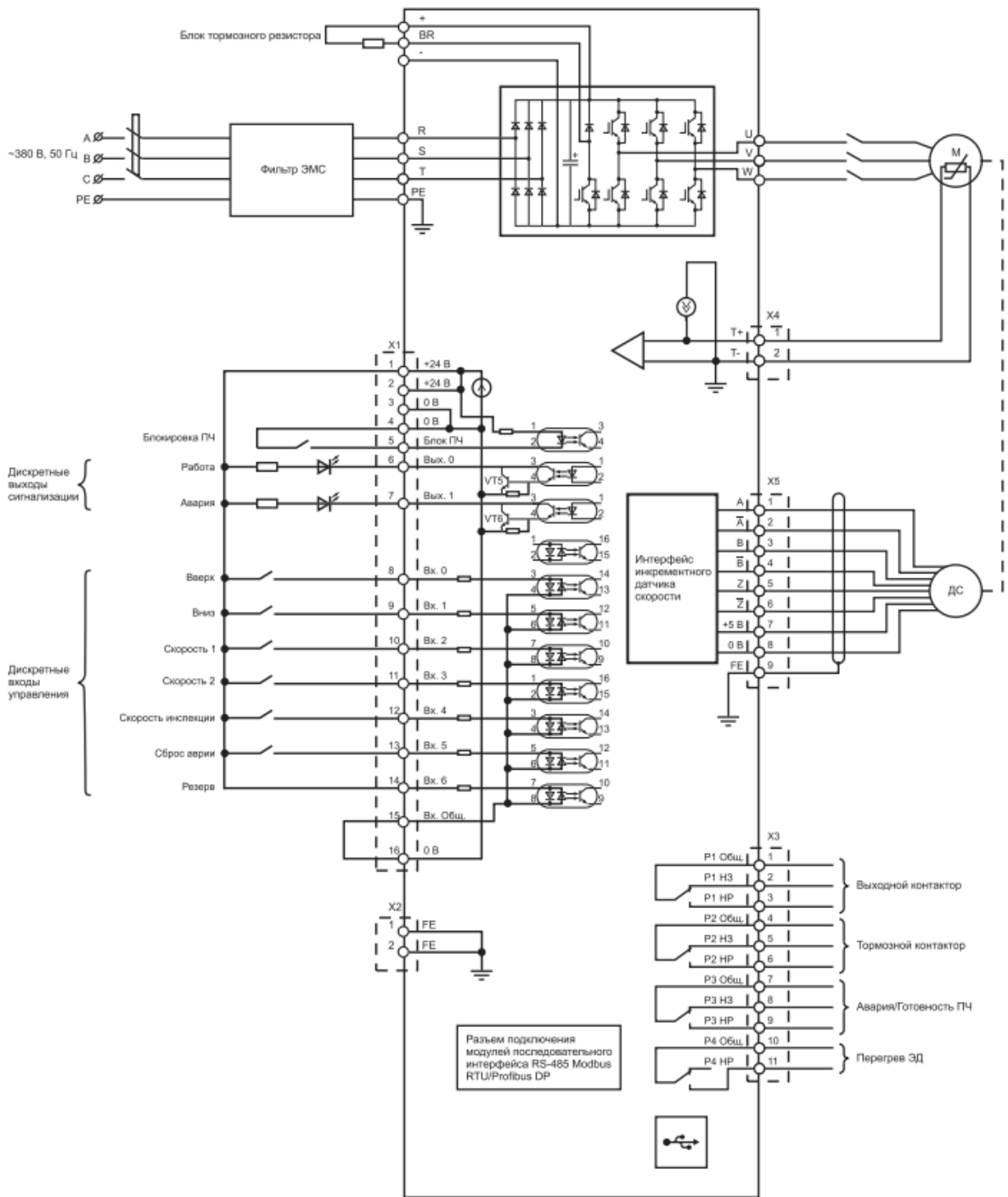
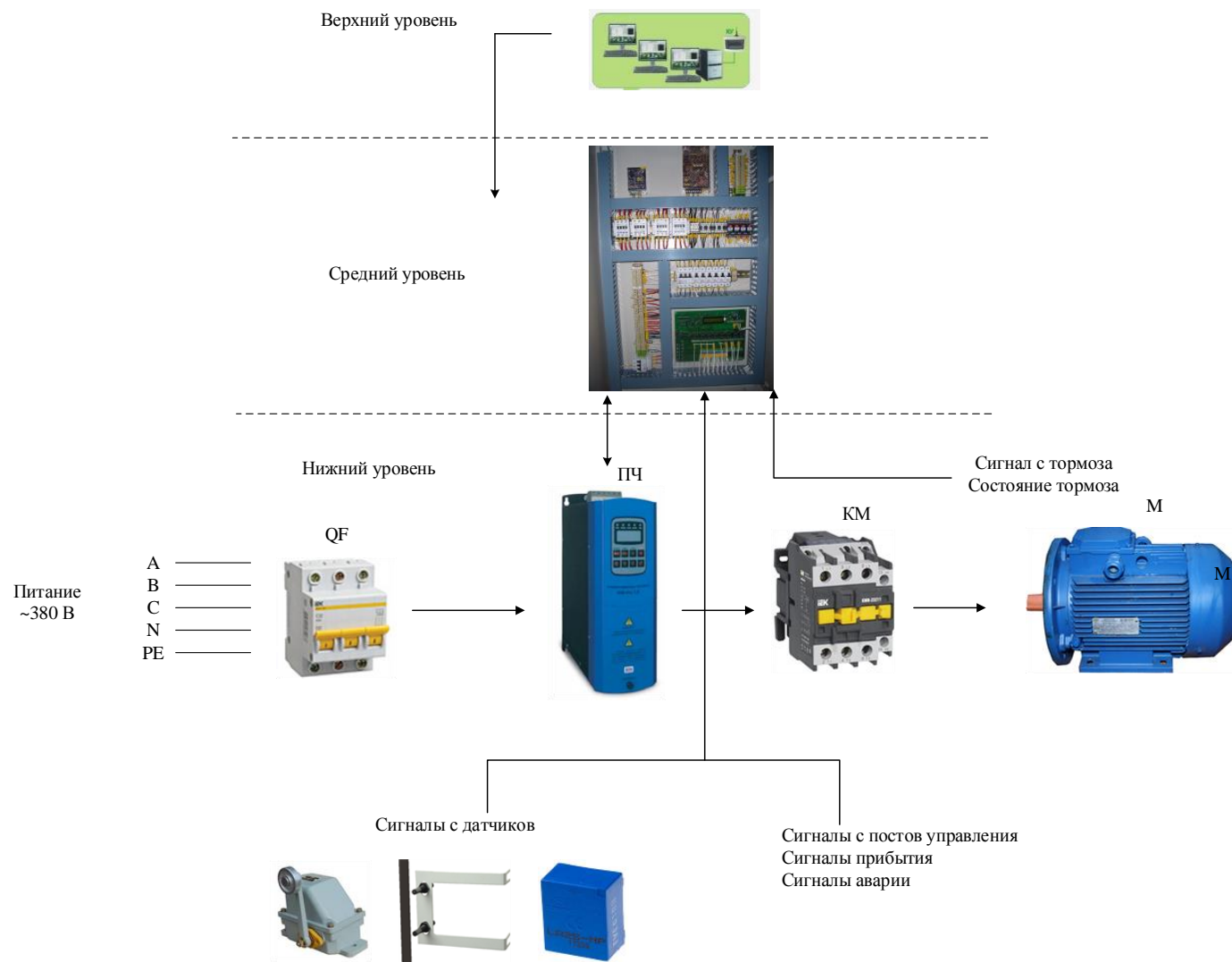
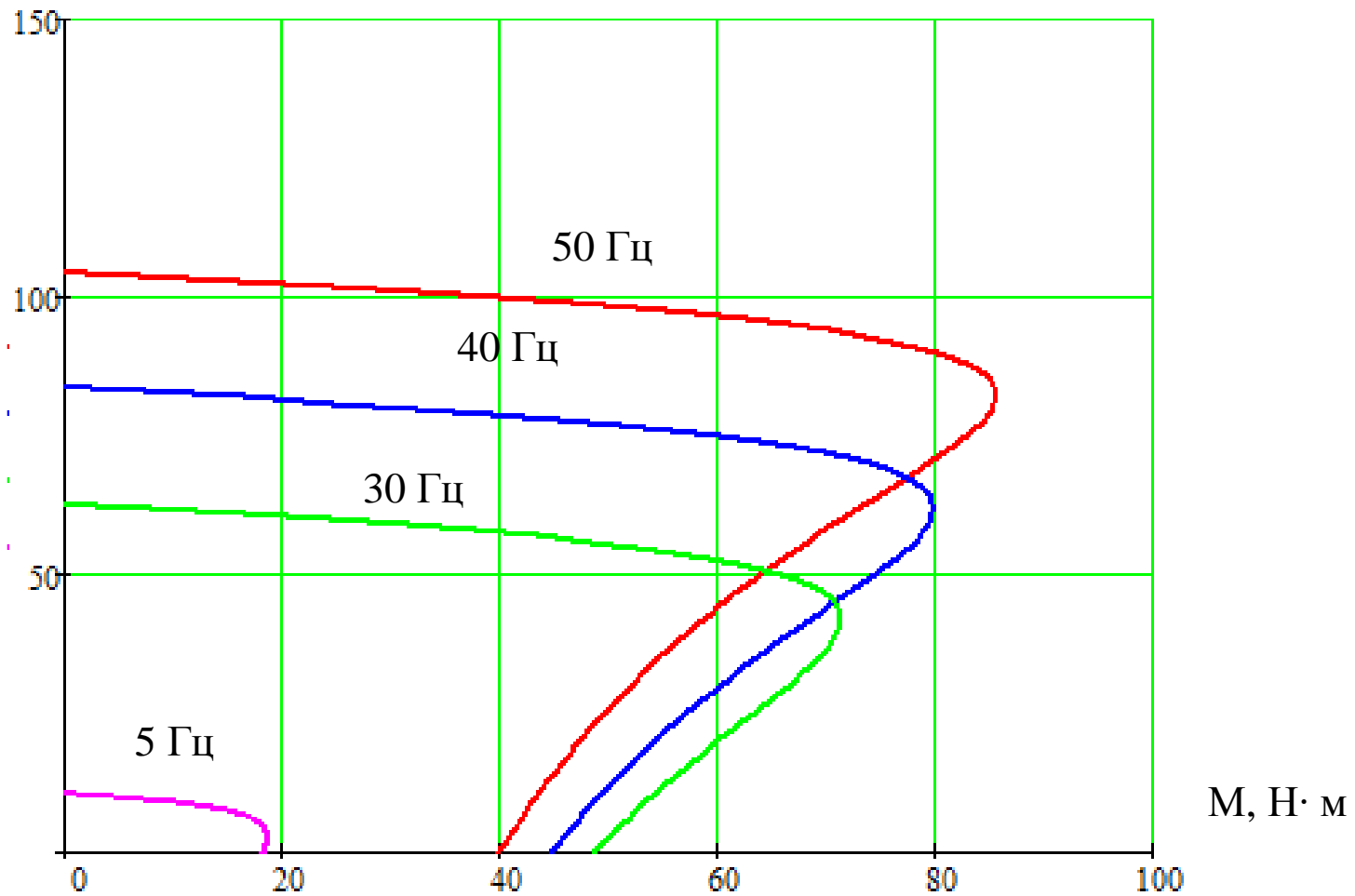


Схема подключений ПЧ

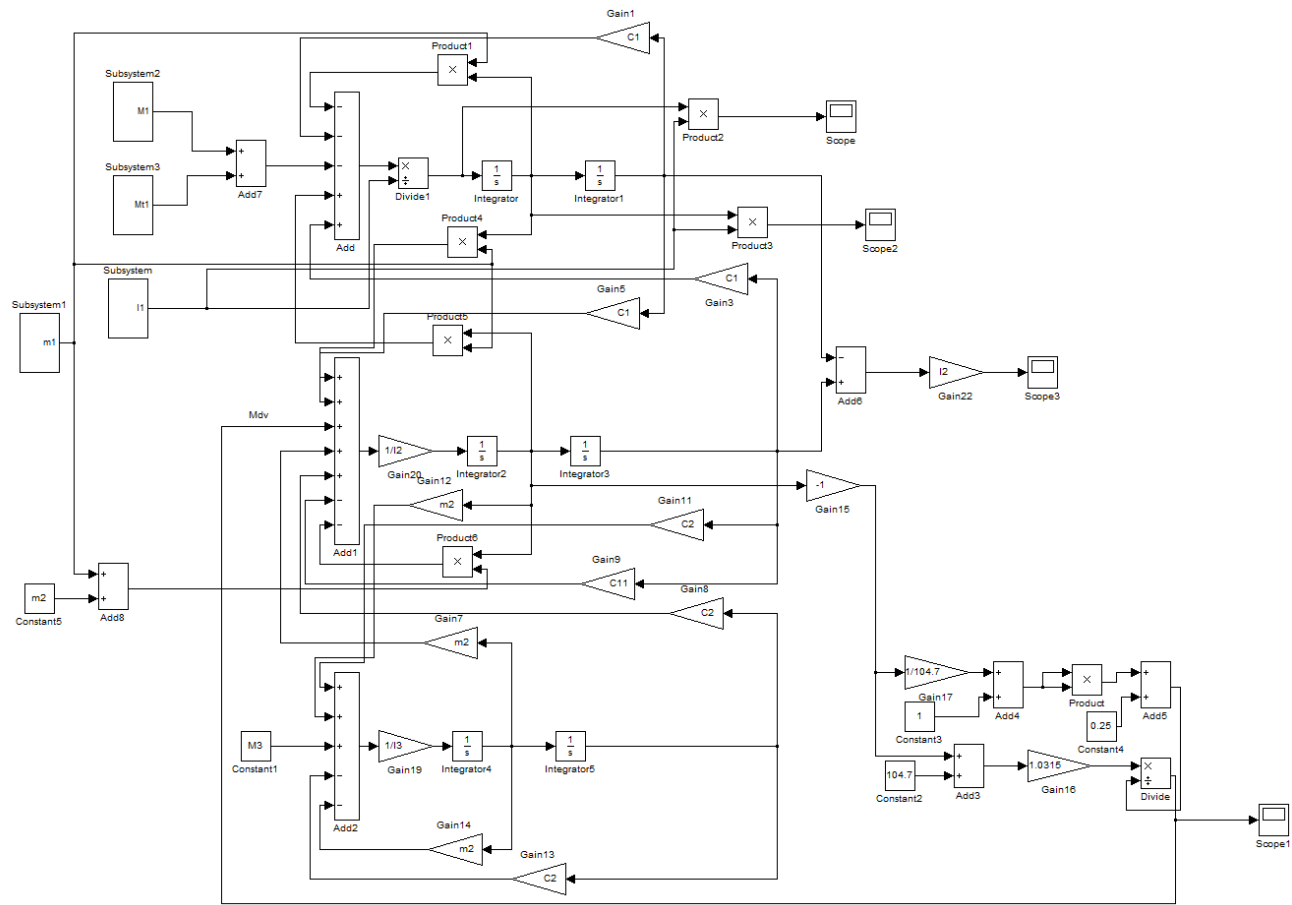


Блок схема соединения аппаратных средств

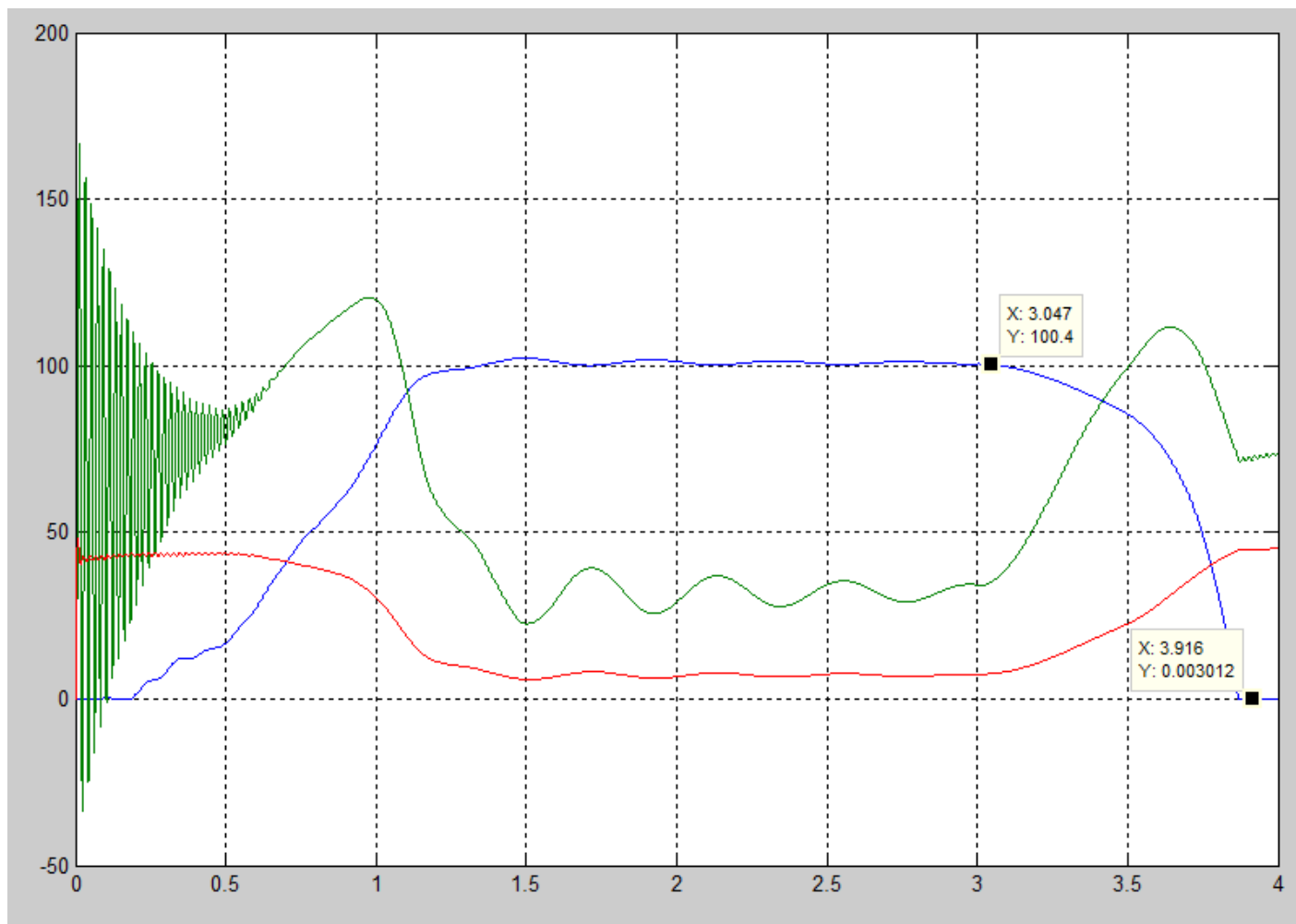
$\omega$ , рад/с



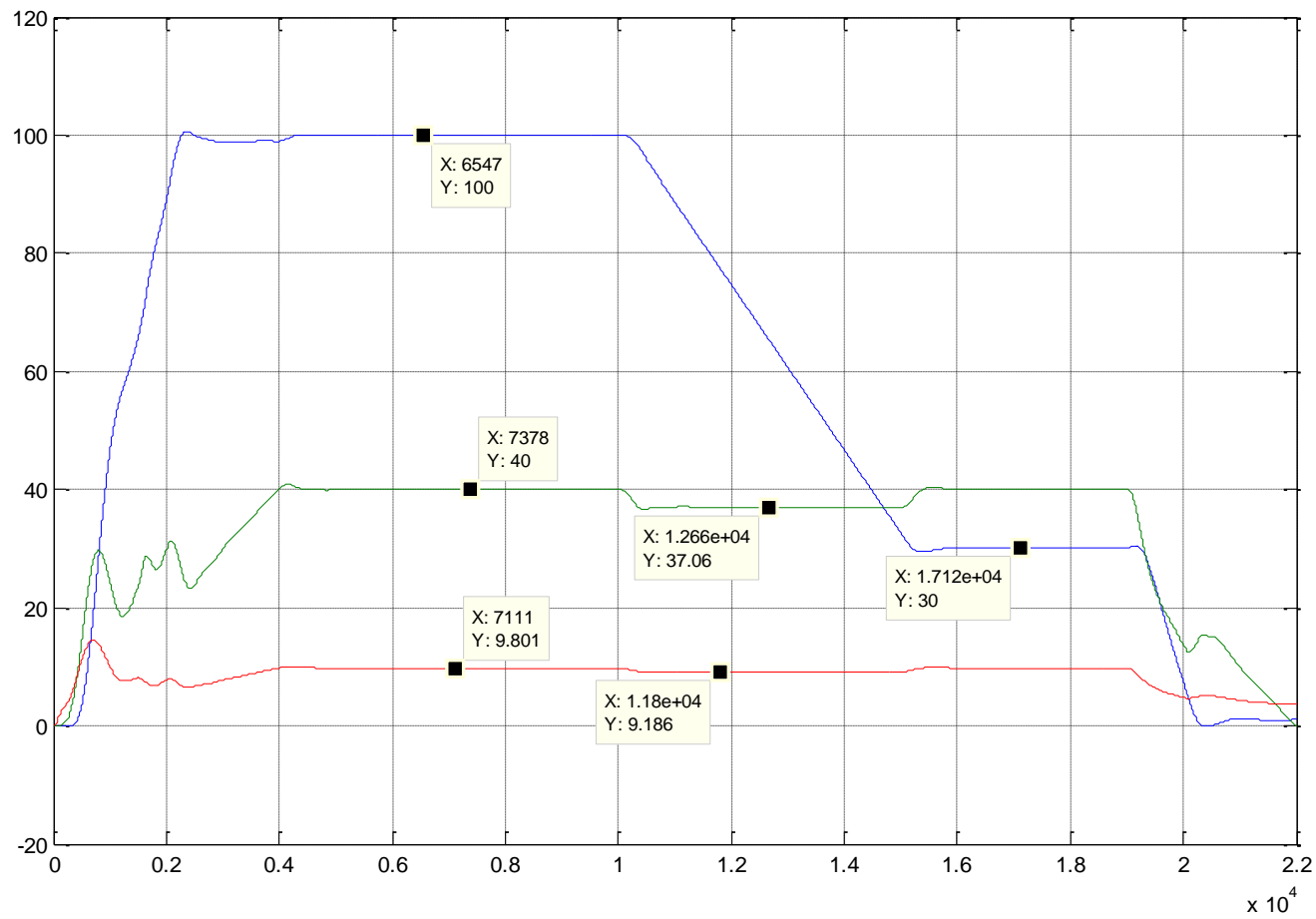
Механические характеристики  $M=f(\omega)$  при частотном регулировании скорости с законом регулирования  $U_{1j}/f_{1j}=\text{const}$



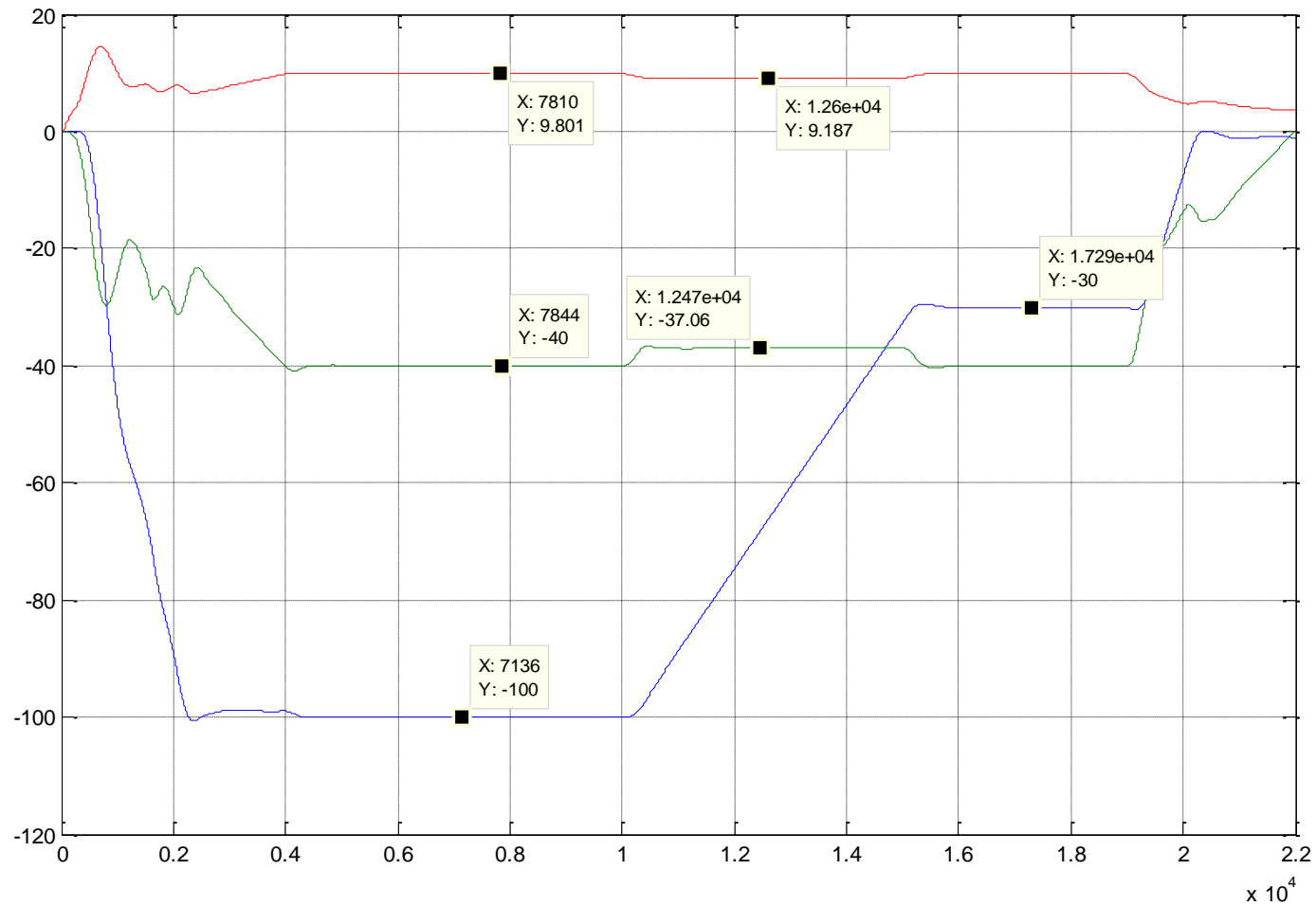
Схема, моделирующая пуск лифта собранная в среде Matlab Simulink



Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса подъема кабины



Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса подъема кабины



Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса опускания кабины

*Карта сегментирования рынка услуг по разработке и внедрению в производстве электропривода:*

		Изменения в конструкции		
		Настройка существующего электропривода	Замена электропривода, их настройка	Замена устройства, настройка электропривода
Длительность эксплуатации, лет	1-5	Ремонтная служба предприятия	Сервисная компания по ремонту производственного оборудования	
	5-10	Ремонтная служба предприятия	Сервисная компания по ремонту производственного оборудования	
	Более 10	Ремонтная служба предприятия	Сервисная компания по ремонту производственного оборудования	Фирма - производитель оборудования

Ремонтная служба предприятия

Сервисная компания по ремонту производственного оборудования

Фирма - производитель оборудования