

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Кафедра электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод лифта

УДК 62-83-523:621.876.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Железов Дмитрий Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф Сергей Владимирович	Кандидат технических наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Кафедра электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись)

Ю.Н. Дементьев

(Дата)

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Железов Дмитрий Сергеевич

Тема работы:

Асинхронный электропривод лифта

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1655/с от 09.03.2017г
---	-------------------------

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации на лифт
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	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.

Перечень графического материала	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	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф Сергей Владимирович	Кандидат технических наук		06.03.2017г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Железов Дмитрий Сергеевич		.

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из шести глав. Общий объем работы 138 с., включая 55 рисунка, 36 таблиц, 21 источников, 1 приложение.

Растущий парк механизмов подъемных вызывает улучшения средств внутреннего транспорта зданий в следствии нынешних научно-технических достижений. В настоящее время в нашей стране существует следующая проблема замены морально устаревшего оборудования лифтового с релейно-контакторной системой управления на более безопасную, надежную, и простой в эксплуатации систему управления лифтом. Как правило большинство электроприводов лифта представляют собой конструкцию, которая состоит из двигателя асинхронного с короткозамкнутым ротором, устройства тормозного, редуктора и схемой релейно-контакторного управления. В связи с бурным развитием микропроцессорной техники и систем частотно токовым-регулированием электропривода переменного тока, одним из способов решения проблемы выражается применение системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель. Регулирование скорости двигателей переменного тока путем изменением частоты напряжения подводимого к статору по существу весьма экономически эффективно и может обеспечить плавное регулирование в больших пределах. Для обеспечения этого способа регулирования скорости нужно устройство преобразовательное, которое позволит плавно регулировать частоту и по определенному закону изменять при этом напряжение тока переменного.

Целью данной работы выражается разработка регулируемого электропривода лифта.

Выпускная квалификационная работа выполнена с использованием текстового редактора Microsoft Word, также для расчетов использовалась программный продукт MathCad 14, среда Simulink прикладной программы MATLAB. Для обработки графиков и рисунков 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	16
2.1	Выбор электродвигателя лифта	16
2.2	Выбор преобразователя частоты	19
2.3	Выбор автоматического выключателя и пускателя	23
2.4	Выбор датчиков	25
2.5	Выбор станции управления лифтом	26
3.	Разработка функциональной схемы системы электропривода	31
4.	Математическое описание электропривода лифта	33
4.1	Расчет параметров схемы замещения электродвигателя	33
4.2	Расчет статических характеристик при частотном управлении	35
4.3	Динамическая модель АД во вращающейся системе координат для расчета переходных процессов	38
4.4	Расчет параметров преобразователя	44
4.5	Структурная схема линеаризованной САУ	44
4.6	Оптимизация контуров регулирования САУ электропривода	47
4.6.1	Оптимизация контура тока	47
4.6.2	Оптимизация контура потокосцепления	50
4.6.3	Оптимизация контура скорости	53

4.6.4 . Обработка контуром скорости возмущающих воздействий	56
4.7 Имитационное исследование САУ регулируемого электропривода с точной моделью двигателя	58
4.8 Математическое описание механической части лифта	65
4.9 Исследование электропривода лифта	69
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	75
5.1 Потенциальные потребители проекта. Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование	75
5.2 Обоснование выбранного оборудования и принятого способа управления агрегатами.	77
5.3 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта	78
5.4 Анализ конкурентных технических решений	80
5.5. Планирование комплекса работ на создание проекта	82
5.6. Бюджет проектной работы	94
5.7 Формирование бюджета по монтажу и ПНР лифта	100
5.8 Расчет расходов при эксплуатации электропривода	100
5.9 Расчет амортизационных отчислений	101
5.10 Расчет заработной платы обслуживающего персонала	101
5.11 Расчет общей суммы эксплуатационных расходов	103
5.12. Определение ресурсосберегающей и экономической эффективности проекта	101
6. Социальная ответственность	109
6.1. Введение	109
6.2. Техногенная безопасность	110
6.3. Производственный шум	110

6.4. Вибрация	111
6.5. Электробезопасность	112
6.6. Требования к защите от перегрева	113
6.7. Требования к механической прочности	114
6.8 Расчёт искусственного заземления	115
6.9. Охрана окружающей среды	119
6.10 Правовые и организационные мероприятия обеспечения безопасности	119
6.11. Защита в чрезвычайных ситуациях	120
Заключение	123
Список использованных источников	125
Приложение А	129

1. Общие вопросы проектирования

1.1 История развития лифтового электропривода

Формирование каждой сферы хозяйственной деятельности населения страны во все времена всегда формировалось побудительными факторами и достигнутым степенью технологических процессов.

Первоначальные упоминания о лифте существует в работах римского конструктора Ветрувия, что информирует о этом, что же Архимед создал грузоподъемный устройство, возможно, пока что в 236 г. вплоть до нашей эпохи. В писательских источниках больше запоздалого этапа упоминается о порталных приборах с кабиной, подвешенной в пеньковом тросе и сводимой в передвижение ручным способом либо с применением животной силы.

Таким (образом, в половине 6 столетия нашей эпохи подобного семейства подъемные аппарата использовались в Синайском монастыре Египта. В 13 столетии - в дворцовых и монастырских строениях Франции. В 17 столетии прототипы лифтов были в дворцовых строениях Великобритании (Виндзорский дворец) и Франции (планирующий стульчик Велайера в 1 с парижских замков). С половины 18 века лифты начали использоваться в РФ (лифты дворцовых сооружений Царского Села и имения Кусково). В 1795 г. И.П. Изобретатель сформировал подъемник с винтообразным устройством подъема с целью Зимнего Дворца. В 1816 г. подъемник был определен в Главном помещении подмосковной имения Архангельское.

Указанные ранее данные индивидуального выхода в свет лифтов никак не защищало какой-либо-или стойкой направленности формирования технической. Формирование отдельных стандартов подъемников с целью транспортировки человек имелось продиктовано прихотью зажиточных человек и креативным воображением изобретателей.

Хроника формирования лифтостроения действительно стартовала в завершении 19 и истоке 20 века в взаимосвязи с яростным формированием капитализма в Европе и Северной Америки. [5]

Концентрация крупных масс народонаселения в населенных пунктах и постоянно вырастающая цена территории повергло к постройке строений высокой этажности, что никак не имели возможность неплохо действовать без надежной системы внутреннего пассажирского и транспорта грузового.

К данному времени, в иных секторах экономики домашней работы, возникли довольно компактные источники машинной энергии: гидродвигатели, паровые автомобиля, моторы внутреннего сгорания и электрические автомобиля.

Металлургическая индустрия благополучно осваивала создание железного проката и металлических тросов. Благополучно формировалась электротехническая сфера, что овладела изготовлением частей конструкций лапидарной и телефонной взаимосвязи, что имели возможность стать базой с целью формирования релейно-контактной организации управления работой лифта.

Настойчивая необходимость в лифтовом оборудовании строений и построек в фоне активно формирующейся индустрии заложили настоящую базу становления лифтостроения.

Первоначальные подъемники, послужившие прообразом нынешних лифтов, возникли в АМЕРИКА в 1850 г. (подъемник Уотермена), в 1852 г. - подъемник Отиса с ловителями кабины, что подключались около обрыве веревочной подвески. В данный время кабины лифтов доводились в передвижение с пароводяной автомобиля и обладали вращающуюся лебедку. [5]

В 1867 г. возникли лифты с гидромеханическим приводом в варианте гидроцилиндра с плунжером, к какому напрямую хранилась лифт лифта. Использовались установки с противовесом и без противовеса.

Невысокая безопасность металлических тросов и настоящая угроза яра веревочной подвески провоцировала поиски плодотворных выводов достоверных приборов аварийного подключения ловителей кабины.

В 1878 г. в первый раз был придуман разграничитель быстроты, автоматом запускающий ловители рядом аварийном превышении быстроты перемещения кабины.

Одновременно с совершенствованием установки участков защищенности лифтов подходит отбор определенных конструкций привода. В замену паровым машинам и движкам внутреннего сгорания прибывает привод.

Ранее в 1880 в Германии возникает основной турбоэлектрический подъемник Сименса с реечным устройством роста и приводом непрерывного тока.

К основанию 20 века лифты с электроприводом взяли преобладающее статус со временем вытесняя лифты с иными режимами привода.

Последующее увеличение масштабов многоэтажной постройки в АМЕРИКА и система массового изготовления лифтов установили перед подозрение рациональность использования вращающихся лебедок, характеристики каковых значительно находились в зависимости с вышины роста кабины, что же безусловно мешало унификации установки лифтов и удерживало их массовое изготовление.

К окончанию 19 века находились сформированы лифтовые лебедки с канатоведущим шкивом (КВШ), в каковых портальное напряжение формироваться из-за расчет фрикционного взаимодействия тяговых тросов с ободком шкива. Данное открытие стало превосходной базой последующего улучшения установки лифтов.

Использование КВШ разрешило убрать полный серия важных трудностей. Появилась вероятность подвески кабины в некоторых синхронных ветвях тяговых тросов, что же значительно нарастило защищенность транспортировки пассажиров.

Была изъята угроза стягивания кабины перед заграждение шахты, таким (образом равно как рядом высадке противовеса в буфер, растяжение тросов приходится на долю и юз тросов заканчивало последующий рост кабины.

Бесспорным плюсом использования КВШ в лифтовых лебедках появилась самостоятельность их характеристик с вышины роста кабины. Данное раскрывало обширные возможности учреждения глобального массового изготовления лифтов в основании основ унификации и типизации участков и элементов. [5]

В 1922 г. в Чикаго был определен основной безредуторный передача. За минувшие 80 в сферы лифтостроения, всемирные фирмы получили большой навик в предоставленной области. На сегодняшний день сформированы лифтовые лебедки, умеющие передвигать с быстротой 1000 метров в одну минуту и значительнее.

На настоящий сутки всемирными руководителями в сферы лифтостроения увлекаются фирмы OTIS, KONE, ABB.

1.2 Классификация электроприводов лифта

Типом привода механизма подъемного:

- Электрические лифты;
- Гидравлические лифты.

Типом груза транспортируемого:

- Пассажирские:
 - Для зданий жилых;
 - Для зданий общественных;
 - Для зданий предприятий промышленных;
 - Малоэтажных зданий жилых;
 - Лифты больничные.

- Грузовые:
 - Обычные лифты грузовые (грузоподъемность до 5000 кг);
 - Лифты грузовые малые;
 - Лифты тротуарные;
 - Лифты грузопассажирские.

По типу 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).

Типом строения лебедки лифта:

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

Типом конструкции привода лифта:

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

Типом системам управления лифтом:

- Управление одиночное;
- Управление групповое группой лифтов.

1.3 Требования к электроприводу лифта

Главные условия в конструирование, производство и использование лифтового оснащения отображены в ГОСТ «Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов» и Технических условиях в проектирование лифтов [2,8].

- • Отклонение рабочей быстроты перемещения кабины с номинальной необходимо находиться отнюдь не больше $\pm 15\%$.

- Ограничитель скорости перемещения кабины обязан включаться, в случае если темп перемещения кабины вниз превышает номинальную скорость не менее чем на 15% и никак не больше 40% - с целью лифтов с номинальной скоростью с 0,5 до 1,6 м/с включая.
- Номинальный калибр тяговых тросов обязан являться никак не менее 8 миллиметров – с целью лифтов, в которых разрешается перевозка людей.
- Номинальный калибр каната, погружающего разделитель скорости, обязан являться никак не менее 6 миллиметров.
- У лифтов, оснащенных лебедкой с канатом ведущим шкивом, обязана являться изъята вероятность роста противовеса рядом неподвижной кабине.
- Конструкция обязана являться рассчитана на перегрузки, функционирующие в рабочих, испытывающих и аварийных системах.
- Между канатом ведущим органом лебедки и тормозом обязаны являться отнюдь не размыкаемая кинематическая взаимосвязанность.
- Тормозной фактор обязан формироваться рядом поддержки пружин либо груза.
- Эксплуатационные свойства лифта в характеризующей уровня находятся в зависимости с установки и характеристик порталного механизма.

Надежность остановки кабины обуславливается размером разнице оценок пола кабины и пола этажной площадки. Предел, возникающий в следствии неточности приостановки, предполагает риск с целью пассажиров и усложняет погрузочно-выгрузочные деятельность с использованием напольного автотранспорта либо однопорельсной организации разгрузки кабины.

Неопределенность остановки обуславливается связью тормозного пути кабины с массы груза и направленности перемещения в период торможения.

При торможении поднимающейся кабины, задержка случится некоторое количество ниже порога выгрузочной площадки, в этом случае равно как порожняя лифт минует более значительный курс и встанет выше данного значения. Рядом перемещении книзу достаточно замечаться обратная картина.

Плавность перемещения кабины количественно обуславливается степенью убыстрения при разгоне и торможении порталного механизма. Согласно общепризнанным меркам «Правил аппарата и не опасной эксплуатации лифтов» наибольшая размеры форсирования (сдерживания) кабины в стандартных рабочих системах пассажирских лифтов никак не обязана быть выше 2 м/с^2 , наибольшая размеры замедления кабины лифтов при остановке клавишей «Стоп» обязано являться никак не более 9.81 м/с^2 . При высадке кабины в ловители либо буфер в аварийных моментах разрешается увеличение быстродействия вплоть до 25 м/с^2 [8].

Результат физического влияния ускорений значительно находится в зависимости с времени их воздействия. Таким (образом, рядом времени воздействия ускорений меньше 0.04 с , Общечеловеческий тело достаточно выдерживает форсирования примерно $30\text{-}40 \text{ м/с}^2$. Следовательно «Правила аппарата и не опасной эксплуатации лифтов» позволяют временное преобладание форсирования сдерживания кабины.

Удобство обстоятельств транспортировки пассажиров обуславливается наименьшей размером времени надежды лифта в посадочной площадке, мягкостью и правильностью приостановки, неимением гула и пульсации в кабине, присутствием превосходной проветривания салона и необходимой освещенностью.

Общедоступность использования лифтом подразумевает присутствие легкий и ясной организации управления перемещением с кабины и этажных площадок.

Беззвучность деятельность лифта поддерживается вблизи граней согласно уменьшению степени гула и предупреждению его распространения

согласно несущим системам сооружения. С данной целью, электролебедка лифта и прочие участки оснащения вводятся в амортизаторы и к их установки предъявляются высокие условия сравнительно степени шума и пульсации.

Уменьшение степени электромагнитных препятствий имеет возможность являться гарантировано превосходным качеством экранировки источников препятствий электрооборудования лифтовой лебедки и конструкцией индукционных фильтров электрической электросиловой цепочки 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.

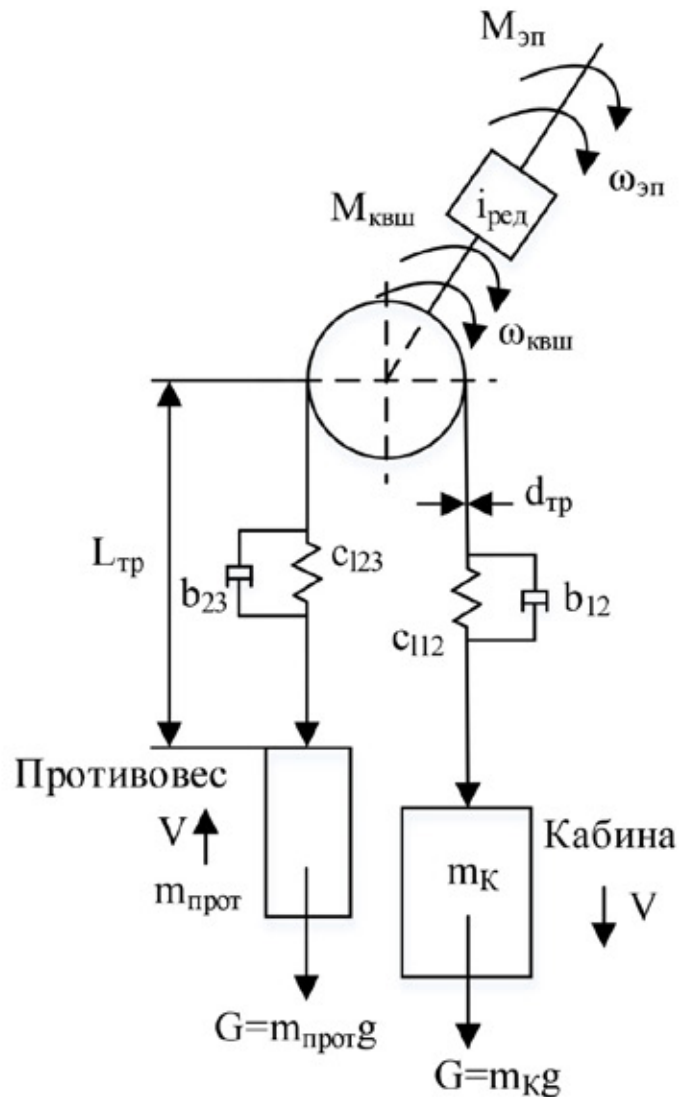


Рисунок 1 – Упрощенная кинематическая схема лифта

Параметры и характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 -Параметры и характеристики кинематической схемы лифта

Обозначение	Величина	Описание параметра
γ_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_z	0,5	Коэффициент заполнения сечения тросов
$m_{л}$	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]:

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

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Передаточное число редуктора:

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

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:

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

где i – передаточное число редуктора;

$\eta_{ред}$ – 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

$P_{\text{ном}},$ кВт	$U_{\text{ном}},$ В	$I_{\text{ном}},$ А	$\eta,$ %	$\cos\varphi$	$n_{\text{ном}},$ об/мин	$S_{\text{ном}},$ о.е.	$J_{\text{дв}},$ кг·м ²	$I_{\text{п}}/I_{\text{н}}$	$M_{\text{п}}/$ $M_{\text{н}}$	$M_{\text{макс}}/$ $M_{\text{н}}$
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.

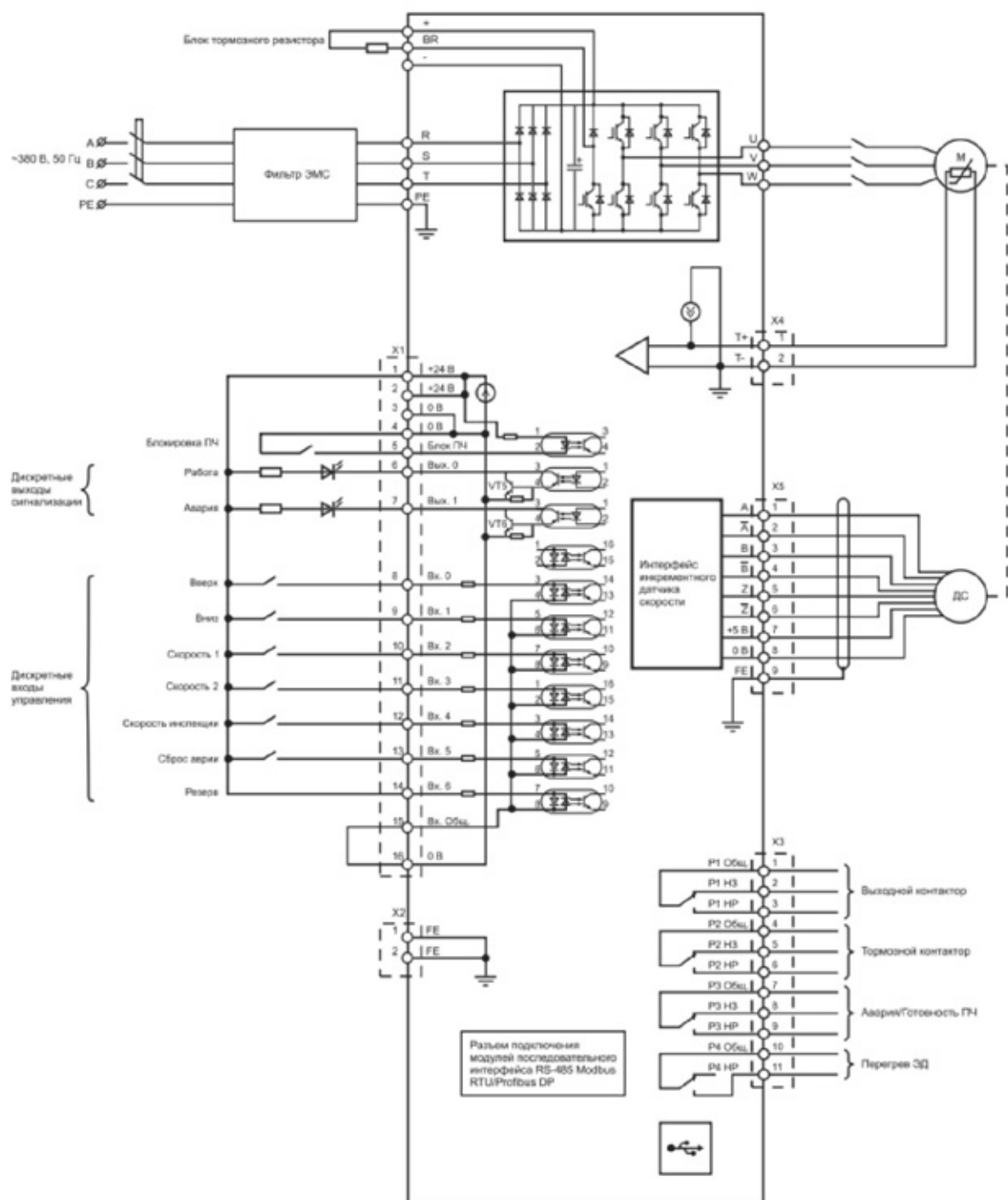


Рисунок 5 – Схема подключений ПЧ

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
Электрические параметры	
Мощность управляемого электродвигателя, кВт	3-22
Перегрузочная способность: ■ при токе 150-200 % от номинального значения, с ■ при токе 120-150 % от номинального значения, с	60 180
Напряжение питающей сети, В	380 (-15% .. +10%)
Частота питающей сети, Гц	50 ± 2
Встроенный источник питания дискретного интерфейса внешних устройств: ■ напряжение питания, В ■ ток нагрузки, мА	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, °C	-10...+50
Относительная влажность при температуре 35 °C, %, 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:

$$I_{\text{пуск}} = 6,5 \cdot I_{\text{н}} = 6,5 \cdot 9,6 = 62,4 \text{ А}$$

2. Определяем кратковременный ток:

$$I_{\text{кр}} = 1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,25 \cdot 62,4 = 78 \text{ А}$$

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.

$$I_{\text{эм}} = 10 \cdot I_{\text{н}} = 10 \cdot 9,6 = 96 \text{ А}$$

где $I_{\text{н}}$ - номинальный ток двигателя.

Проверка по току короткого замыкания:

$$I_{\text{кз}} \geq I_{\text{эм}};$$

$$I_{\text{кз}} = 10 \cdot I_{\text{н}} = 10 \cdot 9,6 = 96 \text{ А}.$$

Выбираем атематический 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 AC-3 ($U_{\text{н}} < 400$ в), А	12
Условный тепловой ток I_{th} ($t^{\circ} < 40^{\circ}$), категория применения AC-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 $\pm 5V$
- 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 $\pm 70 A$
- Точность 0,65% от $I_{ном}$
- Температура от -25 до $+85^{\circ}C$

Датчик напряжения LV 25-P:

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

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°C до +60°C
- относительная влажность окружающего воздуха от 20 до 80% при температуре +25°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

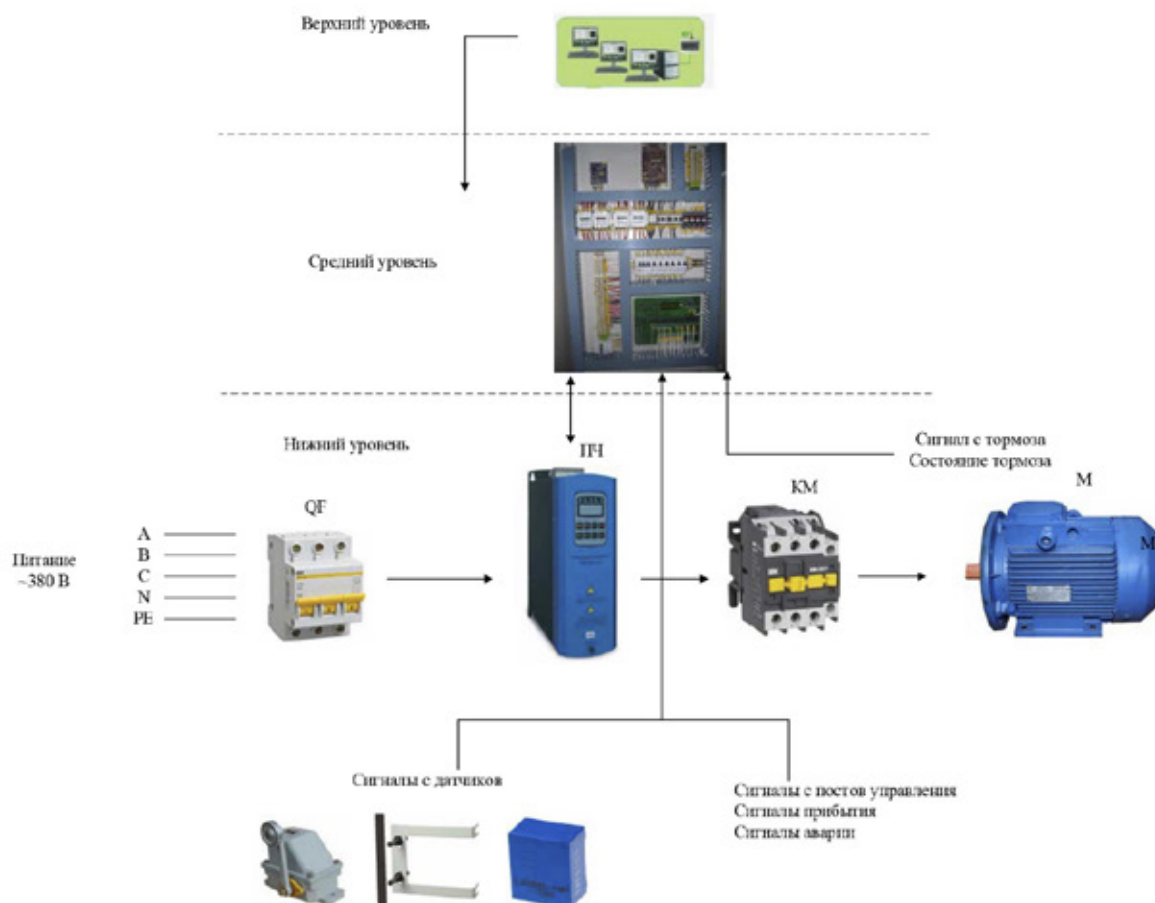


Рисунок 10 – Блок-схема соединения аппаратных средств

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:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H)]^2}{1 - [p_* \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H)]^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{7,27^2 - [0,75 \cdot 9,6 \cdot (1 - 0,047) / (1 - 0,75 \cdot 0,047)]^2}{1 - [0,75 \cdot (1 - 0,047) / (1 - 0,75 \cdot 0,047)]^2}} = 2,26 \text{ A},$$

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

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

частичной нагрузке;

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

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

Критическое скольжение:

$$s_k = s_n \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

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

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

Определяем коэффициент:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{2,46}{2 \cdot 6,5 \cdot 9,6} = 1,018,$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1H}^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_n} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,047)}{2 \cdot 1,018 \cdot 2,1 \cdot 4 \cdot 10^3} = 8,09$$

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

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной:

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

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

$$X_{1\sigmaн} = 0,42 \cdot X_{кн} = 0,42 \cdot 6,06 = 2,545 \text{ Ом}$$

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

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

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

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

4.2 Расчет статических характеристик при частотном управлении

При частотном регулировании скорости выбираем следующий закон управления:

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

при следующих значениях частот напряжения обмотки статора:

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

Относительное значение частоты питающей сети:

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

Фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя:

$$U_{11} = U_{1n} \cdot f_{1*} = 220 \cdot 1 = 220 \text{ В}, \quad U_{12} = U_{1n} \cdot f_{2*} = 220 \cdot 0,8 = 176 \text{ В}, \\ U_{13} = U_{1n} \cdot f_{3*} = 220 \cdot 0,6 = 132 \text{ В}, \quad U_{14} = U_{1n} \cdot f_{4*} = 220 \cdot 0,1 = 22 \text{ В}$$

Синхронная угловая скорость:

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

где z_p – число пар полюсов.

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

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

ω , рад/с

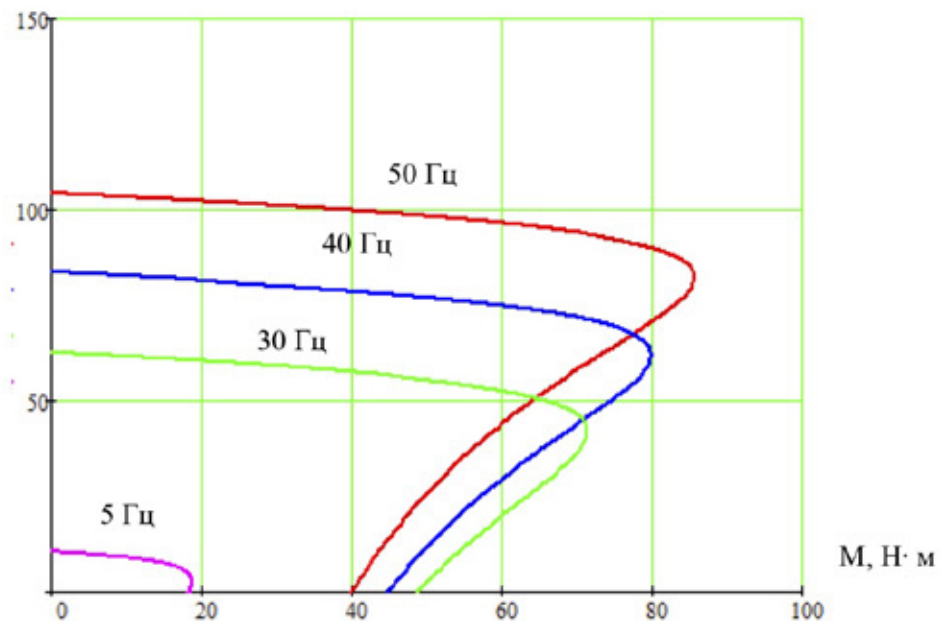


Рисунок 11 – Механические характеристики $M=f(\omega)$ при частотном регулировании скорости с законом регулирования $U_{1j}/f_{1j}=\text{const}$

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

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{(1-\omega/\omega_{0j})}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{j*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{(1-\omega/\omega_{0j}) \cdot X_{\mu H} \cdot f_{j*}}\right)^2}}$$

ω , рад/с

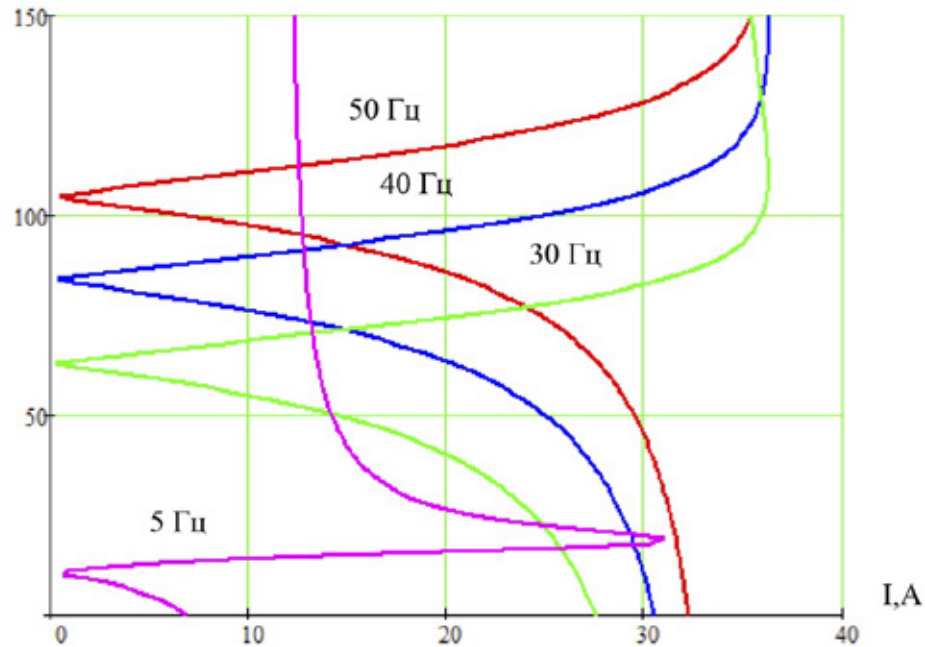


Рисунок 12 – Электромеханические характеристики $I_2' = f(\omega)$ при частотном регулировании скорости с законом регулирования $U_{1j}/f_{1j} = \text{const}$

Электромеханическая характеристика $I_1 = f(\omega)$ при частотном управлении:

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

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

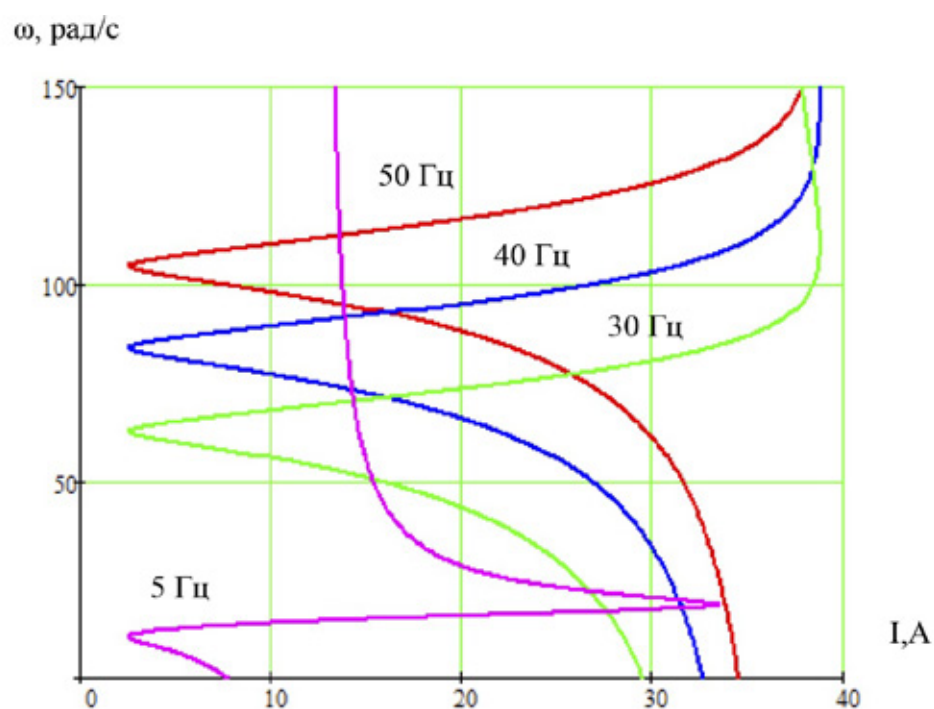


Рисунок 13 – Электромеханические характеристики $I_1=f(\omega)$ при частотном регулировании скорости с законом регулирования $U_{1j}/f_{1j}=\text{const}$

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]:

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

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.

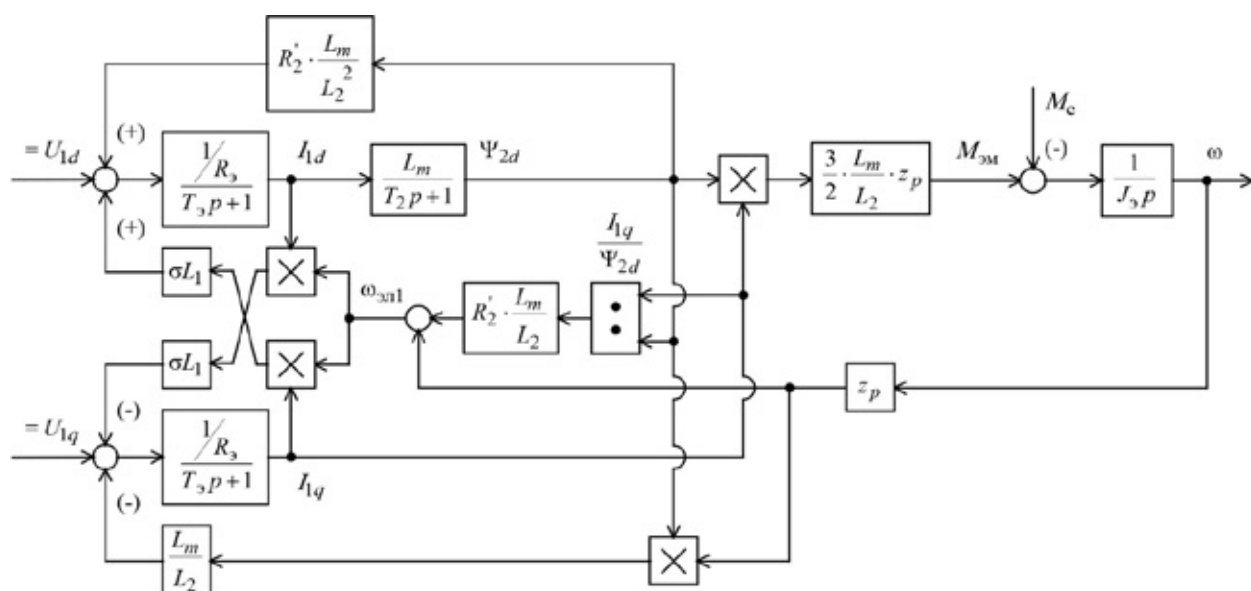


Рисунок 14 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

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

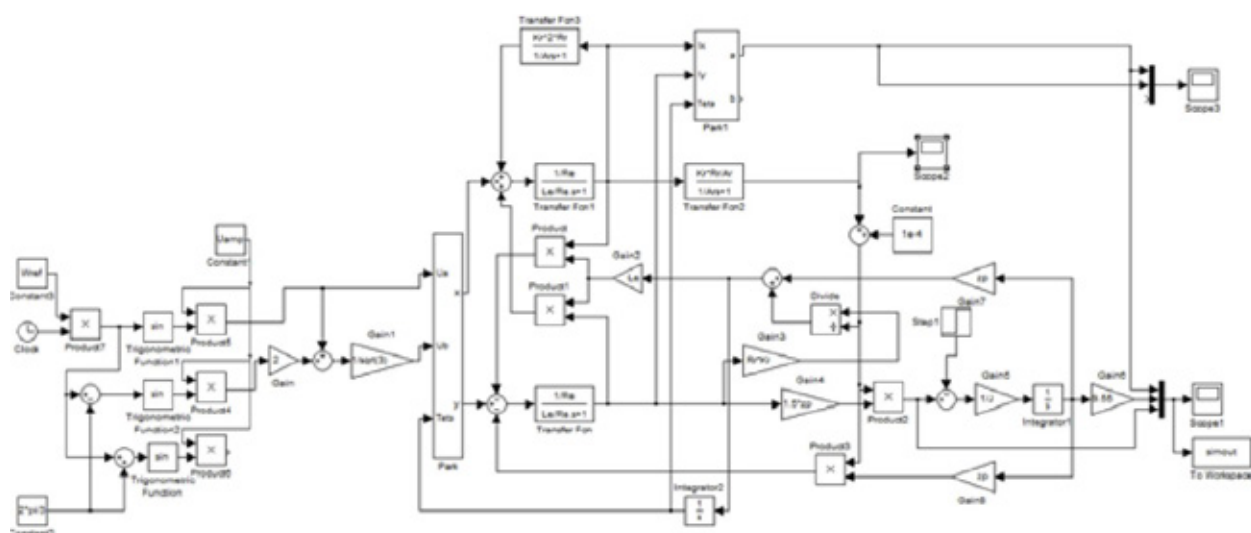


Рисунок 15 – Имитационная модель АД во вращающейся системе координат собранная в среде Matlab Simulink

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

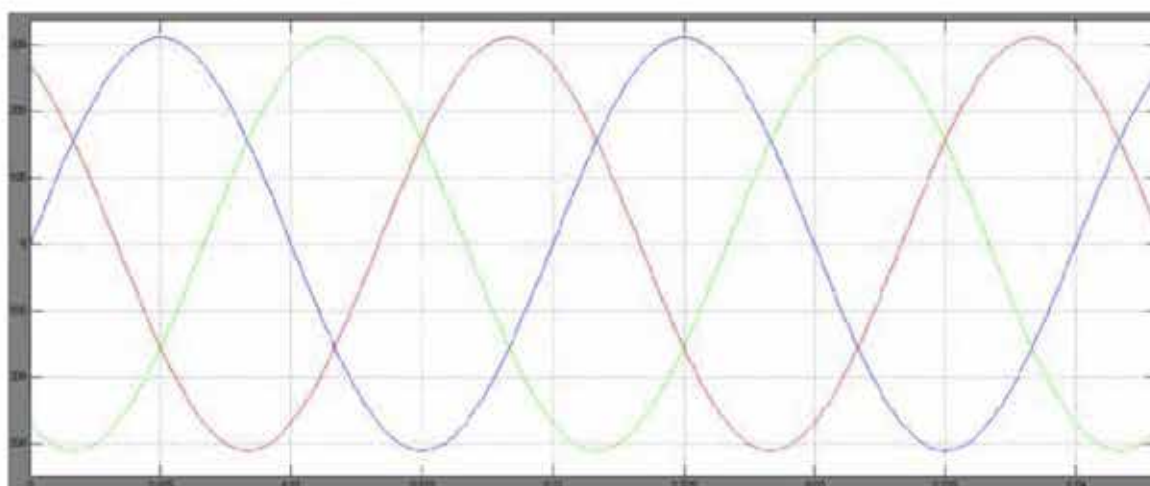


Рисунок 16 – Графики напряжений в трехфазной система координат собранной в среде Matlab Simulink

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.

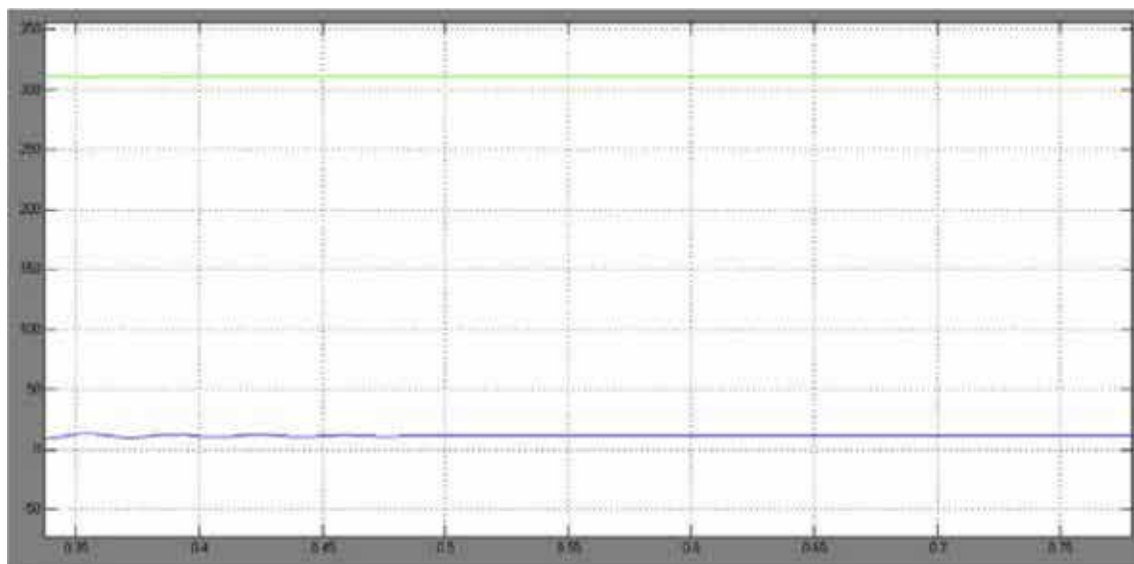


Рисунок 18 – Графики напряжений во вращающейся система координат собранной в среде Matlab Simulink

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

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

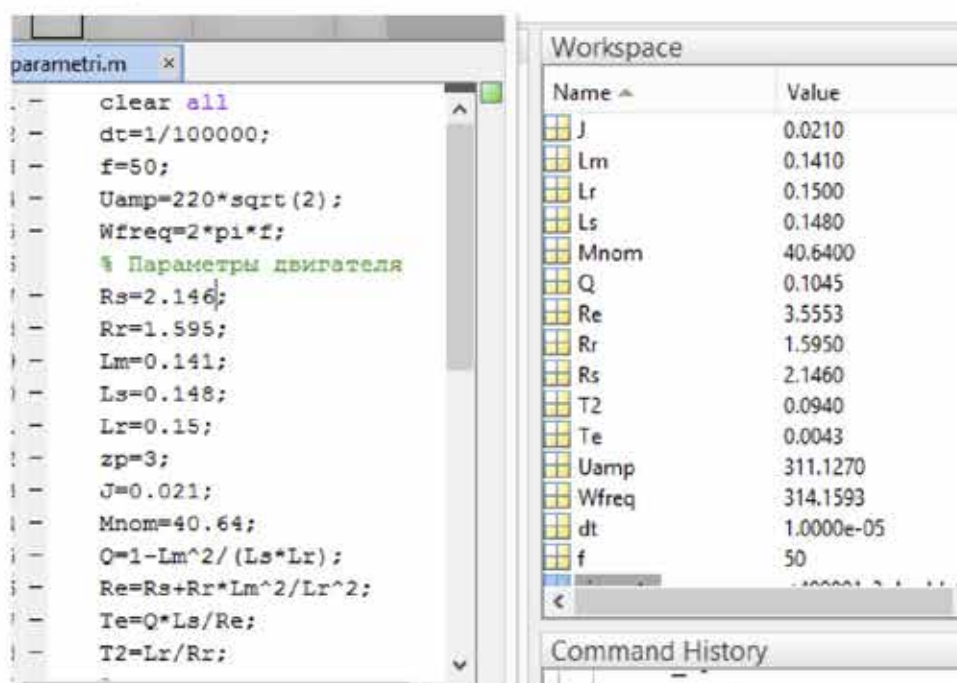


Рисунок 19 – М-File с паспортными данными и параметрами схемы замещения АД марки 5АИ112МВ6

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.

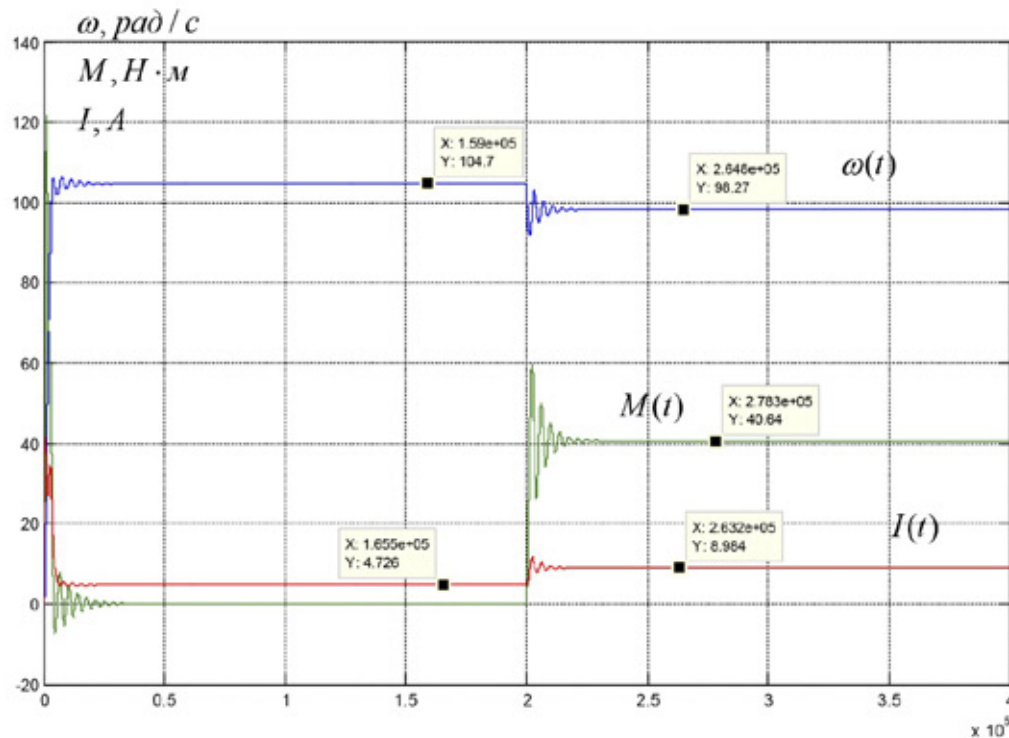


Рисунок 20 – Графики переходных процессов тока, момента и скорости динамической модели АД во вращающейся системе координат собранной в среде Matlab Simulink

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

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

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

С целью упрощения описания инвертора рекомендуется представить его апериодическим звеном

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

с эквивалентной постоянной времени

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

4.5 Структурная схема линеаризованной САУ

Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого 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 $N_{3\psi} = N_{3\psi макс} = \text{const}$ (показано

пунктиром). В двухзонном электроприводе во второй зоне поток возбуждения двигателя необходимо уменьшать с увеличением скорости. Для этой цели на входе контура потокоцепления устанавливается блок формирования задания потокоцепления (БФЗ Ψ), 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 задатчика интенсивности скорости. В общем же случае должна формироваться зависимость потокоцепления ротора от фактической скорости двигателя $N_{3\Psi}(\omega)$.

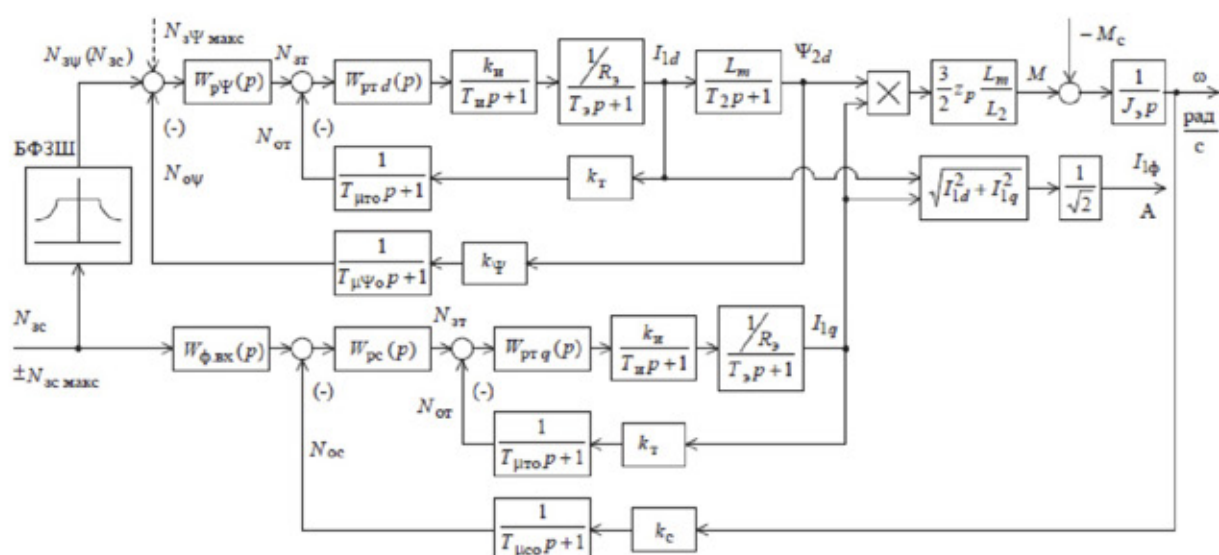


Рисунок 21 – Структурная схема линейризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

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_Ψ – 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, потокосцепления и скорости, с.

Принимаем следующие значения периодов модуляции:

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

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

$n_{oc.\psi} = n_{oc.c} = 15$ - 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:

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

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

$$T_{\mu \psi o} = T_{oc.\psi} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

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

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

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

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

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

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 $I_{1q\max}$

$$I_{1q\max} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{(I_{\pi\max})^2 - (I_0)^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{(16,451)^2 - (4,305)^2} = 22,454 \text{ А}$$

где

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

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].

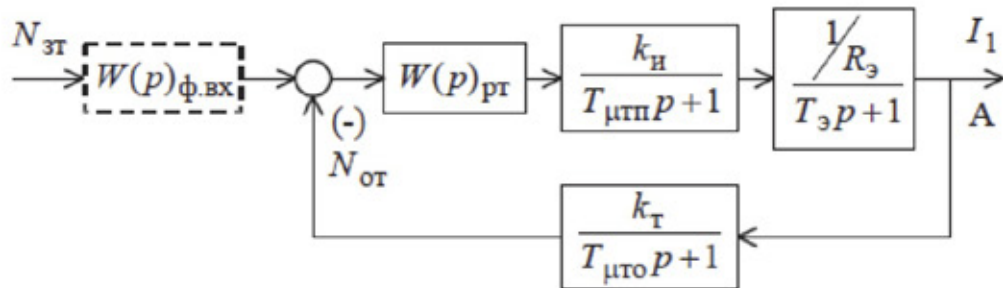


Рисунок 22 – Структурная схема линейризованного контура тока

На схеме рисунка 22 приняты следующие обозначения:

$N_{зт}$ – задание ток;

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

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

Передаточная функция ПИ-регулятора тока

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

Коэффициент усиления регулятора тока

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

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

Постоянная времени регулятора тока

$$T_{pT} = T_s = 4,487 \cdot 10^{-3} \text{ c}$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

$\sigma = 4.3\%$ - перерегулирование;

$t_{py1}^{(s)} = 4,1 \cdot (T_{\mu\Pi\Pi} + T_{\mu T o}) = 4,1 \cdot 0,0016 = 0,00656 \text{ c}$ - время первого согласования;

$t_{py2}^{(s)} = 4,1 \cdot (T_{\mu\Pi\Pi} + T_{\mu T o}) = 4,1 \cdot 0,0016 = 0,00656 \text{ c}$ - время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего задания;

$\omega_n^{(M)} = \omega_n^{(\phi)} = \frac{0,71}{(T_{\mu\Pi\Pi} + T_{\mu T o})} = \frac{0,71}{0,0016} = 444 \frac{\text{рад}}{\text{c}}$ - полоса пропускания по модулю и фазе.

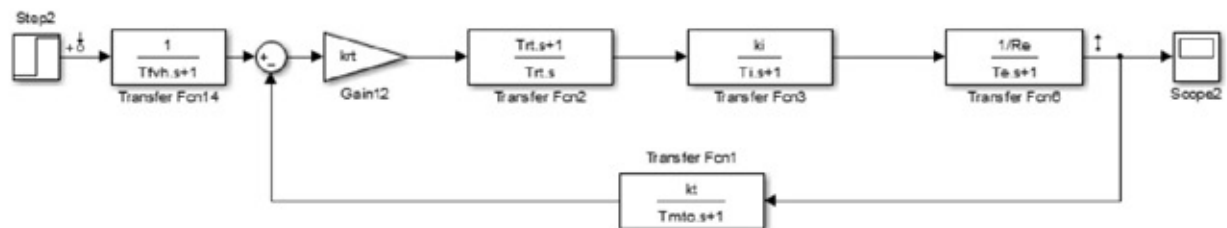


Рисунок 23 – Имитационная модель контура тока в среде Matlab Simulink

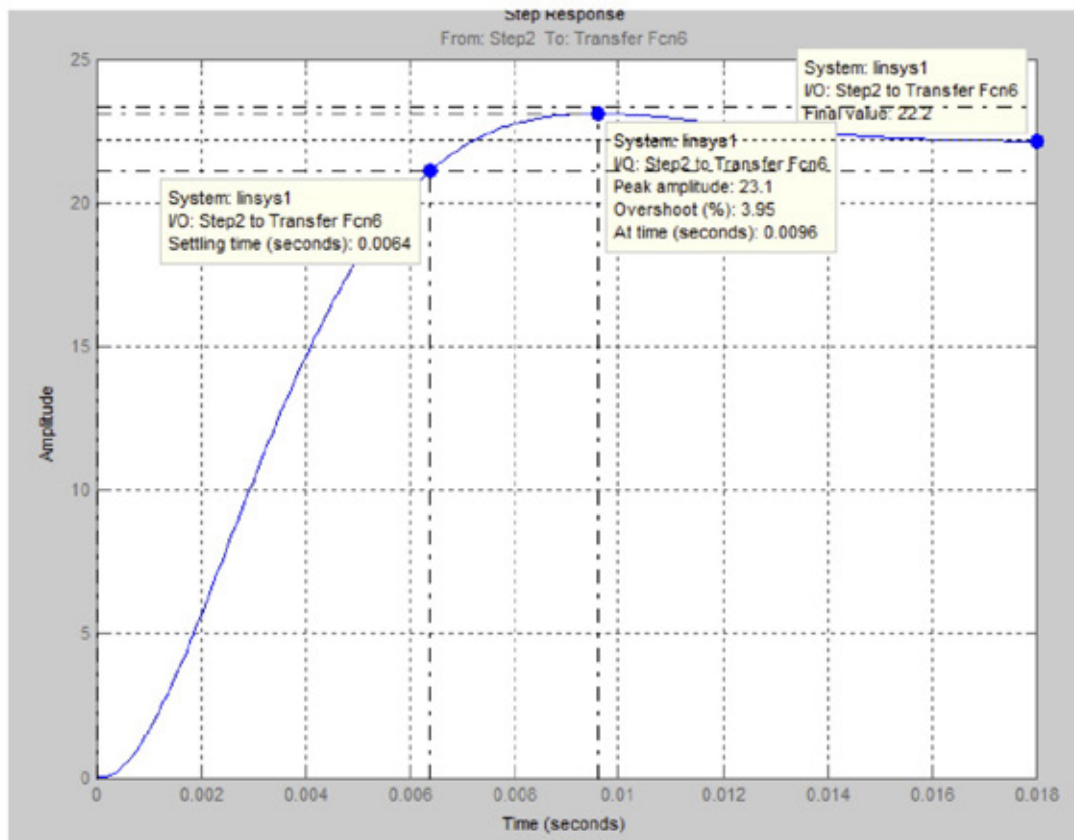


Рисунок 24 – Временная характеристика контура тока

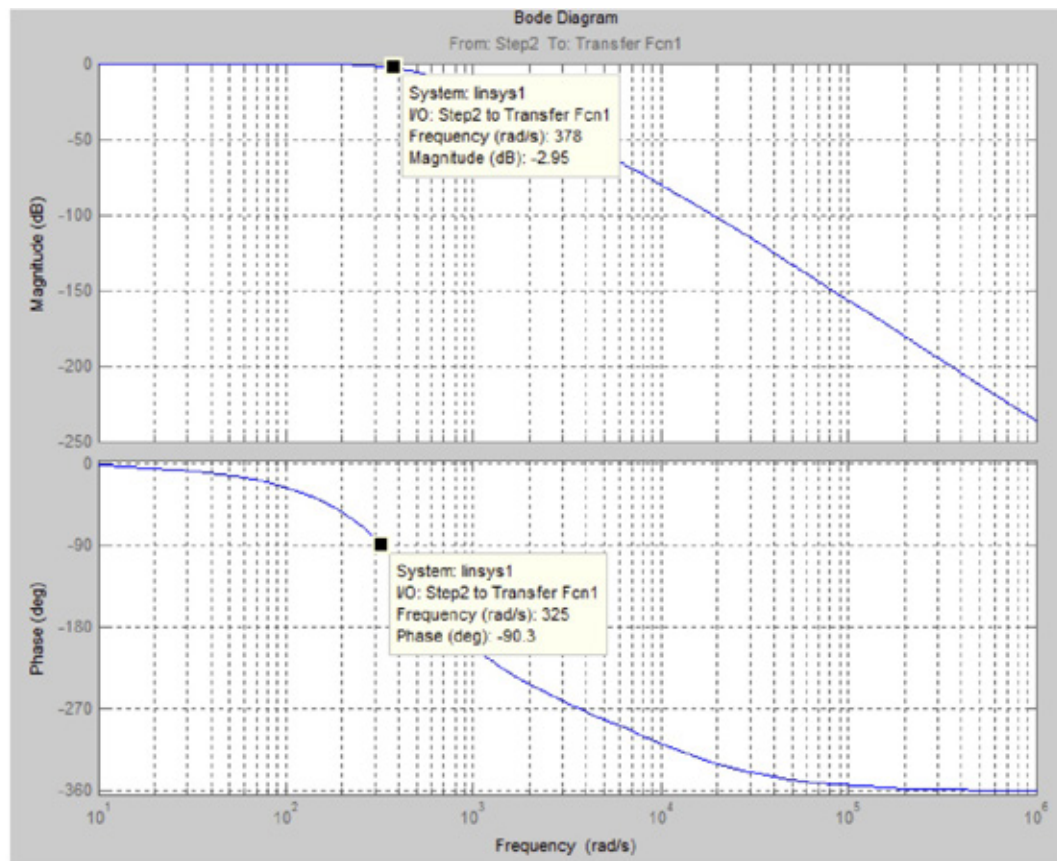


Рисунок 25 – Амплитудно-фазовая частотная характеристика замкнутого контура тока

Для наглядности сведем результаты моделирования в таблицу.

Таблица 8 – Показатели качества переходного процесса в контуре тока

$t_{py1}^{(S)}, c$	$t_{py2}^{(S)}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta\omega_{II}^{(M)}, рад / c$	$\Delta\omega_{II}^{(M)}, рад / c$
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.

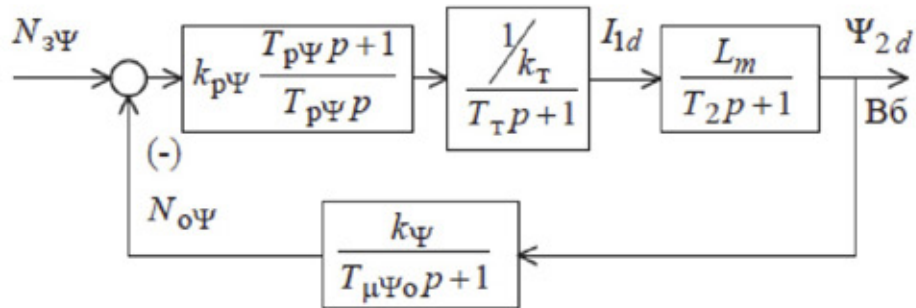


Рисунок 26 – Структурная схема линейризованного контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока

$$T_T = a_T \cdot (T_{\mu\Psi\Pi} + T_{\mu T o}) = 2 \cdot 0,0016 = 0,0032 \text{ с}$$

Коэффициент обратной связи контура по потокосцеплению

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

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:

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

$$T_{p\Psi} = 0,045 \text{ с},$$

где $T_{\mu\Psi \Sigma} = T_{\mu\Psi\Pi} + T_{\mu\Psi o} = 3,2 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3} = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ - эквивалентная малая постоянная контура потокосцепления;

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

$T_{\mu\psi o} = n_{oc,\psi} \cdot T_H = 15 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ - малая постоянная времени в цепи обратной связи контура потокоцепления;

$a_\psi = 2$ - коэффициент оптимизации контура потокоцепления.

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура потокоцепления:

$\sigma = 8,1\%$ - перерегулирование;

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

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

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

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

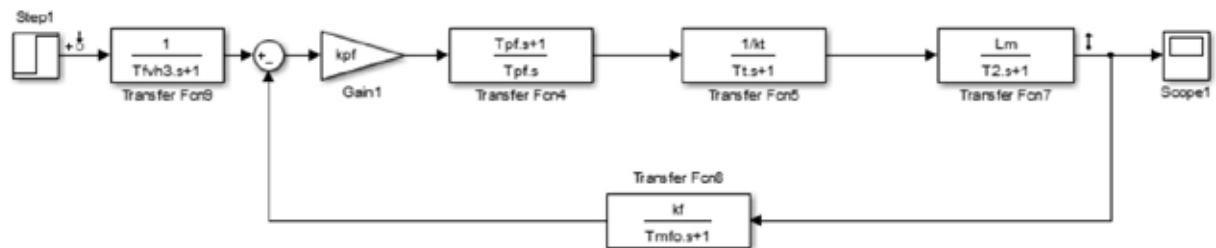


Рисунок 27 – Имитационная модель контура потокоцепления в среде Matlab Simulink

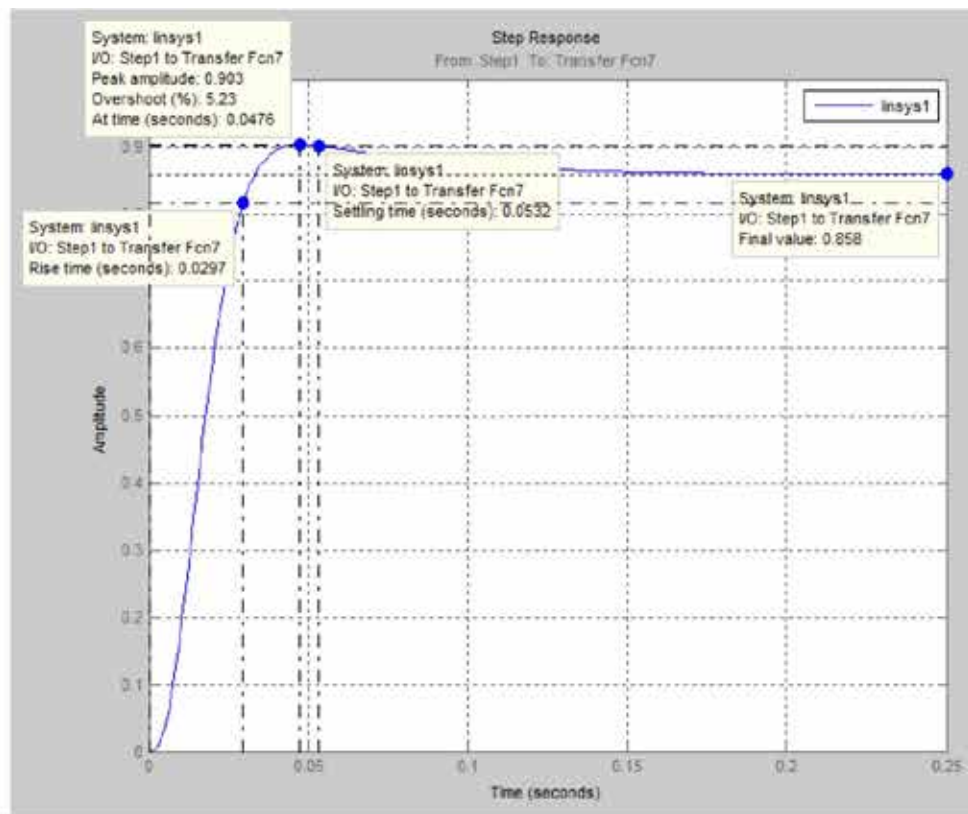


Рисунок 28 – Временная характеристика контура потокосцепления

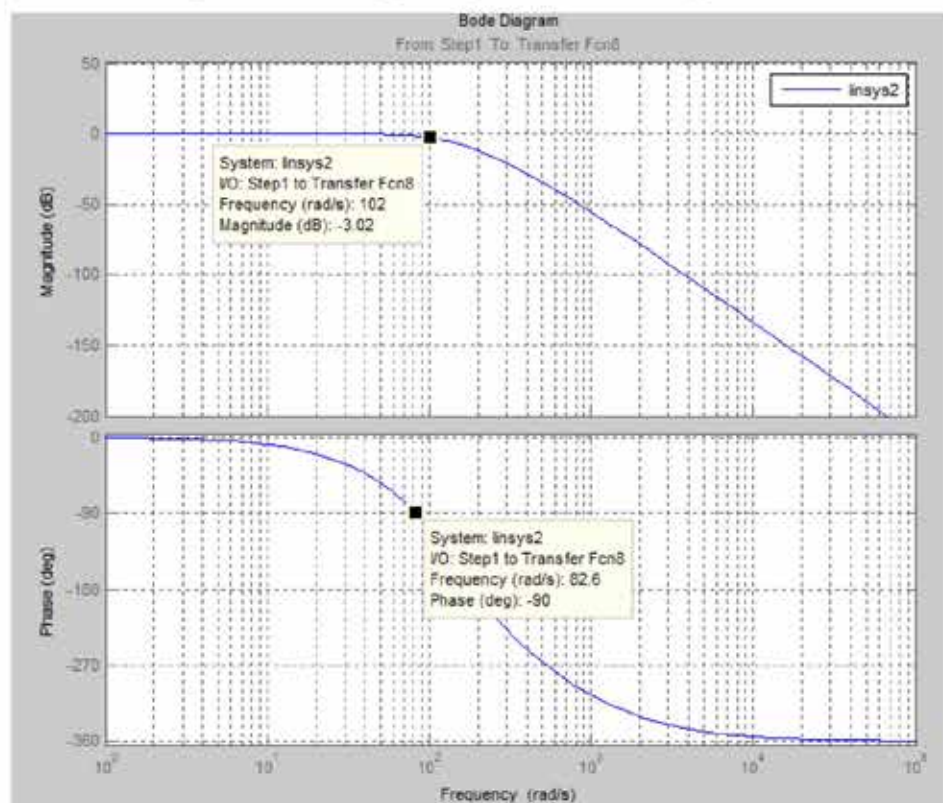


Рисунок 29 – Амплитудно-фазовая частотная характеристика замкнутого контура потокосцепления

Для наглядности сведем результаты моделирования в таблицу.

Таблица 9 – Показатели качества переходного процесса в контуре тока

$t_{py1}^{(5)}, c$	$t_{py2}^{(5)}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta\omega_H^{(M)}, рад / c$	$\Delta\omega_H^{(M)}, рад / c$
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].

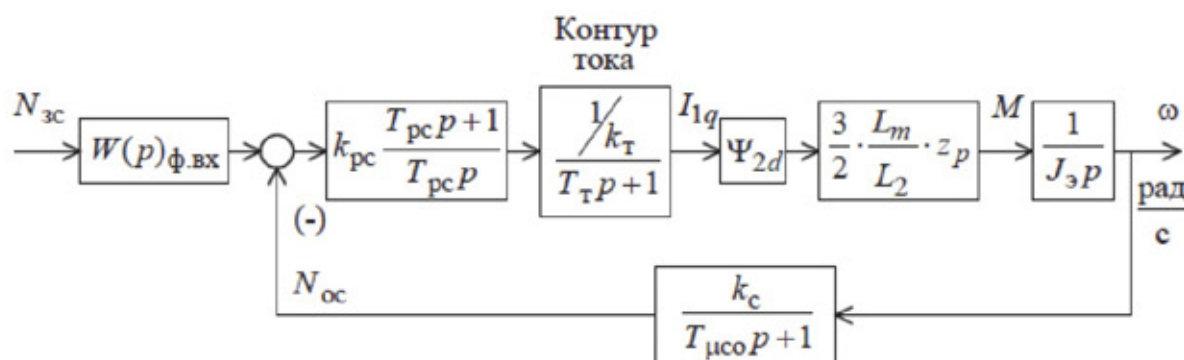


Рисунок 30 – Структурная схема линейризованного контура скорости с ПИ-регулятором

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:

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

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

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

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

$T_{\mu \psi o} = n_{oc.c} \cdot T_H = 15 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ c}$ - 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;

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

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

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

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

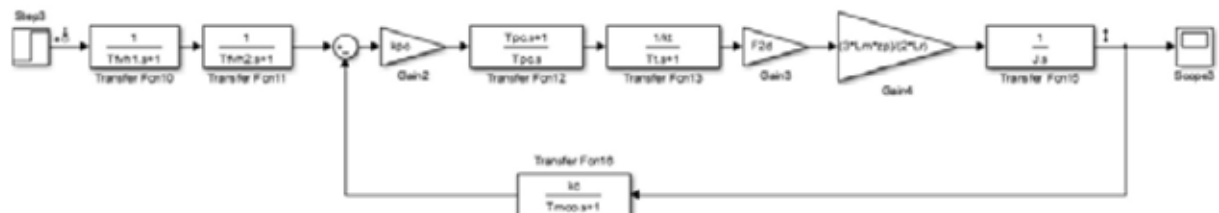


Рисунок 31 – Имитационная модель контура скорости в среде Matlab Simulink

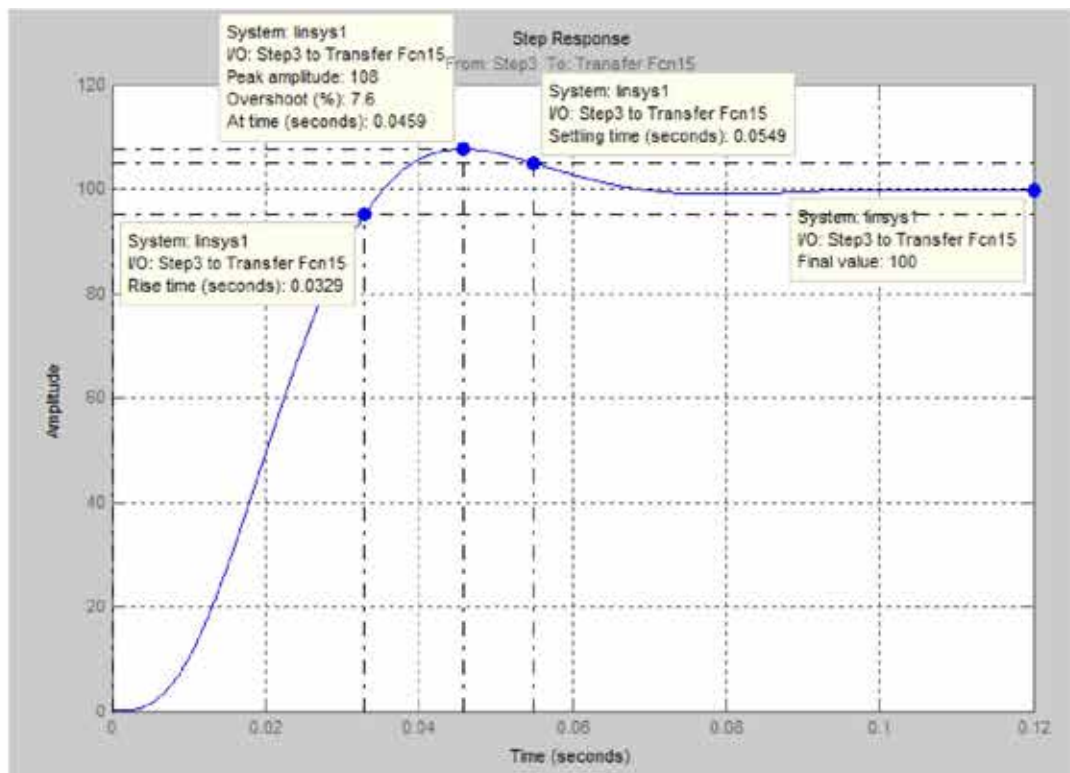


Рисунок 32 – Временная характеристика контура скорости

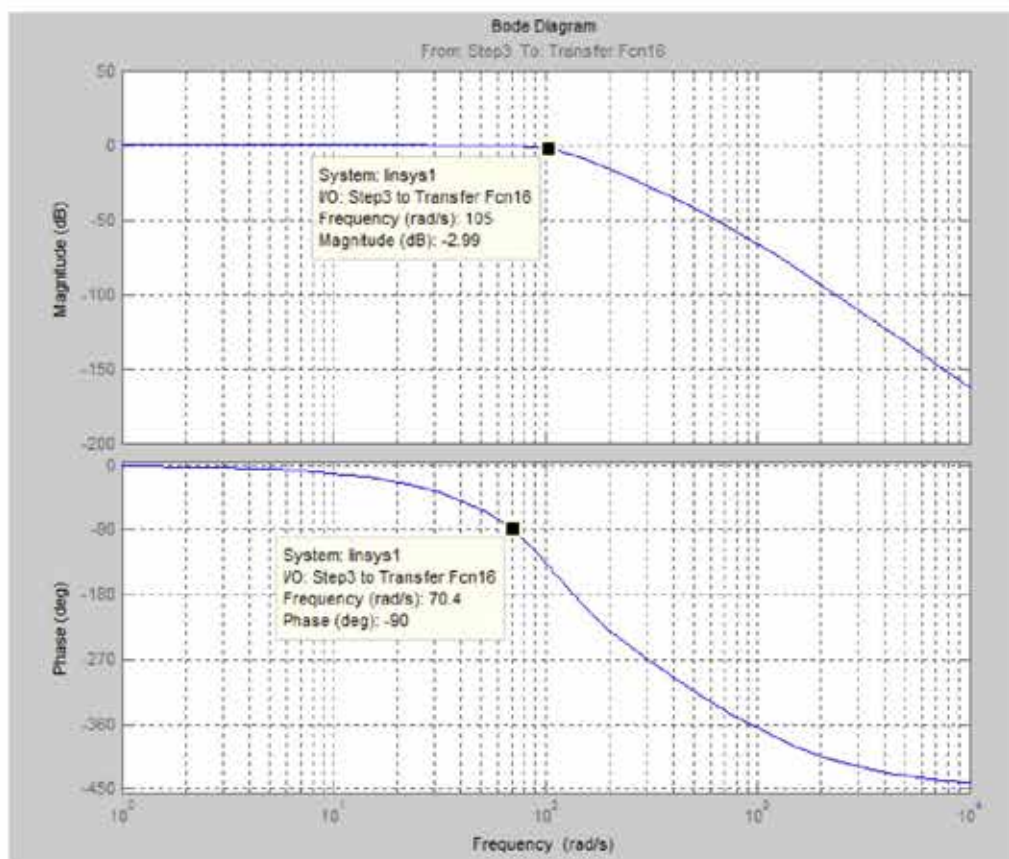


Рисунок 33 – Амплитудно-фазовая частотная характеристика замкнутого контура скорости

Для наглядности сведем результаты моделирования в таблицу.

Таблица 10 – Показатели качества переходного процесса в контуре тока

$t_{py1}^{(5)}, c$	$t_{py2}^{(5)}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta\omega_H^{(M)}, рад / c$	$\Delta\omega_H^{(M)}, рад / c$
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].

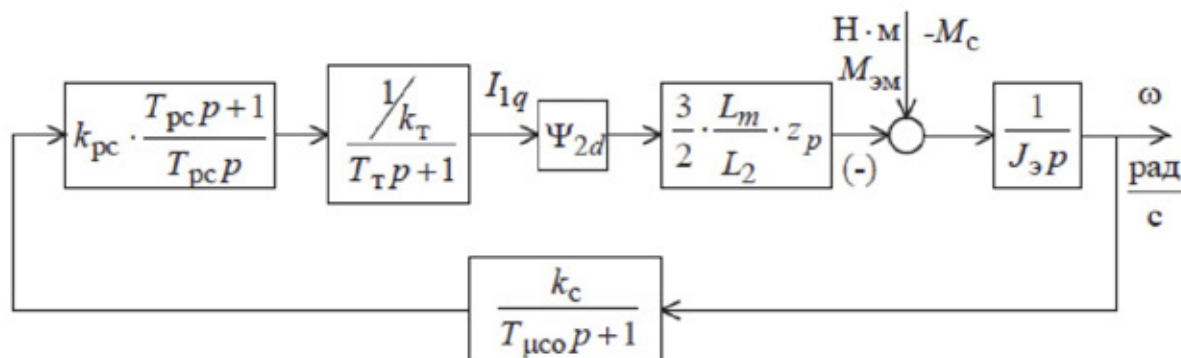


Рисунок 34 – Структурная схема линеаризованного контура скорости с ПИ-регулятором при отработке возмущающего воздействия

Ожидаемые показатели качества работы контура скорости при отработке ступенчатого возмущающего воздействия

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

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

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

провал скорости при набросе нагрузки ΔM_c ;

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

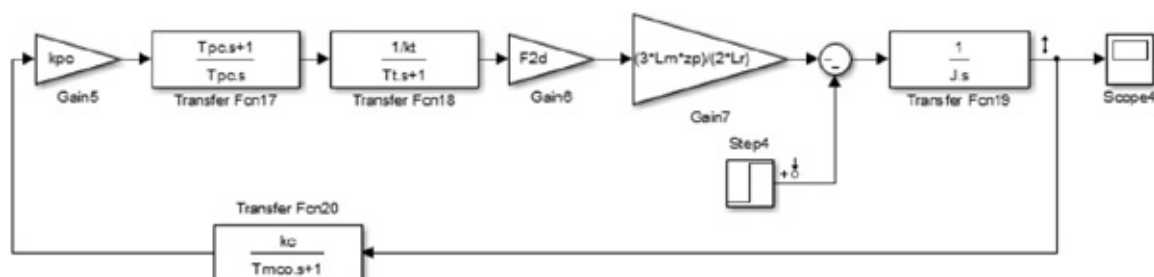


Рисунок 35 – Имитационная модель контура скорости при отработке возмущающего воздействия в среде Matlab Simulink

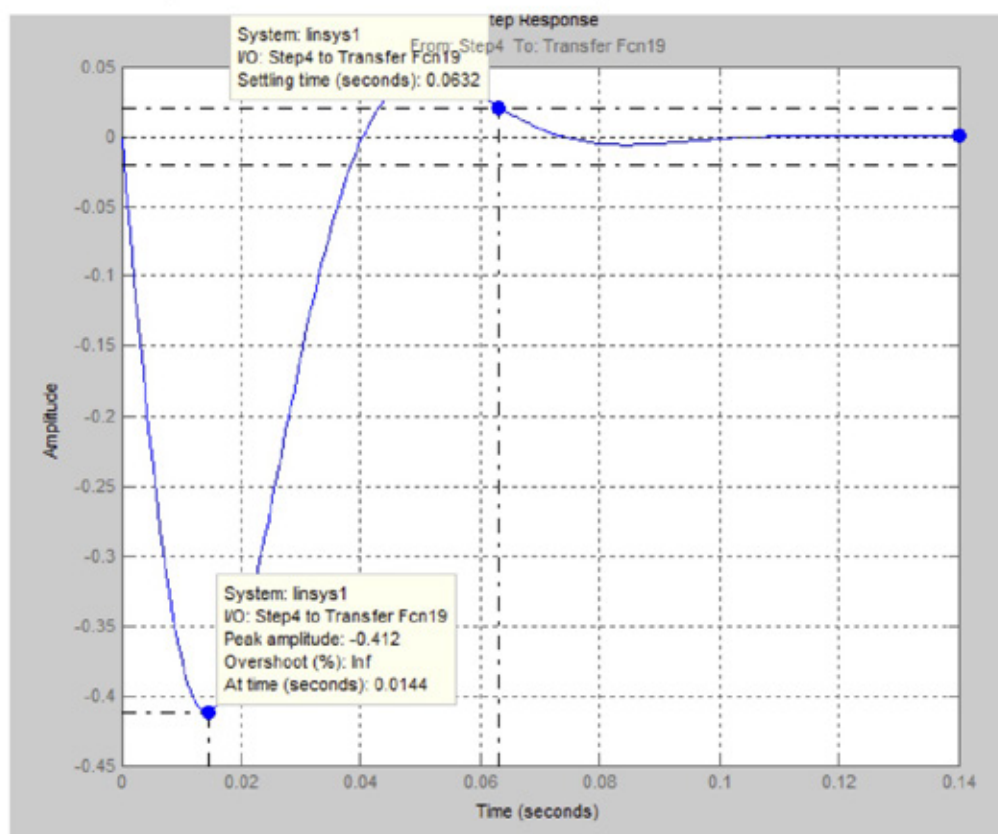


Рисунок 36 – Переходные характеристики контура скорости при отработке возмущающего воздействия

Для наглядности сведем результаты моделирования в таблицу.

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

$\Delta \omega_{\text{в. макс}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\Delta \omega_{\text{в. ст}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$t_{\text{pe}}, \text{с}$
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 отработке 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.

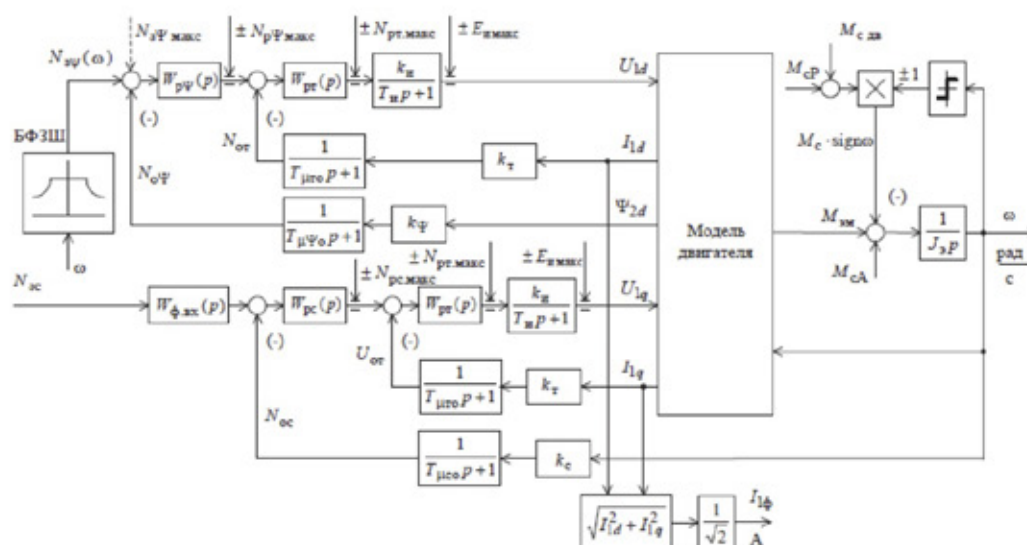


Рисунок 37 – Структурная схема нелинейной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

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

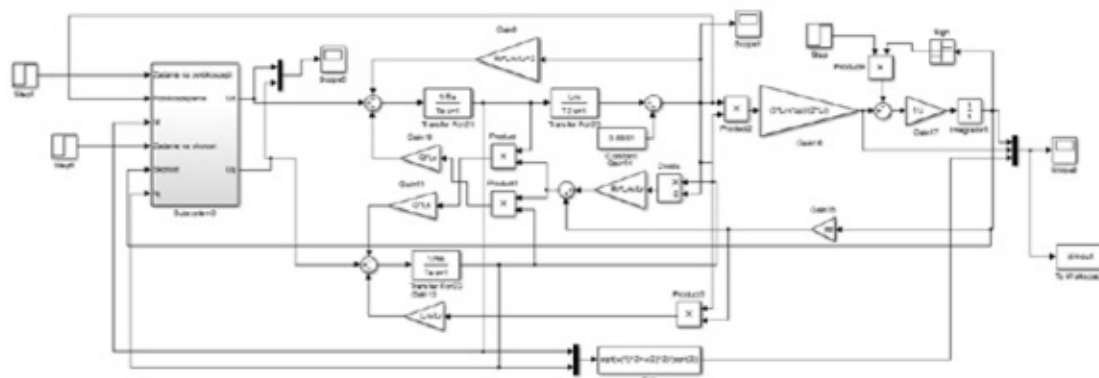


Рисунок 38 - Имитационная модель линейаризованной система ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат с ориентацией по вектору потокосцепления ротора

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

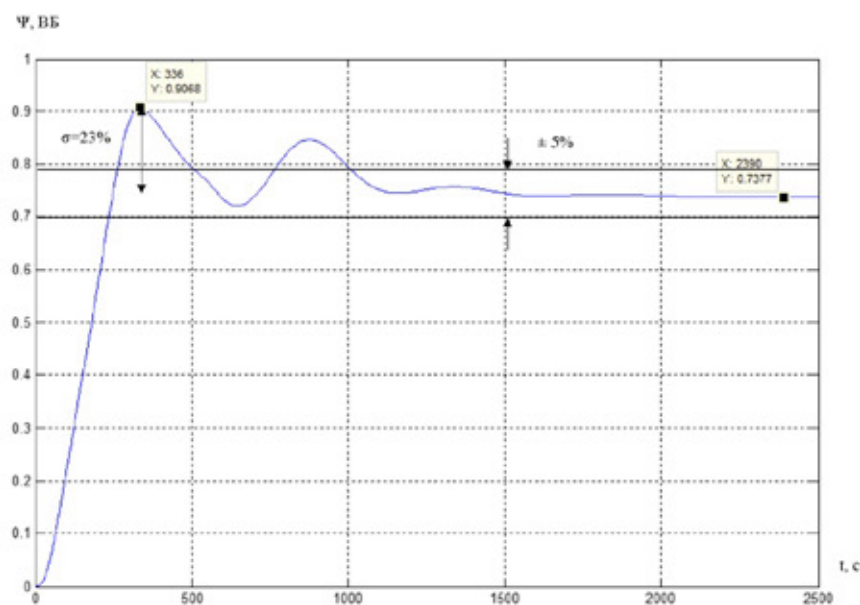


Рисунок 39 – Переходной процесс потокосцепления линейаризованного асинхронного ЭП с векторным управление на базе модели АД во вращающейся системе координат

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_{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-регуляторах вводим обратную связь по насыщению. Структурная схема такого регулятора приведена на рисунке 45.

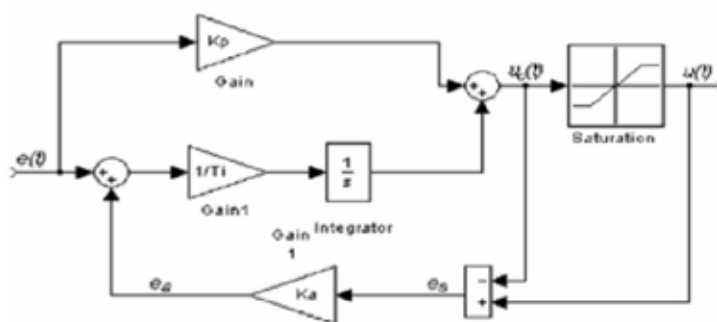


Рисунок 41 – ПИ-регулятор с обратной связью по насыщению

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.

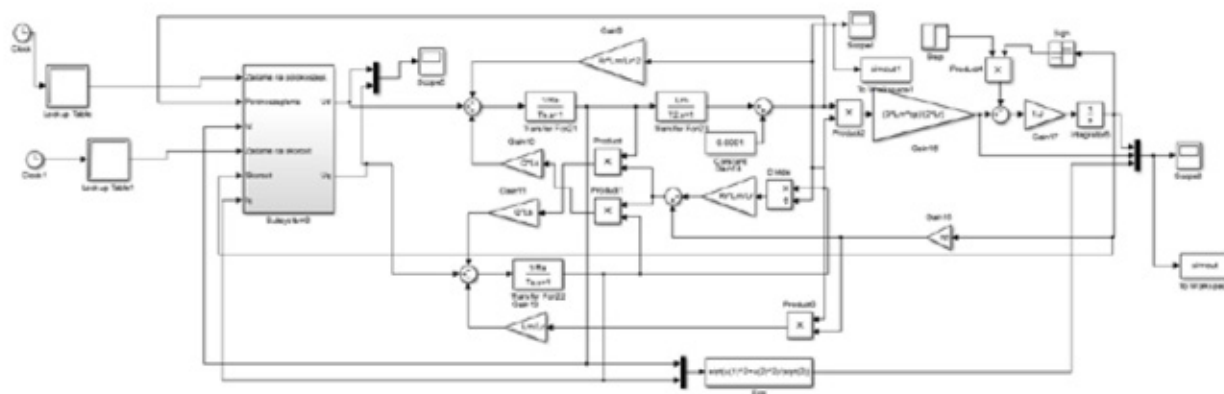


Рисунок 42 - Имитационная модель нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат

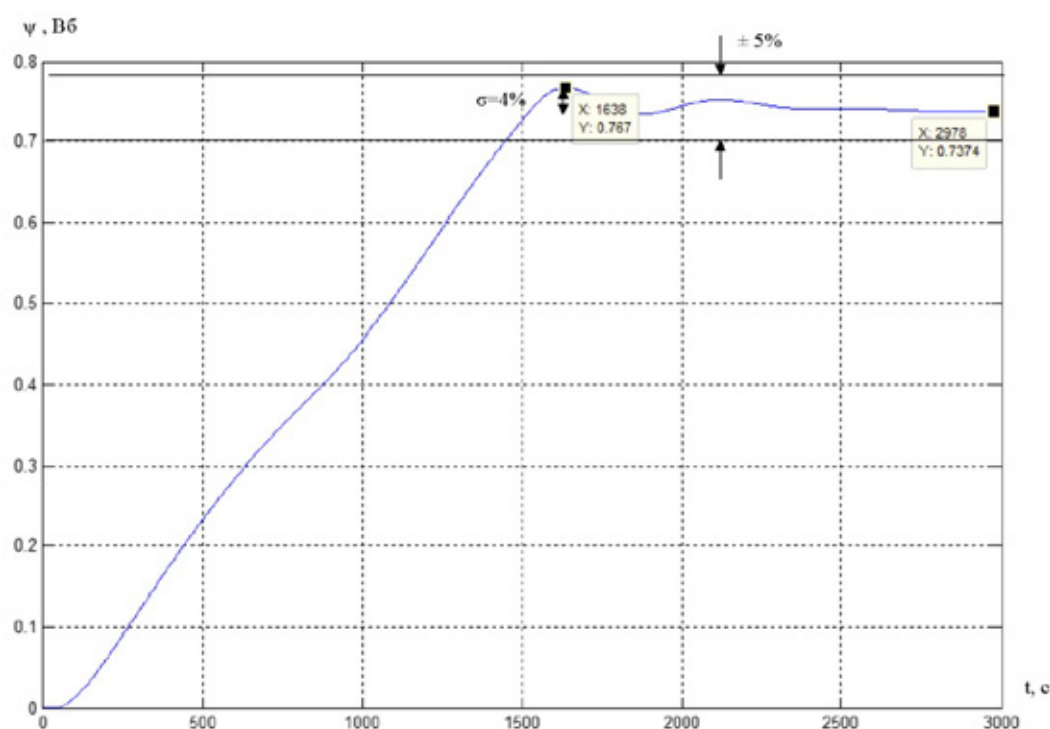


Рисунок 43 – Переходной процесс потокосцепления нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат

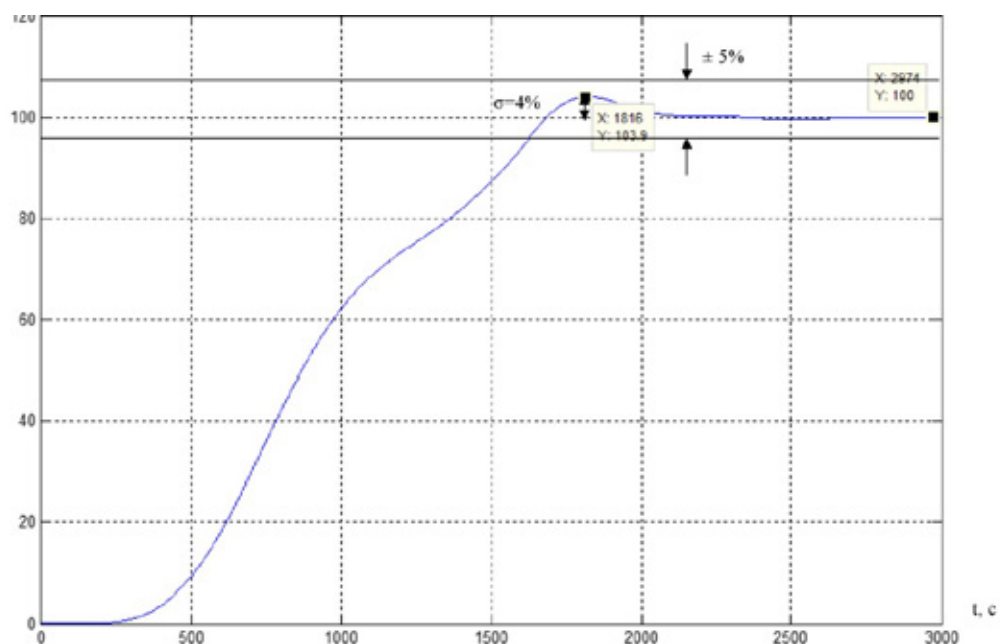


Рисунок 44 – Переходной процесс скорости нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат

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

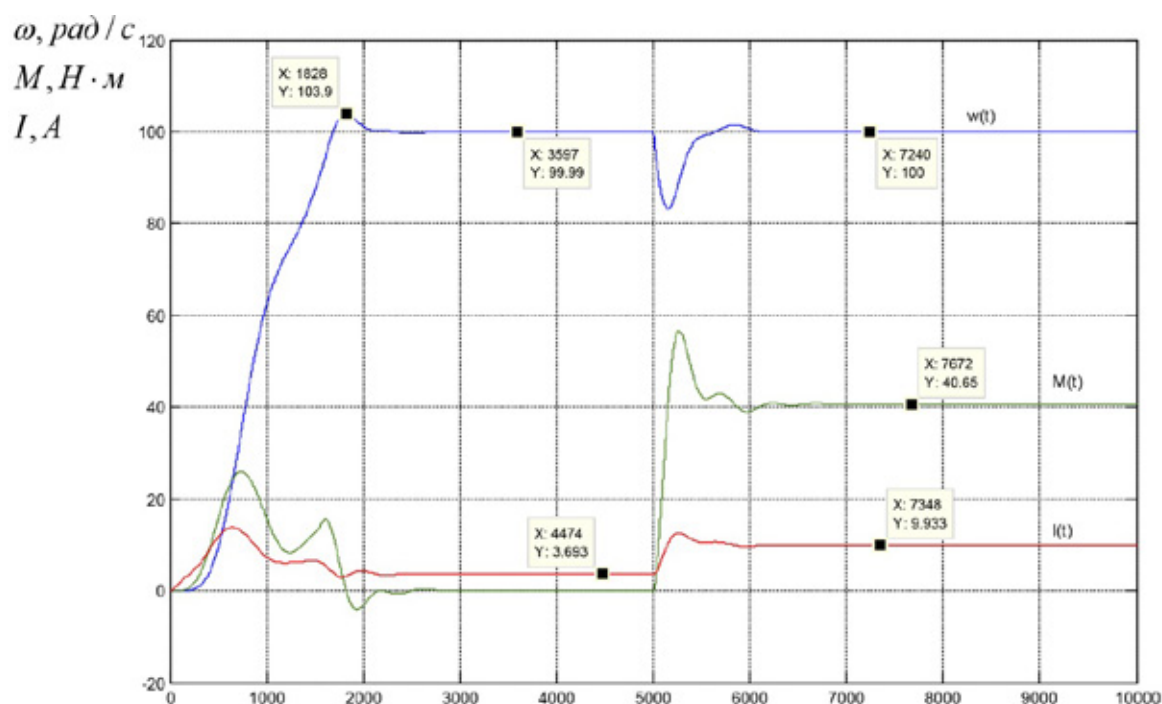


Рисунок 45 – График переходных процессов тока, скорости и момента нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат

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].

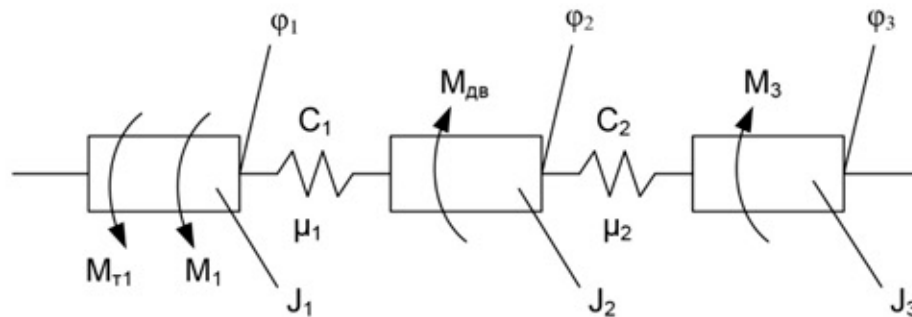


Рисунок 46 – Динамическая модель лифта

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;

μ_1, μ_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;

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

приведенный к валу двигателя;

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

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

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

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

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

инерции лебедки, приведенный к валу двигателя;

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

приведенная к крутильной на валу двигателя, определяется для двух положений кабины на 12-ом и на 1-ом этажах: $C_2 = 26,93 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$, $C_2 = 19,457 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$; при этом линейная жесткость пружин подвески противовеса $k_{np} = n_{np} \cdot k'_{np} = 292890 \text{ Н/м}$, линейная жесткость канатов подвески противовеса $k_k = \frac{n_k \cdot F_k \cdot E_k}{l_k} = 3,31 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$, $k_k = 0,2548 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$, где $n_{np} = 3$ – количество

пружин в подвеске, $k'_{np} = 97630 \text{ Н/м}$ – 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

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

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

Коэффициенты демпфирования (рассеивания) колебаний в подвесках

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

относительное рассеивание энергии колебаний; $\Delta \Pi$ – энергия рассеиваемая

системой за один цикл колебаний, Дж; P – 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 ψ для рассеяния энергии в канатах $\psi=0,4\dots0,6$; 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).

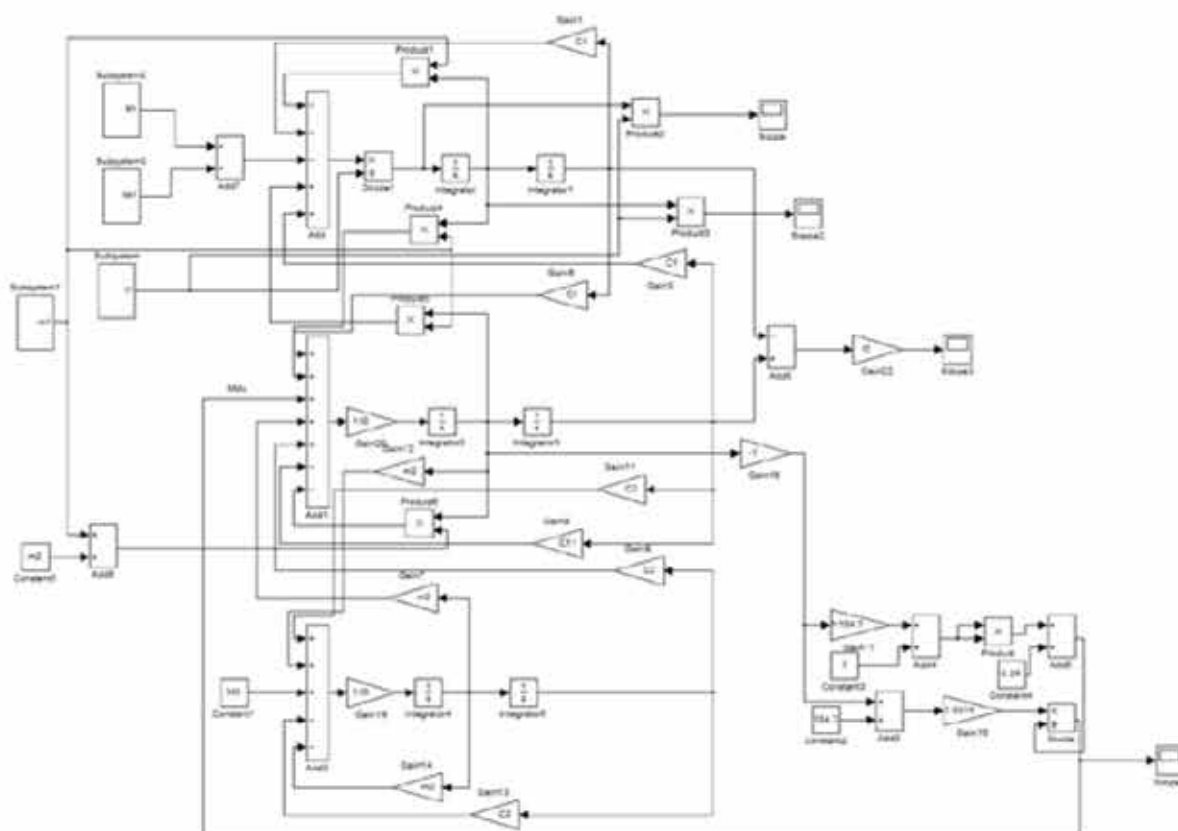


Рисунок 47 – Схема, моделирующая пуск лифта собранная в среде Matlab Simulink

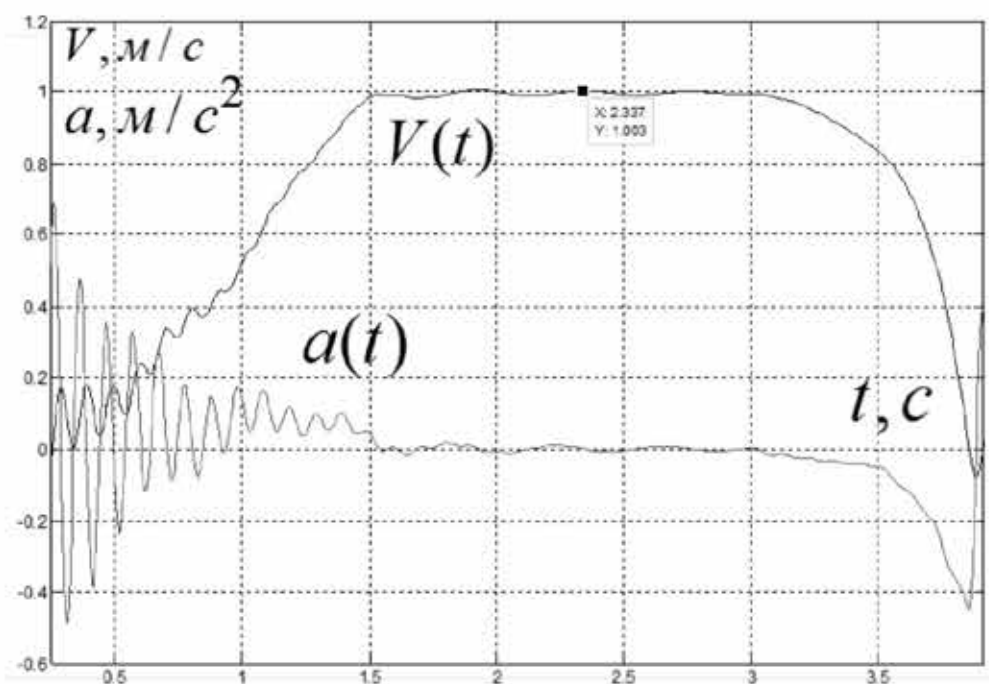


Рисунок 48 – Ускорение и скорость кабины

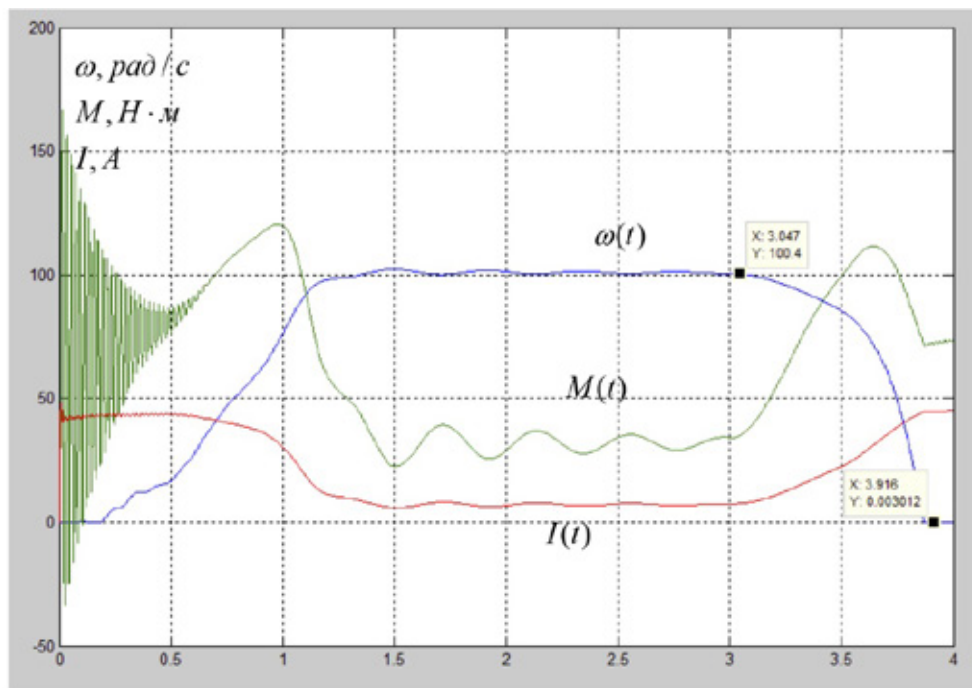


Рисунок 49 – Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса подъема кабины

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 $1,5 \text{ м/с}^2$, 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.

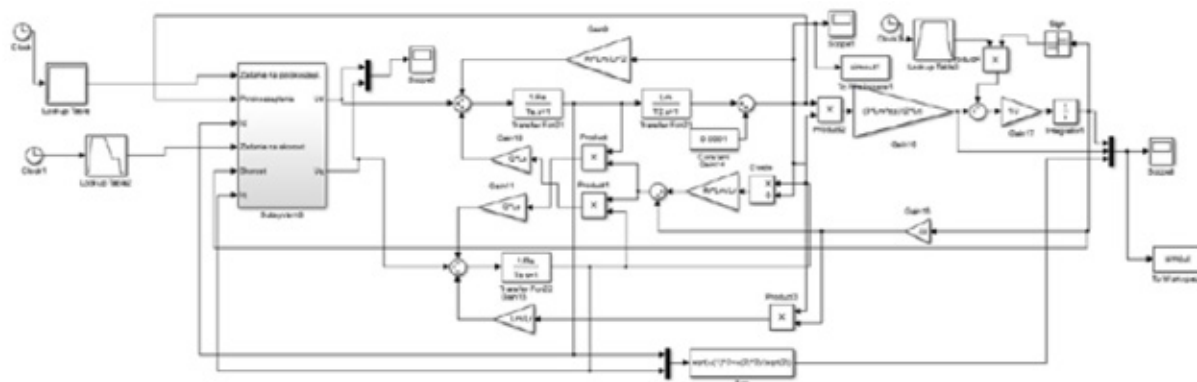


Рисунок 50 - Имитационная модель для исследования, режимов работы электропривода лифта в Matlab Simulink

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.

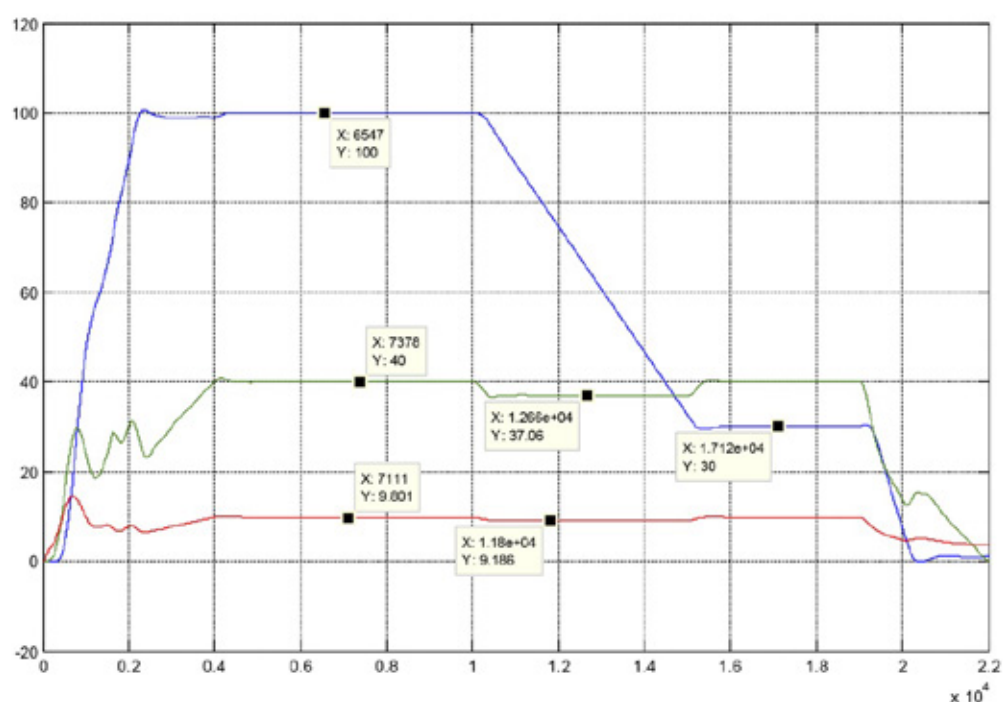


Рисунок 51 – Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса подъема кабины

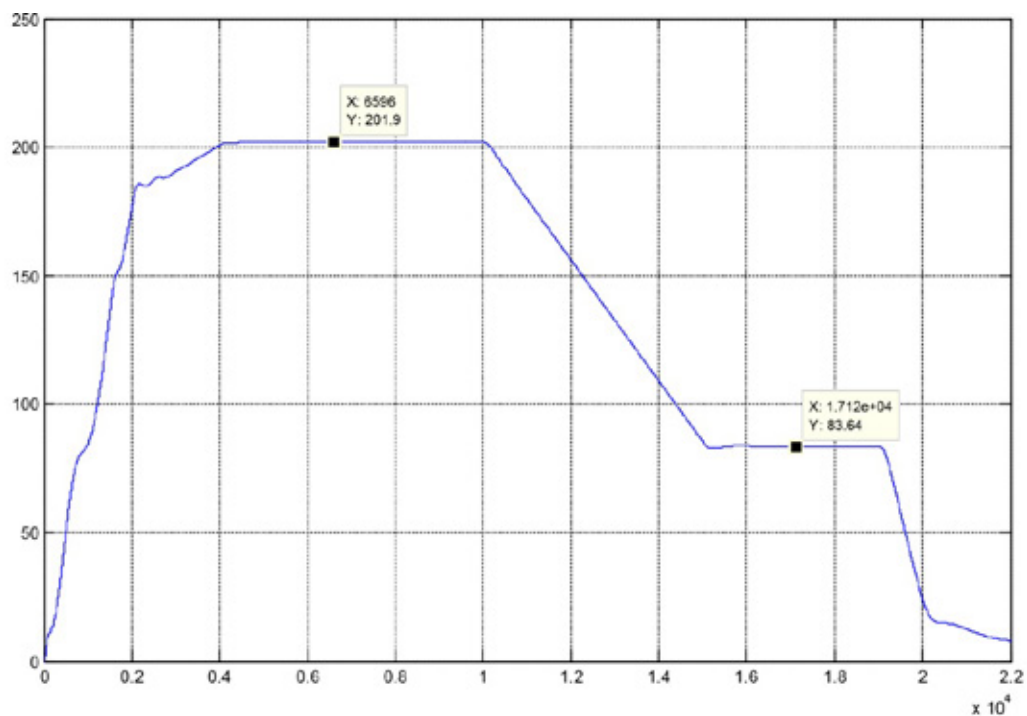


Рисунок 52 - График изменения напряжения на обмотках статора АД, при моделирование процесса подъёма кабины лифта

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.

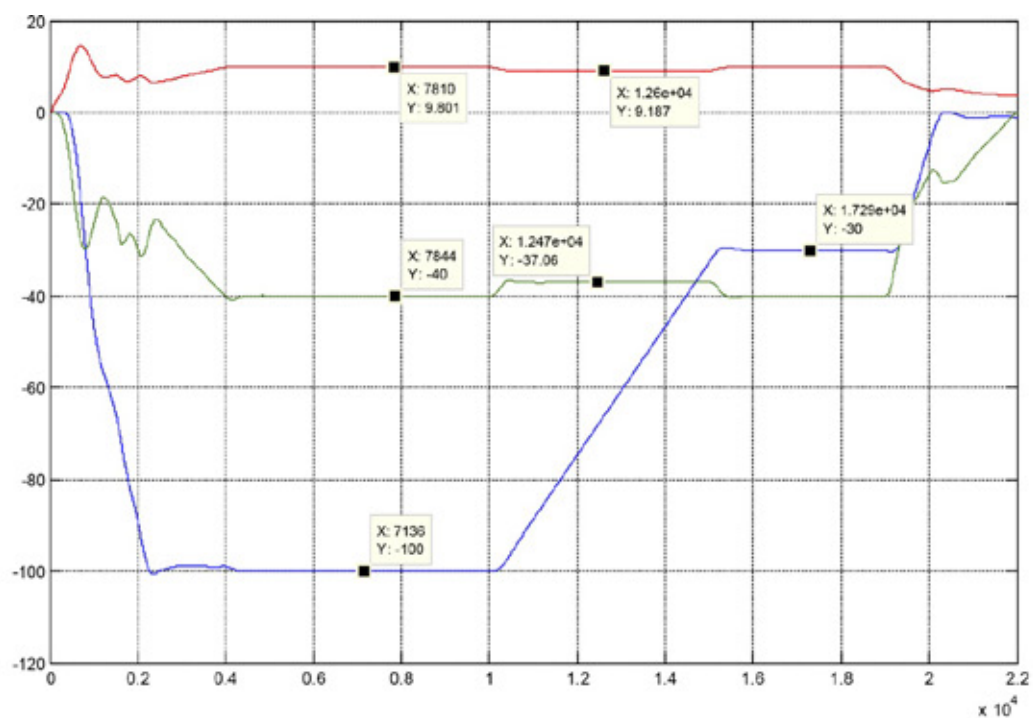


Рисунок 53 – Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса опускания кабины

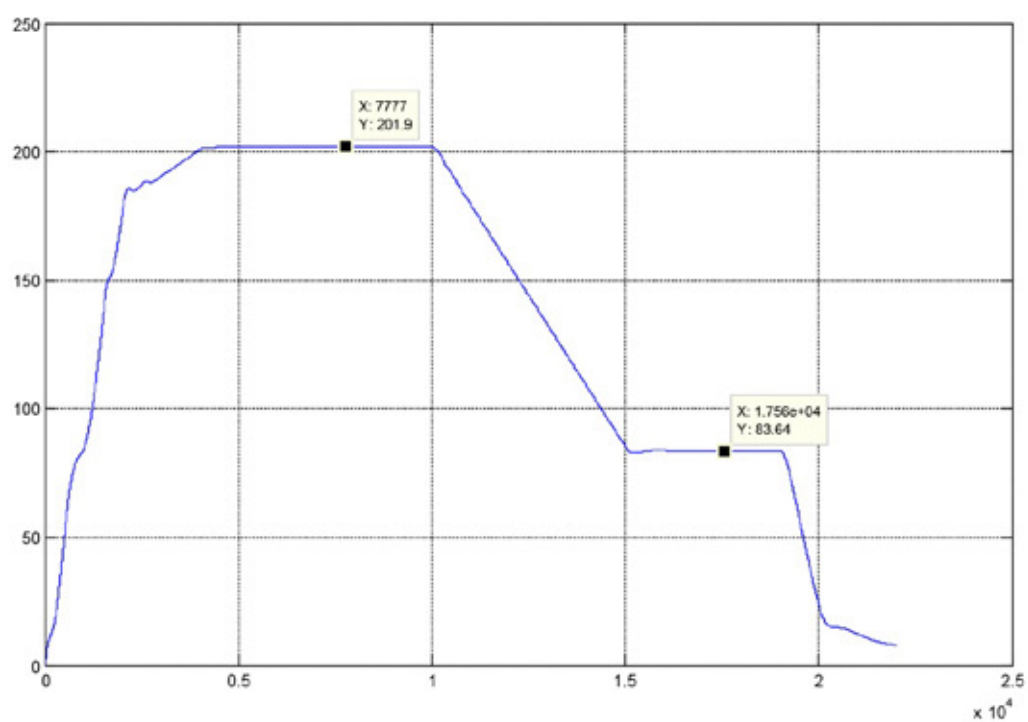


Рисунок 54 - График изменения напряжения на обмотках статора АД, при моделирование процесса опускания кабины лифта

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»**

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Железов Дмитрий Алексеевич

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	-Проект выполняется по заказу ООО «Кузнецклифт», - Приблизительная сумма затрат на выполнение проекта составляет 1 миллион рублей, -В реализации проекта задействованы 5 человек: руководитель проекта, инженер-разработчик, 3 электромонтера;
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- Отчисления по страховым взносам - 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, - Потенциальные потребители результатов НТП, - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. <i>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
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение ресурсной и экономической эффективности исследования - Определение научно-технической эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- 1.График Ганта,
- 2.Смета затрат

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Железов Д. А.		

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Темой 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.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет проекта;
- произвести оценку экономической эффективности исследования.

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

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.

В связи с бурным развитием лифтостроения проектные и пуско-наладочные работы проводятся на всех объектах, где осуществляется реконструкция или модернизация действующего электрооборудования. Стоимость электрооборудования и его монтаж составляет большой удельный вес в общей стоимости реализации проекта.

Организация и планирование пуско-наладочных работ производится параллельно с проектированием в соответствии с нормативными актами. Пусконаладочные работы при монтаже электроприводов и их установке являются завершающей стадией процесса строительно-монтажных работ. Высокий уровень развития систем управления в лифтостроении, повышенные требования к качеству увеличивают объём ПНР и выделяют их в самостоятельный вид деятельности. От качества проведения ПНР зависит бесперебойность работы, безопасность и экономичность обслуживания электрооборудования лифта. Финансирование ПНР осуществляется из фонда заказчика. Средства выделяются на основе рассчитываемой сметы на проведения ПНР.

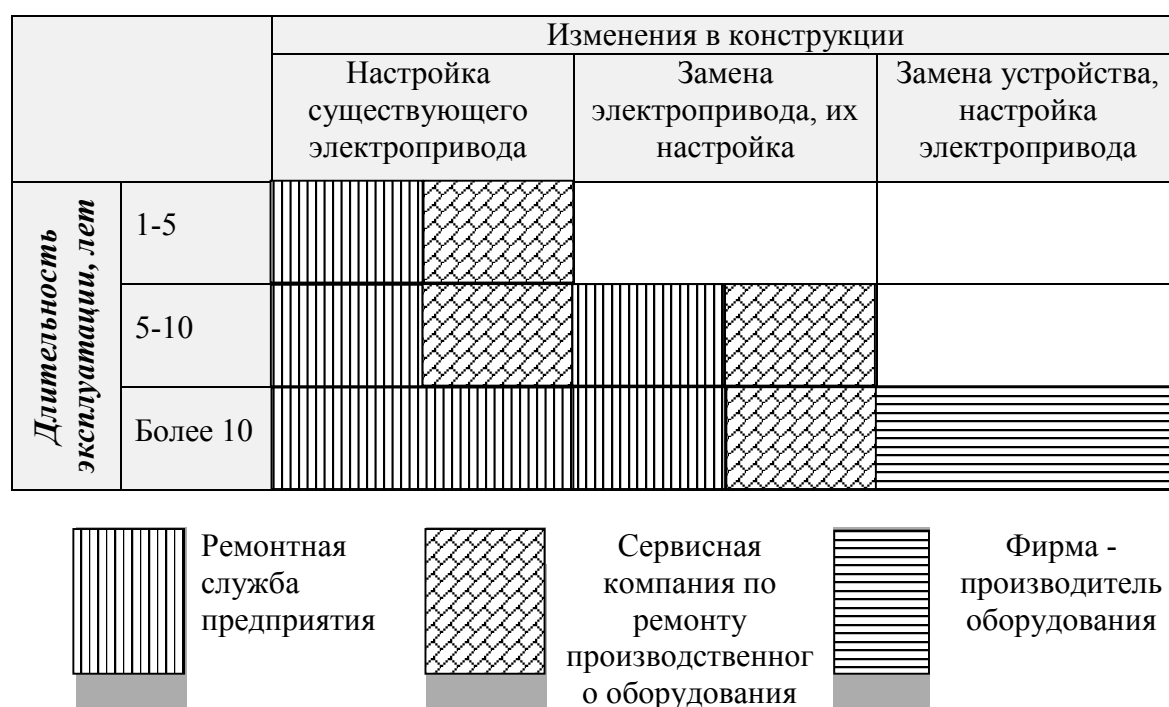


Рисунок 55. Карта сегментирования рынка услуг по разработке и внедрению в производстве электропривода:

В данной части выпускной квалификационной работы будут рассмотрены расчет затрат на проектные и ПНР при вводе в эксплуатацию электропривода лифта.

Сегментировать рынок услуг по разработке и внедрению в производстве электропривода можно по следующим критериям: изменение в конструкции существующих лифтов, длительность эксплуатации оборудования (рис. 55).

5.2 Обоснование выбранного оборудования и принятого способа управления агрегатами.

Выбор системы преобразователь частоты (ПЧ) → асинхронный двигатель (АД) основывался на технологических возможностях и соответствующей стоимости установки.

При разработке технологической системы ПЧ→АД выбор делался на возможность работать с заданной технологической нагрузкой без изменения конструкции и механических узлов установки.

При выборе данной системы были рассмотрены как отечественные, так и зарубежные марки приводов.

Выбор ПЧ проводился из условия соответствия уровня мощности и необходимой величины допустимого тока ПЧ и тока двигателя 5АИ12МВ6 при учете выбранного частотного способа регулирования и соответствующей стоимости преобразователя.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты (см. табл.12). Для этого необходимо проанализировать не менее 3-4 конкурентных товаров.

При выборе ПЧ были рассмотрены варианты таких фирм как Omron, АВВАС, Веспер, Элеси, но ПЧ марки Элеси на данный диапазон мощностей и при соответствующих функциональных возможностях оказались ниже по стоимости. Поэтому выбор был остановлен на ПЧ данной марки.

Таблица 12 – Стоимость ПЧ

Производитель ПЧ	Стоимость
OmronA1000	48550
ABBACS880	53590
ВесперЕЗ-9100	42085
ЭлесиESD-TCL-7,5	38200

5.3 Анализ и оценка научно-технической уровня проекта

Для определения научно - технического уровня проекта, его научной ценности, технической значимости и эффективности необходимо, рассчитать коэффициент научно-технического уровня (НТУ).

Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок. Суть метода состоит в присвоении каждому из признаков НТУ определенного числа баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик.

Формула для определения общей оценки:

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n k_i * \Pi_i$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

Π_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 13 - Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0,6
Теоретический уровень	0,4
Возможность реализации	0,2

Таблица 14 - Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 15 - Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 16 - Возможность реализации по времени и масштабам

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

Расчет НТУ:

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n k_i * \Pi_i$$

где $k_1 = 0,6$; $k_2 = 0,4$; $k_3 = 0,2$; $k_4 = 0,2$;

$\Pi_1 = 9$; $\Pi_2 = 6$; $\Pi_3 = 10$; $\Pi_4 = 4$.

$$\text{НТУ} = 0,6*9+0,4*6+0,2*10+0,2*4= 10,6.$$

По полученным значениям коэффициент научно-технического уровня (НТУ) можно сказать о достаточно высоком научно - техническом уровне проекта, его научной ценности, технической значимости и эффективности.

5.4 Анализ конкурентных технических решений

Проведем сравнения существующей системы управления(СУ) привода подъема лифта с проектируемой системой частотного управления.

Существующая СУ: электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с релейно-контакторной системой управления.

Проектируемая СУ: частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.

В таблице 17 приведем основные параметры рассматриваемых систем.

Таблица 17 – Параметры рассматриваемых систем

	Варианты		Примечания: (преимущества недостатки)
	Существующая СУ	Проектируемая СУ	
1. Общее количество составных частей	4	2	
2. Количество типов элементов	4	2	
3. Количество оригинальных элементов	2	2	
4. Стоимость покупных комплектующих		Стоимость в 2 раза больше	Снижение энергопотребления
5. Показатели надежности		Плавное изменение производительности, а как следствие защита от механических перегрузок. Защита от перегрузки, от к.з. на землю, сверхтоков, тепловая защита двигателя, токоограничение и ограничение перенапряжения.	Отсутствие щеточного аппарата

Продолжение таблицы 17 – Параметры рассматриваемых систем

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	

Для проведения сравнения выбираем следующие показатели:

1. уровень капитальных вложений;
2. уровень надежности;
3. уровень обслуживания;
4. завышение мощности электропривода;
5. уровень затрат на эксплуатацию;
6. генерирование помех.

В таблице 18 приведены коэффициенты весомости критериев сравнения.

Таблица 18 – Коэффициенты весомости критериев сравнения

Преобразователь частоты	№ Критерия сравнения					
	1	2	3	4	5	6
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

По каждому критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели (таблица 19).

Таблица 19 – Оценка степени обеспечения цели

Уровень цели	Низкий	Средний	Высокий
Оценка обеспечения цели	0	0,5	1

Проанализировав результаты расчета, по оценке качества систем управления насосными агрегатами, можно судить о необходимости замены старой системы на систему частотного управления.

5.5. Планирование комплекса работ на создание проекта

Комплекс работ по созданию проекта включает в себя 2 этапа:

- проектировка электропривода лифта;
- пуско-наладочные работы электропривода лифта.

Проект электропривода лифта будут разрабатывать 2 человека: руководитель проекта и инженер-разработчик.

Пуско-наладочные работы будут осуществлять руководитель и бригада электромонтеров, один из которых будет выполнять обязанности бригадира.

5.5.1 Определение трудоемкости работ

Расчет трудоемкости работ проводится опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле:

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

где $t_{\text{min}i}$ – минимальная возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой операции (оптимистическая оценка), чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$ – максимальная возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой операции (пессимистическая оценка), чел.-дн..

Разработка технического задания на проектирование:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 2}{5} = 3 \text{ чел.-дн.}$$

Остальные расчеты пунктов трудоемкости работ выполняются аналогичным способом и приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Содержание проектных работ

№	Содержание работ	Продолжительность работ, чел.-дн.		
		t _{min}	t _{max}	t _{ож}
1	Разработка технического задания на проектирование	2	4	3
2	Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	2	4	3
3	Описание объекта модернизации	7	14	10
4	Разработка структурной схемы ЭП	4	8	6
5	Кинематическая схема механизма	7	15	10
6	Расчет мощности и выбор электродвигателя	2	4	3
7	Выбор системы и алгоритма управления. Подбор оборудования для управления (ПЧ, контроллер, датчики)	5	10	7
8	Создание скалярных систем управления, согласно з. Костенко. Компенсация потерь	6	11	8
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	8	15	11
10	Разработка программы имитационного моделирования	8	15	11
11	11. Вопросы безопасности и экологичности проекта	5	10	7
12	Технико-экономические расчеты	6	11	8
13	Составление пояснительной записки	18	24	20,5
14	Разработка графического сопровождения проекта	5	10	7
	Итого:	85	155	116,5

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{Ч_i},$$

Где Ч_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Разработка технического задания на проектирование:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{Ч_i} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ дн.}$$

Остальные расчеты пунктов продолжительности работ выполняются аналогичным способом и приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Продолжительность проектных работ

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

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

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

где k – коэффициент календарности, предназначенный для перевода рабочего времени в календарное, который рассчитывается по формуле:

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

где $T_{\text{КГ}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{ВД}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{ПД}}$ – количество праздничных дней в году;

$$k = \frac{T_{\text{КГ}}}{T_{\text{КГ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45,$$

тогда при расчете длительности этапов в рабочих днях расчетную величину продолжительности работ T_k нужно округлить до целых чисел.

Разработка технического задания на проектирование (в календарных днях):

$$T_{ki} = 1,5 * 1,45 = 2.$$

Дальнейший расчет пунктов продолжительности работ в календарных днях выполняется аналогично и результаты приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Продолжительность проектных работ (в календарных днях)

№	Содержание работ	Продолжительность работ, к.дни		
		T_p	k	T_k
1	Разработка технического задания на проектирование	1,5	1,45	2
2	Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	3	1,45	4
3	Описание объекта модернизации	5	1,45	7
4	Разработка структурной схемы ЭП	3	1,45	4
5	Кинематическая схема механизма	5	1,45	7
6	Расчет мощности и выбор электродвигателя	3	1,45	4
7	Выбор системы и алгоритма управления. Подбор оборудования для управления (ПЧ, контроллер, датчики)	3,5	1,45	5
8	Создание скалярных систем управления, согласно з. Костенко. Компенсация потерь.	4	1,45	6
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	5	1,45	7
10	Разработка программы имитационного моделирования	5,5	1,45	8
11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	3,5	1,45	5
12	Технико-экономические расчеты	4	1,45	6
13	Составление пояснительной записки	20,5	1,45	30
14	Разработка графического сопровождения проекта	3,5	1,45	5
	Итого:	70		100

Результаты расчетов временных показателей разработка проекта приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Временные показатели разработки проекта

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ						
		t _{min} , чел.- дн.	t _{max} , чел.- дн.	t _{ож} , чел.- дн.	T _p , раб. дн.	T _к , кол.дн.	У _i , %	Г _i , %
1	Руководитель, Инженер- разработчик	2	4	3	1,5	2	2	2
2	Инженер- разработчик	2	4	3	3	4	4	6
3	Руководитель, Инженер- разработчик	7	14	10	5	7	7	13
4	Руководитель, Инженер- разработчик	4	8	6	3	4	4	17
5	Руководитель, Инженер- разработчик	7	15	10	5	7	7	24
6	Инженер- разработчик	2	4	3	3	4	4	28
7	Руководитель, Инженер- разработчик	5	10	7	3,5	5	5	33
8	Руководитель, Инженер- разработчик	6	11	8	4	6	6	39
9	Руководитель, Инженер- разработчик	8	15	11	5	7	7	46
10	Руководитель, Инженер- разработчик	8	15	11	5,5	8	8	54

Продолжение таблицы 23 – Временные показатели разработки проекта

11	Руководитель, Инженер-разработчик	5	10	7	3,5	5	5	59
12	Руководитель, Инженер-разработчик	6	11	8	4	6	6	65
13	Инженер-разработчик	18	24	20,5	20,5	30	30	95
14	Руководитель, Инженер-разработчик	5	10	7	3,5	5	5	100
Итого						100		

Далее в таблице 24 приведен календарный план разработки проект в форме диаграмм Ганта.

Таблица 24 – Календарный план разработки проекта

#	Вид работы	Исполнители	Т _к	Февраль				Март				Апрель				Май				Июнь			
1	Разработка технического задания на проектирование	Руководитель, Инженер- разработчик	2																				
2	Разработка плана работ и техничко- экономическое обоснование проекта	Инженер- разработчик	4																				
3	Описание объекта модернизации	Руководитель, Инженер- разработчик	7																				
4	Разработка структурной схемы ЭП	Руководитель, Инженер- разработчик	4																				

Продолжение таблицы 24 – Календарный план разработки проекта

[illegible]

Таблица 25 – Структура ПНР

№	Состав работы	Трудоемкость, дни
1	Подготовительные работы	15
2	Пуско-наладочные работы	35
3	Комплексное опробование	10
4	Оформление отчётной документации; сдача объекта в эксплуатацию	10
	Общий срок монтажа	70

Далее в таблице 26 представлен список ПНР

Таблица 26 – Содержание ПНР

№ п.	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 параметров двигателя и системы в преобразователе частоты	- бригада электромонтеров	5

Продолжение таблицы 26 – Содержание ПНР

	2,3 монтаж и проверка защитных блокировок и сигнализации	- бригада электромонтеров	10
	2,4 проверка системы управления без нагрузки (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 изменений в ПНР, выявленных во время работ	- бригада электромонтеров	2
	4,3 сдача объекта в эксплуатацию	- руководитель проекта; - бригада электромонтеров	5

5.5.3 Состав бригады для проведения ПНР

Количество членов бригады регламентируется требованиями к ПНР:

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

Состав бригады, проводящей ПНР, приведён в таблице 27.

Таблица 27 – Состав бригады, выполняющей ПНР

	Состав бригады	Категория
1	электромонтер – бригадир	5
2	электромонтер	4
3	электромонтер	4

Далее в таблице 28 приведен календарный план ПНР.

Таблица 28 – Календарный план ПНР

№	Содержание работы	Исполнители	Т _к	Июнь	Июль	Август
1	Ознакомление с документацией проекта; характеристик	- руководитель проекта; - бригада электромонтеров	3			
	Составление графика ПНР, а также графика испытаний и наладки объекта	- руководитель проекта; - бригада электромонтеров	7			
	Подготовка оборудования и инструмента	- бригада электромонтеров	3			
	Осмотр электрооборудования и проверка соответствия технических характеристик	- бригада электромонтеров	2			
2	Монтаж оборудования	- бригада электромонтеров	15			
	Настройка параметров двигателя и системы в преобразователе частоты	- бригада электромонтеров	5			
	Монтаж и проверка защитных блокировок и сигнализации	- бригада электромонтеров	10			
	Проверка системы управления без нагрузки (в холостую); снятие необходимых характеристик СУ	- руководитель проекта; - бригада электромонтеров	5			

Продолжение таблицы 28 – Календарный план ПНР

[illegible]

 - бригада электромонтеров;  - руководитель проекта.

Календарный план ПНР составлен с учетом выходных праздничных дней. На пуско-наладочный работы потребуется 70 рабочих дней. Результат испытаний ПНР обеспечивают работу электрооборудования в соответствии с действующими правилами устройства электроустановок, технической документацией предприятия-изготовителя.

Всего на разработку и ПНР проекта потребуется 170 рабочих дней, которые выполняют 5 человек: руководитель проекта, инженер-конструктор и бригада электромонтеров.

5.6. Бюджет проектной работы

Осуществление проектной работы потребует расчеты следующих пунктов затрат:

- материальные затраты (затраты на канцелярию и на литературу);
- капитальные затраты (необходимое специальное и дополнительное оборудование, стоимость монтажных и пусконаладочных работ, а также транспортные расходы);
- расчет заработной платы исполнителей проекта;
- расчет пенсионных и страховых расходов;
- расчет накладных расходов;
- расчет расходов при эксплуатации электропривода лифта;
- расчет амортизационных отчислений;
- расчет заработной платы обслуживающего персонала.

5.6.1 Расчет бюджета проектной работы

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при разработке проекта;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при разработке проекта

$Ц_i$ – цена приобретения i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15 % от стоимости).

$$З_m = (1+0,15)*(1*200 + 1*1000 + 2*50 + 4*10 + 10*10 + 4*1000) = 6256 \text{ руб.}$$

В таблице 18 указаны материальные затраты проектной работы.

Таблица 29 – 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

Продолжение таблицы 29 – Материальные затраты проектной работы

Ручка	1	3	10	10	11,5	34,5
Мел	-	10	-	10	-	115
Литература	2	2	1000	1000	2300	2300
Итого					6256	
1 – Инженер разработчик						
2 – Бригада электромонтеров						

Получаем сумма материальных затрат надля обеспечения бригады монтажников составила 6256 руб.

5.6.2 Расчет капитальных затрат

Данный расчет включает в себя такие затраты, как контрольно-измерительное оборудование, программное обеспечение, непосредственно проектируемое оборудование и др., рассчитывается по аналогичное формуле расчета бюджета проектной работы.

В таблице 30 приведены данные о капитальных затратах выполняемой работы.

Таблица 30 – Капитальные затраты

№	Наименование	Цена за ед., руб.
1	- программное обеспечение;	15000
	- электродвигатель ¹ ;	13680
	- преобразователь частоты ² ;	38200
	- датчики ^{3,4} ;	11081
	- лифтовая станция ⁵ ;	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

Продолжение таблицы 30 – Капитальные затраты

3	- транспортные расходы (15% от р.1+р.2)	26924
	Общая стоимость проекта по закупке, монтажу и доставке оборудования	206417
¹ http://www.etm.ru/cat/nn/6475168/ ² http://elesy.ru/ ³ http://amitron.promportal.su/goods_1001968.htm ⁴ http://www.compel.ru/infosheet/LEM/LA55-P/ ⁵ http://www.elprom-rit.com/production/lift/		

Расчет капитальных вложений проводился с учетом цен действительных на 16.02.16г.

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

5.6.3 Расчет заработной платы исполнителей проекта

Заработная плата начисляется за отработанное время и включает в себя дополнительные надбавки (премия, районный коэффициент и надбавки за сложность проекта).

Инженер-разработчик, руководитель проекта, а также бригада электромонтеров имеют повременную оплату труда, пятидневный график работы и восьмичасовой рабочий день.

Инженер разработчик имеет оклад 10450 руб..

Руководитель проекта имеет оклад 14400 руб..

Электромонтер 4 разряда имеет оклад 10450 руб..

Электромонтер 5 разряда имеет оклад 12330 руб..

Расчет основной заработной платы разработчика проекта:

$$ЗП_{\text{разр.}} = (З_{\text{ок}} + k_{\text{пр}} + k_{\text{с}}) * k_{\text{р}},$$

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;

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

Расчет дневной заработной платы разработчика проекта:

$$ЗП_{\text{разр.д.}} = \frac{ЗП_{\text{разр.}}}{F_{\text{д}}},$$

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

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

Расчет заработной платы разработчика проекта за период работы:

$$ЗП_{\text{разр.пер.}} = ЗП_{\text{разр.д.}} * F_{\text{пер}},$$

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

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

Расчет основной заработной платы руководителя проекта:

$$ЗП_{\text{рук.}} = (З_{\text{ок}} + k_{\text{пр}} + k_{\text{с}}) * k_{\text{р}},$$

$$ЗП_{\text{разр.}} = (14400 + 4320 + 5000) * 1,3 = 30836 \text{ руб./мес.}$$

Расчет дневной заработной платы руководителя проекта:

$$ЗП_{\text{рук.д.}} = \frac{ЗП_{\text{рук.}}}{F_{\text{д}}},$$

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

Расчет заработной платы руководителя проекта за период работы:

$$ЗП_{\text{разр.пер.}} = ЗП_{\text{разр.д.}} * F_{\text{пер}},$$

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

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

Расчет основной заработной платы электромонтера 5 разряда:

$$ЗП_{\text{эл.5р.}} = (З_{\text{ок}} + k_{\text{пр}} + k_6) * k_p,$$

где $k_6 = 3000$ руб. – надбавка за руководство бригадой;

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

Расчет дневной заработной платы электромонтера 5 разряда:

$$ЗП_{\text{эл.5р.д.}} = \frac{ЗП_{\text{эл.5р.}}}{F_d},$$

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

Расчет заработной платы электромонтера 5 разряда за период работы:

$$ЗП_{\text{эл.5р.пер.}} = ЗП_{\text{эл.5р.д.}} * F_{\text{пер}},$$

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

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

Расчет основной заработной платы электромонтера 4 разряда:

$$ЗП_{\text{эл.4р.}} = (З_{\text{ок}} + k_{\text{пр}} + k_{\text{сл}}) * k_p,$$

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

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

Расчет дневной заработной платы электромонтера 4 разряда:

$$ЗП_{\text{эл.4р.д.}} = \frac{ЗП_{\text{эл.4р.}}}{F_d},$$

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

Расчет заработной платы электромонтера 4 разряда за период работы:

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

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

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 31 – 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

Величина отчислений в пенсионный и страховой фонд рассчитывается по формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} * ЗП_{об},$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату пенсионных и страховых отчислений (в 2016 году $k_{внеб} = 30\%$);

$ЗП_{об} = 551596$ руб. – заработная плата всех исполнителей за весь период разработки и монтажа;

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

5.6.5 Расчет накладных расходов

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = (З_{м} + З_{к} + ЗП_{об} + З_{внеб}) * k_{нр},$$

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

$$З_{накл} = (6256 + 206417 + 551596 + 165478,8) * 0,16 = 148760 \text{ руб.}$$

5.7 Формирование бюджета по монтажу и ПНР лифта

В таблице 32 приведена общая стоимость затрат по монтажу и ПНР.

Таблица 32 – Затраты на монтаж 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% 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

Таким образом затраты заказчика составили 1147775 руб., из которых 206417 руб. на закупку и доставку оборудования, 551596 руб. на оплату квалифицированного персонала монтажной организации, 314238,8 руб. были затрачены на накладные расходы и отчисления в пенсионный и страховой фонды, прибыль монтажной организации составила 69267 руб.

5.8 Расчет расходов при эксплуатации электропривода

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат: расходы на электроэнергию; заработная плата обслуживающего персонала; амортизационные отчисления.

Расчет силовой электроэнергии, используемой для питания привода рабочего механизма

Силовая электроэнергия рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} * F_{\text{д}} * k_{\text{м}} * k_{\text{е}} * k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} * k_{\text{с}}},$$

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_c – коэф., учитывающий потери в сети (0.93);

$k_{дв}$ – коэф., учитывающий потери в двигателях (0.95).

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{4 \cdot 3750 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,8}{0,93 \cdot 0,95} = 6655 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} \cdot C_{\text{э}},$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость одного кВт·ч электроэнергии для промышленных предприятий (одноставочный тариф на потребляемую электроэнергию составляет 2,05 руб./кВт·ч, для г. Новокузнецка на 1 января 2016 года);

$$C_{\text{эл}} = 6655 \cdot 2,05 = 13642,75 \text{ руб./год}.$$

5.9 Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации, по следующему выражению:

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{N_A}{100},$$

где K – капитальные вложения в электрооборудование;

N_A – проценты отчислений на амортизацию (для электродвигателей норма амортизации составляет 9,6%)

$$A_{\text{год}} = 13680 \cdot \frac{9,6}{100} = 1313,3 \text{ руб.}$$

Для преобразователя частоты норма амортизации составляет 3,5 %:

$$A_{\text{год}} = 38200 \cdot \frac{3,5}{100} = 1337 \text{ руб.}$$

Для общей системы электропривода норма амортизации составляет 9,6%:

$$A_{\text{год}} = 206417 \cdot \frac{9,6}{100} = 19816 \text{ руб.}$$

5.10 Расчет заработной платы обслуживающего персонала

Обслуживание частотного электропривода лифта входит в обязанности оперативно-ремонтного персонала ремонтной службы данного жилого района.

Оплата труда наладчика включает в себя основную и дополнительную заработную плату. К основной заработной плате относится оплата, начисленная за отработанное время, работа в выходные дни, а также сверхурочные работы). К дополнительной заработной плате относятся оплата, начисленная за неотработанное время (оплата ежегодного отпуска).

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

Расчет основной заработной платы электромонтера 5 разряда:

$$ЗП_{\text{осн.}} = (З_{\text{ок}} + k_{\text{пр}} + k_{\text{с}}) * k_{\text{р}},$$

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

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

Расчет дневной заработной платы электромонтера 5 разряда:

$$ЗП_{\text{осн.д.}} = \frac{ЗП_{\text{осн.}}}{F_{\text{д}}},$$

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

Расчет заработной платы электромонтера 5 разряда за период работы:

$$ЗП_{\text{осн.г.}} = ЗП_{\text{осн.д.}} * F_{\text{пер}},$$

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

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

Расчет дополнительной платы электромонтера 5 разряда:

$$ЗП_{\text{доп.}} = 0,15 * ЗП_{\text{осн.г.}},$$

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

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

$$ЗП_{\text{пол.}} = ЗП_{\text{осн.}} + ЗП_{\text{доп.}},$$

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

5.11 Расчет общей суммы эксплуатационных расходов

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

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

Таким образом, общие эксплуатационные расходы в год на обслуживание лифта составили 355819,75 руб./год., из которых 13642,75 руб. – затраты на электроэнергию, 22791,2 руб. – амортизационные отчисления и 319385,8 – заработная плата обслуживающего персонала.

5.12. Определение ресурсосберегающей и экономической эффективности проекта

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

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;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения проекта;

$$I_{\text{финр}}^{\text{Элеси}} = \frac{1147775}{1201365} = 0,955;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{ВЕСПЕР}} = \frac{1188005,4}{1201365} = 0,958;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{OMRON}} = \frac{1194470,4}{1201365} = 0,964;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{ABB}} = \frac{1201365}{1201365} = 1.$$

5.12.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитывается по формуле:

$$I_{pi} = \sum a^i * b^i,$$

где a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b^i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки (устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания)

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 33.

Таблица 33 – 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

$$I_{\text{ЭЛЕСИ}} = 10 * 0,15 + 9 * 0,15 + 10 * 0,25 + 10 * 0,2 + 10 * 0,15 + 10 * 0,1 = 9,85;$$

$$I_{\text{ВЕСПЕР}} = 10 * 0,15 + 8 * 0,15 + 10 * 0,25 + 10 * 0,2 + 10 * 0,15 + 9 * 0,1 = 9,6;$$

$$I_{\text{OMRON}} = 10 * 1,5 + 8 * 1,5 + 10 * 2,5 + 10 * 2 + 10 * 1,5 + 8 * 0,1 = 9,5;$$

$$I_{\text{ABBC}} = 10 * 0,15 + 7 * 0,15 + 10 * 2,5 + 10 * 2 + 10 * 1,5 + 6 * 0,1 = 9,15.$$

5.12.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения проекта

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения проекта лифта определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

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

$$I_{\text{Элеси}} = \frac{9,85}{0,987} = 10,31;$$

$$I_{\text{Веспер}} = \frac{9,6}{0,99} = 10,02;$$

$$I_{\text{OMRON}} = \frac{9,5}{0,995} = 9,85;$$

$$I_{\text{ABB}} = \frac{9,15}{1} = 9,15.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта приведена в таблице 34 и рассчитывается по формуле:

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср.Элеси}} = \frac{10,31}{10,31} = 1;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср.Веспер}} = \frac{10,02}{10,31} = 0,97;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср.OMRON}} = \frac{9,55}{10,31} = 0,95;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср.ABB}} = \frac{9,15}{10,31} = 0,89.$$

Таблица 34 – Сравнительная эффективность проекта

№	Показатель	Элеси	Веспер	Omron	ABB
1	Интегральный финансовый показатель проекта	0,955	0,958	0,964	1
2	Интегральный 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 значений с позиции финансовой эффективности и ресурсоэффективности указывает на первый вариант исполнения, как наиболее эффективный, с использованием преобразователя частоты Элеси ESD-TCL-7,5.

Заключение

В экономической части ВКР было проведено экономическое обоснование выбранного оборудования и принятого способа управления механизмом подъема лифта. Согласно полученной величине общей оценки качества, подтверждена необходимость замены старой системы управления, и высокая эффективность системы частотного регулирования.

Также было проведено планирование и составлены графики проектных и пусконаладочных работ. Всего потребуется 170 рабочих дней на реализацию проекта.

Составлена смета затрат на проектирование. Проведен расчет капитальных и амортизационных вложений, расчет заработной платы исполнителей проекта и обслуживающего персонала, также были рассчитаны эксплуатационные и накладные расходы. Величина затрат на реализацию проекта составила 1184120,4 рублей.

На основании расчета интегрального показателя разработанного проекта, а также по итогам сравнения финансовой и ресурсоэффективности наиболее эффективным получается первый электропривод с преобразователем частоты Элеси ESD-TCL-7.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Железов Дмитрий Алексеевич

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: - вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Рабочая площадка представляет собой закрытую территорию. Основное рабочее оборудование – электропривод лифта. - Физические вредные факторы: повышения уровня шума, повышения уровня вибрации, превышение электромагнитных излучений. - Физические опасные факторы: электрический ток; движущиеся машины и механизмы; статическое электричество. - Психофизиологические вредные факторы: степень нервно- эмоционального напряжения. - Негативное влияние на окружающую среду: бытовые отходы. - Чрезвычайные ситуации: пожар.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной сред;	- Основными вредными факторами являются: Шум и вибрация; Отклонение показателей микроклимата;
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды;	Опасными факторами являются: Возможность получения травм в следствии: - Движения машин и механизмов. - Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.
3. Охрана окружающей среды: - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы).	- Бытовые отходы. Отходы, образующиеся при поломке элементов электропривода.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: - перечень возможных ЧС на объекте; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	- Возможные ЧС: пожар. - Пожар. - Устройства оповещения при пожаре. - Соблюдения техники безопасности - Вызвать пожарных.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	- Аварийно-техническое обслуживание и модернизация лифта. - Ежегодная подготовка лифта к техническому освидетельствованию.

Перечень графического материала:

Схема защитного заземления

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Железов Дмитрий Алексеевич		

6. Социальная ответственность

6.1. Введение

Социальная ответственность (social responsibility) - 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.

6.2. 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.

6.3. Производственный шум

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека. Шумы возникают в результате неправильной балансировки, неуравновешенности роторов, муфт и других вращающихся деталей. Неисправности в механизмах, перекосы, недостаточная смазка, неуплотненное крепление – все это увеличивает шум, вызывает удары. 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 ($f_{\text{сг}} < 250$ 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. Когда шум в источнике не может быть снижен до предельно допустимого уровня, технологические процессы и агрегаты изолируют от остального оборудования и рабочих мест.

6.4. Вибрация

Вибрация - является вредным производственным фактором. Вибрация - это механические колебания твёрдых тел, передаваемые организму человека. Они могут быть причиной расстройства сердечно-сосудистой и нервной системы, а так же опорно-двигательной системы человека. 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.

6.5. 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 прикосновения токопроводящими частями прибора. Измерительные и управляющие цепи, соединенные с доступными для прикосновения 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 компонентами по I классу защиты и защитным экраном, соединенным с защитным заземлением. Внутренние цепи имеющие части под опасным напряжением должны быть изолированы от частей, доступных для прикосновения 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 прикосновения.

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 прикосновения 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.

6.6. Требования к защите от перегрева

Нагрев прибора при нормальной - эксплуатации не должен вызывать пожара или деформации и представлять опасность для оператора при касании доступных частей.

Корпус прибора должен обладать достаточной стойкостью к воздействию внешних механических факторов при повышенной температуре.

Нагрев отдельных частей и элементов прибора не должен превышать значений, указанных в таблице 4 ГОСТ 26104-Я9.

6.7. Требования к механической прочности

Прибор должен иметь достаточную механическую прочность, электрические соединения и изоляцию токоведущих частей, а также крепление элементов и частей прибора не должно разрушаться при механических воздействиях.

Конструкция прибора должна исключать возможность короткого замыкания изоляции между частями цепи сети (или цепям и эквивалентными сети) и доступными металлическим частями из-за случайного ослабления проводов, винтов и тому подобного.

Прочность, соединения проводов не должна зависеть только от пайки, провода перед пайкой должны загибаться в отверстие, или обматываться вокруг контактного лепестка. Если соединительные провода перегибать или обматывать нельзя, то прочность монтажа должна быть обеспечена при помощи кабельных зажимов или кабельных монтажных жгутов и путем применения изоляционной трубки установленного диаметра для защиты проводов от механических воздействий, Это требование не относится к концам проводников компонентов в печатных платах.

Изоляционный материал, на котором закрепляются части, соединенные с сетевым питанием (контакты выключателей сетей, держатели предохранителей, сетевые разъемы и тому подобное) должен быть теплостойким, если в нормальных условиях по этим частям проходит ток свыше 0,5 А.

6.8 Расчёт искусственного заземления

Данные для расчёта приведены в таблице 34

Таблица 34 - Данные для расчёта

Тип заземления	Длина, l, м	Диаметр, d, мм	Глубина заложения заземлителя, H ₀ , м	Расстояние между одинарными заземлителями, а, м	Удельное сопротивление грунта для супеска, r _{гр} , Ом × м	Доп. сопротивление, R _з , Ом
Стальная труба	2,5м	50мм	0,8м	2,5м	400 Ом × м	4 Ом

Тип обвязки вертикальных заземлителей, расположенных по контуру: стальная полоса. Определим общее сопротивление одиночных заземлителей для вертикально заглублённых в грунте и глубину заложения середины электрода от поверхности грунта:

$$R_{об} = \frac{r_{гр}}{2\pi l d} \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H + l}{4H - l}$$

$$H = 0,8 + \frac{1}{2} 2,5 = 2,05 \text{ м};$$

$$R_{об} = \frac{400}{2 \cdot 14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,05} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,05 + 2,5}{4 \cdot 2,05 - 2,5} \right) = 120 \text{ ом};$$

(8.3)

где l, d и H – длина, диаметр и глубина заложения середины электрода от поверхности грунта, м.

Так как общее сопротивление заземлителя больше допустимого, то необходимо принять несколько заземлителей. Определим количество заземлителей по формуле:

$$n = \frac{R_{\text{об}}}{R \times h_B} = \frac{120}{4 \times 0,72} = 42 \text{ шт.},$$

где h_B - коэффициент использования вертикальных заземлителей, определяемый из таблицы 4.

Примем $h_B = 0,72$ при размещении по контуру.

Коэффициенты использования h_B заземлителей из труб или уголков без учёта влияния полосы связи приведены в таблице 35

Таблица 35 – Данные коэффициента h_B

Отношение расстояния между трубами (уголками к их длине)	При размещении в ряд		При размещении по контуру	
	Число труб (уголков)	h_B	Число труб (уголков)	h_B
1	2	0,84-0,87	4	0,66- 0,72
	3	0,76-0,8	6	0,58- 0,65
	5	0,67-0,72	10	0,52- 0,58
	10	0,56-0,62	20	0,44- 0,5
	15	0,51-0,56	40	0,38- 0,44
	20	0,47-0,5	60	0,36- 0,42

Коэффициенты использования h_{Γ} параллельно уложенных полос приведены в таблице 36

Таблица 36 – Данные коэффициента h_{Γ}

Длина каждой полосы, м	Число параллельных полос	Расстояние между параллельными полосами, м				
		1	2,5	5	10	15
15	2	0,56	0,65	0,75	0,80	0,85
	15	0,37	0,49	0,60	0,73	0,79
	10	0,25	0,37	0,49	0,64	0,72

Определим сопротивление соединительной полосы заземлителей в грунте по формуле:

$$R_{\text{пол}} = \frac{r_{\text{гр}}}{2\pi l_{\text{пол}}} \ln \frac{2l_{\text{пол}}^2}{b \times H_0}, \quad l_{\text{пол}} = 1,05 \times a \times (n - 1),$$

где a – расстояние между заземлителями, ;

n – количество заземлителей, принимаемое из расчёта;

$l_{\text{пол}}$ – длина соединительной полосы.

Примем $a = 1\text{ м}$, тогда $h_{\Gamma} = 0,25$ при числе полос: $n_{\text{п}} = 10$.

Длина полосы равна:

$$l_{\text{пол}} = 1,05 \times 1 \times (42 - 1) = 43,05\text{ м}$$

Сопротивление соединительной полосы:

$$R_{\text{пол}} = \frac{400}{2 \times 3,14 \times 43,05} \ln \frac{2 \times 43,05^2}{0,02 \times 0,8} = 17,2\text{ Ом}.$$

Определим общее сопротивление заземляющего устройства (заземлителей и соединительных полос) по формуле:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_{\text{об}} \times R_{\text{пол}}}{R_{\text{об}} \times h_{\text{пол}} + R_{\text{пол}} \times h_{\text{в,Г}} \times n};$$

$$R_{\text{общ}} = \frac{120 \times 17,2}{120 \times 0,21 + 17,2 \times 0,71 \times 42} = 3,78 \text{ Ом.}$$

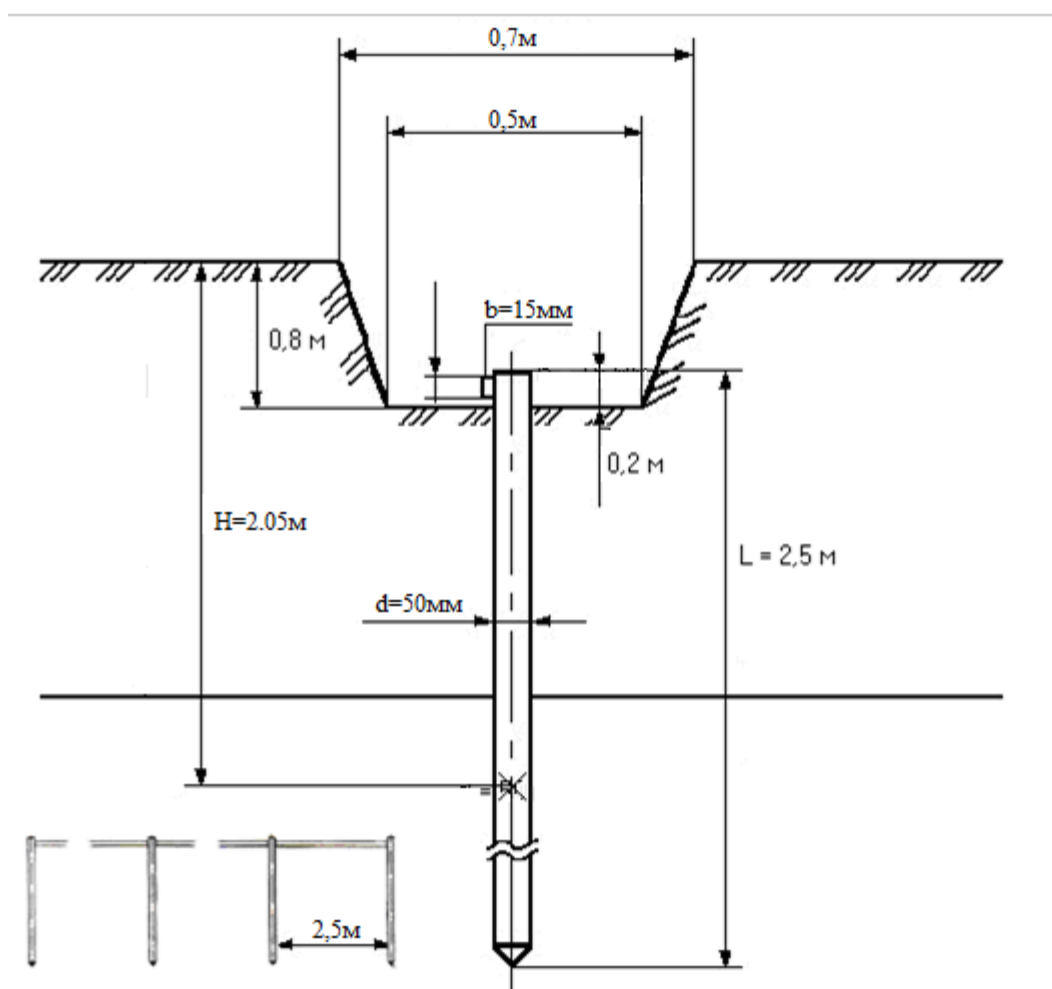
где $h_{\text{пол}}$ - коэффициент использования соединительной полосы, определяется по таблице 11, $h_{\text{в,г}}$ - коэффициент использования заземлителей ($h_{\text{в}} = 0,72$).

При расположении полосы по контуру труб выбираем $h_{\text{пол}} = 0,21$.

Полученное значение полного сопротивления защитного заземления

удовлетворяет условию: $R_{\text{общ}} \leq R_3 = 4 \text{ Ом}$.

Защитное заземление в представлено на рисунке 55.



кол-во вертикальных заземлений $n=42$ шт

Рисунок 55. Расчет защитного заземления

6.9. Охрана окружающей среды

Рабочий механизм содержит огромное количество компонентов, которые содержат вредные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу). [24, 27]

Поэтому электродвигатель требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части подвергаются специально переработке.

В настоящее время ведется создания и внедрения безотходной технологии в ряде отраслей промышленности, однако полный перевод ведущих отраслей промышленности на безотходную технологию потребует решения большого комплекса весьма сложных технологических, конструкторских и организационных задач.

6.10 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 ежесменных 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.

6.11. 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 заперение.

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 приемке (п. 4.2.22);
- гидравлического буфера (п. 5.9.7);
- приемка (п. 6.4.37);
- блочного помещения (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 подлебёдочными 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 и исследование регулируемого электропривода лифта, который будет в полной мере соответствовать техническим условиям и требованиям; таких как количественная и качественная оценка процессов динамических, совершающихся в системе электромеханической лифта.

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

Для увеличения надежности работы лифта разработана трехуровневая структура технологического комплекса технических средств. Было рассчитано и выбрано основное технологическое оборудования системы.

Последующим этапом работы стало создание модели динамической АД во системе вращающейся координат для расчета процессов переходных. Получив и проанализировав результаты моделирования можно сказать о том, что данная модель ведет себя адекватно. Скорость номинальная, момент и ток соответствует расчетным параметрам скорости и момента.

Так же были собраны модели для проведения оптимизации и настройке регулирования контуров электропривода.

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

На основании данной модели электродвигателя во вращающейся системе координат и модели лифта создаем имитационную модели нелинейного электропривода лифта с обязательным учетом всех нелинейностей, а также ограничений регуляторов на выходе. На разработанной модели смоделирована и проверена работоспособность разработанного электропривода в основных режимах.

На основании экспериментальных показателей проанализировав работу привода лифта, можно с большой уверенностью сказать о том, что при отработке заданий полученных на графиков отсутствуют броски тока и момента, а скорость выходит на номинальную без существенной ошибки, т.е. исследуемый электропривод полностью отвечает всем предъявляемым требованиям.

Проанализировав выше сказанное можно сказать о том, что цели поставленные и задачи были выполнены. Результаты, которые получили при выполнении работы данной 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.

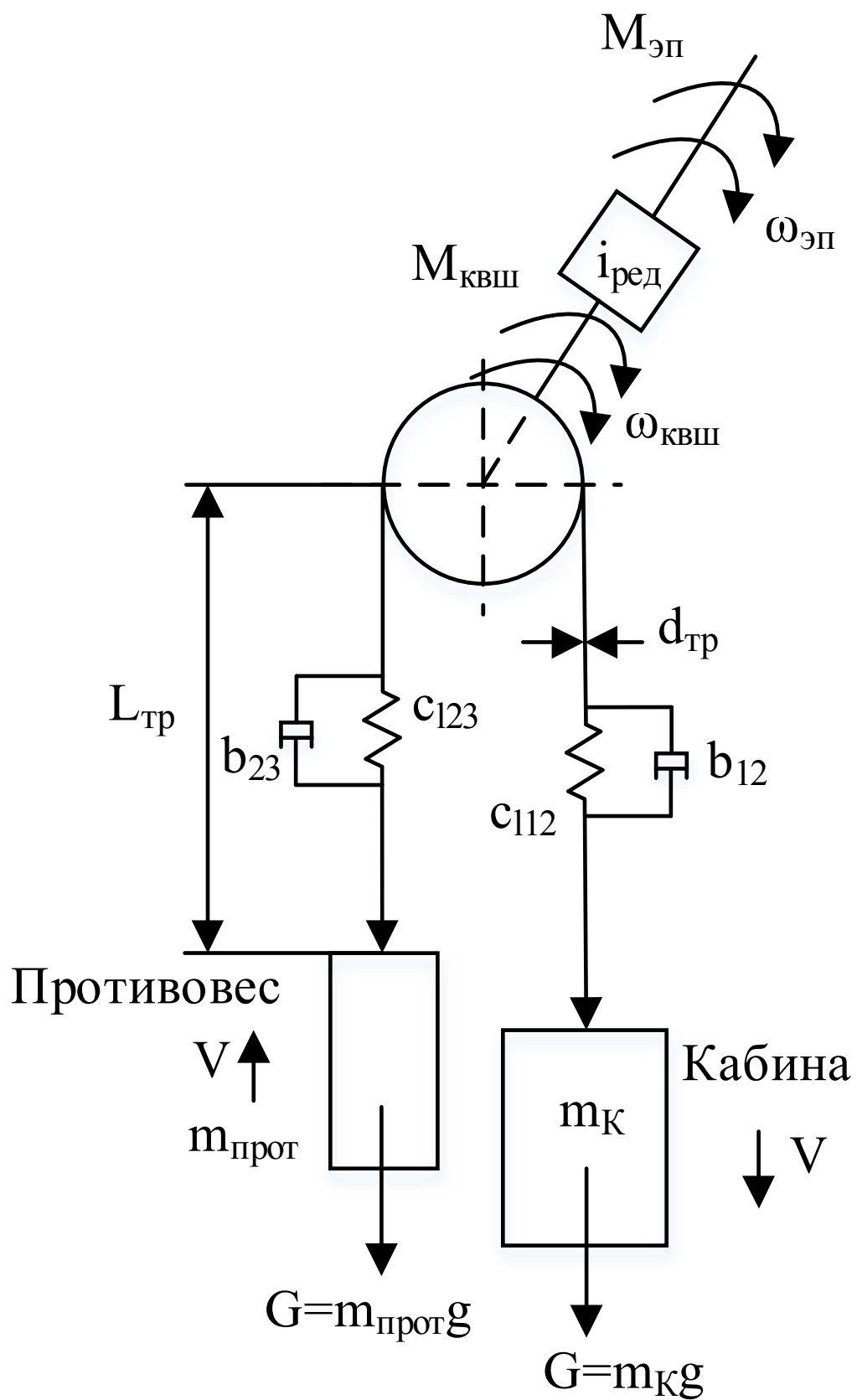
Список использованных источников

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. Закора.
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 - воТомского 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, ОЛ. 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-rit.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.

Приложение А

Графическая часть.



Упрощенная кинематическая схема лифта

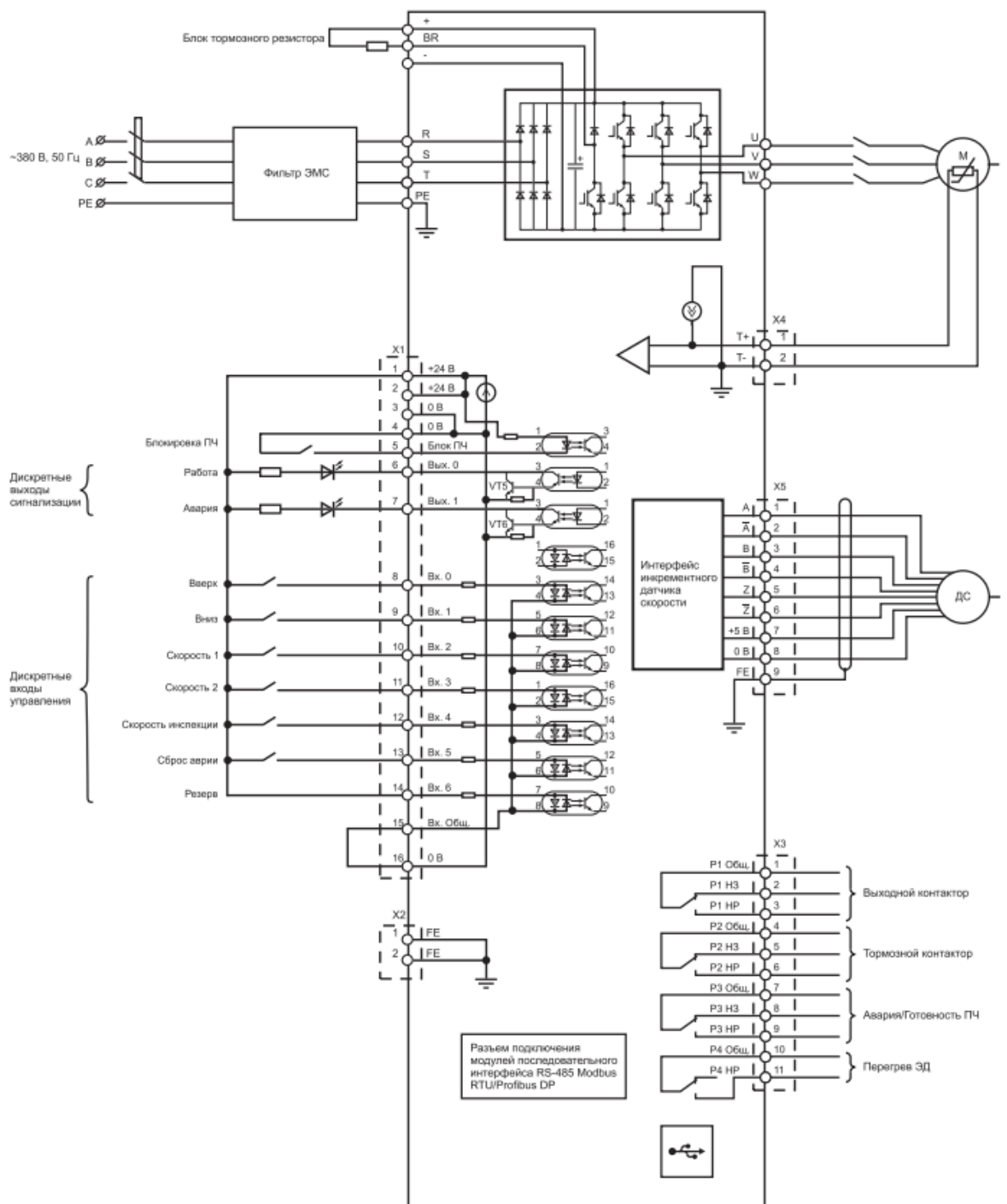
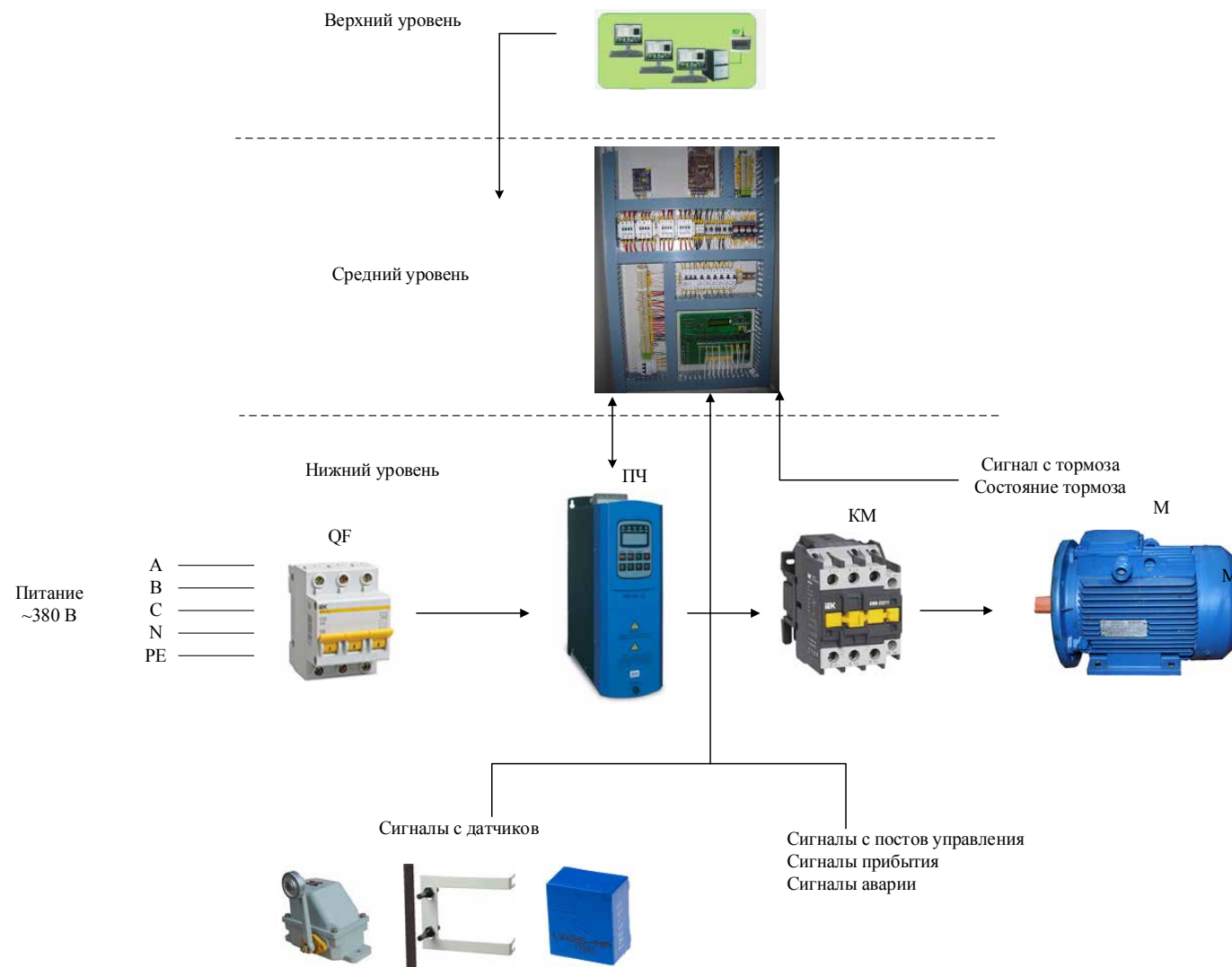
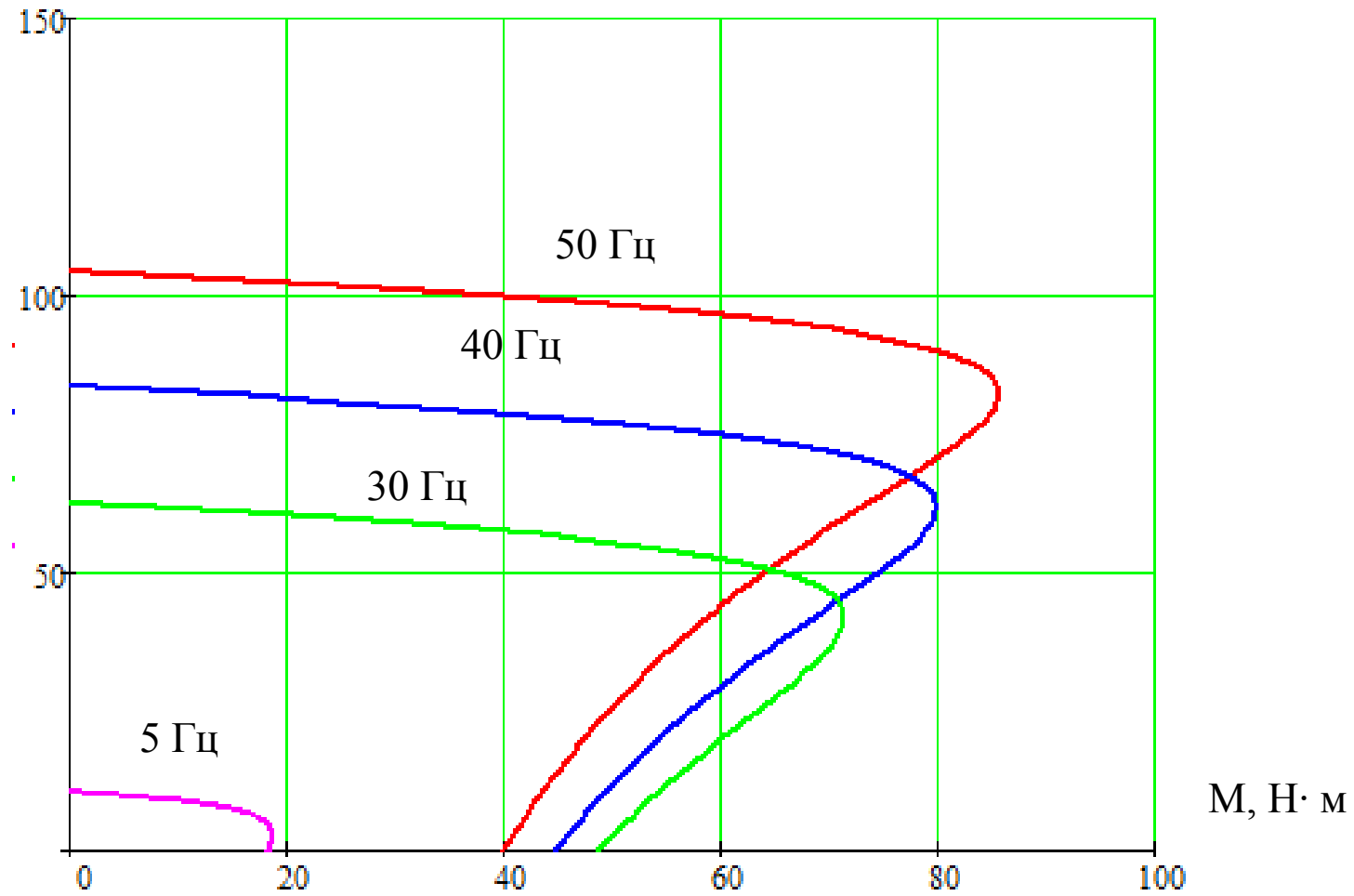


Схема подключений ПЧ

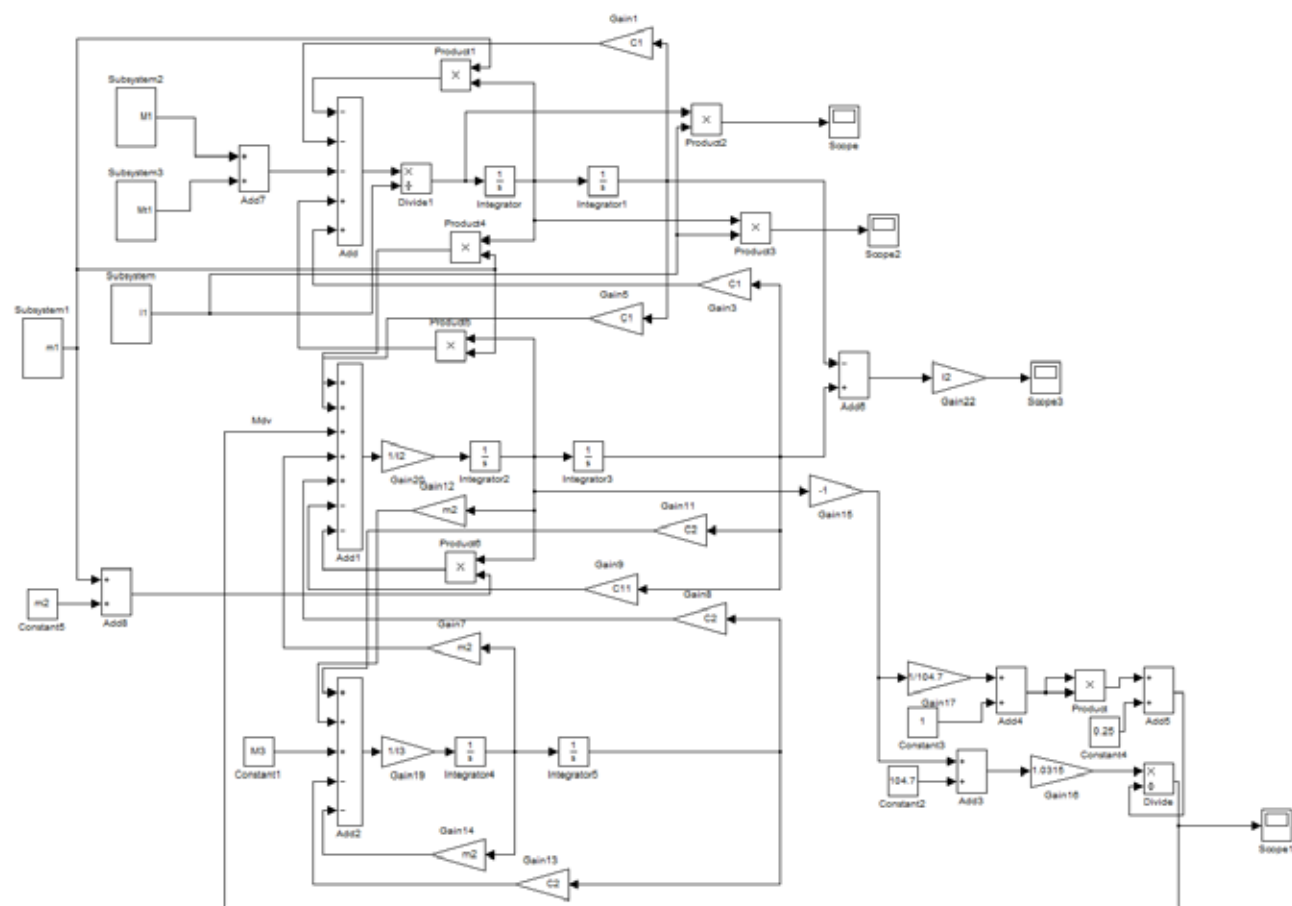


Блок схема соединения аппаратных средств

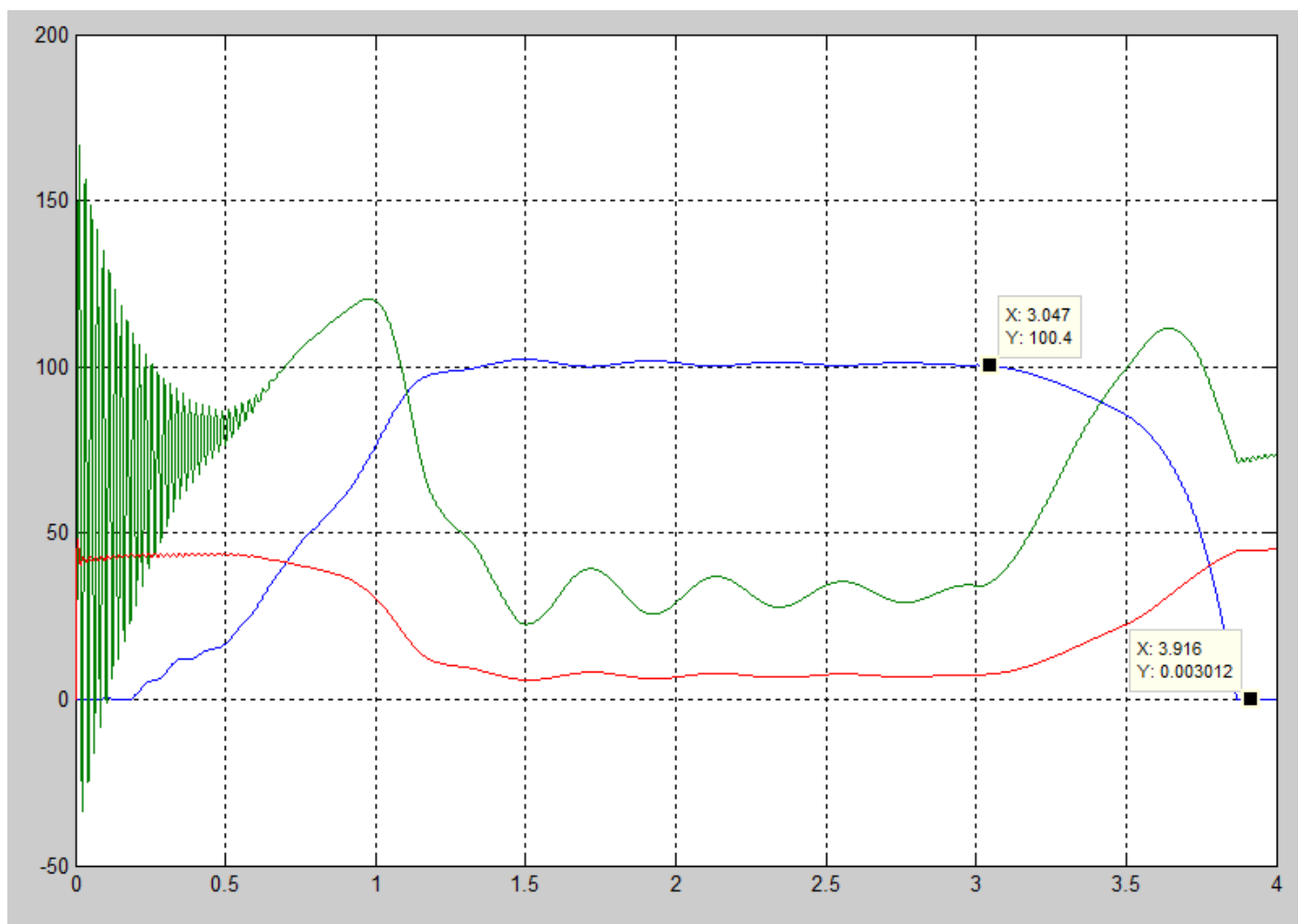
ω , рад/с



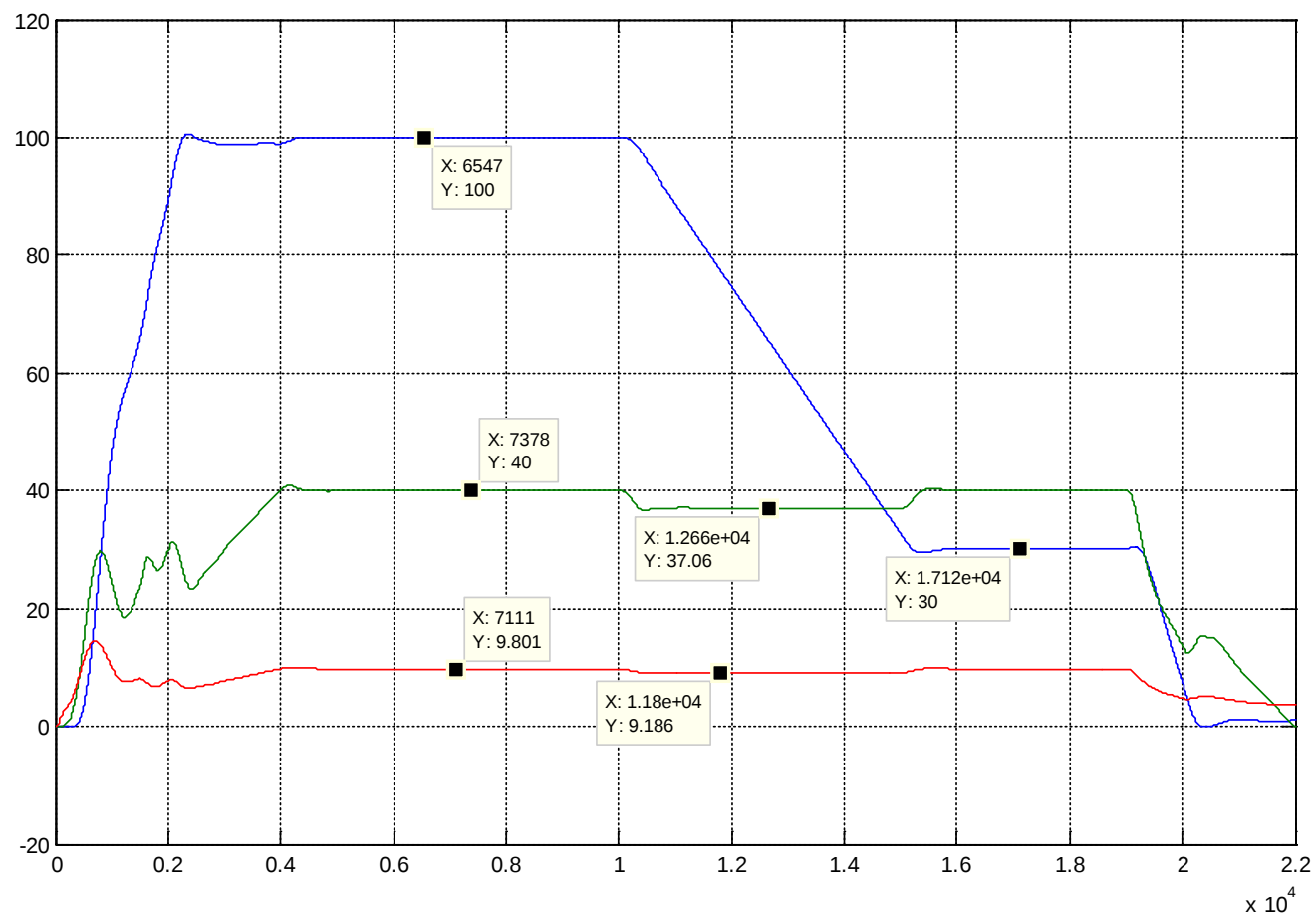
Механические характеристики $M=f(\omega)$ при частотном регулировании скорости с законом регулирования $U_{1j}/f_{1j}=\text{const}$



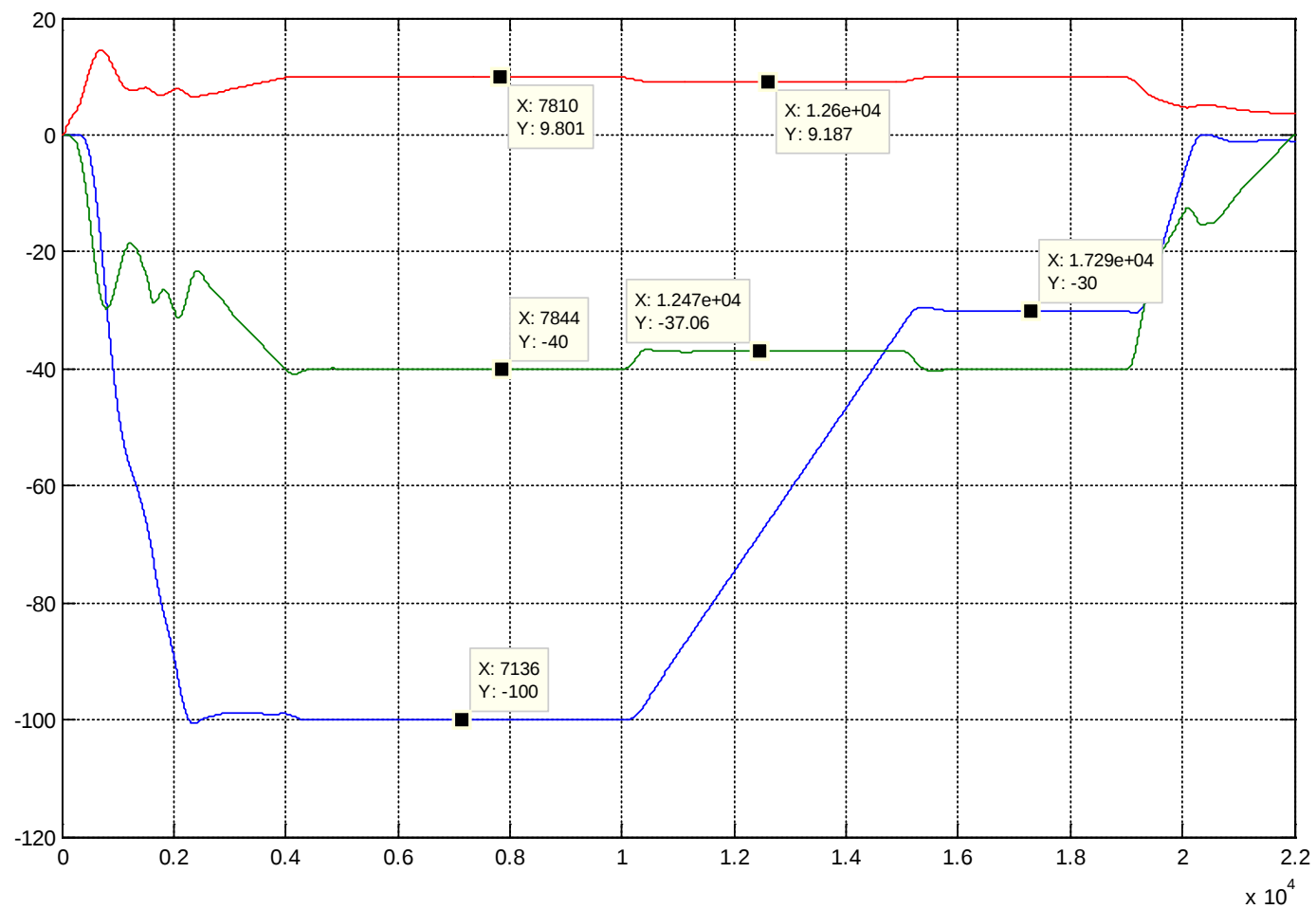
Схема, моделирующая пуск лифта собранная в среде Matlab Simulink



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