

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Электропривод и автоматизация промышленных установок

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой Сагимов П.И.
д.т.н профессор
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

« » 20__ г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Электропривод подолемно-транспортного механизма

Специальность 55071800 - Электроэнергетика

Выполнил (а) Абдухан А.Г.
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Умба Ю.А д.т.н профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

Накупов А.А. к.э.н. профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
« 20 » мая 2016 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Дисебаев М.К. д.т.н. профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
« 16 » мая 2016 г.
(подпись)

Нормоконтролер: Ст. преем. каф. ЭАП У Кузнецов Ю.В.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
« 30 » 05 2016 г.
(подпись)

Рецензент: Шукаев М.К. д.т.н профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
« » 20__ г.
(подпись)

Алматы 2016г.

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Электроэнергетический
Специальность БВ071800 - Электроэнергетика
Кафедра Электропривод и автоматизация промышленных установок

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Абдихан Азат Ганиулы
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Электропривод подъемно-Транспортного механизма

утверждена приказом ректора № 148 от «19» октября 2015 г.
Срок сдачи законченной работы « » 20 г.
Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта

Техническая и справочная документация по электроприводу эскалатора

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:

- 1) Рассмотреть задание на проектирование электропривода подъемно-Транспортного механизма
- 2) Разработать электропривод подъемно-Транспортного механизма
- 3) Определить статические нагрузки, действующие на валу двигателя
- 4) Исследование системы управления электроприводом эскалатора на виртуальной модели в среде MATLAB
- 5) Безопасность и надежность системы
- 6) Экономическая часть. Расчет технико-экономической эффективности использования автоматизированного электропривода эскалатора

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Функциональная схема Эскалатора
2. Привод эскалатора и его характеристики
3. Механические данные
3. Регулятор и его механические данные
4. Преобразователь частоты, схема подключения к электроприводу и его механические данные
5. Структурная схема микроконтроллера
6. Структурная схема электропривода с системой с переменной структурой
7. Виртуальная модель электропривода и переходные процессы системы с переменной структурой
8. Осциллограммы переходных процессов скорости и электромагнитного момента
9. Расчеты технико-экономического обоснования за счет внедрения электропривода с системой ПЧ-АД.

Рекомендуемая основная литература

1. Цога Ю.А. Автоматическое управление электромеханической системой, Учебное пособие, Алматы, АИЭС, 2008 - 77с.
2. Поминев И.Н. Эскалаторы метрополитена. Устройство, обоснование и расчеты. М.: Транспорт. 1994 - 320с.
3. Иркинский Н.Ф. Регулируемый привод сегодня. Регулируемый электропривод. Доклад и перспективные приложения // Доклады научно-практического семинара, 2 февраля 2006г. М.: Издательство МЭИ, 2006 - 39с.
4. Буцаков А.А. Системное управление асинхронным электроприводом. М.: Наука 1966. - 266с
5. Аймкозин М.А. Безопасность жизнедеятельности, Алматы, 2003г.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Экономическая часть	Жакупов А.А	08.02-20.05.16	
БЖД	Дюсебаев М.К	02.02-16.05.16	
Спец. часть	Цога Ю.А	20.01-27.05.16	

Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1.	Введение. Основные мехно-мобильские ренжины работы: подъемно-транспортного механизма. Постановка задачи на проектирование.	18.01.16	
2.	Разработка электропривода подъемно-транспортного механизма	20.02.16	
3.	Исследование системы управления электроприводом эскапатора. На виртуальной модели в среде MATLAB	05.03.16	
4.	Безопасность жизнедеятельности	09.04.16	
5.	Экономическая часть. Расчет технико-экономической эффективности использования автоматизированного электропривода эскапатора.	16.05.16	
6.	Заключение	20.05.16	

Дата выдачи задания « » _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой _____ Сагитов П.И.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель _____ Умба Ю.А.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению студент _____ Абдухан А.Г.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Аннотация

В данном дипломном проекте приведено обоснование модернизации эскалатора. Приведен анализ и обоснование выбора асинхронного электродвигателя с системой управления на основе преобразователя частоты. Произведен выбор двигателя 4АНК315510У3 и частотного преобразователя ATV61HD75M3X. Разработана система управления электроприводом эскалатора и проведены исследования динамического режима работы в структурной и виртуальных моделях в программной среде MATLAB. Исследованы и проанализированы переходные процессы при различных режимах работы системы.

В Экономической части проведено технико-экономическое обоснование дипломного проекта.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» производится расчет допустимого ускорения. Рассматриваются защитные устройства электробезопасности при эксплуатации эскалатора, производится расчет защитного зануления и выбор защитных аппаратов.

Аңдатпа

Осы дипломдық жоба эскалатордың модернизациясының қисыны келтіреді. Асинхронды электр қозғалтқыштың талғамының қисыны жиілік түрлендіргіші негізінде басқару жүйесінің анализ және негіздеме келтірілген. Қозғалтқыштың талғамы 4АНК315510У3 және жиіліктің түрлендіргішінің ATV61HD75M3X тандалған. Эскалатор электржетегінің басқару жүйесі әзірленген және MATLAB бағдарламасында құрылымдық мен виртуалдық модельдердің динамикалық жұмыс режимі зерттеленген. Әр түрлі жұмыс режимдерде өтпелі процесстерінің зерттеу және анализ беріледі.

Экономикалық бөлімінде дипломдық жобаның техникалық-экономикалық негіздеме жүргізілді.

"Өміртішілік қауіпсіздігі" бөлімінде ықтимал үдеудің есебі өндіріледі. Эскалаторлар жұмыс істеу кезінде электрқауіпсіздігінің қорғау құрылғылары қарастырылады, қорғаныс нөлдеу есептеледі және қорғаныс құрылғыларын таңдауы жасалынады.

Annotation

In the research paper outlines the rationale of modernization of the In the research paper outlines the rationale of modernization of the escalator. An analysis and justification of choice of asynchronous motor based on the frequency with the inverter system. Produced motor selection 4AHK315510Y3 and frequency converter ATV61HD75M3X. A drive control system of the escalator and studies the dynamic mode of operation in the structural and virtual models in MATLAB software environment. Investigated and analyzed transients under different operating systems .

As part of the Economic conducted a feasibility study for the final work .

In the " Safety" calculates the allowable acceleration. We consider the protection of electrical devices during the operation of the escalator , calculates protective vanishing and the choice of protective devices .

Содержание

Введение	16
1. Основные технологические режимы работы подъемно-транспортного механизма. Постановка задания на проектирование	18
1.1 Основные элементы узлов эскалатора	18
1.2 Элементы электропривода эскалатора	25
1.3 Электрическое оборудование	30
1.4 Требования, предъявляемые к приводу	33
1.5 Постановка задания на проектирование	35
2 Разработка электропривода подъемно-транспортного механизма	37
2.1 Определение статических нагрузок, действующих на валу двигателя	37
2.2 Расчет передаточного числа редуктора и выбор электродвигателя	38
2.3 Выбор преобразователя частоты и система управления эскалатором	44
2.4 Программируемый микроконтроллер системы автоматического управления электроприводом эскалатора	46
2.5 Система управления и алгоритм управления	52
3 Исследования системы управления электроприводом эскалатора на виртуальной модели в среде MATLAB	56
3.1 Системы с переменной структурой	56
3.2 Виртуальные и структурные схемы электропривода с системой управления преобразователя частоты асинхронного двигателя	63
4 Безопасность жизнедеятельности	66
4.1 Анализ условий труда	66
4.2 Торможение полотна при различных режимах работы эскалатора	70
4.4 Защитные устройства по электробезопасности. Расчет защитного зануления	72
5 Экономическая часть. Расчет технико-экономической эффективности использования автоматизированного электропривода эскалатора	75
5.1 Расчет производственной мощности оборудования	75
5.2 Расчет капитальных затрат автоматизированного электропривода эскалатора	77
5.3 Вопросы организации труда и заработной платы	78
5.4 Расчет расходов на электроэнергию, ремонт оборудования и экономии от автоматизированного электропривода эскалатора	80
5.5 Расчет общей экономии	82
Заключение	84
Список литературы	86

Введение

Подъемно-транспортные механизмы непрерывного действия (ПТМ НД) составляют большую и разнообразную по конструктивному исполнению и назначению группу общепромышленных механизмов предназначенных для транспортировки разных материалов или пассажиров на горных и общепромышленных предприятиях, общественных зданиях и метрополитенах. К таким механизмам относятся разнообразные виды наклонных конвейеров, элеваторы, эскалаторы, канатные дороги, лифты.

На метрополитенах многих стран такие ПТМ НД как эскалаторы являются основным средством транспортировки пассажиров на поверхность, их провозная способность и надежность определяют весь процесс работоспособности станции метрополитена.

Для данных машин характерны длительные режимы работы в неизменном направлении, изменяющийся характер нагрузки, тормозные и пусковые режимы под нагрузкой. При этом следует учитывать, что канатные дороги и эскалаторы предназначены для транспортировки пассажиров а, следовательно, необходимо учитывать технику безопасности и комфорта пассажиров при движении ПТМ НД.

Общая потребляемая мощность агрегатов комплексов ПТМ НД, таких как, например, группы эскалаторов станций метрополитена составляет пару сотен кВт. Повышение стоимости электроэнергии привело к тому, что при долгом режиме работы комплекса стоимость электроэнергии от суммарной стоимости транспортировки пассажиров или материала составляет 70-80%. В этих условиях проблемы энергосбережения становятся актуальными и требуют перехода к более экономичным регулируемым приводам с автоматическим выбором режима работы в соответствии с изменяющимися условиями работы механизмов. Изменения условий связаны больше всего с необходимостью увеличения производительности ПТМ НД, которая в свою очередь зависит от многих сопутствующих факторов.

Упругие механические колебания, постепенно появляющиеся в механической части ПТМ НД, значительно ухудшают качество управления технологическими процессами, также увеличиваются динамические нагрузки механизмов, что способствует накоплению усталостных напряжений в элементах трансмиссий и их преждевременным поломкам, что увеличивает время простоя оборудования, увеличивает стоимость ремонта и уменьшает время эксплуатации, в совокупности это приводит к значительному экономическому ущербу. Существующие на данный момент средства снижения упругих колебаний и защиты механизмов от перегрузок в виде демпферов и различных муфт предельного момента в многочисленных случаях не обеспечивают требуемой эффективности, что доказывает необходимость повышения эффективности ПТМ НД новыми средствами электропривода.

В настоящее время на рассматриваемых механизмах широко используются резисторные системы управления асинхронным двигателем с фазным ротором при использовании релейно-контакторных систем управления. Эти системы электропривода во многих случаях имеют неудовлетворительные динамические режимы вследствие ограниченного числа пусковых ступней. Такие системы резисторного управления асинхронным двигателем с фазным ротором неэкономичны в эксплуатации, так как энергия скольжения, выводимая из двигателя, преобразуется в тепловую энергию на токоограничивающих резисторах.

В своё время современные тиристорные и транзисторные электроприводы обладают большим быстродействием, чтобы использовать их в механической системе в качестве средства активного ограничения динамических нагрузок. Но наиболее эффективное ограничение получается при добавлении в САУ (система автоматического управления) электропривода канала регулирования по усилию в механической системе.

Целью дипломного проекта является:

- анализ вариантов и схем электропривода и разработка систем электропривода ПТМ НД;

- анализ ПТМ НД как объектов, характеризующихся частым изменением режимов работы, и обоснование целесообразности использования электропривода;

- исследование динамических и энергетических характеристик электропривода;

- выбор, расчет мощности электродвигателя ПТМ НД и проверка по нагреву;

1. Основные технологические режимы работы подъемно-транспортного механизма. Постановка задания на проектирование

1.1 Основные элементы узлов эскалатора

1.1.1 Одним из самых ответственных узлов эскалатора любой конструкции является главный вал, на котором посажены две тяговые звездочки, приводящие в движение полотно эскалатора.

Вал, поддерживаемый двумя роликоподшипниками, корпуса которых установлены на металлоконструкции, приводится во вращение приводной звездочкой дуплекс, расположенной консольно на одном из концов вала.

Приводная звездочка сидит на одной ступице со шкивом аварийного ленточного тормоза. В пролете между подшипниками на главном валу посажены тяговые звездочки и звездочки для привода поручней. Последние сидят на одной ступице с тяговыми звездочками.

Поворотные стенки при помощи вкладышей опираются на главный вал. Такое устройство позволяет точно и просто производить монтаж поворотных стенок, но зато несколько усложняет обслуживание эскалатора из-за наличия дополнительных подшипников скольжения.

Главный вал приводится в движение двумя зубчатыми венцами, сидящими на общих ступицах с тяговыми звездочками. Посередине вала установлена разъемная двойная звездочка для двух цепей, приводящих в движение контрприводы правого и левого поручней.

Вал установлен на роликоподшипниках, по краям вала консольно расположены опорные подшипники траверсы приводных зубчатых колес. Поворотные стенки на главный вал не опираются. При данном расположении зубчатых венцов и приводных звездочек и синхронной работе правого и левого приводов главный вал в основном должен работать на изгиб, передавая лишь незначительный крутящий момент к приводным звездочкам поручневых установок.

Главный вал, опирающийся на роликоподшипники, имеет фланцы, откованные за одно целое с валом. К этим фланцам с помощью плотно припасованных болтов крепятся тяговые звездочки.

Главный вал с валом редуктора соединен зубчатой муфтой. Благодаря этому главный вал разгружен от консольной изгибающей нагрузки (что имеет место при зубчатом и цепном приводах), и роликоподшипники обоих концов вала работают приблизительно в одинаковых условиях.

1.1.2 Аварийный тормоз. Из существующих конструкций аварийных тормозов наиболее типичными являются ленточные и дисковые.

Первая конструкция, представляет собой ленточный тормоз с углом охвата около 630. При помощи системы рычагов лента оттормаживается во время работы эскалатора путем автоматического включения электромагнита (рисунок 1.1).

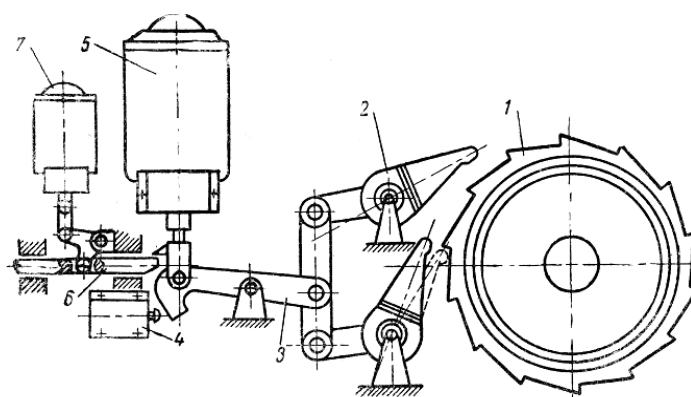


Рисунок 1.1 – Схема аварийного тормоза

В случае нормальной остановки эскалатора электромагнит выключается через реле времени, и затягивание ленты происходит уже после остановки эскалатора. При пуске электромагнит срабатывает раньше запуска мотора, благодаря чему аварийный тормоз не препятствует разгону эскалатора.

В случае аварийной остановки соответствующий выключатель мгновенно размыкает цепь, питающую электромагнит, и тормоз срабатывает.

Вторая конструкция аварийного тормоза, представляет собой многодисковый фрикционный тормоз.

Тормоз имеет храповое устройство с двумя собачками. При обычных остановках собачки не опускаются на храповое колесо. Для задержки собачек в поднятом состоянии имеется вспомогательное устройство, управляемое от второго электромагнита. При пуске эскалатора вспомогательное устройство автоматически отключается.

При аварийной остановке, вызванной обрывом приводной цепи, питание основного магнита, держащего собачки поднятыми, прерывается, собачки падают на храповик и останавливают его.

Вследствие этого нажимная шайба с винтовой нарезкой в ступице начинает навинчиваться на вал, давит на диски и затормаживает все устройство. Сила надавливания дисков регулируется специальными торцовыми пружинами.

1.1.3 Натяжная каретка. Натяжная каретка служит для обеспечения постоянной равномерной натяжки полотна. Каретка имеет устройство для передвижения по горизонтальному участку натяжной станции и несет на себе все элементы для направления цепей и ступеней, при переходе их с нижней ветви полотна на верхнюю (или, наоборот) в соответствии с заданной кинематикой.

Натяжные каретки разделяются на два основных типа:

- 1) каретки с поворотом ступеней с помощью цепных звездочек;
- 2) каретки с поворотом ступеней с помощью специальных направляющих для основных бегунков, представляющих собой развитие

конструкции поворотных стенок. Первый тип натяжных кареток является более распространенным.

При огибании натяжной звездочки каретки первого типа тяговая цепь сгибается по многоугольнику, сторона которого равна шагу цепи. При огибании подвижной направляющей каретки второго типа тяговая цепь сгибается по многоугольнику, сторона которого равна шагу ступени. Таким образом, сторона движущегося многоугольника во втором случае в три-четыре раза больше, чем в первом случае.

На ступице одной из натяжных звездочек посажена звездочка для привода поручней.

Поворотные стенки соединены между собой двумя жесткими рамами. Связь между осью звездочек и поворотными стенками осуществлена посредством шарнирного устройства, позволяющего оси звездочек поворачиваться в горизонтальной плоскости на небольшой угол по отношению к поворотным стенкам. В месте прохода через поворотные стенки ось звездочек имеет квадратное сечение, что полностью предотвращает возможность поворачивания ее вокруг своей оси.

Шарнирное устройство для оси звездочек имеется только в одной из поворотных стенок. Угол поворота в горизонтальной плоскости лимитируется зазором между осью и прямоугольным пазом во второй поворотной стенке, не имеющей шарнирного устройства.

Недостатком этой конструкции является отсутствие свободного, самостоятельного перекашивания звездочек и поворотных стенок в случае неравномерной вытяжки цепей. При наличии такой вытяжки должен произойти перекосяк оси несущей звездочки в горизонтальной плоскости, и тяговая цепь вынуждена будет набегать на звездочку под углом, изламываясь в плоскости своей максимальной жесткости.

Поворотные стенки шарнирно соединены друг с другом посредством „параллелограмма" — устройства, состоящего из двух вертикальных параллельных рам, которое позволяет правой и левой звездочкам в случае неравномерной вытяжки тяговых цепей — при чрезвычайно незначительном взаимном сближении — перемещаться в горизонтальной плоскости вдоль эскалатора независимо друг от друга.

Каретка установлена на металлоконструкции, по которой она может перемещаться посредством четырех колес, посаженных на полуоси, консольно заделанные в поворотные стенки.

Каретка посредством тяг соединена с пружинно-винтовым натяжным устройством, имеющим концевой выключатель на случай внезапного обрыва тяговых цепей.

1.1.4 Поручневые устройства служат для поддержания пассажиров на движущемся полотне. Особенно важно, чтобы пассажир имел возможность опереться на поручень в момент входа на движущееся полотно и схода с него.

Во всех существующих конструкциях эскалаторов поручневые устройства представляют собой две бесконечные ленты специального профиля, движущиеся по бокам полотна на таком расстоянии от ступеней, чтобы пассажиры могли опираться руками на верхнюю ветвь одной из лент поручня (рисунок 1.2).

Скорость движения поручней должна быть равна скорости движения полотна. Каждая из двух бесконечных лент поручней приводится в движение и направляется самостоятельным механизмом, состоящим из системы приводных и направляющих блоков, транспортерных и направляющих роликов, фасонных направляющих верхней ветви поручня и, наконец, натяжного устройства. Приводные механизмы поручня приводятся в движение от главного вала при помощи системы цепных передач и контрпривода, находящегося на приводной станции. Оба механизма, правый и левый, совершенно идентичны и являются зеркальным отражением друг друга.

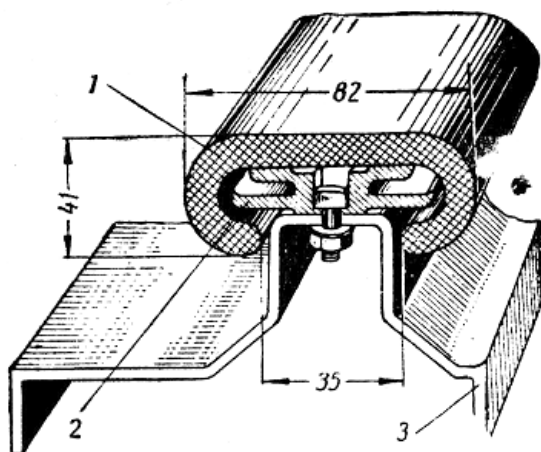


Рисунок 1.2 – Крепление поручня

Для того чтобы производить натяжение поручня, не изменяя расстояния между концевыми блоками, бесконечная лента поручня, помимо основной петли, огибающей концевые блоки, делает дополнительную петлю вокруг неподвижного и подвижного блоков натяжного устройства.

Для того чтобы иметь возможность создать дополнительную петлю, необходимо располагать первый и второй приводные блоки в разных параллельных плоскостях. В связи с этим подвижной блок натяжного устройства делается наклонным с диаметром, обеспечивающим передачу поручня с центра обода первого на центр обода второго приводного блока. Огибающий блок натяжной станции (третий приводной блок). Лежит в одной вертикальной плоскости с первым приводным блоком.

Переход нижней ветви поручня из плоскости второго приводного блока в плоскость огибающего блока натяжной станции происходит постепенно на протяжении всей трассы нижней ветви поручня между этими блоками с

весьма незначительным углом отклонения и поэтому совершенно безвреден для поручня.

Поручень представляет собой толстую многослойную ленту с загнутыми внутрь краями.

Такая конфигурация необходима для надежной фиксации поручня на направляющих, в особенности на криволинейном участке у натяжной станции, где равнодействующая усилий натяжения поручня направлена вверх и стремится сорвать его с направляющей.

Материал и конструкция поручня должны обеспечивать:

достаточную прочность и жесткость;

износоустойчивость;

низкий коэффициент трения между поручнем и направляющей;

высокий коэффициент трения между поручнем и ведущими блоками.

С лицевой стороны поручень покрыт слоем вулканизированной цветной резины толщиной 3-4 мм.

Направляющие поручня изготавливаются из латуни или красной меди, ободы приводных блоков обрезаются. Помимо отставания поручня от полотна при работе эскалатора часто имеет место еще пульсации движения поручня, т.е. продвижение его толчками.

Она происходит вследствие неравномерной упругой вытяжки поручня на различных участках под действием либо случайных нагрузок, либо местных заклиниваний на направляющих. Этому явлению в большой мере способствует наличие дополнительного привода на натяжной станции, который резко изменяет усилие натяжения поручня при малейшем нарушении равномерности вытяжки рабочей ветви. Необходимо отметить, что эффективных мер к устранению пульсации до настоящего времени не найдено.

1.1.5 Коэффициенты сопротивления движений поручней. Сопротивления движению на блоках привода поручней складываются из сопротивления трения на опорах и сопротивления от жесткости поручня, огибающего данный блок.

Через $P_{ж}$ обозначено тяговое усилие, которое нужно приложить к поручню для преодоления сопротивления от его жесткости, т. е. сопротивления сгибанию его при набегании на блок и выпрямлению при сбегании с блока.

Сила трения на оси блока, приложенная наружной поверхности оси равна

$$F = \mu \cdot N, \quad (1.11)$$

Здесь μ — коэффициент трения между блоком и осью;

N — нормальное давление на ось.

При определении N весом блока можно пренебречь.

Так как натяжения в сбегавшей и набегавшей ветвях сравнительно мало (в пределах 10%) отличаются друг от друга, то можно принять

$$N = (S_n + S_{n-1}) \sin \frac{\beta}{2}, \quad (1.12)$$

тогда из условия равновесия получается

$$S_n \frac{D_{6л}}{2} - S_{n-1} \frac{D_{6л}}{2} - \mu \cdot \frac{d_{6л}}{2} (S_n + S_{n-1}) \sin \frac{\beta}{2} - P_{ж} \frac{D_{6л}}{2} = 0, \quad (1.13)$$

Разделив уравнение на $\frac{D_{6л}}{2}$, можно написать

$$S_n - S_{n-1} - \mu \cdot (S_n + S_{n-1}) \sin \frac{\beta}{2} - P_{ж} = 0, \quad (1.14)$$

Величину $P_{ж}$ можно выразить формулой

$$P_{ж} = \xi (S_n + S_{n-1}), \text{ кг}, \quad (1.15)$$

Здесь ξ — коэффициент жесткости поручня.

Подставляя это значение $P_{ж}$ в предыдущее уравнение, получим

$$S_n - S_{n-1} \left(\mu \frac{d_{6л} \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{D_{6л}} + \xi \right) (S_n + S_{n-1}) = 0, \quad (1.16)$$

Выразив

$$S_n = S_{n-1} + P_n, \quad (1.17)$$

где P_n — полное тяговое усилие, поглощаемое блоком, можно написать:

$$P_n - (2S_{n-1} + P_n) \left(\mu \frac{d_{6л} \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{D_{6л}} + \xi \right) = 0, \quad (1.18)$$

Решив это уравнение относительно P_n получим:

$$P_n = 2 \frac{\mu \frac{d_{6л} \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{D_{6л}} + \xi}{1 - \mu \frac{d_{6л} \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{D_{6л}} - \xi} S_{n-1} = C'_n \cdot S_{n-1}, \text{ кг} \quad (1.19)$$

Здесь

$$C'_n = 2 \frac{\mu \frac{d_{6л} \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{D_{6л}} + \xi}{1 - \mu \frac{d_{6л} \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{D_{6л}} - \xi}. \quad (1.20)$$

представляет собой коэффициент, зависящий от конструкции блока и жесткости поручня.

Для того чтобы произвести тяговый расчет привода поручней, необходимо заранее определить коэффициенты C'_n для каждого из блоков, входящих в систему привода поручней.

Остается остановиться на определении коэффициента жесткости поручня ξ . Величина ξ должна быть определена опытным путем. До настоящего времени не было произведено никаких опытов по определению жесткости эскалаторных поручней, вследствие чего все расчеты поручневых устройств существующих эскалаторов носят условный характер. Принимаемые значения коэффициентов жесткости не подтверждены никакими экспериментами. Вследствие этого у эскалаторов Московского метрополитена 1-й, 2-й и 3-й очереди расчетная мощность, поглощаемая приводом поручней, оказалась меньше мощности, затрачиваемой для этой цели в действительности.

В связи с отсутствием опытных данных эскалаторный поручень грубо) приближенно рассчитывается, как транспортерная резиновая лента по формуле проф. Хеймана

$$P_{ж} = \frac{C \cdot \delta}{R^k} (S_n + \delta \cdot B \cdot \epsilon_0) \text{ кг}, \quad (1.21)$$

где B — ширина ленты в см;

C и k — коэффициенты, зависящие от рода ленты;

ϵ_0 - среднее значение напряжения в сечении ленты;

δ -толщина ленты в см;

R — радиус блока в см.

Второй член в скобках представляет некоторое среднее натяжение ленты в кг.

Без большой погрешности, можно считать

$$\delta \cdot B \cdot \epsilon_0 = S_{n-1}, \quad (1.22)$$

тогда

$$P_{ж} = \frac{C \cdot \delta}{R^k} (S_n + S_{n-1}) \text{ кг}, \quad (1.23)$$

но

$$P_{ж} = \xi (S_n + S_{n-1}), \quad (1.24)$$

откуда

$$\xi = \frac{C \cdot \delta}{R^k}. \quad (1.25)$$

Из этой формулы видно, что коэффициент ξ зависит не только от характеристики поручня, но и от диаметра блока.

Для резиновых и балатовых лент $C = 0,5$ и $k = 1,3$ откуда

$$\xi = \frac{0,5 \cdot \delta}{R^{1,3}},$$

Необходимо помнить, что поручень значительно жестче, нежели лента, полученная путем развертки поручня на плоскость. Соотношение минимального момента инерции сечения поручня и эквивалентной по толщине и весу ленты

$$\frac{I_{\text{пор}}}{I_{\text{ленты}}} \approx 9, \quad (1.26)$$

поэтому заранее можно сказать, что коэффициенты $C = 0,5$ и $k = 1,3$, принимаемые для резиновых лент, для эскалаторных поручней неприменимы. Однако в связи с полным отсутствием, каких бы то ни было экспериментальных данных, при расчетах приходится пользоваться вышеуказанными коэффициентами, иногда произвольно увеличивая их.

1.2 Элементы электропривода эскалатора

1.2.1 Траверза представляет собой комплект паразитных зубчатых колес, смонтированных в стальных щеках. Существуют два типа траверз, соответствующие двухстороннему и одностороннему приводу. В первом случае щеки траверзы находятся на значительном расстоянии друг от друга и на соединяющей их оси посажены два зубчатых колеса.

Окно, имеющееся в каждой из щек, служит для осмотра зубчатого зацепления. После того как траверзы смонтированы, на ведущую шестерню и паразитное колесо надевается легкий кожух-ванна, заполняемый жидкой смазкой.

Приводная цепь Приводные цепи по своей конструкции отличаются от тяговых цепей. На них воздействуют значительно меньшие усилия, что позволяет выполнять их с более мелким шагом. Это обстоятельство делает работу цепей более плавной. Для того чтобы сделать шаг возможно более мелким, применяют цепи конструкции дуплекс.

Цепь дуплекс состоит из двух спаренных цепей, имеющих общие валики.

Валики не имеют возможности проворачиваться относительно наружных пластин, так же как внутренние пластины не имеют возможности проворачиваться относительно втулок.

Гибкость цепи достигается тем, что втулки поворачиваются относительно валиков.

Ролики могут свободно вращаться на втулках, как это обычно имеет место в подобных цепях. Они служат для защиты втулок от истирания на зубьях звездочек.

Тормоз Конструкция тормоза тесно связана с конструкцией электромагнита. Под действием электромагнита тормоз должен растормаживаться, а при обесточивании магнита затормаживаться.

Существуют конструкции тормозов с замыканием грузом, пружиной и комбинированные.

Режим торможения полотна эскалатора под действием таких тормозов весьма несложен. Тормозной момент во все время торможения теоретически остается постоянным. Исключение представляет первый момент торможения, когда происходит прихватывание тормозных колодок. Так как электромагниты имеют воздушные демпферы для уменьшения скорости падения якоря при обесточивании, то при затормаживании наступает момент, когда пружина уже воздействует на тормозные колодки, а вес якоря еще не воздействует на рычаги тормоза вследствие люфтов, имеющихся в шарнирах.

Благодаря этому тормозной момент возникает на шкиве не мгновенно, а в течение некоторого промежутка времени. Это обстоятельство в какой-то мере смягчает толчок, испытываемый пассажирами в начальный момент торможения. Зато в конце торможения, при полной остановке полотна, отрицательное ускорение мгновенно падает до нуля, а пассажиры испытывают толчок более сильный, нежели в начале торможения. Наличие двух толчков в начале и конце торможения пассажирами воспринимается болезненно. Однако в связи с тем, что остановка эскалаторов под пассажирской нагрузкой представляет собой ненормальное явление, которое необходимо всячески избегать, следует идти не по линии смягчения тормозного режима путем осложнения конструкции тормозов, а по линии ликвидации причин, могущих вызвать необходимость в экстренном торможении эскалатора.

Эскалаторные тормозы рассчитываются по тем же принципам, что и тормозы всех подъемных механизмов.

Регулировка тормозов осуществляется путем поджатия пружины или (при грузовом тормозе) путем изменения плеча груза относительно шарнира рычага. И в том и в другом случае регулировка может вестись только в пределах растормаживающего усилия электромагнита.

Тормоз двухколодочный, с радиальным отходом колодок. При подъеме якоря электромагнита происходит растормаживание за счет дополнительного сжатия пружины. При опускании якоря происходит затормаживание, причем в дополнение к пружине в качестве тормозного груза используется вес якоря.

Регулирование тормозного момента производится за счет подтягивания гаек на тяге, несущей пружины.

При обесточивании магнита основная пружина, удлиняясь, сближает колодки и производит затормаживание.

Кроме основной пружины, на одном штоке с ней поставлена более слабая вспомогательная пружина, назначение которой обеспечение равномерного отхода обеих колодок при растормаживании. Тормозы с короткоходовыми магнитами надежнее, чем с длинноходовыми, так как имеют меньшее количество рычагов и шарниров и не так быстро разрабатываются.

Малый привод служит для медленного проворачивания полотна эскалатора в ненагруженном состоянии во время ремонта, осмотра, смазывания цепей и т. п. (рисунок 1.3)

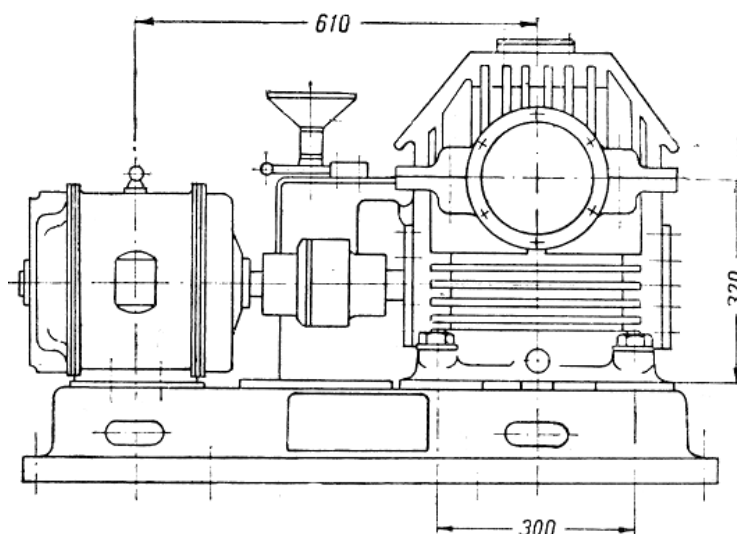


Рисунок 1.3 – Малый привод эскалатора

Малый привод обычно соединяется с хвостовым концом вала главного мотора. Включение малого привода производится при помощи кулачковой муфты.

Конструкция червячного редуктора примитивна и не рассчитана на систематическую работу.

Мощность малого привода зависит от заданной скорости движения полотна.

Расчет малого привода производится по крутящему моменту холостого хода на валу главного мотора.

Для того чтобы во время включения малого привода невозможно было включить основной привод, предусматривается соответствующая электроблокировка. Малый привод, как правило, состоит из мотора, эластичной муфты, червячного редуктора, кулачковой муфты и механизма переключения кулачковой муфты. Тормозного устройства не требуется, так как для затормаживания могут быть использованы тормозы основного привода.

Все эти механизмы монтируются как один агрегат за исключением ведомой полумуфты, которая устанавливается на хвостовом конце вала главного мотора.

1.2.2 Предохранительные устройства. Предохранительные устройства можно разделить на три основных группы: первая группа – устройства, обеспечивающие безопасность пользования; вторая группа – устройства, обеспечивающие безопасность обслуживания; третья группа – устройства, обеспечивающие сохранность эскалатора.

Первую группу следует разделить на две подгруппы: А) устройства, срабатывающие автоматически и Б) устройства, срабатывающие при воздействии обслуживающего персонала или пассажиров.

К первой группе относятся следующие предохранительные устройства:

1. Предохранительные устройства, срабатывающие автоматически. Устройство, автоматически останавливающее эскалатор в случае повышения скорости полотна более чем на 20% или понижения скорости полотна более чем на 10% по отношению к нормальной. Устройство необходимо для предотвращения несчастных случаев вследствие чрезмерного увеличения скорости движения полотна или самопроизвольного изменения направления его движения. Последнее может иметь место при повреждении мотора или питающей его цепи, вызывающем понижение крутящего момента на валу. Кроме того, такое устройство может предохранить электромотор от перегрева, так как понижение числа оборотов указывает либо на аварийную перегрузку мотора вследствие заедания в механизмах, либо на чрезмерное понижение напряжения в питающей сети. Понижение же напряжения в сети свыше 10% недопустимо из условия работы тормозных электромагнитов трехфазного тока устройство против повышения числа оборотов. Оно выполнено в виде центробежного реле, установленного на редукторе, на валу червяка. Предотвращение самопроизвольного изменения направления движения полотна и защита двигателей от перегрева обеспечиваются нулевым токовым реле и реле перегрузки. В тех случаях, когда между редуктором и главным валом введена гибкая связь (цепной привод), центробежное реле приводится в движение от главного вала.

2. Устройство, автоматически останавливающее эскалатор посредством аварийного тормоза в случае обрыва приводной цепи (рисунок 1.4). Это устройство устанавливается только при цепной передаче. Оно служит для предотвращения самопроизвольного разгона эскалатора в сторону спуска под действием веса пассажиров из-за нарушения механической связи между приводом и главным валом. Приспособление может быть выполнено либо в виде нажимного ролика с эластичным ободом, поддерживаемого движущейся приводной цепью либо в виде салазок, скользящих по движущейся цепи.

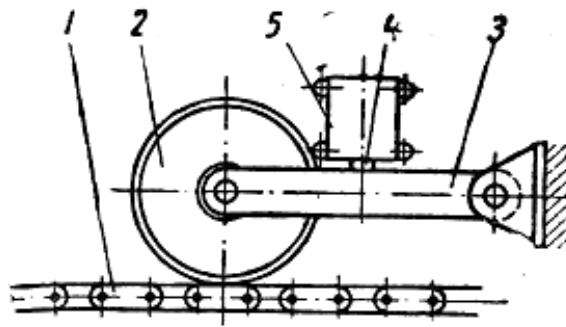


Рисунок 1.4 – Предохранительное устройство на случай обрыва приводной цепи

И в том, и в другом случае выключение происходит вследствие отхода рычага, воздействующего на контакт.

3. Предохранительное устройство, автоматически останавливающее эскалатор в случае обрыва тяговой цепи или натяжного устройства натяжной каретки (рисунок 1.5). Оно устанавливается на натяжной каретке. Выключение эскалатора производится путем воздействия движущейся каретки на неподвижные концевые выключатели.

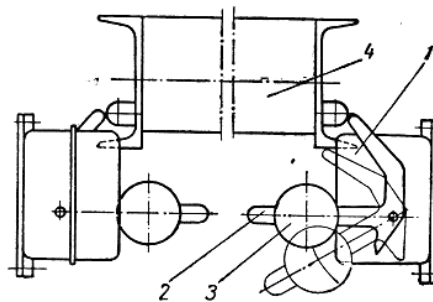


Рисунок 1.5 - Предохранительное устройство на случай обрыва тяговой цепи

Приспособление устраивается так, что выключение происходит не только в случае обрыва, но и в случае неравномерной вытяжки одной из тяговых цепей. С этой точки зрения его можно отнести к третьей группе.

Обрыв тяговых цепей является одной из серьезнейших аварий, могущих произойти с эскалатором.

При обрыве цепей между ступенями образуется щель, которая, в случае если эскалатор не будет немедленно остановлен, может привести к тому, что полотно соскочит с тяговых звездочек.

4. Устройство, автоматически останавливающее эскалатор в случае обрыва поручня.

Необходимость такого устройства вызывается тем, что при обрыве поручень останавливается. Так как при этом полотно продолжает двигаться, то возможны случаи падения пассажиров, опирающихся на

поручень. Во избежание этого эскалатор должен быть немедленно остановлен.

5. Устройство, автоматически останавливающее эскалатор в случае обрыва цепи привода поручней.

Так как обрыв цепи привода поручней влечет за собой остановку поручня, то необходимость в этом приспособлении вызывается теми же причинами, которые вынуждают устанавливать устройство, блокирующее обрыв поручня.

Устройство это выполняется аналогично устройству, останавливающему эскалатор в случае обрыва приводной цепи.

Аварийные выключатели (кнопки „Стоп“) предназначены для остановки эскалатора пассажирами в случае каких-либо ненормальностей в работе эскалатора.

Остановка эскалатора осуществляется поворотом рычага или нажатием специальной кнопки.

Аварийные выключатели размещаются обычно на балюстраде по обеим сторонам входных площадок, а также иногда в нескольких местах наклонной части балюстрады.

Барьерные шнуры, преграждающие проход на эскалаторы которые находятся в ремонте или на осмотре.

Шнуры располагаются на входных площадках и связаны с устройством, сигнализирующим в машинное помещение о том, закрыт или открыт проход на эскалатор.

В случае отсутствия барьерных шнуров некоторые пассажиры могли бы воспользоваться неработающим эскалатором, как обыкновенной лестницей. Находящиеся в резерве эскалаторы зачастую запускаются из машинного помещения. Внезапный пуск эскалатора может вызвать падение идущего по нему пассажира.

Ко второй группе относятся следующие предохранительные устройства:

-устройство, предотвращающее пуск эскалатора от главного привода при включенном ручном приспособлении для проворачивания эскалатора или при включенном малом приводе;

-устройство, позволяющее обслуживающему персоналу останавливать работающий эскалатор из любого места в проходе между эскалаторами;

-сигнальные лампы, указывающие на готовность эскалатора к пуску.

Они предупреждают обслуживающий персонал об опасности производства каких-либо работ на данном эскалаторе.

1.3 Электрическое оборудование

К электрическому оборудованию эскалаторов предъявляются следующие основные требования.

Управление эскалатором должно быть по возможности простым и осуществляться из нескольких пунктов.

В отдельных случаях может оказаться необходимым автоматический пуск эскалатора при приближении пассажира к входной площадке.

Эскалатор должен быть реверсивным для обеспечения маневренности во время работы.

Пуск и остановка эскалатора должны быть плавными, без сильных рывков. Схема включения электрооборудования должна предусматривать немедленную остановку и затормаживание эскалатора в случае прекращения питания отдельных узлов этой схемы.

Эскалатор должен быть снабжен соответствующей электроаппаратурой, связанной с предохранительными устройствами, отключающей эскалатор от сети и затормаживающей его при авариях.

Запуск эскалатора при помощи кнопочных аппаратов после остановки его под действием какого-либо из предохранительных устройств должен быть невозможен до полного исправления повреждения, вызвавшего остановку.

эскалатор должен быть снабжен системой электромагнитных тормозов, обеспечивающих безопасность пользования им.

эскалатор должен быть снабжен искателем, позволяющим быстро находить сработавшие предохранительные устройства.

В отдельных случаях от эскалатора требуется, чтобы он мог работать с двумя различными скоростями.

Как правило, эскалаторы работают на переменном токе, однако нет никаких противопоказаний для работы эскалаторов на постоянном токе.

Для выполнения перечисленных выше требований могут потребоваться следующие виды электрооборудования:

1) Асинхронные электродвигатели трехфазного переменного тока с фазовым или короткозамкнутым ротором, число оборотов которых остается почти постоянным при любых режимах работы. В случае работы на постоянном токе применяются шунтовые электродвигатели;

2) Тормозы эскалаторов, которые снабжены электромагнитами типа КМТ, обычно применяемыми в крановых и лифтовых установках. Катушки тормозных электромагнитов должны быть рассчитаны на постоянную работу. Тяговое усилие трехфазного электромагнита пропорционально квадрату напряжения. Вследствие этого магниты работают неустойчиво в случае колебания напряжения в сети.

3) Контактные контакты которых разделяются на главные и блокировочные. Первые имеют назначение управлять током, идущим к электромоторам и тормозным электромагнитам, а вторые током цепи управления. Главные контакты обычно снабжаются искрогасительными приспособлениями, служащими для прерывания дуги, образующейся при размыкании тока. Контактные переменного тока изготавливаются обычно с нормально открытыми главными контактами, количество которых на одном

контакторе может достигать до пяти. Катушки рассчитаны на длительную работу при напряжении от 85 до 110% от номинального.

4) Реле времени разделяются на реле с прямой выдержкой и на реле с обратной выдержкой. У реле времени с прямой выдержкой выдержка времени при замыкании или размыкании контактов происходит в момент воздействия на механизм реле связанного с ним электрического устройства (электромагнита, контактора и т. п.). У реле времени с обратной выдержкой выдержка времени происходит после прекращения внешнего воздействия на реле.

В обычных реле выдержка времени может регулироваться в пределах от 0 до 3 и даже до 10 сек. В специальных реле эта выдержка может быть значительно большей.

В эскалаторных схемах обыкновенные реле времени служат для регулировки скорости электродвигателей в период запуска и для управления работой тормозов.

Тепловые реле служат для отключения электромотора от сети в случае длительной перегрузки, могущей вызвать опасное повышение температуры обмоток.

Тепловые реле могут защищать электромоторы только от перегрузок, но не от токов короткого замыкания.

В эскалаторных схемах максимально-нулевые автоматы применяются для отключения от сети электродвигателей и тормозных электромагнитов в случае короткого замыкания или падения напряжения в сети ниже установленного предела. Максимально-нулевые автоматы в схемах могут быть заменены обычными контакторами, работающими совместно с реле максимального тока или плавкими предохранителями.

Кнопочные аппараты служат для управления работой эскалатора. Количество кнопок в одном аппарате может изменяться в соответствии с назначением аппарата. На крышках кнопочных аппаратов около кнопок размещаются надписи, соответствующие назначению кнопок, например «Вверх», «Вниз», «Стоп» и т. д. Существуют аппараты с кнопками, нажатие на которые производит замыкание соответствующих цепей, и с кнопками, нажатие на которые производит размыкание цепей. Кроме того, кнопки подразделяются на включающие (выключающие) одну цепь и включающие (выключающие) одновременно две цепи. В эскалаторных схемах применяются обычные крановые конечные и аварийные выключатели. Наиболее удобными являются конечные выключатели вспомогательного тока рычажного типа.

Аварийный выключатель выполняется либо в виде нажимной кнопки либо в виде рычага, поворот которого вызывает выключение тока. По принципу работы аварийные выключатели разделяются на два типа: в выключателях первого типа после освобождения кнопки или рычага контактная часть сейчас же снова замыкается, в выключателях второго типа она остается разомкнутой вплоть до освобождения ее от блокирующего

механизма. Выключатели второго типа более совершенны, так как препятствуют немедленному запуску эскалатора и тем самым снижают возможность возникновения несчастных случаев.

Искатель служит для быстрого нахождения сработавшего предохранительного устройства, от действия которого остановился эскалатор. В случае непроизвольной остановки эскалатора рукоятку искателя вращают по часовой стрелке до тех пор, пока не включится сигнальная лампа. В этот момент стрелка искателя укажет на табличку с названием сработавшего предохранительного устройства.

Фотореле применяются в эскалаторных схемах с автоматическим запуском. Так как на фотоэлемент воздействуют не только видимые, но и невидимые лучи, то в целях маскировки лампы, освещающей фотоэлемент, она защищается темным стеклом. Расстояние между лучом света и гребенкой должно быть таким, чтобы за время прохождения пассажиром этого расстояния полотно эскалатора успело прийти в движение.

На эскалаторах запрещается применение напряжения в сети управления свыше 220 В. Это определяет напряжение низкой стороны трансформаторов. Мощность их определяется, исходя из количества одновременно работающих аппаратов. Потребителями тока являются контакторы, реле, сигнальные лампы и т. п.

Электрическое оборудование эскалаторов размещается следующим образом: контакторы и связанные с ними реле и автоматы монтируются на специальных панелях. Кнопочный аппарат машинного помещения, искатель, амперметр, вольтметр и сигнальные лампы монтируются на отдельных панелях, устанавливаемых либо впереди контакторных панелей, либо в один ряд с ними. Прочее оборудование размещается сообразно с его назначением в соответствующих местах эскалатора.

Вся проводка, соединяющая контакторные панели с электрооборудованием, расположенным на эскалаторе, прокладывается под полом или в специальных каналах в полу машинного помещения.

1.4 Требования, предъявляемые к приводу

К приводу эскалатора предъявляются следующие основные требования:

Безусловная эксплуатационная надежность, обеспеченная достаточной прочностью всех элементов при всех возможных перегрузках.

Высокая износоустойчивость, обеспечивающая безаварийную много часовую ежедневную работу под полной нагрузкой в течение ряда лет.

Удобство монтажа, демонтажа и эксплуатационного обслуживания при предельной компактности механизмов (из-за стесненных габаритов машинных помещений).

Эскалаторы относятся к разряду установок, имеющих весьма тяжелый режим работы. Хотя возможные перегрузки обычно невелики и

кратковременны, зато продолжительность непрерывной работы, под полной рабочей нагрузкой, может достигать 20 часов в сутки.

Качество привода, наряду с качеством элементов полотна, предопределяет эксплуатационную надежность ТЭ установки.

Практика эскалаторостроения выработала довольно стабильные конструкции приводов для эскалаторов.

Каждая из установок по существу является самостоятельным приводом. В нее входят электромотор, эластичная муфта, служащая одновременно тормозным шкивом, тормозное устройство, состоящее из двух работающих параллельно колодочных тормозов, червячный редуктор и наконец, специальное устройство—траверза, назначение которой увеличить расстояние от потолка машинного зала до подошвы плиты привода, с тем чтобы улучшить условия обслуживания и создать возможность демонтажа привода без вскрытия люков в полу вестибюля.

На выходном валу редуктора посажена зубчатая шестерня, приводящая в движение паразитное колесо траверзы. Выходной вал своим выступающим концом опирается через подшипник на стойку, установленную на литой чугунной плите, общей для обеих установок привода.

Траверза состоит из двух стальных щек, расположенных параллельно в наклонном положении. Своими нижними концами щеки траверзы опираются на выходные валы редукторов, а верхними концами на консоли главного вала. Между собой щеки траверзы соединены двумя распорными штангами и массивной осью, на которой посажены два паразитных колеса.

Перед одним из моторов привода установлен агрегат, именуемый малым или вспомогательным приводом, который служит для проворачивания эскалатора на малой скорости без пассажирской нагрузки.

Привод состоит из мотора, тормозной группы, червячного редуктора со стойкой для опоры выходного вала и траверзы.

Вместо траверзы с зубчатыми шестернями в качестве трансмиссии от редуктора к главному валу может быть поставлена цепная передача.

Преимущества цепной передачи по сравнению с передачей при помощи набора зубчатых колес совершенно очевидны. Цепная передача значительно легче. Редуктор может находиться на произвольном расстоянии от главного вала. Значительно упрощен монтаж. В то же время наличие цепной передачи ведет к установке аварийного тормоза на главном валу, что снижает преимущества этой установки, так как введение добавочного довольно сложного узла в конструкцию машины всегда сопряжено с уменьшением ее надежности.

В больших эскалаторах применение цепной передачи затруднено из-за больших крутящих моментов, возникающих на главном валу, и связанного с этим утяжеления и усложнения конструкции цепи.

Немаловажным фактором в эксплуатационной характеристике привода является качество установки его на основании

1.5 Постановка задания на проектирование

При проектировании электропривода ПТМ НД представляется возможность заменить соответствующий асинхронный двигатель с фазным ротором на менее дорогой и более дешевый асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. За счет применения в электроприводе преобразователей частоты можно будет решить вопрос ограничения динамических усилий и регулирования скорости механизма.

Управлять асинхронным электродвигателем в частотном режиме было крайне затруднительно, но теория об управлении асинхронным электродвигателем была известна уже в тридцатых годах. Стоимость преобразователей частоты была высокой, и это не позволяло развивать частотно-регулируемый электропривод. Это положение дел изменилось с появлением силовых схем с IGBT-транзисторами, что позволило снизить стоимость современным преобразователям частоты, за счет разработок высокопроизводительных микропроцессорных систем управления различными фирмами из таких стран как США, Япония и странами Европы[5].

Известно, что регулирование частоты вращения исполнительных механизмов можно осуществить за счет ряда различных устройств: гидравлических муфт, механических вариаторов, дополнительно вводимыми в статор или ротор резисторами, статическими преобразователями частоты, электромеханическими преобразователями частоты.

Однако применение четырех из пяти устройств неэкономично, не дает высокого качества регулирования скорости, расходует много средств при монтаже и эксплуатации. В настоящее время наиболее совершенным и более качественным устройством управления асинхронным приводом являются статические преобразователи частоты.

Принцип регулирования частотным методом скорость асинхронного двигателя заключается в том, что, изменяя частоту f_1 питающего напряжения, можно в соответствии с выражением

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}, \quad (1.27)$$

неизменном числе пар полюсов p изменять угловую скорость магнитного поля статора.

За счет этого способа можно получить плавное регулирование скорости в широком диапазоне, в свою же очередь механические характеристики обладают высокой жесткостью.

Скольжение асинхронного двигателя не увеличивается при регулировании скорости, за счет этого потери мощности при регулировании невелики.

Для получения больших энергетических показателей асинхронного двигателя – полезного действия, коэффициентов мощности, перегрузочной способности – нужно в свое время менять с частотой и подводимое напряжение[6].

От характера момента нагрузки M_c зависит закон изменения напряжения. При постоянном моменте нагрузки $M_c = const$ напряжение на статоре должно регулироваться пропорционально частоте:

$$\frac{U_1}{f_1} = const. \quad (1.28)$$

Для вентиляторного характера момента нагрузки это состояние имеет вид:

$$\frac{U_1}{f_1^2} = const. \quad (1.29)$$

При моменте нагрузки, обратно пропорциональном скорости:

$$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = const. \quad (1.30)$$

Следовательно, для регулирования частоты вращения вала асинхронного электродвигателя плавным бесступенчатым методом, необходимо настроить преобразователь частоты, таким образом, чтоб он регулировал одновременно частоту и напряжение на статоре асинхронного двигателя.

Известны векторное и скалярное управление асинхронным двигателем. При скалярном управлении, изменяется амплитуда и частота приложенного к двигателю напряжения. Во время изменения частоты питающего напряжения, также отклоняется от расчетных значений максимального и пускового моментов двигателя, к.п.д., коэффициент мощности. Из-за таких изменений рабочих характеристик двигателя, для поддержания требуемых норм необходимо с изменением частоты одновременно изменять амплитуду напряжения.

В наше время актуальны преобразователи частоты, при скалярном управлении которых остается постоянным отношение максимального момента двигателя M_{max} к моменту сопротивления на валу M_c . Перегрузочной способностью двигателя называется отношение максимального момента двигателя к текущему моменту нагрузки и оно должно оставаться постоянным.

Важной особенностью при регулировании асинхронного двигателя является то, что необходимо регулировать напряжение U на статоре, как в

соответствии с изменением частоты, так и в функции момента статических сопротивлений M_c .

Во время скалярного метода управления зависимость частоты от напряжения питания определяется характером нагрузки на валу электрического двигателя. Для постоянного момента нагрузки остается неизменным выражение $U/f = \text{const}$. Таким образом, становится возможным постоянство максимального момента двигателя [4].

2 Разработка электропривода подъемно-транспортного механизма

2.1 Определение статических нагрузок, действующих на валу двигателя

При проектировании электропривода подъемно-транспортного механизма представляется возможность заменить соответствующий асинхронный двигатель с фазным ротором на менее дорогой и более дешевый асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. За счет применения в электроприводе преобразователей частоты можно будет решить вопрос ограничения динамических усилий и регулирования скорости механизма. Данные характеристик эскалатора приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристика эскалатора

Параметр	Значение	Ед. измерения
Высота подъема	30	м
Угол наклона	30	градусов
Ширина ступени	1	м
Шаг ступени	0,4	м
Шаг цепи	0,133	м
Диаметр начальной окружности приводной звездочки	1,695	м
Нагрузка эксплуатационная на погонный метр несущего полотна	2170	Н
Скорость движения несущего полотна	0,88	м/с
Момент инерции вращающихся частей, приведенный к валу электропривода	4,32	кг · м ²
Приведенный к валу двигателя момент инерции поступательно движущихся частей эскалатора и пассажиров при максимальной загрузке	7,4	кг · м ²
Передаточное число системы электропривода	58,1	
КПД электропривода	0,911	%

$$\rho_{\Sigma} = \frac{D_{\text{нач}}}{i_{\Sigma}} = \frac{1,695}{2 \cdot 58,1} = 0,015, \quad (2.1)$$

где ρ_{Σ} — радиус приведения, м;
 $D_{\text{нач}}$ — диаметр начальной окружности приводной звездочки;
 i_{Σ} — передаточное число системы.

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{v}{\rho_{\Sigma}} = \frac{0,88}{0,015} = 58,67, \quad (2.2)$$

где $\omega_{\text{дв}}$ — скорость вращения двигателя, с^{-1} ;
 v — скорость движения несущего полотна.

$$F_{\text{п.м.}} = G \cdot \sin \alpha = \frac{2170}{2} = 1085, \quad (2.3)$$

где $F_{\text{п.м.}}$ — нагрузка на эскалатор на погонный метр, Н.

$$F_{\Sigma} = F_{\text{п.м.}} \cdot l = 1085 \cdot 60 = 65,1, \quad (2.4)$$

где F_{Σ} — суммарная нагрузка эскалатора, кН.

$$l = \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{30}{0,5} = 60, \quad (2.5)$$

где l — длина ленты эскалатора, м.

$$M_{\text{с}} = \frac{F_{\Sigma} \cdot \rho_{\Sigma}}{\eta_{\text{эл}}} = \frac{65,1 \cdot 10^3 \cdot 0,015}{0,911} = 1072, \quad (2.6)$$

где $M_{\text{с}}$ — статический момент нагрузки, Нм;
 $\eta_{\text{эл}}$ — КПД электропривода.

2.2 Расчет передаточного числа редуктора и выбор электродвигателя

Исходными данными для расчета являются максимальный момент на валу приводного двигателя, необходимая мощность и частота вращения.

$$M_{\text{max}} = M_{\text{с}} = 1072, \text{ Нм}, \quad (2.7)$$

$$P_{\text{дв}} = 1072 \cdot 58,89 = 62,89 \text{ кВт}, \quad (2.8)$$

$P_{\text{дв}}$ — расчетная мощность двигателя, кВт.

$$n = \frac{30 \omega_{\text{дв}}}{\pi} = \frac{30 \cdot 58,67}{3,14} = 560,5 \text{ об/мин}, \quad (2.9)$$

где n – расчетная частота вращения, об/мин.

По расчетным значениям выбираем электродвигатель с частотным регулированием: 4АНК315510У3. Технические характеристики электропривода также представлены в таблице 2.2. Схема замещения двигателя (рисунок 2.1), Внешний вид асинхронного двигателя (рисунок 2.2).

$$P_{2\text{ном}} = 75 \text{ кВт}, I_{2\text{ном}} = 221 \text{ А}, U_{2\text{ном}} = 217 \text{ В}, S_{\text{ном}} = 4,5 \%, S_{\text{к}} = 15,8 \%, \eta = 90\%, J = 6,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, x_{\text{м}} = 3,5, x_1 = 0,14, x_2 = 0,99, R = 0,036, R = 0,052$$

Таблица 2.2 – Технические характеристики электропривода

Параметр	Обозначение	Значение
Мощность номинальная, кВт	$P_{\text{н}}$	75
Номинальная частота вращения, об/мин	$n_{\text{н}}$	600
номинальный ток (статора), А	$I_{\text{н}}$	157,8
Коэффициент мощности в номинальном режиме	$\cos\varphi$	0,8
Пусковой ток, А	$I_{\text{п}}$	463,4
Пусковой момент, Нм	$M_{\text{п}}$	718
Максимальный (критический) момент	$M_{\text{макс}}$	2254
Активное сопротивление фазной обмотки статора, Ом	r_1	0,049
Момент инерции двигателя, кгм ² (Нм)	$J_{\text{дв}}$	6,2

Схема замещения

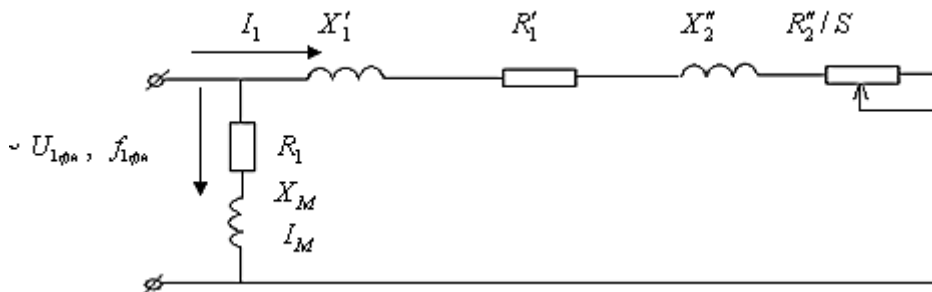


Рисунок 2.1 - Схема замещения двигателя

$$I_{1\text{фм}} = \frac{P_{2\text{м}}}{3U_{1\text{ф}}\cos\varphi\eta_{\text{н}}} = \frac{75000}{3 \cdot 220 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 157,8 \text{ А}, \quad (2.10)$$

где $I_{1\text{фм}}$ — номинальный ток, А.

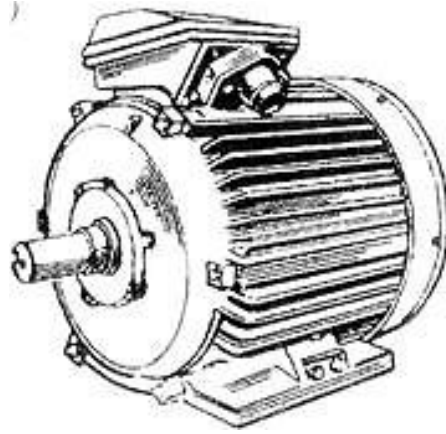


Рисунок 2.2 - Внешний вид асинхронного двигателя 4АНК315510УЗ

$$Z_H = \frac{U_{1\phi}}{I_{1\phi}} = \frac{220}{157,8} = 1,4 \text{ Ом}, \quad (2.11)$$

где Z_H — полное сопротивление статора, Ом.

$$X_M = \vec{X}_M \cdot Z_M = 3,5 \cdot 1,4 = 4,9, \quad (2.12)$$

где X_M — приведенное сопротивление магнитной цепи, Ом.

$$R'_1 = 0,036 \cdot 1,4 = 0,05, \quad (2.13)$$

где R'_1 — приведенное активное сопротивление статора, Ом.

$R''_2 = 0,07 \text{ Ом}, X'_1 = 0,194 \text{ Ом}, X''_2 = 0,266 \text{ Ом},$

$$X_1 = \frac{2 \cdot X'_1 \cdot X_M}{X_M + \sqrt{X_M^2 + 4X'_1 \cdot X_M}} = \frac{2 \cdot 0,194 \cdot 4,9}{4,9 + \sqrt{(4,9)^2 + 4 \cdot 0,194 \cdot 4,9}} = 0,187 \text{ Ом}, \quad (2.14)$$

где X_1 — индуктивное сопротивление обмотки статора, Ом.

$$R_1 = \frac{R'_1 \cdot X_1}{X'_1} = \frac{0,05 \cdot 0,19}{0,194} = 0,049 \text{ Ом}, \quad (2.15)$$

где R_1 — активное сопротивление статора, Ом.

$$I_M = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(r'_1 + \frac{r''_2}{s})^2 + (x'_1 + x'_2)^2}} = 131,7 \text{ А}, \quad (2.16)$$

где I_M — ток ротора, А.

$$P_{эм} = 3 \cdot (I'_2)^2 \cdot \frac{R_2''}{S} = \omega_c, M, \quad (2.17)$$

$$M = \frac{3 \cdot (I'_2)^2 \cdot R_2''}{S \cdot \omega_c}$$

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{75000}{60} = 1250, \quad (2.18)$$

M_H — номинальный момент, Нм;

$p_H = 5$ — число полюсов.

$$\omega_c = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{5} = 62,8, \text{ с}^{-1}, \quad (2.19)$$

$$n = \frac{60f}{p} = 600, \text{ об/мин}, \quad (2.20)$$

$$\omega_H = \omega_c \cdot (1 - S_H) = 62,8 \cdot (1 - 0,045) = 60, \quad (2.21)$$

где ω_H — номинальная скорость вращения, с^{-1} ;

где ω_c — синхронная скорость вращения, с^{-1} .

Пусковые: $S_{п} = 1$;

$$I'_{2п} = \frac{220}{\sqrt{(0,05+0,07)^2 + 0,211}} = 463,4, \text{ А}, \quad (2.22)$$

$$M_{п} = \frac{3 \cdot (463,4)^2 \cdot 0,07}{62,8 \cdot 1} = 718 \text{ Нм}, \quad (2.23)$$

где $I'_{2п}$ — ток в роторе при пуске, А;

$M_{п}$ — пусковой момент, Нм.

Критические заключения: $S = 0,15$;

$$I'_{2к} = \frac{220}{\sqrt{(0,05 + \frac{0,07}{0,15})^2 + 0,211}} = 318 \text{ А},$$

$$M_{к} = \frac{3 \cdot (463,4)^2 \cdot 0,07}{62,8 \cdot 0,15} = 2254, \text{ Нм}.$$

Динамические моменты:

$$M_1 = 0,8 \cdot 2254 = 1803, \text{ Нм}, \quad (2.24)$$

$$M_2 = 1,1 \cdot M_c = 1,1 \cdot 1072 = 1179, \text{ Нм}; \quad (2.25)$$

Число ступеней добавочных сопротивлений (результаты данных вычислений показаны в таблице 2.2):

$$M_1^d = \frac{M_1}{M_M} = \frac{1803}{1250} = 1,45, \quad (2.26)$$

$$M_2^d = \frac{M_2}{M_M} = \frac{1179}{1250} = 0,9,$$

$$m = \frac{\lg\left(\frac{1}{0,045 \cdot 1,45}\right)}{\lg\left(\frac{1,45}{0,9}\right)} = 5, \quad (2.27)$$

$$M = \frac{3(l_2')^2 R_2''}{S \omega_c}, \quad (2.28)$$

$$l_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2''}{S}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}}, \quad (2.29)$$

$$\omega = \omega_c(1 - S). \quad (2.30)$$

Таблица 2.2 – Результаты вычислений

Параметр	Значение													
	1	0,8	0,6	0,4	0,3	0,025	0,2	0,15	0,1	0,07	0,055	0,045	0	
l_2'	463,4	458	450	430	407	388,9	361	318	250	192	157	137,7	0	
ω	0	12,8	25,1	37,7	43,9	47,1	50	53,4	56,5	58,4	59,3	59,9	62,8	
M	718	879,8	1128	1545	1846	2022	2178	2254	2089	1761	1498	1250	0	

Передаточное число редуктора определяется по номинальной скорости вращения выбранного двигателя ω_n и основной скорости движения исполнительного органа v_0 по формуле

$$\omega_n = \frac{n_n}{9,55} = \frac{600}{9,55} = 62,8, \text{ рад/с}, \quad (2.31)$$

$$J_p = \frac{\omega_n D}{2V_0} = \frac{62,8 \cdot 1,695}{2 \cdot 0,88} = 60,48, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2. \quad (2.32)$$

где D – диаметр колеса (ролика, шкива и т.п.), находящегося на выходном валу редуктора и преобразующего вращение вала в поступательное движение исполнительного органа рабочей машины. Редуктор выбирают по справочнику, исходя из требуемого передаточного числа, заданного значения номинальной мощности (или моментов на тихоходном и быстроходном валу) и скорости выбранного двигателя с учетом характера нагрузки (режима работы) РО, для которого проектируется электропривод.

Выбираем цилиндрический горизонтальный трехступенчатый редуктор типа ГТ-ВК. Основные параметры цилиндрического горизонтального трехступенчатого редуктора показаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Основные параметры цилиндрического горизонтального трехступенчатого редуктора ГТ-ВК

Параметр	Обозначение	Значение
Передаточное число	n	71,72
КПД, %	η	93

Редукторы типа ГТ (рисунок 2.3) являются редукторами общего назначения и применяются для приводов транспортеров, подъемников, питателей, элеваторов, эскалаторов, прессов и других машин.

Редуктор представляет собой трехступенчатую зубчатую передачу, составленную из трех пар цилиндрических косозубых колес. Быстроходный вал находится под первым промежуточным, остальные валы лежат в горизонтальной плоскости. Все валы установлены на подшипниках качения, смонтированных в чугунном корпусе. Корпус имеет разъем в горизонтальной плоскости.

Редуктор имеет следующие характеристики:

1. Редуктор допускает реверсивную работу.
2. Ориентировочный КПД редукторов – 0,93.
3. Степень точности изготовления передачи – 8.
4. Редукторы изготавливаются в двух исполнениях по передаточным числам.
5. По взаимному расположению концов быстроходного и тихоходного валов редукторы изготавливаются по четырем схемам сборки.
6. Смазка осуществляется из общей ванны: зубчатого зацепления – окупанием, подшипников – разбрызгиванием.
7. Редукторы рассчитаны на непрерывную работу в течении 8 часов в сутки при постоянной спокойной нагрузке. При другом характере нагрузки и другой продолжительности работы допускаемая мощность определяется делением расчетной мощности на коэффициент характера нагрузки.

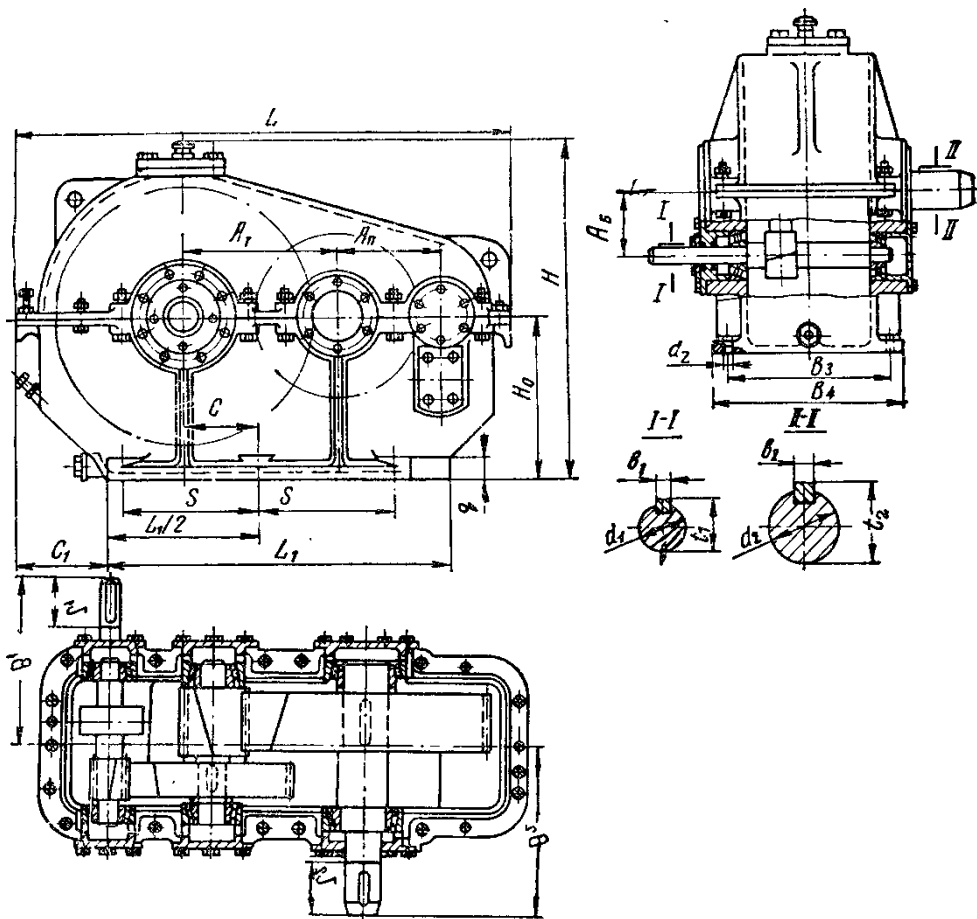


Рисунок 2.3 - цилиндрический горизонтальный трехступенчатый редуктор типа ГТ-ВК

2.3 Выбор преобразователя частоты и система управления эскалатором

Для данных подъемно-транспортных механизмов характерны длительные режимы работы в неизменном направлении, изменяющийся характер нагрузки, тормозные и пусковые режимы под нагрузкой. При этом следует учитывать, что канатные дороги и эскалаторы предназначены для транспортировки пассажиров а, следовательно, необходимо учитывать технику безопасности и комфортности пассажиров при движении подъемно-транспортных механизмов непрерывного действия.

Выбор преобразователя частоты осуществлен по мощности двигателя и по напряжению питания. Из каталога выбираем преобразователя частоты производства Schneider Electric , мощность которого равна или больше номинальной мощности двигателя. Выбираем преобразователь частоты типа ATV61HD75M3X, его параметры представлены в таблице 2.3, а его внешний вид показан на рисунке 2.4. Также на рисунке 2.5, показана схема подключения преобразователя частоты ATV61HD75M3X к асинхронному двигателю подъемно-транспортного механизма типа 4АНК315510У3 .



Рисунок 2.4 - Внешний вид преобразователя частоты

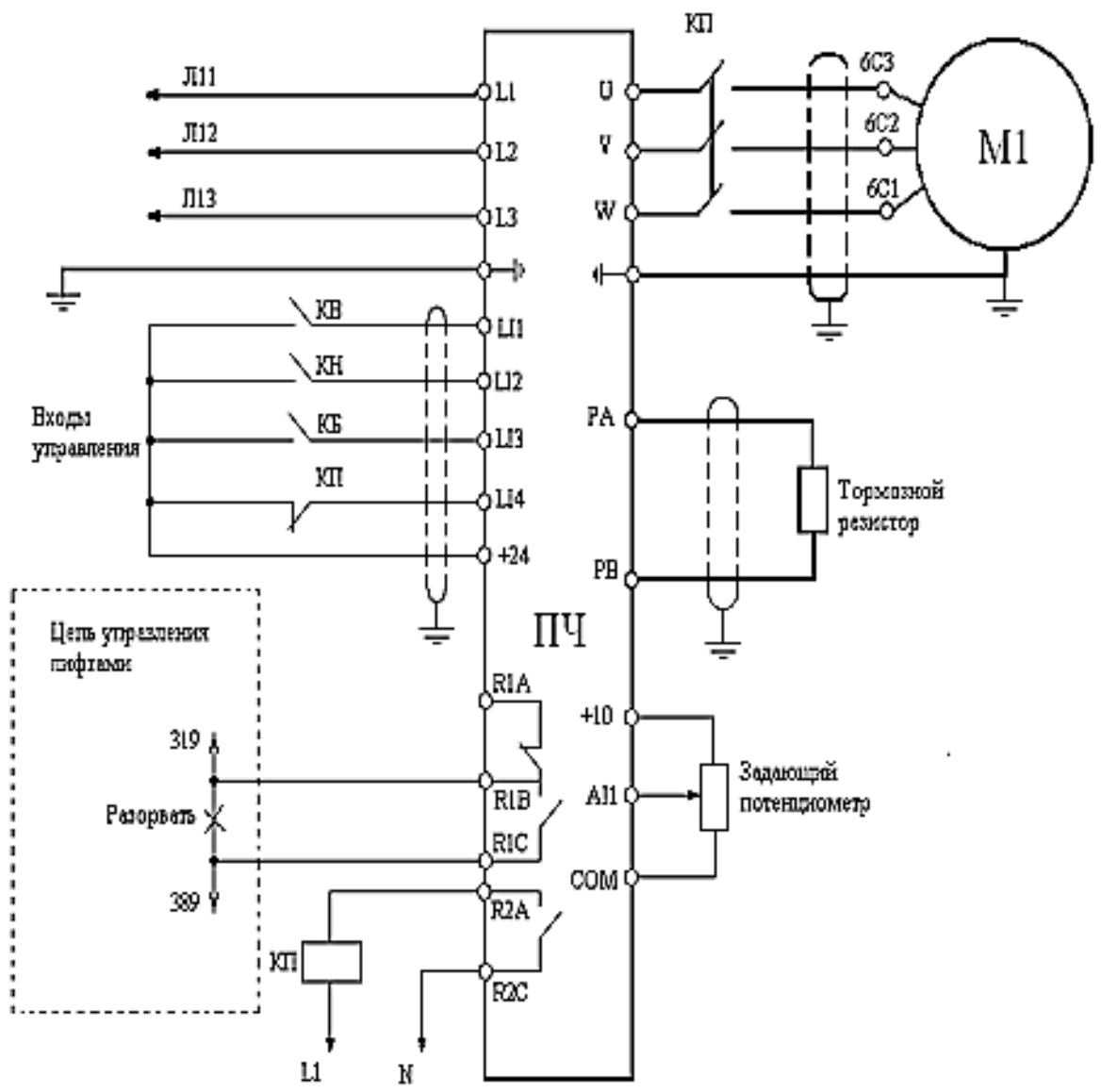


Рисунок 2.5 - Схема подключения преобразователя частоты к сети и к двигателю

Таблица 2.3 - Параметры преобразователя частоты

Двигатель		Источник питания						
Тип ПЧ	Мощность, кВт	Линейный ток		Макс. Линейный ток К.З.		Ном. ток преобразователя, А	Макс. переход. ток, А	Масса, кг
		U _{ми н.} , А	U _{ма кс.} , А	U _{ми н.} , кА	U _{ма кс.} , кА			
ATV61HD75M3X	75	271	232	35	35	230	342	84

2.4 Программируемый микроконтроллер системы автоматического управления электроприводом эскалатора

Микроконтроллеры компактны, не дорогие, обладают программным управлением системы и имеют быстрый процессор и легки в управлении. Общеизвестно, что микроконтроллеры — это большой шаг в развитии средств электронной автоматики и обработки данных. Данное сочетание свойств дает возможность не одной технологической и схемотехнической базе, т. е. только за счет программирования микроконтроллером, можно получить специализированные вычислительные устройства, пригодные для использования в науке, на производстве, на транспорте, в медицине, в быту и многих других немаловажных сферах.

На микропроцессорной базе данных созданы и выпускаются многочисленными тиражами, персональные компьютеры, причем, как отмечают многие значимые авторы, социальное последствие данного явления, вероятнее всего, окажется соизмеримым с появлением книгопечатания, конвейерного производства или автомобиля.

Применение микропроцессоров в различных системах, где требуется сбор, передача, обработка и отображение информации, позволяет подняться на принципиально новый уровень по многим показателям, таким как надежность и простота обслуживания систем, с одной стороны, а также полнота и сложность выполняемых микропроцессорами функций, с другой стороны.

2.4.1 Структурная схема PIC16F877. Структурная схема контроллера приведена на рисунке 2.6. Как видно из схемы контроллер имеет значительное количество модулей для передачи, приема и обработки информации. К таким модулям можно отнести порты ввода/вывода, синхронный последовательный порт, модули CCP1 и CCP2, универсальный синхронно-асинхронный приёмопередатчик USART, а также модуль аналогово-цифрового преобразователя.

Также в данном контроллере реализованы модули TMR0, TMR1 и TMR2, выполняющих функции таймера. Эти модули могут работать как от внутренних, так и от внешних тактовых генераторов.

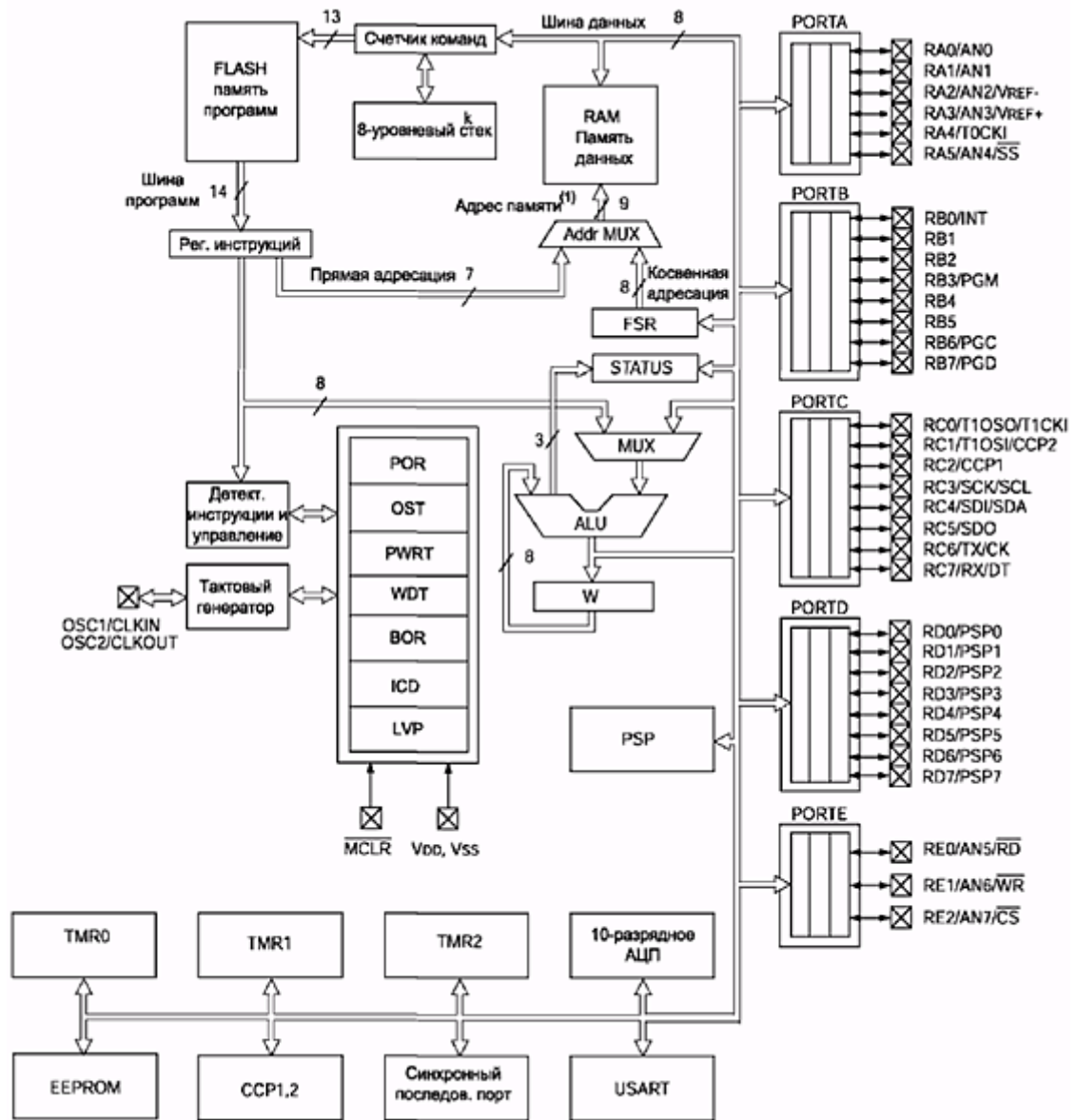


Рисунок 2.6 – Структурная схема контроллера PIC16F877

В микроконтроллере PIC16F877 имеется 3 вида памяти: память программ, память данных и стек. Первые два типа памяти имеют отдельные шины данных и адреса, что позволяет выполнять параллельный доступ. Стек имеет 8 уровней, однако недоступен для обращения, то есть служит для перехода к подпрограммам и обратно. Память данных разделена на четыре банка, которые содержат регистры общего и специального назначения. Карта памяти данных приведена на рисунке 2.7. За выбор банка памяти отвечают биты RP0 и RP1 регистра STATUS.

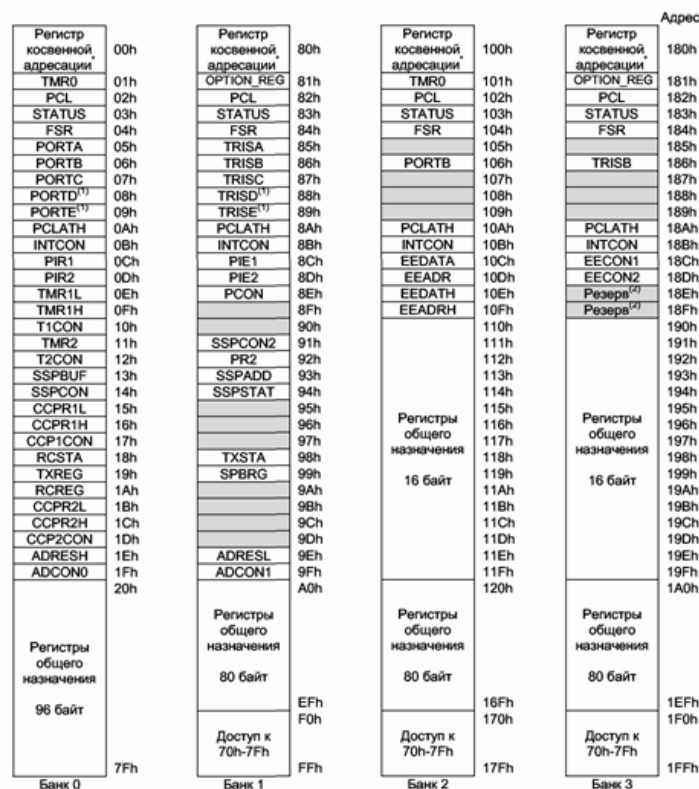


Рисунок 2.7 – Карта памяти данных микроконтроллера PIC16F877

2.4.2 Команды микроконтроллера PIC16F877. Данный микроконтроллер имеет 35 основных команд. Все эти команды будут изложены ниже, однако большая их часть не будет использована в данной работе. Так как не будут использованы арифметические команды, сдвиговые команды, а также не будут использоваться прерывания.

Все команды можно разделить на три группы:

- байт ориентированные команды;
- бит ориентированные команды;
- команды управления и операций с константами.

Третья группа команд состоит, казалось бы, из разных по назначению операций, однако из-за схожего представления команд в самом микроконтроллере их относят в одну группу.

Байт ориентированные команды представляют собой операции над байтами. Сюда относятся арифметические команды, логические команды, а также команды преобразования байтов.

[label] CLRf f

Команда DECFSZ вычитает 1 из содержимого указанного регистра. Если результат не равен 0, то выполняется следующая команда, если результат равен 0, то следующая команда пропускается, при этом команда выполняется за два цикла. Синтаксис команды:

[label] DECFSZ f,d

Команда MOVWF пересылает содержимое аккумулятора в указанный регистр. Синтаксис команды:

```
[label]    MOVWF    f
```

Команда NOP указывает, что нет операции, а счетчик команд увеличивается на 1. Синтаксис команды:

```
[label]    NOP
```

В выше перечисленных командах f указывает на регистр, а d указывает на приёмник результата. Если d=0, то результат записывается в аккумулятор, а если d=1, результат записывается в регистр f.

Бит ориентированные команды предназначены для преобразования и проверки отдельных битов.

Команда BCF очищает указанный бит в регистре. Синтаксис команды:

```
[label]    BCF      f,b
```

Команда BSF устанавливает указанный бит в регистре. Синтаксис команды:

```
[label]    BSF      f,b
```

Команда BTFSC проверяет, сброшен ли указанный бит в регистре. Если не сброшен, то выполняется следующая команда, если же бит сброшен, то следующая команда пропускается. Синтаксис команды:

```
[label]    BTFSC   f,b
```

Команда BTFSS проверяет, установлен ли указанный бит в регистре. Если бит не установлен, то выполняется следующая команда, если же бит установлен, то следующая команда пропускается. Синтаксис команды:

```
[label]    BTFSS   f,b
```

Команды управления и операций с константами включают арифметические и логические операции с константами, также команды возврата из подпрограмм и другие команды.

Команда CALL вызывает указанную подпрограмму. Синтаксис команды:

```
[label]    CALL    k
```

Команда GOTO – команда безусловного перехода. Синтаксис команды:

```
[label]    GOTO    k
```

Команда MOVLW загружает константу в аккумулятор. Синтаксис команды:

```
[label]    MOVLW   k
```

Команда RETURN – команда возврата из подпрограммы. Синтаксис команды:

```
[label]    RETURN
```

Выше были приведены только команды микроконтроллера PIC16F877, используемые в данном курсовом проекте. Однако существует ещё большое количество других команд.

2.4.3 Основные регистры PIC16F877. Микроконтроллер PIC16F877 имеет большое количество регистров управления, как самим

микроконтроллером, так и регистров управления прерываниями и реализованными в нём дополнительными модулями передачи и преобразования данных.

В данном разделе будут рассмотрены только те регистры микроконтроллера PIC16F877, которые будут применяться для выполнения данного курсового проекта. Основным регистром является регистр STATUS. В нём содержатся флаги состояния арифметико-логического устройства, флаги причины сброса микроконтроллера и биты управления банками памяти данных. Этот регистр реализован во всех банках данных. Структура регистра приведена в таблице 2.4

Таблица 2.4 - Структура регистра STATUS

Бит	7	6	5	4	3	2	1	0
Обозначение	IRP	RP1	RP0	-TO	-PD	Z	DC	C
Назначение	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	R/W

Бит IRP указывает на бит выбора банка при косвенной адресации через регистр FSR.

Биты RP1:RP0 предназначены для выбора банка при прямой адресации. В зависимости от комбинаций значений этих битов происходит выбор банка данных.

11 = банк 3 (180h-1FFh)

10 = банк 2 (100h-17Fh)

01 = банк 1 (080h-0FFh)

00 = банк 0 (000h-07Fh)

Бит -TO является флагом переполнения сторожевого таймера. Имеет значение 1 после сброса сторожевого таймера или выполнения команд CLRWDT, SLEEP, и значение 0 – после переполнения WDT.

Бит -PD является флагом включения питания. Имеет значение 1 после POR или после выполнения команды CLRWDT, и значение 0 после выполнения команды SLEEP.

Бит Z – флаг нулевого результата. Устанавливается после выполнения арифметических или логических операций. Имеет значение 1, если результат равен 0, и 0 – при не нулевом результате.

Бит DC – флаг десятичного переноса. Указывает, был ли перенос из младшего полубайта.

Бит C – флаг переноса/заёма.

В данном курсовом проекте будут использованы только два бита из регистра STATUS – это биты RP1 и RP0, необходимые для выбора банков данных.

Следующими регистрами, которые используются в данной работе, являются регистры портов ввода/вывода, а также регистры управления этими портами. Как видно из структурной схемы на рисунке 3.1, микроконтроллер

PIC16F877 имеет пять портов ввода/вывода: PORTA, PORTB, PORTC, PORTD и PORTE. Каждому из этих портов соответствуют одноименные регистры, которые находятся в нулевом банке. Каждый из регистров портов ввода/вывода имеют регистры, содержащие биты, указывающие на направление передачи данных. Такими регистрами являются регистры TRISA, TRISB, TRISC, TRISD и TRISE.

Регистр PORTA является 6-разрядным портом ввода вывода. Каждому каналу порта соответствуют биты направления в регистре TRISA. Установка в 1 какого-либо бита регистра TRISA переводит соответствующий канал порта в состояние ввода данных, а установка в 0 – переводит канал в состояние вывода данных. Все каналы PORTA, кроме RA4, мультиплицированы с аналоговыми входами АЦП.

PORTB – 8-разрядный двунаправленный порт ввода вывода. Биты регистра TRISB определяют направление каналов порта. Если 1, то канал настроен на ввод, если 0 – на вывод. Четыре канала PORTB RB7:RB4, настроенные на вход, могут генерировать прерывания по изменению логического уровня сигнала на входе. Прерывания по изменению сигнала на входах PORTB и программа переключения конфигурации этих каналов позволяет реализовать простой интерфейс обслуживания клавиатуры.

PORTC является 8-разрядным двунаправленным портом ввода вывода. Биты регистра TRISC определяют направление каналов порта. Также каналы PORTC используются с периферийными модулями USART, TMR1 и MSSP.

PORTD является 8-разрядным портом ввода вывода. Биты регистра TRISD определяют направление каналов порта. Также PORTD может работать как 8-разрядный ведомый параллельный порт, если бит PSPMODE (TRISE<4>) установлен в 1.

PORTE имеет три вывода, направление которых определяет состояние регистра TRISE. Также каналы этого порта могут быть управляющими каналами параллельного порта, или могут быть настроены как аналоговые.

2.2.4 Характеристика микроконтроллеров.

-Высокоскоростная RISC архитектура.

-35 инструкций.

-Все команды выполняются за один цикл, кроме инструкций переходов, выполняемых за два цикла.

-Тактовая частота: DC - 20МГц, тактовый сигнал DC - 200нс, один машинный цикл.

-До 8к x 14 слов FLASH памяти программ, до 368 x 8 байт памяти данных (ОЗУ) До 256 x 8 байт EEPROM памяти данных.

-Совместимость по выводам с PIC16C73B/74B/76/77.

-Система прерываний (до 14 источников).

-8-уровневый аппаратный стек.

-Прямой, косвенный и относительный режим адресации.

-Сброс по включению питания (POR).

- Таймер сброса (PWRT) и таймер ожидания запуска генератора (OST) после включения питания.
- Сторожевой таймер WDT с собственным RC генератором
- Программируемая защита памяти программ.
- Режим энергосбережения SLEEP.
- Выбор параметров тактового генератора.
- Высокоскоростная, энергосберегающая CMOS FLASH/EEPROM технология.
- Полностью статическая архитектура.
- Программирование в готовом устройстве (используется два вывода микроконтроллера) Низковольтный режим программирования.
- Режим внутрисхемной отладки (используется два вывода микроконтроллера).
- Широкий диапазон напряжений питания от 2.0В до 5.5В.
- Повышенная нагрузочная способность портов ввода/вывода (25мА).
- Малое энергопотребление:- $< 0.6 \text{ мА @ } 3.0\text{В}$, 4.0МГц , $20\text{мкА @ } 3.0\text{В}$, 32кГц $< 1 \text{ мкА}$ в режиме энергосбережения.

2.5 Система управления и алгоритм управления

2.5.1 Разработка принципиальной электрической схемы. Существующая релейно-контактная схема управления заменена схемой управления на микроконтроллере PIC16F877 который выполняет те же функции и логические операции. В схеме управления остались без изменения только кнопки и контакторные реле с усиленными контактами. Управление осуществляется только программным способом, изменяя значение байтов слов на соответствующих портах микроконтроллера. Помимо гибкой логики, микроконтроллерная схема управления позволяет осуществлять контроль текущих параметров и техническую диагностику как самой схемы, так и элементов и устройств механических частей травалатора.

В виду слабых контактов оптической пары включение питания силового электродвигателя осуществляется контактором.

Схема, приведенная на рисунке 2.8, действует следующим образом. На выходе RD0 устанавливается высокий уровень сигнала или "1". Если цепи пуска замкнута, то на входе RD1, соединённого с этой ветвью, окажется высокий уровень сигнала. Микроконтроллер, подает единичный сигнал на выводы RC0, замыкая цепь питания светодиода. Оптическая пара, в свою очередь, замыкает цепь питания контакторного реле KB, которая своими усиленными контактами замыкает цепи питания трёх фазного электродвигателя переменного тока. После этого замыкается цепь питания двигателя с определённой полярностью посредством оптической пары.

Если необходимо осуществить реверс, оператор нажимает кнопку «Реверс», фиксация нажатия которой, происходит аналогичным образом - через другой вход RD3. На выходе RC1 возникает высокий уровень сигнала

(5V), который образует цепь питания светодиода. Оптическая пара этого светодиода замыкает цепь питания контакторного реле KN, которая своими контактами осуществляет перемену фаз питания трёх фазного электродвигателя.

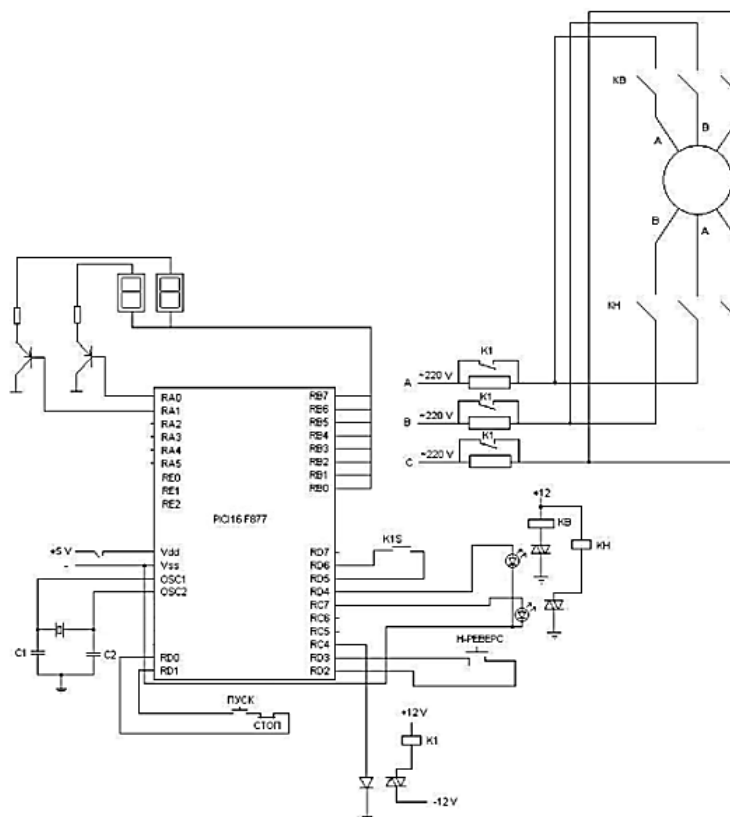


Рисунок 2.8 – Микроконтроллерная схема управления PIC16F877

Кроме того, в схеме предусмотрена кнопка переключения скорости движения эскалатора К1S, нажатие которой фиксируется приемом единичного сигнала входом RD5. Тогда на выходе RC2 возникает «1», являющаяся положительным полюсом источника питания микроконтроллера то есть вновь возникает цепь питания светодиода. Оптическая пара образует цепь питания контакторного реле К1 которое своими контактами закорачивает резисторы включенные последовательно с якорной обмоткой электродвигателя, тем самым увеличивая напряжение каждой фазы.

Для указания направления и скорости движения эскалатора в схеме управления предусмотрена индикация на семи сегментных индикаторах, выбор которых осуществляется выходами RA0, RA1. Подавая единичный сигнал на соответствующие базы транзисторов, осуществляется подключение отрицательного полюса источника питания индикатора подключенного к «земле». Вывод байтов информации о скорости и направлении движения осуществляется через выходы порта В – RB0:RB7. Алгоритм

функционирования схемы управления реализован на Ассемблере и приведен ниже.

2.5.2 Работа эскалатора в принципе состоит из нескольких операций: задание скорости и направления движения, включая возможность экстренной остановки. Кроме того, для эффективной работы оператора необходимо предусмотреть индикацию фактических скорости и направления движения. Для исключения «дребезга» контактов следует предусмотреть многократный опрос нажатия кнопок схемы управления. Для реализации экстренного торможения движения должна быть предусмотрена кнопка «стоп», обрывающая цепь питания микроконтроллера и силового электродвигателя.

Поэтому опрос нажатия этой кнопки должен осуществляться в программе непрерывно. Блок-схема алгоритма функционирования эскалатора при различных режимах представлена на рисунке 2.9. На этой блок-схеме видно как работает система управления в микроконтроллере, срабатывает реле с отсечкой времени и кнопки реверса.

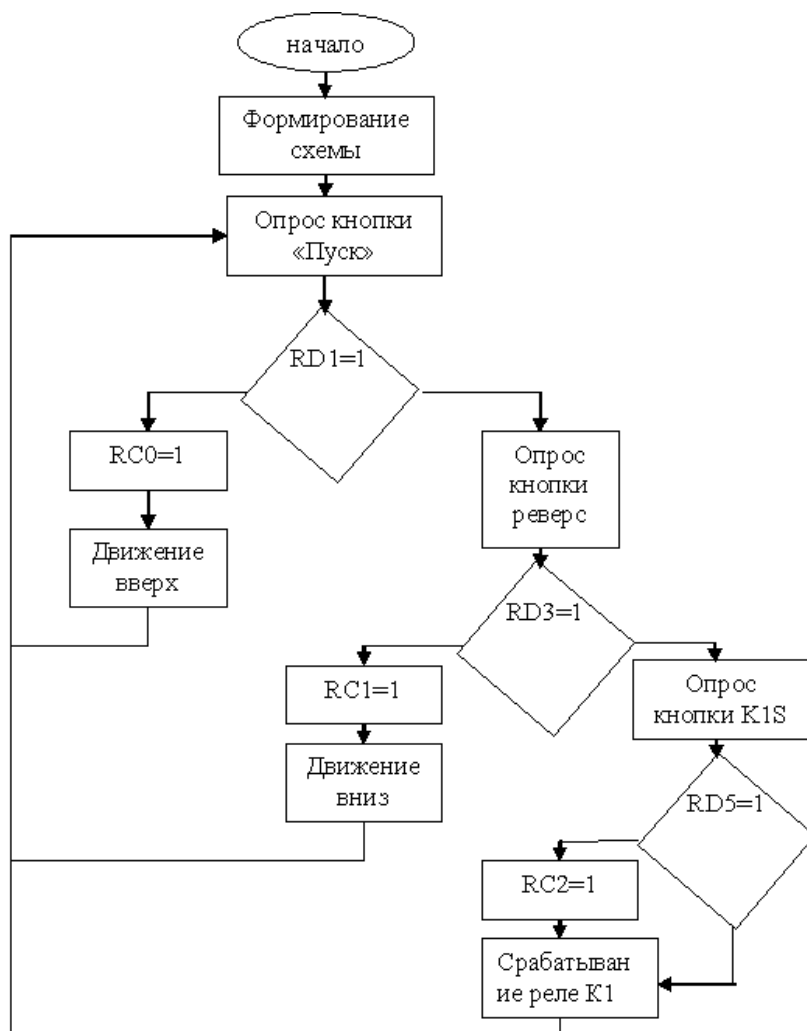


Рисунок 2.9 – Блок-схема алгоритма управления

2.5.3 Программа управления. Следуя алгоритму управления, описанного выше, программа является непрерывной и циклической. Данный цикл имеет бесконечное число операций, при условии, что микроконтроллер не будет сброшен. Например, это может произойти при выключении питания самого микроконтроллера.

Данная программа составлена на языке ассемблера MPASM разработанного специально для программирования в среде MPLAB. Эта среда разработки является мощным средством разработки и непосредственно реализации проектов связанными с микроконтроллерами компании MicroChip. Она поддерживает не только функции компиляции программ и построения исполнительного файла, но и работу с программатором, а также позволяет симулировать работу микроконтроллера, при условии установки дополнительного набора программ.

Текст программы:

```

LIST P=16F877, F=INHX8M
ERRORLEVEL -302
INCLUDE <P16F877.INC>
ORG 000H
    CLRF     STATUS      ; банк 0
    CLRF     INTCON      ; запрет прерываний
    CLRF     PORTB       ; очистка порта В,С,Д
    CLRF     PORTC
    CLRF     PORTD

;-----
    BSF     STATUS,RP0   ; банк 1
    CLRF     TRISC       ; порт С - вывод
    MOVLW   B'00101010' ; RD 7,6,4,2,0 - вывод
    MOVWF   TRISD       ; RD 5,3,1 – ввод
;-----
    BCF     STATUS,RP0   ; банк 0
    MOVLW   B'00001111'
    MOVWF   PORTC       ; остановка эскалатора
;-----
PUSK
    BSF     PORTD,0
    BTFSS  PORTD, 1
    GOTO   REVER
    MOVLW  B'00000001' ; движение вверх
    MOVWF  PORTC
    GOTO   PUSK
REVER
    BSF    PORTD, 2
    BTFSS  PORTD,3

```



```

    GOTO    K1S
    MOVLW  B'00000010' ; движение вниз
    MOVWF  PORTC
    GOTOPUSK
K1S
    BSF    PORTD, 4
    BTFSS  PORTD,5
    GOTO   PUSK
    MOVLW  B'00000011' ; переключение скорости
    MOVWF  PORTC
    GOTOPUSK

```

3 Исследования системы управления электроприводом эскалатора на виртуальной модели в среде MATLAB

3.1 Системы с переменной структурой

Особый интерес представляет такая настройка системы управляющего устройства с переменной структурой, которое дает возможность для скользящий процесс. Преимущество переменной структуры состоит, в том, что его форма не зависит от параметров главной части системы управления и может протекать с подходящими для конструктора свойствами. Именно поэтому дальше будет излагаться только задача построения системы переменной структуры с постройкой скользящего режима[7].

Схема системы (рисунок 3.4). Динамика главной части системы при отсутствии внешнего воздействия описывается уравнением:

$$(p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n)x = -bu, \quad (3.3)$$

где x – отклонение регулируемой величины, u – управляющий сигнал на исполнительное устройство. Обозначим

$$x_1 = x; \quad x_2 = \frac{dx_1}{dt}, \dots, x_n = \frac{dx_{n-1}}{dt}. \quad (3.4)$$

Тогда уравнение (3.3) можно представить в виде системы:

$$\begin{cases} \frac{dx_n}{dt} = -(a_1 x_{n-1} + \dots + a_{n-1} x_2 + a_n x_1) - bu_1 \\ \frac{dx_i}{dt} = x_{i+1}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1. \end{cases} \quad (3.5)$$

Функцию управления с переключением структуры, формируемую в логическом управляющем устройстве, выберем в виде

$$u = \psi x_1, \quad (3.6)$$

где

$$\psi = \begin{cases} \alpha & \text{при } x_1 y > 0, \\ \beta & \text{при } x_1 y < 0, \end{cases} \quad (3.7)$$

причем α, β – постоянные коэффициенты ($\alpha > \beta$), а переменная y складывается из отклонения x_1 и $n - 1$ его производных:

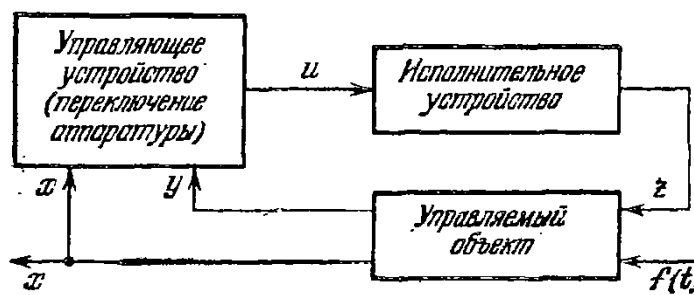


Рисунок 3.4 – Схема системы с переменной структурой

$$y = \sum_{i=1}^n c_i x_i, \quad c_1 = \text{const}, \quad c_n = 1. \quad (3.8)$$

В данном примере говорят, что имеется полная информация о нынешнем состоянии системы. В практике же иметь точные значения всех производных фактически невозможно.

Сначала рассмотрим идеализированную систему с переменной структурой. Переключение структуры будет происходить, согласно формулам (3.7) и (3.8) при:

$$y = \sum_{i=1}^n c_i x_i = 0. \quad (3.9)$$

В n -мерном пространстве это будет гиперплоскость. Напомним что на фазовые траектории встречались на гиперплоскости переключения, подходя к ней с обеих сторон, или же принадлежали бы данной гиперплоскости. Следовательно, требуется, чтобы с одной стороны, гиперплоскости переключения, где $y > 0$, производная dy/dt была отрицательной, а с другой стороны, плоскости, где $y < 0$, производная dy/dt была положительной. Это условие появления скользящего процесса можно записать в виде:

$$\lim_{y \rightarrow +0} \frac{dy}{dt} \leq 0, \quad \lim_{y \rightarrow -0} \frac{dy}{dt} \geq 0, \quad (3.10)$$

где ± 0 обозначает пределы стремления u к нулю со стороны соответственно отрицательных и положительных значений u .

Определим вид дифференциального уравнения, которое описывает скользящий процесс. Согласно (3.9), (3.8) и (3.4)

$$\frac{dx_{n-1}}{dt} = - \sum_{i=1}^{n-1} c_i x_i, \quad \frac{dx_i}{dt} = x_{i+1}, \quad i = 1, 2, \dots, n-2. \quad (3.11)$$

отсюда видны два важных свойства. Во-первых, порядок системы по сравнению с исходной формулой (3.5) понижается на единицу. Во-вторых, в уравнения (3.11) входят только параметры c_1 управляющего устройства. Поэтому форма скользящего процесса не зависит от характеристик основной части системы, входящих в коэффициенты a_1 исходного уравнения (3.3). Напомним, что рассматривается идеальный случай при полной и точной информации о состоянии системы. В несовершенном случае будут, естественно, отступления от этих свойств, но все же в первом приближении на них можно опираться.

Итак организуя следующий процесс в системе с переменной структурой, можно придавать этому процессу желаемые свойства путем выбора значений коэффициентов c_1 управляющего устройства. Следовательно, к задачам проектировщика относятся, построение системы так, чтобы условия возникновения скользящего процесса (3.10) реализовались надлежащим образом.

Из анализа условий (3.10) совместно с уравнением (3.11) и (3.4) получаются следующие необходимые и достаточные условия того, чтобы на гиперплоскости (3.9) существовал скользящий процесс:

$$b\alpha \geq -a_n + c_1 a_1 - c_1 c_{n-1}, \quad (3.12)$$

$$b\beta \leq -a_n + c_1 a_1 - c_1 c_{n-1},$$

$$\frac{c_{i-1} - a_{n-i+1}}{c_i} = c_{n-1} - a_1, \quad i = 2, \dots, n-1. \quad (3.13)$$

Получено условие устойчивости движения системы по гиперплоскости скольжения. Доказано, что для этой цели надо составить характеристическое уравнение системы (3.3) с заменой

$$bu = - [a_n + c_1 (c_{n-1} - a_1)] x_1;$$

это уравнение получает вид

$$\lambda^n + a_1 \lambda^{n-1} + \dots + a_{n-1} \lambda - c_1 (c_{n-1} - a_1) = 0. \quad (3.14)$$

Для устойчивости движения системы по гиперплоскости скольжения необходимо и достаточно, чтобы все корни характеристического уравнения (3.14), кроме одного, имели отрицательные вещественные части.

Покажем применение этих положений на примере следующей системы управления третьего порядка:

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2, \quad \frac{dx_2}{dt} = x_3, \quad \frac{dx_3}{dt} = -u,$$

причем

$$u = \Psi x_1,$$

где

$$\Psi = \begin{cases} 1 & \text{при } x_1 y > 0, \\ -1 & \text{при } x_1 y < 0, \end{cases}$$

$$y = c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3.$$

Сравнивая эти выражения с (3.7) и (3.9), видим, что здесь $n = 3$, $b = 1$, $\alpha = 1$, $\beta = -1$, $a_1 = a_2 = a_3 = 0$. Поэтому условия (3.13) и (3.14), реализующие скользящий процесс, получают вид

$$1 \geq -c_1 c_2, \quad -1 \leq -c_1 c_2, \quad c_1 = c_2^2. \quad (3.15)$$

Уравнения скользящего процесса (3.12) будут иметь второй порядок:

$$\frac{dx_2}{dt} = -c_1 x_1 - c_2 x_2, \quad \frac{dx_1}{dt} = x_2 \quad (3.16)$$

Выбором коэффициентов c_1 и c_2 можно придать желаемые свойства формы скользящего процесса. Для устойчивости системы в этом процессе требуется $c_1 > 0$, $c_2 > 0$, что не противоречит условиям (3.15).

Исследуем также устойчивость движения системы по гиперповерхности скольжения. Для этого, согласно (3.14), имеем характеристическое уравнение в виде

$$\lambda^3 - c_1 c_2 = 0.$$

Корни этого уравнения:

$$\lambda_1 = \sqrt[3]{c_1 c_2}, \quad \lambda_{2,3} = \sqrt[3]{c_1 c_2} \left(-\frac{1}{2} \pm j \frac{\sqrt{3}}{2} \right).$$

Здесь два корня имеют отрицательные вещественные части, и только один положителен. Следовательно, движение системы по гиперплоскости скольжения будет устойчивым.

Ранее было изложено идеализированное представление о системах с переменной структурой, предлагающее, во-первых, наличие в системе точного измерения всех $n - 1$ производных регулируемой величины и, во-вторых, линейность объекта и исполнительного устройства. На практике нереально иметь точные значения производных, особенно высокого порядка. Свойства строгой линейности также могут быть нарушены. Вследствие этого в системе не получится идеального скользящего процесса и не будет полной независимости формы процесса от параметров основной части системы. Однако процесс может быть близок к идеальному скользящему процессу.

Проанализируем характер отклонения реального процесса от идеального скользящего за счет указанной неполноты и неточности информации о состоянии системы. Пусть системы описывается дифференциальным уравнением (3.3) или в преобразованном виде – уравнением (3.5) с логическим управляющим устройством (3.6), (3.7). Но вместо (3.8), где введены точные значения всех производных x_1 от регулируемой величины x_1 , в реальной системе величина y будет определяться не этим выражением. Например, если дифференцирующие устройства имеют передаточные функции:

$$W_i(s) = \frac{s}{T_i s + 1},$$

то вместо алгебраической суммы (3.8) получается некоторая передаточная функция или дифференциальное уравнение вида:

$$Q(p)y = R(p)x_1. \quad (3.17)$$

Этим и определится реальная зависимость величины y от x_1 в законе переключений структуры (3.17). Это вызовет некоторые искажения хода фазовых траекторий в районе прежней идеализированной гиперплоскости скольжения. Основную роль будет играть инерциальное запаздывание моментов переключения. В результате изображающая точка системы в фазовом пространстве не пойдет точно по гиперплоскости скольжения, а будет иметь колебания около нее. Эти колебательные отклонения реального процесса от идеального скользящего будут тем больше, чем больше величины постоянных времени T_i дифференцирующих устройств.

Кроме этого, в реальной системе неполнота информации связана еще с тем, что измеряться будут не все $n - 1$ производные, а только малое число низших производных, что дает дополнительное искажение процесса.

Указанные колебательные отклонения реального процесса от идеального скольжения будут зависеть уже не только от параметров

управляющего устройства, как в идеальном случае, но также в какой-то степени и от параметров основной части системы.

Существуют точные методы определения такого реального процесса для систем второго порядка и приближенные – для систем высокого порядка. Приближенно реальный процесс скользящего типа с указанными колебаниями может быть определен и с помощью метода гармонической линеаризации. На фазовой плоскости реальный процесс изобразится, например, как показано на рисунке 3.5. Таким образом, на идеальную линию скольжения в реальной системе будут наложены колебания с большей или меньшей амплитудой в зависимости от степени неполноты и неточности информации о состоянии системы.

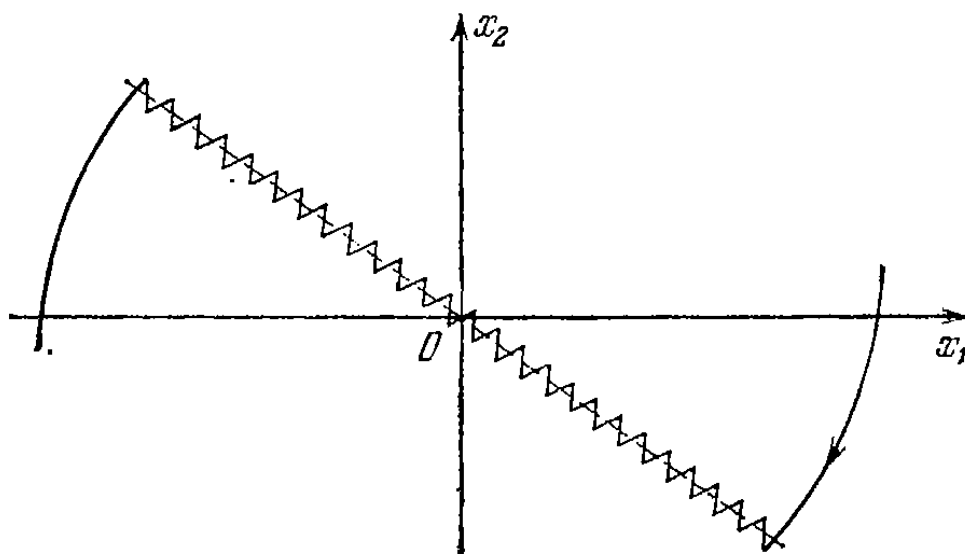


Рисунок 3.5 – Реальный процесс фазовой плоскости

Нелинейный фильтр с фазовым опережением. Схема показанная на рисунке 3.1, дает возможность получить фазовое опережение с неизменным значением амплитуды. Данная схема аналогична системе с переменной структурой, но вместо сложения сигналов используется умножение модуля $|kx|$ на sign , где σ – выход линейного фильтра $W_\phi(s)$, создающего опережение[7].

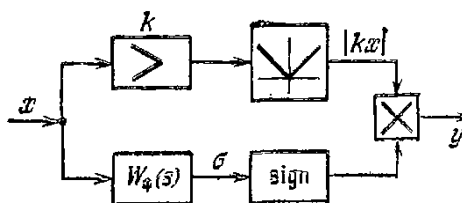


Рисунок 3.1 – Структурная схема нелинейного фильтра с фазовым опережением

На рисунке 3.2 приведены нелинейные характеристики этой схемы при разных значениях опережения α , получаемых выбором параметров схемы. Так при $0 < \alpha < \pi/2$ имеем:

$$OC_2 = a_2 \cdot \frac{OC_1}{OC_2} = \sin \alpha,$$

а при $\pi/2 < \alpha < \pi$

$$OC_2 = a_2 \cdot \frac{OC_1}{OC_2} = \sin \alpha,$$

где a – амплитуда входных колебаний, причем при $\alpha = \pi/2$ точки C_1 и C_2 сливаются.

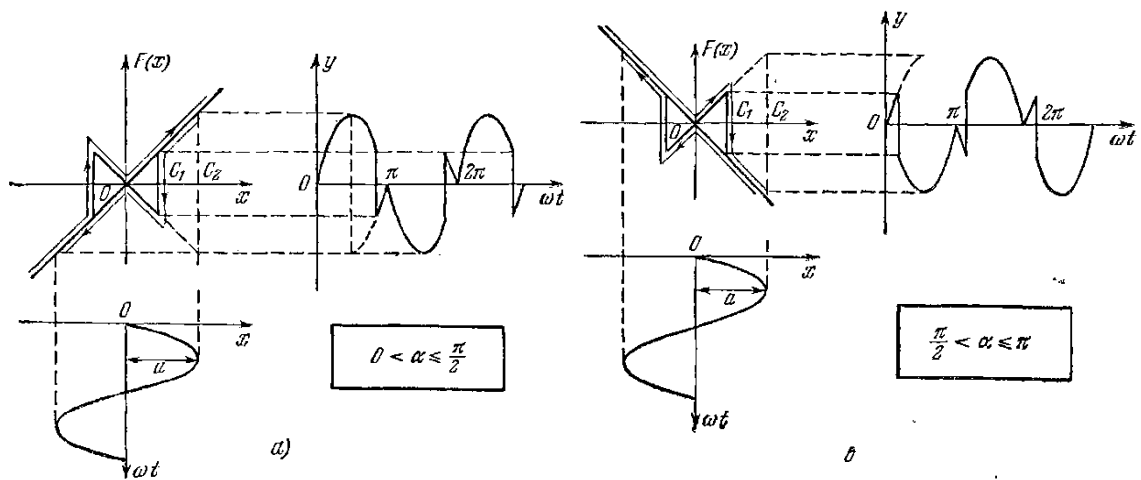


Рисунок 3.2 – Нелинейные характеристики

Если линейная часть фильтра имеет вид:

$$W_{\phi}(s) = \frac{T_s + 1}{T_1 s + 1},$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\omega T(1-\gamma)}{1+\omega^2 T^2 \gamma}, \quad \gamma = \frac{T_1}{T}. \quad (3.1)$$

И для коэффициентов гармонической линеаризации формула:

$$\begin{cases} q = \frac{2}{\pi a} \int_0^{\pi} (|kx| a \sin \psi) \sin \psi d\psi, \\ q' = \frac{2}{\pi a} \int_0^{\pi} (|kx| a \sin \psi) \cos \psi d\psi, \end{cases} \quad (3.2)$$

Интегралы разбиваются на два уравнения с пределами соответственно $(0, \alpha)$ и (α, π) . В результате получаем данные уравнения:

$$q = \frac{k}{\pi} (\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha), \quad q' = \frac{k}{\pi} (1 - \cos 2\alpha),$$

где, $\alpha = f(\omega)$ выражается формулой (3.1). Как видно, эта нелинейная схема является псевдолинейной. В итоге получаемое фазовое опережение выражается в данной формуле:

$$\mu = \operatorname{arctg} \frac{q'(\omega)}{q(\omega)}.$$

При разных значениях γ в зависимости от частоты ω , отложенной по логарифмической шкале (рисунок 3.3). Амплитудное искажение $Q(\omega)$, определяется формулой:

$$Q(\omega) = \sqrt{q^2(\omega) + q'^2(\omega)},$$

является незначительным (менее 4 дБ), что вполне подходит для решения данной задачи.

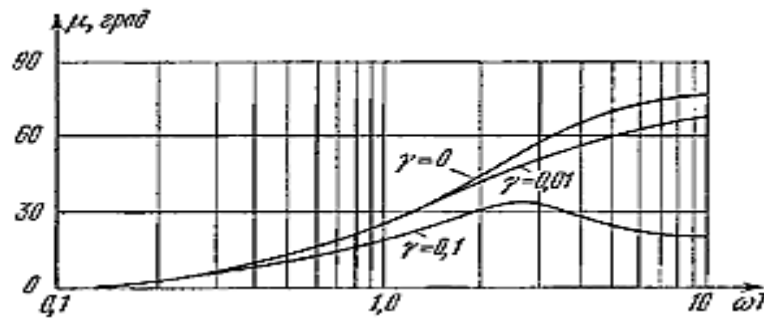


Рисунок 3.3 – Фазовое опережение

3.2 Виртуальные и структурные схемы электропривода с системой управления преобразователя частоты асинхронного двигателя

Полная структурная схема электропривода включает в себя структурные схемы составных частей: механической части, электромеханического преобразователя энергии, электрического преобразователя и задающего устройства[4].

В структурной схеме на рисунке 3.10 приняты следующие обозначения: b -модуль жесткости линеаризованной механической характеристики АД;

$T_q = T_\alpha$ - эквивалентная электро магнитная постоянная времени статора и ротора АД; K_{rg} -передаточный коэффициент ПЧ; T_m -электромеханическая постоянная времени цепи управления ПЧ; T_0, T_1 -постоянная времени регулятора скорости (РС)[9].

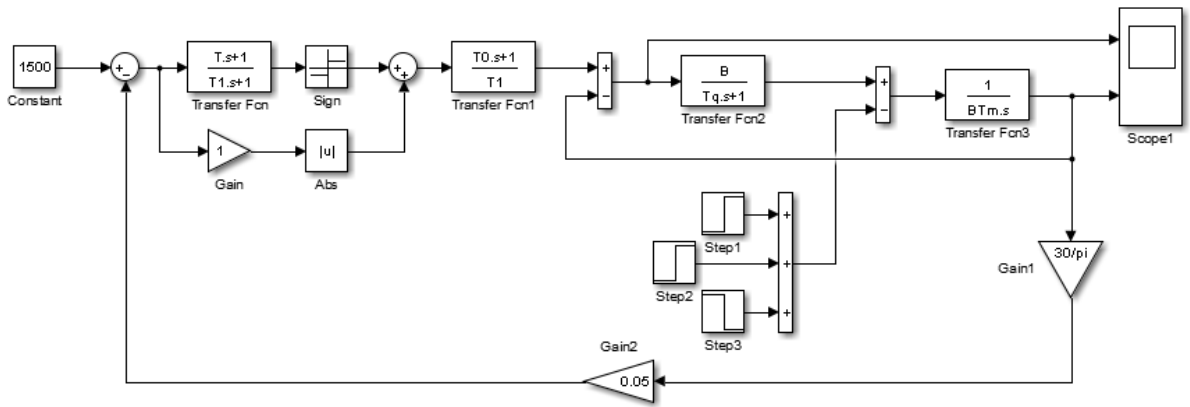


Рисунок 3.10 – Структурная схема системы преобразователя частоты с системой с переменной структурой

По результатам синтеза структурной схемы разработана виртуальная модель электропривода которая представлена на рисунке 3.6 представляющая собой систему с переменной структурой, которая дает возможность двигателю не проседать по скорости в моменты наброса нагрузки. Как показано на рисунке 3.7 в переходных процессах скорости и электромагнитного момента.

Также на рисунке 3.8 представил виртуальную модель без переменной структуры, для сравнения работы двигателя при тех же нагрузках. И как показано на рисунке 3.9, где представлены переходные процессы по скорости и электромагнитному моменту без переменной структуры, скорость проседает в моменты наброса нагрузки.

Нагрузка подается на:

- step1 на 0,8 секунде 150;
- step2 на 1,2 секунде 200;
- step3 на 1,6 секунде снимаем 150.

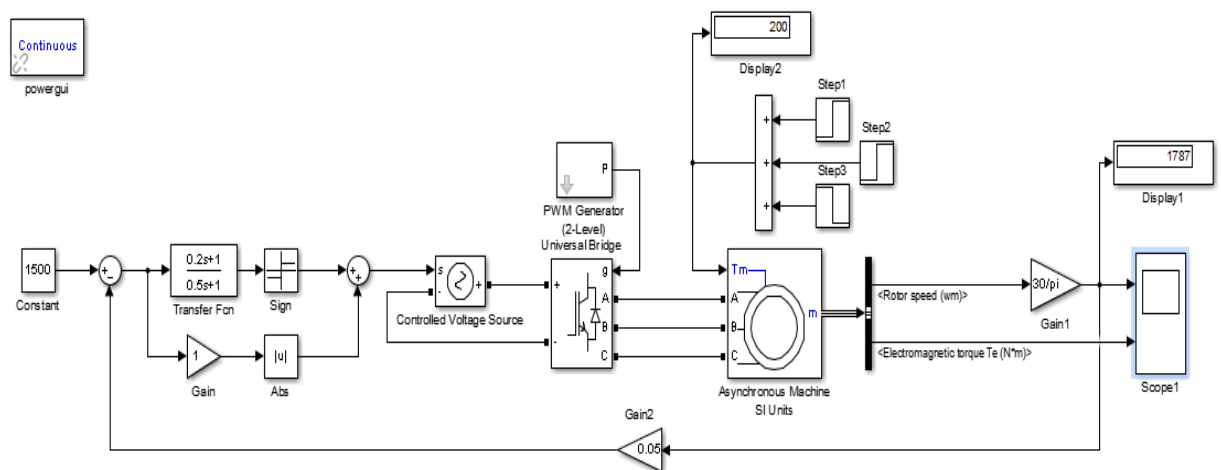


Рисунок 3.6 – Виртуальная модель с нелинейным фильтром с фазовым опережением

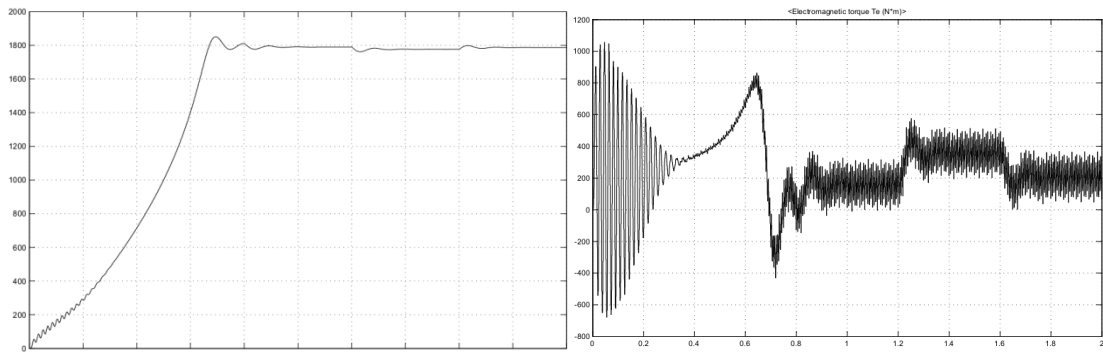


Рисунок 3.7 – Переходные процессы скорости и электромагнитного момента с нелинейным фильтром с фазовым опережением

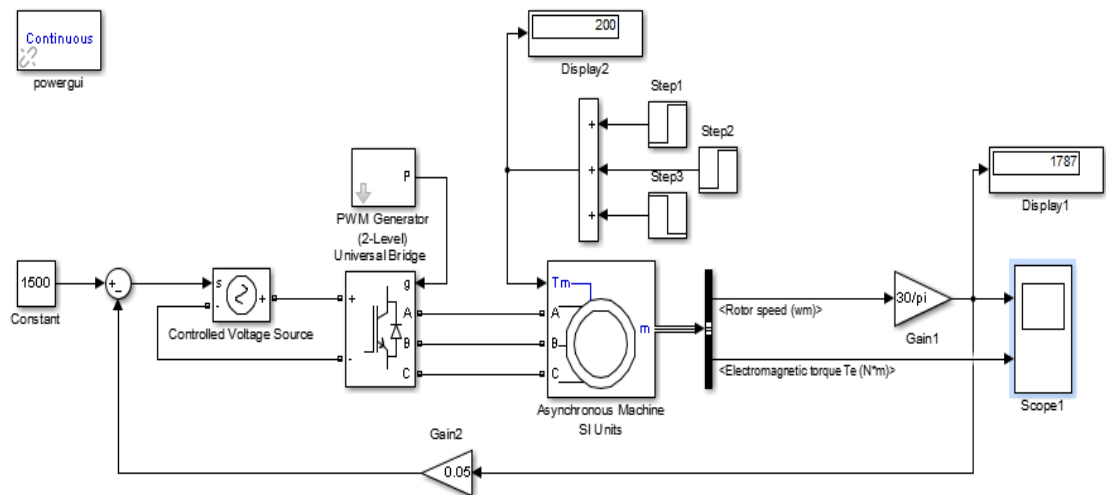


Рисунок 3.8 – Виртуальная модель без переменной структуры

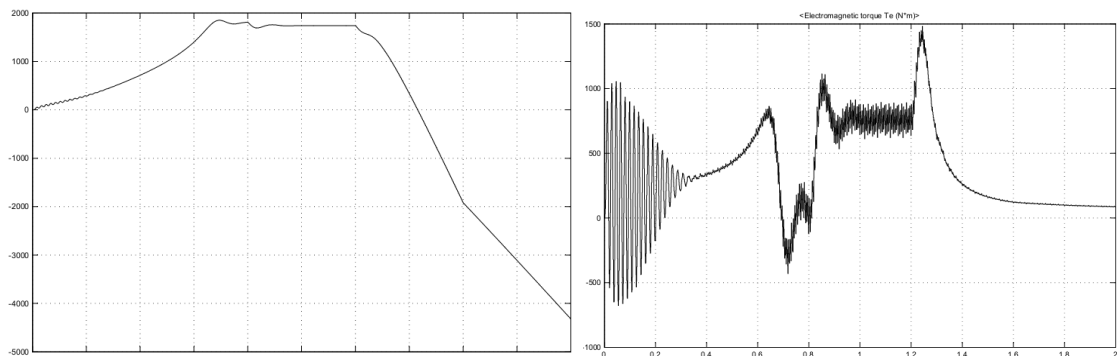


Рисунок 3.9 - Переходные процессы скорости и электромагнитного момента без переменной структуры

Как видно из приведенных осциллограмм переходных процессов полученных в результате исследования виртуальной модели электропривода эскалатора в среде визуального программирования Simulink математического

пакета Matlab 7.0 показывают её работоспособность в различных режимах работы и соответствие требованиям технологического процесса.

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Анализ условий труда

Помещения с установленными в них эскалаторами относятся к категории повышенной опасности, так как здесь существуют возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединения с землей металлоконструкциям и к металлическим корпусам электрооборудования. К основным факторам, влияющим на здоровье людей, относятся:

- 1) освещение эскалатора в дневное и ночное время;
- 2) шум работающих двигателей эскалатора;
- 3) возможное поражения человека электрическим током;
- 4) возможность возникновения пожара.

Уровень шума в помещении где установлен эскалатор достигает величины 85-90 дБ, что удовлетворяет требованиям СН-245-71. Опасные зоны машины - открытые токоведущие части. Напряжение питания максимальное приборов - 380 В, ток замыкания - 60 А, удельное сопротивление грунта - 450 Ом/см.

В настоящем дипломном проекте мы рассматриваем автоматизированный электропривод эскалатора. Не смотря на большое разнообразие конструктивных вариантов пассажирских и грузовых эскалаторов, основным оборудованием для них является электропривод. В данном проекте предлагается частотно-регулируемый автоматизированный электропривод эскалатора, так как применение частотно-регулируемого электропривода подъемных устройств по схеме ПЧ-АД значительно повышает комфортность при движении полотна, что обеспечивает бесшумность и высокую точность остановки, увеличивает долговечность механического оборудования, а также позволяет снизить расход электроэнергии на 40-60%. Кроме того, уменьшаются эксплуатационные расходы на капитальный ремонт оборудования за счёт значительного снижения динамических нагрузок в элементах кинематической цепи.

Группа исполнителей для обслуживания и монтажа эскалаторов и эскалаторного оборудования насчитывает три человека: руководителя бригады и двух инженеров.

Не смотря на большое разнообразие конструктивных вариантов пассажирских и грузовых эскалаторов основным оборудованием для них является полотно, трасса полотна, поручни, привод, электромеханическое тормозное устройство и аппараты управления. Все оборудование эскалатора располагается в разборных люках в полу верхнего и нижнего вестибюлей.

Наиболее распространенной пассажирской подъемно-транспортной машиной является эскалатор (от лат. *scala* — лестница). Эскалатор — это конвейер, предназначенный для перемещения пассажиров с одного уровня на другой, рабочий орган которого состоит из лестничного полотна и поручней, движущихся по замкнутой трассе.

Все эскалаторы условно можно разделить на две группы:

тоннельные (рисунок 4.1), предназначенные для установки на метрополитенах и других подобных объектах;

поэтажные (рисунок 4.2), предназначенные для установки в общественных и административных зданиях.

Устройство поэтажных и тоннельных эскалаторов одинаково, они различаются некоторыми конструктивными и эксплуатационными особенностями. Тоннельные эскалаторы имеют значительную высоту, высокую скорость движения полотна и большую провозную способность. В связи с этим значительны масса и габаритные размеры такого эскалатора. Поэтажные эскалаторы предназначены для подъема и спуска пассажиров на сравнительно небольшую высоту, как правило, с этажа на этаж здания. Основное требование к ним — минимальные габариты, малозумность, эффективная внешняя отделка, гармонирующая с интерьером здания.

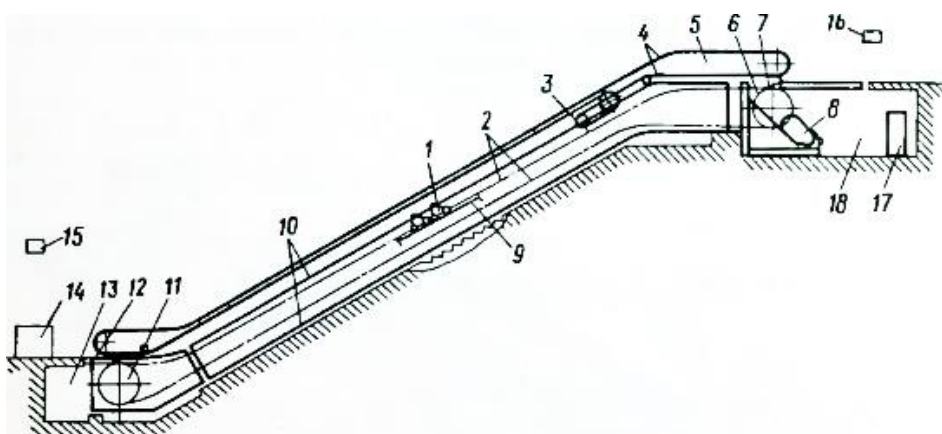


Рисунок 4.1 Схема тоннельного эскалатора:

1 — ступени; 2 — тяговые цепи; 3 — привод поручней; 4 — поручень; 5 — балюстрада; 6 — приводная (тяговая) звездочка; 7 — площадка верхняя; 8 — привод эскалатора; 9 — направляющая; 10 — металлоконструкция; 11 — натяжная звездочка; 12 — площадка нижняя; 13 — натяжная камера; 14 — кабина оператора; 15, 16 — пульты управления; 17 — шкафы управления; 18 — машинное помещение

Эскалатор (рисунки 4.1, 4.2) представляет собой наклонный конвейер с движущимися ступенями 1, шарнирно связанными с двумя параллельными тяговыми цепями 2, образующими вместе со ступенями бесконечное полотно, замкнутое в вертикальной плоскости. Полотно огибает приводные 6 и

натяжные 11 звездочки. Приводные звездочки приводятся во вращение приводом 8, натяжные осуществляют натяжение полотна. Ступени в пассажирской зоне ограждены от других частей эскалаторов декоративными щитами балюстрады 5, на которой расположены поручни 4, движущиеся синхронно с лестничным полотном. Ступени и поручни движутся относительно балюстрады с небольшими зазорами, обеспечивающими безопасность пассажиров. Поручни приводятся в движение приводом 3, получающим вращение от других механизмов эскалатора. Бегунки (колеса) ступеней перемещаются по направляющим 9, которые обеспечивают горизонтальное положение на всем рабочем участке трассы.

Перед площадками 7, 12 соответственно входа и выхода ступени образуют горизонтальные участки. Все механизмы эскалатора монтируются на металлоконструкции 10, которая у тоннельных эскалаторов устанавливается на строительных конструкциях (рисунок 4.1), а у поэтажных опирается двумя опорами (рисунок 4.2) на строительную конструкцию здания. Иногда при больших высотах (более 6—8 м) используется дополнительная промежуточная опора. Металлоконструкцию и механизмы поэтажных эскалаторов закрывают декоративной обшивкой 19.

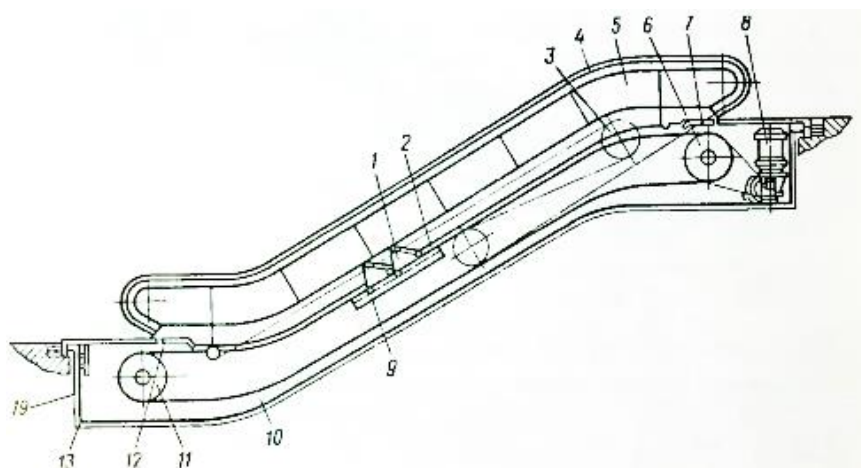


Рисунок 4.2 – Схема поэтажного эскалатора

Привод тоннельных эскалаторов (рисунок 4.1) размещается, как правило, в специальных машинных помещениях 18, натяжная станция — в натяжной камере 13. У поэтажных эскалаторов привод 8 находится или под входной площадкой (рисунок 4.2), или между ветвями лестничного полотна, а натяжная камера отсутствует. Управление электроприводом тоннельного эскалатора производится из машинного зала, где находятся панели управления 17, а также с верхнего 16 к нижнего 15 настенного пульта управления или кабины оператора 14. Станции управления поэтажного эскалатора расположены в специальном пульте под верхней площадкой, пуск производится с пультов, находящихся в балюстраде. Эскалатор имеет еще

целый ряд сборочных единиц, основных и вспомогательных, которые рассмотрены в соответствующих разделах.

Хотя эскалатор движется под углом, т.е. вертикальному перемещению сопутствует значительное горизонтальное, он относится к вертикальным подъемникам, так как горизонтальное смещение является вынужденным. По сравнению с другими пассажирскими подъемниками эскалатор имеет следующие преимущества:

большую провозную способность — до 10 000 пассажиров в час. При этом провозная способность практически не зависит от высоты подъема, в то время как провозная способность лифта прямо пропорциональна высоте;

удобство для пассажиров, так как посадка на эскалатор не связана с ожиданием; пассажиры могут располагаться на движущемся полотне свободно, имея возможность передвигаться по нему;

в случае неполадок в работе или отсутствия энергии эскалатором можно пользоваться как обычной лестницей, что невозможно ни при каком другом подъемнике.

К недостаткам следует отнести:

большую стоимость эскалатора, а для тоннельных машин и более высокую стоимость сооружения для размещения (тоннеля) из-за наклонного расположения эскалатора;

более значительную затрату времени при подъеме на большую высоту, чем при использовании высокоскоростного лифта;

большую затрату энергии на подъем пассажиров из-за потерь на горизонтальное перемещение.

При выполнении работ по обслуживанию и ремонту эскалаторов все работники обязаны выполнять требования Типовой инструкции по технике безопасности и производственной санитарии при эксплуатации эскалаторов.

К управлению, обслуживанию и ремонту эскалаторов допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, обученные по программам, утвержденным органами профессионально-технического образования или ведомства, в ведении которого находится эскалатор. Лицам, выдержавшим экзамен, выдается удостоверение за подписью председателя комиссии, а машинистам и их помощникам — за подписью председателя комиссии и представителя органа надзора. Повторно проверка знаний проводится не реже одного раза в 12 мес., а также при переводе с должности помощника на должность машиниста, после перерыва в работе более 6 мес., по требованию технического инспектора труда, инспектора Госгортехнадзора и в ряде других случаев, предусмотренных правилами[9].

При работе на территории действующих предприятий руководитель монтажных работ совместно с администрацией предприятия и генеральным подрядчиком обязан разработать мероприятия, обеспечивающие безопасное производство работ, и оформить акт-допуск по форме, указанной в прил. 3 к СНиП РК 1.03-05-2001.

При наличии работ с повышенной опасностью руководитель монтажных работ оформляет и выдает бригаде наряд-допуск на производство работ. Форма наряда-допуска на работы с повышенной опасностью приведена в прил. 4 к СНиП РК 1.03-05-2001. Перечень работ, на которые необходимо выдавать наряд-допуск, должен быть утвержден главным инженером монтажной организации.

4.2 Торможение полотна при различных режимах работы эскалатора

Уравнение тормозного момента на валу мотора при торможении на подъем с полной нагрузкой

$$M_{\text{торм1}} = J_{\text{пр1}} \frac{\omega_1}{t_1} - M_{\text{мот1}}, \text{ КГМ} \quad (4.1)$$

где $M_{\text{торм}}$ — тормозной момент;

$J_{\text{пр}}$ — полный момент инерции, соответствующий режиму работы эскалатора на подъем, приведенный к валу мотора;

ω_1 — угловая скорость вала мотора при работе на подъем, зависящая от характеристики мотора, в 1/сек;

t_1 — время торможения на подъем в сек;

$M_{\text{мот}}$ — приведенный статический крутящий момент, соответствующий работе эскалатора на подъем.

Уравнение тормозного момента на валу мотора при торможении на спуск с полной нагрузкой

$$M_{\text{торм2}} = J_{\text{пр2}} \frac{\omega_2}{t_2} + M_{\text{мот2}}, \text{ КГМ} \quad (4.2)$$

Обозначения $J_{\text{пр}}$, ω_2 , t_2 и $M_{\text{мот}}$ соответствуют вышеуказанным обозначениям при работе эскалатора на спуск под нагрузкой.

Уравнение тормозного момента на валу мотора при торможении на подъем или на спуск без нагрузки

$$M_{\text{торм3}} = J_{\text{пр3}} \frac{\omega_3}{t_3} + M_{\text{мот3}}, \text{ КГМ} \quad (4.3)$$

Обозначения $J_{\text{пр}}$, ω_2 , t_2 и $M_{\text{мот}}$ соответствуют вышеуказанным обозначениям при работе эскалатора на холостом ходу.

Время торможения эскалатора, работающего на подъем под нагрузкой, определится из формулы (4.1):

$$t_1 = \frac{J_{\text{пр1}} \cdot \omega_1}{M_{\text{торм1}} + M_{\text{мот1}}}, \text{ сек} \quad (4.4)$$

Время торможения эскалатора, работающего на спуск под нагрузкой, определится из формулы (4.2):

$$t_2 = \frac{J_{\text{пр2}} \cdot \omega_2}{M_{\text{торм2}} - M_{\text{мот2}}}, \text{сек} \quad (4.5)$$

Время торможения эскалатора, работающего на холостом определится из формулы (4.3):

$$t_3 = \frac{J_{\text{пр3}} \cdot \omega_3}{M_{\text{торм3}} - M_{\text{мот3}}}, \text{сек} \quad (4.6)$$

Так как тормозной момент, а следовательно и отрицательное ускорение остается приблизительно постоянным в течение времени торможения, то путь торможения при том или ином режиме работы эскалатора определится как среднее арифметическое из произведения первоначальной скорости на время торможения

$$L_n = \frac{v_n \cdot t_n}{2}, \text{ м} \quad (4.7)$$

Значение времени торможения t_x , t_2 и t_3 для разных режимов работы эскалатора принимается из формул (4.4) — (4.6).

Начальные скорости торможения на подъем и на спуск определяются, из формулы

$$v_n = \frac{\pi \cdot D_{\text{зв}} \cdot n_n}{60}, \text{ м/сек} \quad (4.8)$$

где n_n - число оборотов главного вала при работе эскалатора соответственно на подъем или спуск при том или ином режиме работы;

$$n_n = \frac{n_{\text{мот.л}}}{i_{\text{прив}}}, \text{ об./мин} \quad (4.9)$$

Значение ускорения при торможении определится из формулы

$$a_n = \frac{v_n}{t_n}, \text{ м/сек}^2 \quad (4.10)$$

Согласно Правилам Котлонадзора ускорение a не должно превосходить $0,6 \text{ м/сек}^2$ в начальный момент и $0,75 \text{ м/сек}^2$ в процессе пуска или торможения.

Расчет допустимого ускорения:

$$a_n = \frac{v_n}{t_n} = \frac{0,85}{1,21} = 0,7, \text{ м/сек}^2,$$

$$v_n = \frac{\pi \cdot D_{зв} \cdot n_n}{60} = \frac{3,14 \cdot 1,695 \cdot 9,64}{60} = 0,85, \text{ м/с},$$

$$n = \frac{n_{\text{мот.п}}}{i_{\text{прив}}} = \frac{560,5}{58,1} = 9,64, \text{ об/мин.}$$

4.4 Защитные устройства по электробезопасности. Расчет защитного зануления

Расчет зануления сводится к проверке условий обеспечения отключающей способности:

$$J_{\text{кз}} \geq 3J_{\text{пл.вст}}^{\text{н}} \geq 1,25J_{\text{авт}}^{\text{н}}, \quad (4.11)$$

1. Трансформатор соединяется по схеме - "треугольник-звезда".
2. Кабель идущий от подстанции до вводов щитка: $L=50\text{м}$, сечения $3 \times 50 + 1 \times 35, \text{ AL}$.
От щитка до двигателя $L=15\text{м}$, $3 \times 10 + 1 \times 6, \text{ AL}$.
3. Номинальная мощность двигателя и его параметры - 75 кВт;
 $n=91,1\%$; $\cos=0,8$; $J^{\text{пуск}} / J^{\text{ном}} = 2,9$.
4. Расчет защиты двигателя плавкими вставками.

Расчет $J_{\text{кз}}$ производится по формуле:

$$J_{\text{кз}} = U_{\phi} / (Z_{\text{т}}/3 + Z_{\text{п}}), \quad (4.12)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение, В; $Z_{\text{т}}$ – сопротивление трансформатора, Ом; $Z_{\text{п}}$ – сопротивление петли «фаза-ноль», которое определяется по зависимости

$$Z_{\text{п}} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{\text{н}})^2 + (X_{\phi} + X_{\text{o}} + X_{\text{и}})^2} \quad (4.13)$$

Где $R_{\text{н}}$; R_{ϕ} – активное сопротивление нулевого и фазного проводников, Ом; X_{ϕ} ; X_{o} – внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого проводников соответственно, Ом; $X_{\text{и}}$ – внешнее индуктивное сопротивление петли «фаза-ноль», Ом.

Значение $Z_{\text{т}}$ зависит от мощности трансформатора, напряжения, схемы соединения его обмоток и конструктивного исполнения данного типа трансформатора. При расчетах зануления $Z_{\text{т}}$ берется из таблицы 4.1.

Полные расчетные сопротивления $Z_{\text{т}}$ масляных трансформаторов

В данном случае будут равны $Z_{\text{т}} = 0,081 \text{ Ом}$.

1. Зная мощность P электродвигателя рассчитываем номинальный ток электродвигателя $J_{эл\ дв}^H$.

$$P = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot J_{эл\ дв}^H \cos \alpha / 1000, \text{ кВт.} \quad (4.14)$$

$$J_{эл\ дв}^H = 1000 \cdot P / \sqrt{3} \cdot U_H \cos \alpha, \text{ А.} \quad (4.15)$$

где P – номинальная мощность двигателя, кВт; U_H – номинальное напряжение, В; $\cos \alpha = 0,8$ – коэффициент мощности, показывающий, какая часть тока используется на получение активной мощности и какая на намагничивание;

Таблица 4.1 – Сопротивления масляных трансформаторов

Мощность трансформатора кВ·А	Номинальное напряжение обмоток высшего напряжения, кВ	Z_T при соединении обмоток “звездой”, Ом	Z_T при соединении обмоток “треугольником”, Ом
1000	6...10	0,081	0,027

$$J_{эл\ дв}^H = 1000 \cdot 75 / \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,8 = 246,02, \text{ А.} \quad (4.16)$$

2. Для расчета активных сопротивлений R_H и R_ϕ необходимо предварительно выбрать сечение, длину и материал нулевого и фазного проводников. Сопротивление проводников из цветных металлов определяется по формуле:

$$R = \rho \cdot \ell / S, \text{ Ом.} \quad (4.17)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника (для меди $\rho = 0,018$; для алюминия $\rho = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$); ℓ - длина проводника, м; S – сечение, мм^2 .

$$R_{\phi 1} = 0,028 \cdot \frac{50}{50} = 0,028 \quad [\text{Ом}]$$

$$R_{\phi 2} = 0,028 \cdot \frac{15}{10} = 0,042 \quad [\text{Ом}]$$

$$R_{\phi \Sigma} = 0,028 + 0,042 = 0,07 \quad [\text{Ом}]$$

$$R_{H1} = 0,028 \cdot \frac{50}{35} = 0,04 \quad [\text{Ом}]$$

$$R_{H2} = 0,028 \cdot \frac{15}{6} = 0,14 \quad [\text{Ом}]$$

$$R_{H\Sigma} = 0,04 + 0,07 = 0,11 \quad [\text{Ом}]$$

3. Для медных и алюминиевых проводников внутреннее индуктивное сопротивление фазного и нулевого проводников X_ϕ и X_0 невелико и

составляет 0,0156 Ом/км, т.е. $X_{\phi} = 0,0156 \cdot 0,13 = 0,0020$ Ом; $X_o = 0,0156 \cdot 0,13 = 0,0020$ Ом. Величину внешнего индуктивного сопротивления петли «фаза-нуль» в практических расчетах принимают равной 0,6 Ом/км.

4. Основные технические характеристики электродвигателя 4АНК315510УЗ: $N = 75$ кВт; $\eta = 90$ %;

$$\cos \alpha = 0,8; \frac{J_{\text{пуск}}}{J_{\text{ном}}} = 2,9$$

5. Зная $J_{\text{эл.дв}}^{\text{н}}$ вычисляем пусковой ток электродвигателя.

$$J_{\text{эл.дв}}^{\text{пуск}} = 2,9 \cdot J_{\text{эл.дв}}^{\text{н}} = 2,9 \cdot 246,02 = 713,45, \text{ А.} \quad (4.18)$$

Определяем номинальный ток плавкой вставки

$$J_{\text{пл.вст}}^{\text{н}} = \frac{J_{\text{эл.дв}}^{\text{пуск}}}{\alpha} = 713,45/2,5 = 285,38, \text{ А.} \quad (4.19)$$

где α – коэффициент режима работы ($\alpha = 1,6 \dots 2,5$); для двигателей с частыми включениями (например, для кранов) $\alpha = 1,6 \dots 1,8$; для двигателей, приводящих в действие механизмы с редкими пусками (транспортёры, вентиляторы), $\alpha = 2 \dots 2,5$. В нашем случае принимаем $\alpha = 2,5$.

6. Определяем ожидаемое значение тока короткого замыкания:

$$J_{\text{кз}} > 3J_{\text{пл.вст}}^{\text{н}} = 3 \cdot 285,38 = 856,14, \text{ А.} \quad (4.20)$$

Рассчитываем плотность тока δ в нулевом и фазном проводниках. Допускаемая плотность тока в алюминиевых проводниках не должна превышать 4-8 А/мм².

$$\delta = \frac{J_{\text{эл.дв}}^{\text{н}}}{S} = 246,02/10 = 24,602, \text{ А/мм}^2. \quad (4.21)$$

7. Определяем внешнее индуктивное сопротивление петли «фаза-нуль», зная, что $X_{\text{и}} = 0,6$ Ом/км

$$X_{\text{и}} = 0,6 \cdot 0,13 = 0,078 \text{ Ом} \quad (4.22)$$

8. Рассчитываем сопротивление петли «фаза-нуль» $Z_{\text{п}}$ и ток короткого замыкания.

$$\begin{aligned} Z_{\text{п}} &= \sqrt{(R_{\phi} + R_{\text{н}})^2 + (X_{\phi} + X_o + X_{\text{и}})^2} = \\ &= \sqrt{(0,07 + 0,11)^2 + (0,0020 + 0,0020 + 0,078)^2} = 0,197 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (4.23)$$

$$J_{кз} = U_{\phi} / (Z_T / 3 + Z_{\Pi}) = 220 / (0,081 / 3 + 0,197) = 982,14 \text{ А} \quad (4.24)$$

Проверим, обеспечено ли условие надёжного срабатывания защиты:

$$J_{кз} > 3J_{\text{пл вст}}^{\text{н}}; 982,14 > 3 \cdot 856,14 \text{ А}; 982,14 > 856,14 \text{ А}$$

$$J_{кз} > 1,25J_{\text{авт}}^{\text{н}};$$

Как видим, $J_{кз}$ более чем в три раза превышает номинальный ток плавкой вставки предохранителя и, следовательно, при замыкании на корпус плавкая вставка перегорит за 5...7с и отключит повреждённую фазу.

9. По расчётному номинальному току плавкой вставки выбираем предохранитель стандартных параметров:

ПН2 – 400; $J_{\text{пл вст}}^{\text{н}} = 315 \text{ А}$. Или выбираем автоматический выключатель по $J_{\text{авт}}^{\text{н}} = 1,25 \cdot J_{\text{эл дв}}^{\text{н}} = 1,25 \cdot 246,02 = 307,525 \text{ А}$. Выбираем автоматический выключатель модели АВВ А3 400 А С320 75 кА; $J_{\text{авт}}^{\text{н}} = 320 \text{ А}$.

5 Экономическая часть. Расчет технико-экономической эффективности использования автоматизированного электропривода эскалатора

В технико-экономической части данной дипломной работы рассчитываются следующие экономические параметры по проектируемому оборудованию: - производственная мощность; - капитальные затраты: - фонд заработной платы: - баланс работы оборудования; - себестоимость продукции; - показатели эффективности работы оборудования. Расчет технико-экономических показателей осуществляется в соответствии с материалами производственной практики и данных дипломного проекта.

5.1 Расчет производственной мощности оборудования

Обоснование производственной мощности оборудования осуществляется в строгом соответствии с расчетами технологической части проекта, на основе принятой в проекте производительности оборудования и эффективного времени его работы. Расчет производственной мощности производится по следующей формуле

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{р}} \cdot T_{\text{эфф}}, \quad (5.1)$$

где $P_{\text{р}}$ - технически обоснованная часовая производительность оборудования; $T_{\text{эфф}}$ - эффективный фонд времени работы оборудования. Режим работы оборудования характеризуется непрерывной рабочей неделей,

числом смен в сутки и продолжительностью рабочей смены в часах. Эти параметры устанавливаются в технологической части проекта. Производим расчет Тэфф для непрерывного производства. Календарный фонд времени работы оборудования составляет

$$T_{\text{кал}} = 365 \cdot 15 = 5475 \text{ час/год.}$$

Время эффективной работы ведущего оборудования определяется по формуле

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{кал}} - (T_{\text{рем}} + T_o), \quad (5.2)$$

где Tкал - календарный фонд времени работы оборудования, Tрем - время простоя в ремонте (часов), То - время технологических остановок по регламенту. Эффективный фонд времени работы оборудования Тэфф равен номинальному фонду за вычетом остановок на ремонты Tрем, производимые в рабочее время, а также технологически неизбежных остановок То в соответствии с системой планово-предупредительного ремонта:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{рем}} - T_o. \quad (5.3)$$

Для определения эффективного фонда времени работы оборудования составляется баланс рабочего времени в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Баланс рабочего времени

Элементы времени	Время (дней/часов)
Календарное время, Tкал	365/5475ч
Выходные дни	0ч
Праздничные дни	0ч
Номинальный фонд времени, Tном	365/5475ч
Планируемые остановки на кап.ремонт и прочее	14/336ч
Эффективный фонд времени работы оборудования, Tэфф	351/5139ч

Таким образом, производственная мощность рассчитывается по формуле

$$P = K \cdot H \cdot T_{\text{эфф}}, \quad (5.4)$$

где K - количество единиц ведущего оборудования, H - часовая производительность ведущего оборудования, $T_{эфф}$ - эффективный фонд времени работы ведущего оборудования.

$$P = 1 \cdot 15 \cdot 5139 = 77085 \text{ Вт} = 77,085 \text{ кВт.}$$

5.2 Расчет капитальных затрат автоматизированного электропривода эскалатора

Капитальные затраты на строительство объекта складываются из:

-затрат на приобретение оборудования и средств автоматизации, включая стоимость монтажных материалов, монтажа и накладных расходов, связанных с их приобретением, доставкой;

-затрат на дорогостоящий инвентарь и инструменты;

Сметная стоимость оборудования определяется на основании подбора оборудования, произведенного в технологической части дипломного проекта (Разработка электропривода подъемно-транспортного механизма). Расчет проводится по форме, представленной в таблице 5.2

Таблица 5.2 - Расчет капитальных затрат на оборудование и приборы

№	Наименование оборудования	Количество, шт.	Стоимость		Затраты на доставку и монтаж		Сметная стоимость, тенге	Амортизационные отчисления	
			1 шт.,	Общая, тенге	%	тенге		Норма амортизации, %	Сумма, тенге
1	Электродвигатель 4АНК315510У3	1		590000	10	59000	649000	10	64900
2	Редуктор редуктор типа ГТ-VK	1		435000	10	43500	478500	10	47850
3	Преобразователь частоты ATV61HD75M3X	1		1250000	10	125000	1375000	10	137500
4	Итого						2502500		250250

После установления сметной стоимости проектируемого объекта необходимо определить удельные капитальные вложения, которые рассчитываются как частное от деления всех капитальных затрат по смете на величину проектной мощности объекта:

$$K_{уд} = \frac{2502500}{77085} = 32,46 \text{ тыс. тенге/кВт.}$$

5.3 Вопросы организации труда и заработной платы

Одна из основных задач организации производства - выбор рационального режима работы предприятия и его подразделений по времени. Режим работы оказывает существенное влияние на использование во времени основных производственных фондов, особенно их активной части, а так же на производительность труда рабочих.

Под режимом работы предприятия понимается установленная продолжительность и порядок производственной деятельности предприятия. Он определяет число рабочих и нерабочих дней и часов в году, число рабочих смен в сутки и продолжительность рабочей смены.

Анализ практики применения различных режимов работы показывает, что в ряде случаев его выбор обуславливается техническими или технологическими условиями производства. При этом наряду с экономическими соображениями необходимо учитывать и социальную сторону вопроса.

Принятый календарный режим в значительной степени определяет порядок выполнения основных и вспомогательных работ и организацию в целом производственного процесса во времени.

При организации производственного процесса во времени следует руководствоваться следующими принципами:

- 1) совмещение во времени всех календарных перерывов в последовательных звеньях производственной цепи;
- 2) обеспечение максимально возможного выполнения вспомогательных работ смежных звеньев во время календарных перерывов;
- 3) прогнозирование хода производственного процесса, т.е. производительности и отказов оборудования;
- 4) выбор оптимальных моментов для выполнения вспомогательных работ;
- 5) постоянная готовность к выполнению профилактических работ и совмещение их по времени с отказами смежных звеньев производственного процесса;
- 6) первоочередное выполнение таких вспомогательных работ, которые обеспечивают повышение производительности производственного звена.

Баланс рабочего времени устанавливает число дней, подлежащих обработке одним рабочим в год (таблица 5.4).

При непрерывном режиме подъемно-транспортного механизма работа рабочего персонала эскалатора осуществляется в три смены по 8 часов в сутки. При прерывной рабочей неделе работа может производиться в одну, две и три смены в зависимости от конкретных условий труда и тяжести работы при работе с подъемно-транспортным механизмом (таблица 5.3).

Коэффициент пересчета явочного состава рабочих в списочный составляет для прерывной работы подъемно-транспортного механизма:

$$K_{\text{пер}} = T_{\text{кал}}/T_{\text{эфф}} = 365/351 = 1,03. \quad (5.5)$$

Таблица 5.3 - Расчет численности рабочих

Наименование профессий	Явочная численность в смену	Количество смен	Явочная численность в сутки	Коэффициент пересчета	Списочная численность
Основной рабочий	2	2	4	1,03	4
Вспомогательный рабочий	1	2	2	1,03	2
Итого	3		6		6

Таблица 5.4 - Баланс рабочего времени

	Непрерывное производство при 8-ми часовой рабочей смене
Число календарных дней в году	365
Выходные дни	104
Праздничные дни	10
Число выходов на работу по графику (номинальный фонд времени)	251
Не выходы:	
очередные и дополнительные дни отпуска дни 24;	24
неявки по болезни и декретный отпуск;	10
выполнение государственных и общественных обязанностей;	
Итого невыходов	34
Число дней, подлежащих отработке 1 рабочим в год	217/1736

Произведем расчет годового фонда заработной платы рабочих и запишем в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 - Расчет годового фонда заработной платы рабочих

№ п/п	Наименование профессий	Списочная численность, чел.	Т эф, час.	Часовая тарифная ставка, тенге	Тарифный фонд заработной платы, тенге	Доплаты до основного фонда, тенге	Итого основной фонд заработной платы, тыс. тенге.	Дополнительная заработная плата, тыс. тенге.	Всего годового фонда заработной платы, тыс. тенге
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Основные производственные рабочие:	4	6944	187,5	1302000		1302	13,02	1315,02
2.	Вспомогательные рабочие:	2	3472	100	347200		347,2	3,472	350,672
	Всего								1665,692

При прежнем режиме работы эскалатора численность рабочих составляла 8 человек: из них: 5 основных и 3 вспомогательных. Годовой фонд заработной платы составлял 1726,874 тыс. тенге. Годовая экономия по фонду заработной платы составила: 61182 тенге.

5.4 Расчет расходов на электроэнергию, ремонт оборудования и экономии от автоматизированного электропривода эскалатора

Установка автоматизированного электропривода эскалатора позволяет продлить срок двигателя, так как без применения автоматизированного (с помощью преобразователя частоты) электродвигателя повышается трудоемкость работ, возможно возникновение аварийных ситуаций приводящие к поломке двигателя и выхода из строя питающей сети. Что в свое время приводит к значительным затратам времени и денег, на ремонт оборудования подъемно-транспортного механизма.

Также кроме вышеназванного экономия дает уменьшение расходов на ремонт оборудования (на амортизацию). Рассчитаем статьи расходов на содержание, эксплуатацию и ремонт оборудования и запишем в таблицу 5.6.

Без автоматизированного электродвигателя расходы на содержание и ремонт оборудования повышаются за счет зарплаты вспомогательных рабочих, социального налога и внутривозвездского перемещения грузов и составляют 1300610 тенге. Экономия расходов по этой статье составляет: $1399619 - 1118610 = 281119$ тенге.

Таблица 5.6 - Статьи расходов на содержание, эксплуатацию и ремонт оборудования

Статьи расходов	Сумма, тыс. тенге	Примечание
Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования:	701,344	Из таблицы 7 13% от заработной платы
А) зарплата вспомогательных рабочих по уходу за оборудованием		
Б) социальный налог		
В) смазочные и обтирочные материалы	97,174	80% от статьи 1а
Текущий ремонт оборудования	112,2	5-10% от стоимости оборудования основного производства
А) зарплата вспомогательных рабочих по текущему ремонту		
Б) материалы на ремонт	1016,918	Из таблицы 2
Амортизация производственного оборудования	101,692	10-20% от суммы расходов по предыдущим статьям
Внутризаводское перемещение грузов		
Всего по смете	1118,61	

Активная мощность потребляемая из сети:

$$P_2 = \frac{P_H}{\eta} \cdot 100\% = \frac{75}{90} \cdot 100\% = 83,33 \text{ кВт} \quad (5.6)$$

где P_H – номинальная мощность электропривода, кВт,
 η – коэффициент полезного действия электропривода, %.

Реактивная мощность потребляемая из сети:

$$Q_1 = P_2 \cdot \tan\varphi = 83,33 \cdot 0,52 = 43,33 \text{ кВАр}, \quad (5.7)$$

где $\tan\varphi = 0,52$ – рассчитываем через известное значение коэффициента мощности = 0,89.

Активная мощность, идущая на выработку реактивной мощности:

$$P'_2 = Q_1 \cdot q = 43,33 \cdot 0,1 = 4,33 \text{ кВт}, \quad (5.8)$$

где $q = 0,1 \text{ кВт/кВАр}$ – экономический эквивалент реактивной мощности.

Затраты на оплату за потребляемую электроэнергию:

$$Z_{\text{эл}} = (P_2 + P'_2) \cdot K_{M2} \cdot K_t \cdot K_{\Pi} \cdot T_{\text{Э}} \cdot C_{\text{Э}} \quad (5.9)$$

$$Z_{эл1} = (P_2 + P'_2) \cdot K_{M1} \cdot K_t \cdot K_{\Pi} \cdot T_{\text{э}} \cdot C_{\text{э}} = (83,33 + 4,33) \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 1,05 \cdot 5139 \cdot 16,02 = 3\,637\,249,82 \text{ тенге},$$

$$Z_{эл2} = (P_2 + P'_2) \cdot K_{M2} \cdot K_t \cdot K_{\Pi} \cdot T_{\text{э}} \cdot C_{\text{э}} = (83,33 + 4,33) \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,05 \cdot 5139 \cdot 16,02 = 4\,243\,458,13 \text{ тенге}.$$

где K_{Π} – коэффициент загрузки по мощности;
 K_t – Коэффициент, учитывающий загрузку по времени;
 $K_{\Pi} = 0,8$ – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети;
 $C_{\text{э}} = 16,02$ тенге/кВт·ч – стоимость электроэнергии;
 $T_{\text{э}}$ – эффективный фонд времени работы электропривода в планируемом периоде.

$$\Delta_{\text{эл}} = Z_{эл2} - Z_{эл1} = 4\,243\,458,13 - 3\,637\,249,82 = 606\,208,31 \text{ тенге}, \quad (5.10)$$

5.5 Расчет общей экономии

Общая экономия складывается из трех основных составляющих:

- экономии фонда заработной платы;
- экономии электроэнергии;
- экономии на содержании и ремонт оборудования.

$$\Delta_{\text{общ}} = \Delta_{\text{фзп}} + \Delta_{\text{эл}} + \Delta_{\text{р}} = 504\,091 + 606\,208,31 + 281\,119 = 1\,391\,418,98 \text{ тенге}. \quad (5.11)$$

Срок окупаемости за счет экономии основных издержек составит:

$$T_{\text{ок}} = K/\Delta_{\text{общ}} = 2\,752\,750/1\,391\,418,98 = 1,97 \text{ года}. \quad (5.12)$$

Таблица 5.7 - Сводная таблица технико-экономических показателей

№	Показатели	Ед. измерения	При системе ТП-АД	При системе ПЧ-АД	Экономия	
1.	Численность рабочих	чел.	8	6	2	
2.	Фонд заработной платы	тыс. тенге	1726,874	1665,692	61,182	
3.	Расход электроэнергии	тыс. тенге	4 243 458,13	3 637 249,82	606 208,31	
4.	Расходы на содержание, эксплуатацию и ремонт оборудования	тыс. тенге	1399,729	1118,61	281,119	
5.	Срок окупаемости	лет	1,97			
6.	Общая экономия	1 391 418,98 тыс. тенге				

После проведения всех необходимых расчетов видно, что экономическая эффективность модернизации оборудования выгодна. Чтобы ввести в эксплуатацию новое оборудование нужно вложить 2 752 750 тг., но за счет уменьшения эксплуатационных затрат на новое оборудование мы экономим 1 391 418,98 тенге в год, чем при обслуживании старого оборудования.

Заключение

В настоящее время на эскалаторах, которые относятся к подъемно-транспортным механизмам непрерывного действия (ПТМ НД) широко используется привод с асинхронным двигателем с фазным ротором и релейно-контакторными системами управления. Эти системы электропривода во многих случаях имеют неудовлетворительные динамические режимы вследствие ограниченного числа пусковых ступней. Такие системы резисторного управления асинхронным двигателем с фазным ротором неэкономичны в эксплуатации, так как энергия скольжения, выводимая из двигателя, преобразуется в тепловую энергию на токоограничивающих резисторах. Кроме того, данные системы имеют низкую надежность, что не маловажно при транспортировке пассажиров и определяет весь процесс работоспособности станции метрополитена. В связи с чем тема дипломного проекта связанная с разработкой энергосберегающего и надежного частотно-регулируемого электропривода эскалатора по схеме ПЧ-АД является актуальной.

Эскалаторы относятся к подъемно-транспортным механизмам непрерывного действия (ПТМ НД). На метрополитенах многих стран такие ПТМ НД как эскалаторы являются основным средством транспортировки пассажиров на поверхность, их провозная способность и надежность определяют весь процесс работоспособности станции метрополитена. В настоящее время на эскалаторах широко используется электропривод с асинхронным двигателем с фазным ротором и релейно-контакторными системами управления. Однако повышение стоимости электроэнергии привело к тому, что при длительном режиме работы стоимость электроэнергии от суммарной стоимости транспортировки пассажиров или материала составляет 70-80%. В этих условиях проблемы энергосбережения становятся актуальными и требуют перехода к более экономичным регулируемым приводам с автоматическим выбором режима работы в соответствии с изменяющимися условиями работы механизмов. Поэтому тема дипломного проекта связанная с разработкой энергосберегающего частотно-регулируемого электропривода эскалатора по схеме ПЧ-АД является актуальной.

В представленной на рецензию дипломной работе автором проведен серьезный анализ конструкций эскалаторов, методов управления и способов регулирования их электроприводом. Рассмотрены особенности статики и динамики электропривода и разработаны основные требования. При этом осуществлен выбор оптимального варианта электропривода по схеме ПЧ-АД с точки зрения экономичности, простоты и надежности. В работе осуществлен расчёт мощности приводного электродвигателя в соответствии с реальной нагрузкой, в результате чего выбран асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа 4АНК315510У3 мощностью 75 кВт и соответствующий ему преобразователь частоты ATV61HD75M3X класса

напряжения 0,4 кВ. По результатам синтеза структурной схемы разработана виртуальная модель электропривода, исследование которой в среде визуального программирования Simulink математического пакета Matlab 7.0 показали её работоспособность в различных режимах работы и соответствие требованиям технологического процесса.

Список литературы

1. Драчев Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому проектированию для студентов заочного обучения спец. 180400. 2-е издание, дополненное. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002. – 137 с.
2. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронным электроприводом. М.: Наука. 1966. 296с.
3. Schneider electric. Каталог [Электронный ресурс]. <http://www.schneider-electric.ru/>. 2016.
4. Цыба Ю.А. Автоматическое управление электромеханическими системами. Учебное пособие, Алматы: АИЭС, 2008.– 77с.
5. Ильинский Н.Ф. Регулируемый привод сегодня. Регулируемый электропривод. Опыт и перспективы применения // Доклады научно-практического семинара, 2 февр. 2006 г. М.: Издательство МЭИ, 2006.39.
6. Липкин Б.Ю. «Электроснабжение промышленных предприятий и установок» Изд. Москва «высшая школа», 1990 г.
7. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления: Учебное пособие. – 2-е изд., стер. – М. Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988 – 256 с. ISBN 5-02-013903-3.
8. Непомнящий Л.Л., Семичев Л.Е. Редукторы Каталог – справочник. ГОСИНТИ. Москва, 1963 г.
9. Поминов И. Н. Эскалаторы метрополитена. Устройство, обслуживание и ремонт. М.: Транспорт. 1994. – 320 с.
10. Васильев В.В., Симак Л.А., Рыбникова А.М. Математическое и компьютерное моделирование процессов и систем в среде MATLAB/SIMULINK. Учебное пособие для студентов и аспирантов – К.: НАН Украины, 2008. – 91 с.
11. Правила устройства и безопасной эксплуатации эскалаторов (ПБ 10-77-04). М.: НПО ОБТ. 1997. 100с.
12. Айтказин М.А. Безопасность жизнедеятельности. Алматы, 2003.
13. Приходько Н.Г. Безопасность жизнедеятельности: Курс лекций. – Алматы: ВШП «Адилет», 2000. – 366 с.
14. СНиП РК 1.03-05-2001 Охрана труда и техника безопасности в строительстве. Взамен СНиП РК АЗ.2.5-96.
15. СНиП РК 4.04-10-2002 Электротехнические устройства.