

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН**

**Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
им. Г. ДАУКЕЕВА**

Институт электроэнергетики и электротехники

Кафедра «Электрических машин и электропривода»

**«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой
Оржанова Ж.К., к.т.н., профессор**

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

« _____ » _____ 20__ г.
(подпись)

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: Модернизация электропривода эскалатора

Выполнил (а) Пак Е.О. гр. ЭЭ(ЭАТК)-16-7
(Фамилия и инициалы студента) группа

специальность 5В071800 - Электроэнергетика

Научный руководитель Цыба Ю. А. к.т.н., профессор.
Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« _____ » _____ 20__ г.
(подпись)

Рецензент: Шыныбай Ж. С. доктор PhD
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« _____ » _____ 20__ г.
(подпись)

Консультанты:

по экономической части:

Тузелбаев Б.И. к.э.н., доцент

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« _____ » _____ 20__ г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Мананбаева С.Е. доцент

« _____ » _____ 20__ г.
(подпись)

Алматы 2020 г.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН**
Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
им. ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА

Институт ИЭЭЭТ
Специальность 5В071800 - Электроэнергетика
Кафедра «Электрических машин и электропривода»

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Студент Пак Егор Олегович
(фамилия, имя, отчество)

Тема работы «Модернизация электропривода эскалатора»

утверждена приказом ректора № 147 от «11» ноября 2019 г.

Срок сдачи законченной работы «28» мая 2020 г.

Исходные данные, требуемые параметры результатов и исходные данные:

Эскалатор поэтажный ЭП7040Б MOVEL

Номинальная мощность $P_n = 11$ кВт

Скорость при режиме минимального потребления энергии, м/с: 0,2

Номинальное (линейное) напряжение $U_n = 10,5$ кВ

Номинальная скорость движения, м/с: 0,5

Высота подъема, м: 5

Угол наклона лестничного полотна, рад: 35

Производительность, чел/ч: 7040

Краткое содержание:

1. Рассмотреть системы управления частотно регулируемого асинхронного электропривода.
2. Определение автоколебаний в системе управления эскалатором.
3. Обеспечить устойчивую работа эскалатора с помощью параметров синтеза.
4. Рассмотреть виртуальную модель асинхронного электропривода эскалатора
5. Экономическая часть.
6. Безопасность жизнедеятельности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Общая схема тоннельного эскалатора
2. Функциональная схема эскалатора с регулируемым приводом.
3. Структурная схема замкнутой системы ПЧ-АД по скорости
4. Фазовая траектория замкнутой системы ПЧ – АД
5. Переходной процесс угловой скорости АД
6. График переходных процессов скорости и момента двигателя

Рекомендуемая основная литература:

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб: Издательство «Профессия», 2014. – 752 с.
2. Ануфриев И.В., Смирнов Ф.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. - СПб. БХВ-Петербург, 2005 г.
3. Лурье Б.Я., П. Дж, Энрайт. Классические методы автоматического управления (под ред. А.А. Луннэ). – СПб.: БХВ - Петербург, 2004.
4. Терехов И.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.
5. Теория автоматического управления. Ч. 1. Под редакцией . профессора . А.В. Нетушила . Учебник «Высшая школа», 1967.
6. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: «Наука», 1988.

Консультанты по работе с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Основная часть	Цыба Ю.А.	13.01-1.06	
Экономическая часть	Тузелбаев Б.И.	30.03-28.05	
Безопасность жизнедеятельности	Мананбаева С.Е.	17.02-10.05	

Г Р А Ф И К
подготовки дипломной работы

п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1	Обоснование проектирования эскалатора с режимом автоматического пуска	5.02.2020	
2	Данные по объекту проектирования	16.02.2020	
3	Постановка задачи работы	29.02.2020	
4	Построение математической модели с помощью программы MatLab	8.03.2020	
5	Построение системы ПЧ-АД асинхронного электропривода	12.03.2020	
6	Определение автоколебаний в системе управления эскалатором	24.03.2020	
7	Разработка устойчивой системы работы эскалатора с помощью синтеза	1.04.2020	
8	Создание виртуальной модели асинхронного электропривода	12.04.2020	
9	Вопросы безопасности и жизнедеятельности	20.04.2020	
10	Экономическая часть	23.04.2020	
11	Оформление пояснительной записки и графического материала	28.05.2020	

Дата выдачи задания « 13 » января 2019 г.

Заведующий кафедрой _____ Оржанова Ж.К.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

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

Консультант _____ Кузьмин Ю.В.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению _____ Пак Е.О.
(подпись студента) (Фамилия и инициалы)

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе приведены основные сведения о конструкции эскалатора и ее особенности. Дается схема редуктора электропривода эскалатора, изложены статика и динамика. Так же присутствуют принципы управления САУ, и представлена разработанная САУ электропривода, обеспечивающая стабилизацию скорости асинхронного двигателя, даются программы определения устойчивости движения электропривода и определения автоколебаний в системе управления, а так же дается программа синтеза параметров. Для исследования переходных процессов в работе представлена виртуальная схема асинхронного электропривода с системой управления.

Аңдатпа

Бұл дипломдық жұмыста эскалатордың құрылымы және оның ерекшеліктері туралы негізгі мәліметтер келтірілген. Эскалатордың электржетегінің редукторының сызбасы берілген, статика мен динамика баяндалған. Сонымен қатар, АБЖ басқару принциптері бар және асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығын тұрақтандыруды қамтамасыз ететін электржетектің әзірленген АБЖ ұсынылған, электржетектің қозғалыс тұрақтылығын анықтау және басқару жүйесінде автотербелістерді анықтау бағдарламалары берілген, сондай-ақ параметрлерді синтездеу бағдарламасы берілген. Өтпелі процестерді зерттеу үшін жұмыста басқару жүйесі бар асинхронды электржетектің виртуалды схемасы ұсынылған.

Annotation

This diploma work provides basic information about the design of the escalator and its features. The scheme of the escalator electric drive reduction gear is given, statics and dynamics are described. There are also principles of ACS control, and the developed ACS of the electric drive is presented, which provides stabilization of the speed of the induction motor, programs for determining the stability of the electric drive motion and determining self-oscillations in the control system are given, as well as a program for synthesizing parameters. To study transition processes, a virtual scheme of an asynchronous electric drive with a control system is presented.

ВВЕДЕНИЕ

Современные мехатронные системы являются основными элементами комплексной автоматизации производственных процессов в промышленности и на транспорте. Мехатронные системы, в частности эскалаторы, могут перемещать людей и объекты с заданной скоростью по заданной траектории. Их можно перенастраивать и перепрограммировать. Благодаря этим свойствам мехатронные системы успешно используют для гибкой автоматизации систем обслуживания населения, в общем комплексе различного технологического и транспортного оборудования.

Проектирование мехатронных систем представляет собой сложную задачу, состоящую из расчета несущих конструкций, исполнительных элементов и обоснованного выбора двигателя с учетом технических и экономических аспектов. Также сложность задачи заключается в модернизации действующих систем управления микроконтроллерными. Стандартные системы управления слишком громоздки и требуют определенных навыков в обслуживании, переналадки оборудования и т.д. Мехатронные системы, работающие под управлением этих систем, действовали строго в соответствии с заданной программой и, в случае изменения технологического процесса, требовалось вмешательство оператора.

В настоящее время, когда цифровая техника проникает во все сферы деятельности человека, значительно облегчая работу, на которую раньше уходило много затрат, перед разработчиками появилась возможность в создании компактных, простых и более функциональных систем управления мехатронными системами. Появилась возможность создания адаптивных и даже интеллектуальных систем управления, т.е. при возникновении отклонений от графика технологических операций, мехатронная система сможет сама оценить ситуацию и принять соответствующее решение.

Следует отметить, что тематика данного проекта полностью соответствует этому направлению.

1. Описание электропривода эскалатора

1.1 Режим автоматического пуска

Эскалаторная установка является сильным потребителем электроэнергии. Потребление электроэнергии и их снижение напрямую зависит от скорости движения лестничного полотна. Так же от скорости зависит периодичность ремонтных работ, так как ремонт производится по пробегу эскалатора. Ремонтные работы эскалатора занимают от 4 – 8 недель, что причиняет значительное неудобство пассажирам.

Использование режима автоматического пуска, дает нам снижение скорости лестничного полотна при отсутствии пассажиров, что приводит к увеличению межремонтного срока, а так же снижению потребления электрической энергии.

Для реализации такого способа управления применяется частотные преобразователи.

Представляемая система предназначена для автоматизированного управления работой тоннельного эскалатора с главным приводом от асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью от 45 кВт до 200 кВт. Основой системы является оборудование фирмы Шнейдер Электрик, такое как программируемый логический контроллер Modicon M340, панель оператора Magelis, преобразователь частоты Altivar 71 и активный рекуператор энергии (Activ Front End). Целями создания системы являются:

Ø повышение надёжности работы оборудования за счёт применения современной элементной базы;

Ø уменьшение динамических нагрузок на механизмы эскалатора при пуске и останове эскалатора за счет применения преобразователя частоты;

Ø плавный пуск эскалатора на главном приводе в заданном направлении с задаваемой скоростью до 0,75 м/с и с ускорением в начальный момент пуска не более 0,6 м/с² и в процессе разгона не более 0,75 м/с²;

Ø пуск эскалаторов на вспомогательном приводе со скоростью не более 0,04 м/с;

Ø режим минимального потребления энергии - пуск остановленного эскалатора в обратном предшествующему направлению движения с целью перемещения лестничного полотна на величину не более 200 мм и со скоростью не более 0.04 м/с;

Ø защиту от случайного пуска эскалаторов с пассажирами в обратном направлении после его остановки;

Ø остановку эскалаторов с применением плавного электрического торможения электродвигателя главного привода с замедлением при работе на спуск не более 0,6 м/с², а при работе на подъем не более 1,0 м/с², и последующим наложением рабочих тормозов:

- от любого из ключей «Стоп»;
- при срабатывании блокировочных устройств;

- при неисправности перекрывателей (при неоткрытии перекрывателей на площадке схода по команде «Открыть перекрыватели»);
 - при одиночном отказе элементов системы управления.
- Ø управление перекрывателями на верхней и нижней входных площадках эскалатора.

Система обеспечивает пуск эскалатора на главном приводе (после выбора направления «на подъём» или «на спуск» и подачи команды «пуск»). Преобразователь частоты регулирует скорость электропривода эскалатора посредством алгоритма векторного управления потоком в замкнутой системе регулирования скорости. Для контроля скорости на валу двигателя устанавливается датчик скорости, который применяется в качестве обратной связи по скорости в преобразователе частоты, эта же информация поступает посредством шины CANopen из преобразователя частоты в управляющий контроллер. Управление рабочим тормозом осуществляет преобразователь частоты. Контролируя скорость вращения вала двигателя по датчику обратной связи, преобразователь частоты растормаживает электродвигатель при пуске и затормаживает при останове, постольку поскольку векторное управление и специальные функции, заложенные в преобразователе частоты позволяют удерживать практически нулевую скорость при неизменном номинальном моменте на валу двигателя.

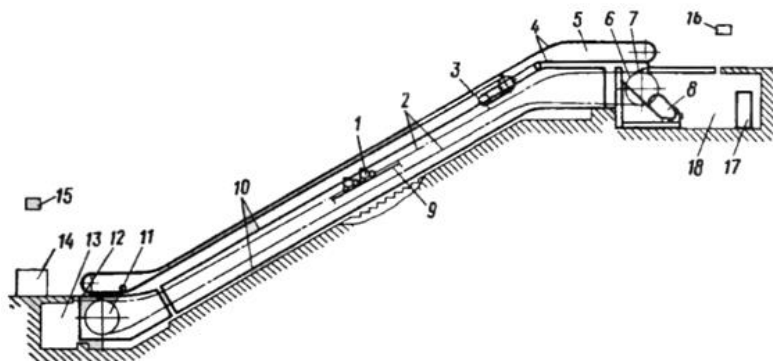
Система обеспечивает следующие функции контроля и измерений:

- Ø контроль направления движения лестничного полотна;
- Ø контроль готовности эскалатора к пуску;
- Ø измерение тормозного пути при торможении эскалатора (в том числе и рабочими тормозами) в пределах от 200 до 1500 мм с точностью ± 20 мм;
- Ø измерение холостого выбега в пределах от 1000 до 15000 мм с точностью ± 50 мм.
- Ø контроль режима управления;
- Ø контроль целостности катушек и электрических цепей электромагнитов аварийных тормозов;
- Ø контроль, по инициативе персонала, состояния перекрывателей, рабочих и аварийных тормозов, величины тормозного пути и холостого выбега;
- Ø измерение общего пробега эскалатора;
- Ø измерение величины перемещения при реверсе толчком;
- Ø измерение тормозного пути при опробовании и в штатном режиме останова;

1.2 Особенности конструкции эскалатора

Исходя из этого, что огромное значение в городской жизни занимают тоннельные эскалаторы – подъемно-транспортные машины непрерывного действия, выполняющие функцию транспортировки пассажиров между уровнем верхнего вестибюля и уровнем платформы станции в метро, а также транспортирующие покупателей между этажами в супермаркетах,

обладающие высокой, в сравнении с другими подъемно-транспортными машинами, но ограниченной пропускной способностью. На рисунке 1.1 показана общая схема тоннельного эскалатора.



1 – ступени; 2 – тяговые цепи; 3 – привод поручня; 4 – поручень; 5 – балюстрада; 6 – тяговая звездочка; 7 – верхняя площадка; 8 - передаточный механизм и механизм привода; 9 – направляющие; 10 – металлоконструкции; 11 - натяжная звездочка; 12 – нижняя площадка; 13 – натяжная камера; 14 – кабина оператора; 15, 16 – пульты управления; 17 – шкафы управления; 18 – машинное помещение

Рисунок 1.1 - Общая схема тоннельного эскалатора

Современный тоннельный эскалатор представляет собой совокупность множества различных механизмов, установленных на металлоконструкциях, объединенных системой автоматического управления.

Соответственно выделяют:

- механизм привода, включающий в себя главный и вспомогательный электропривод, соединительные муфты, устройство безопасности;
- передаточный механизм и его элементы: соединительная муфта, рабочий тормоз, редуктора, главный вал, тяговые звездочки, главный вал, устройства безопасности;
- цепной механизм, элементами которого являются: тяговые звездочки, цепи, ступени, натяжная звездочка, зубчатое колесо механизма привода, устройства безопасности;
- механизм аварийного тормоза, включающий аварийный тормоз, тяговую звездочку и устройства безопасности;
- механизм натяжения тяговой цепи;
- механизм привода поручня;
- система автоматического управления – устройства безопасности, электротехническая аппаратура, шкафы управления;
- опорные металлоконструкции.

Отдельные звенья и элементы приведенных узлов и механизмов одновременно могут являться звенья и элементы других узлов и механизмов.

1.1.1 Особенности конструкций приводных групп тоннельных эскалаторов.

Существует огромное множество различных конструкций механизмов привода эскалаторов. Основными факторами, которые оказывают наибольшее влияние на конструкцию механизма привода, являются назначение и высота подъема, а также год проектирования и завод-изготовитель, проектировавший эскалатор.

Развитие эскалаторостроения в СССР началось с 30-х годов прошлого века. Конструкция механизма привода тоннельных эскалаторов за период развития эскалаторостроения претерпела ряд изменений.

Ниже приведены типы приводной группы тоннельных эскалаторов (ПГТЭ), эксплуатируемых в Казахстане, частично показаны этапы развития эскалаторостроения и направления развития конструкций ПГТЭ.

1) *Тип эскалатора:* ЭМ – эскалатор метрополитена (ЭМ-4, рисунок 1.2).

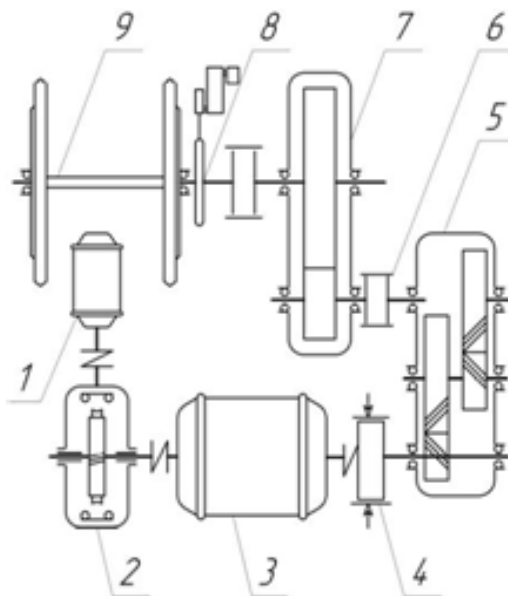
Выпуск, года: 1951-1966.

Достоинства:

а) открытая зубчатая передача предшествующего эскалатора (Н-30 и Н-40) заменена одноступенчатым редуктором, а червячный редуктор эскалатора (Н-30 и Н-40) заменен двухступенчатым цилиндрическим редуктором с более высоким к.п.д.;

б) двухредукторный привод удобен для обслуживания и ремонта.

Недостатки: двухредукторные приводы обладают большой стоимостью, требуют место для их установки.

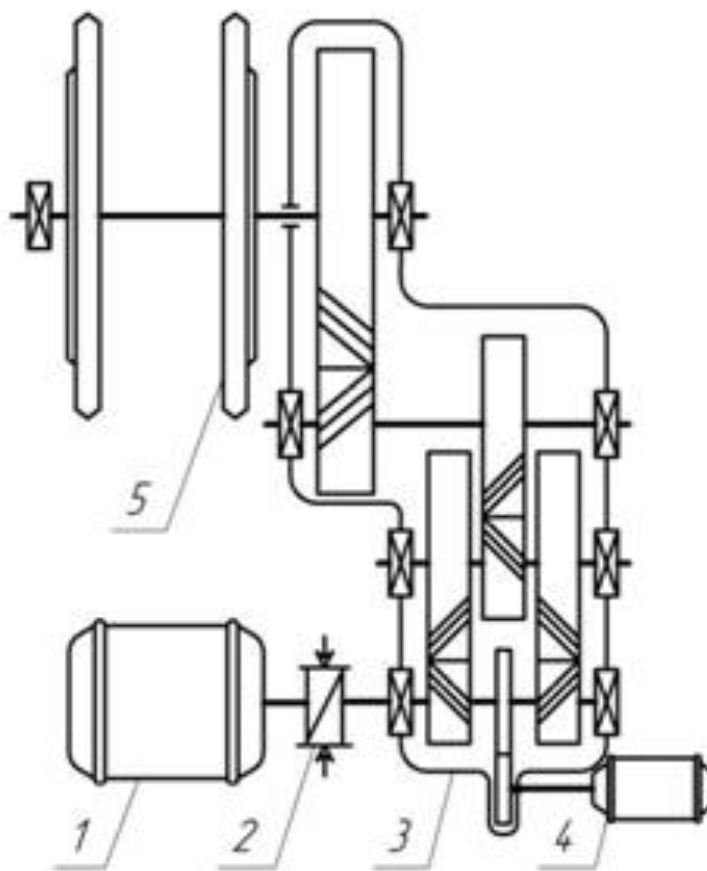


1 – вспомогательный электродвигатель; 2 – редуктор вспомогательного электродвигателя; 3 – главный электродвигатель; 4 – рабочие тормоза; 5 – быстроходный редуктор; 6 – зубчатые муфты; 7 – тихоходный редуктор; 8 – реле оборотов с приводом; 9 – главный вал с тяговыми звездочками и аварийными тормозами

Рисунок 1.2 - Схема ПГТЭ ЭМ-4

2) Тип эскалатора: ЭТ – эскалатор тоннельный (ЭТ-2(М), ЭТ-3(М), рисунок 1.3).

Выпуск, года: 1978-1998.



1 – главный электродвигатель; 2 – рабочие тормоза и тормозная муфта; 3 –редуктор главного привода; 4 – вспомогательный электродвигатель с редуктором; 5 – главный вал с тяговыми звездочками и аварийным тормозом

Рисунок 1.3 - Схема ПГТЭ ЭТ-2(М),ЭТ-3(М)

Достоинства:

а) использование в приводе зубчатой передачи, при которой на главном валу закреплено зубчатое колесо, служащее последней ступенью передаточного механизма и находящееся между опорами главного вала, привело к более равномерной нагрузке на опоры главного вала и сам вал;

б) за счет применения одностороннего привода, отсутствует неравномерная загрузка левой и правой передач главного вала, вызванная деформацией кручений соединяющих их валов;

в) использование одноредукторного привода, выполненного лишь с зубчатыми передачами, повысило надежность работы привода.

Недостатки:

а) в сравнении с современными эскалаторами – громоздкость редуктора;

б) литая цельная крышка редуктора, вследствие чего она обладает большой массой;

в) для обслуживания и ремонта редуктора необходимо полностью откидывать крышку редуктора.

3) *Тип эскалатора:* ТК-65 / ЕТК265М.

Выпуск, года: 2005 по настоящее время.

Достоинства:

а) привод подобен эскалаторам типа ЭТ, соответственно достоинства те же;

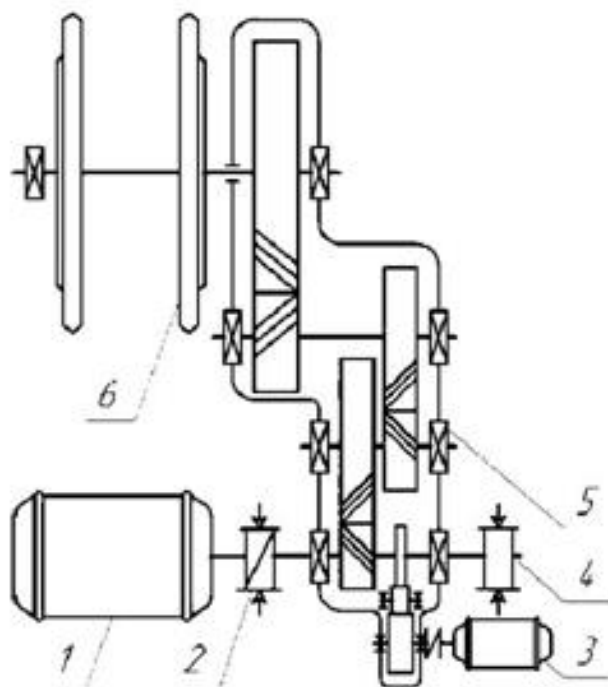
б) корпус редуктора выполнен сварным сборным, крышка обладает меньшими массовыми характеристиками;

в) на быстроходном валу эскалатора типа ЕТК365М установлен маховик, обеспечивающий плавность разгона.

Недостатки: в сравнении с современными эскалаторами – громоздкость редуктора.

4) *Тип эскалатора:* Е55Т, Е75Т / тип ЭС-02, ЭС-03 (рисунок 1.4).

Выпуск, года: 2005 по настоящее время.



1 – главный электродвигатель; 2 – рабочий тормоз и тормозная муфта; 3 – вспомогательный электродвигатель с редуктором; 4 – второй рабочий тормоз с тормозным шкивом; 5 – редуктор; 6 – главный вал с тяговыми звездочками и аварийным тормозом

Рисунок - 1.4 Схема ПГТЭ Е55Т, Е-75Т / ЭС-02, ЭС-03

Достоинства:

а) применен двухсторонний рабочий тормоз быстроходного вала, за счет чего повышается надежность при его срабатывании;

б) применяемая компоновка элементов редуктора обеспечивает его компактность, соответственно требуется меньшая занимаемая площадь машинного помещения;

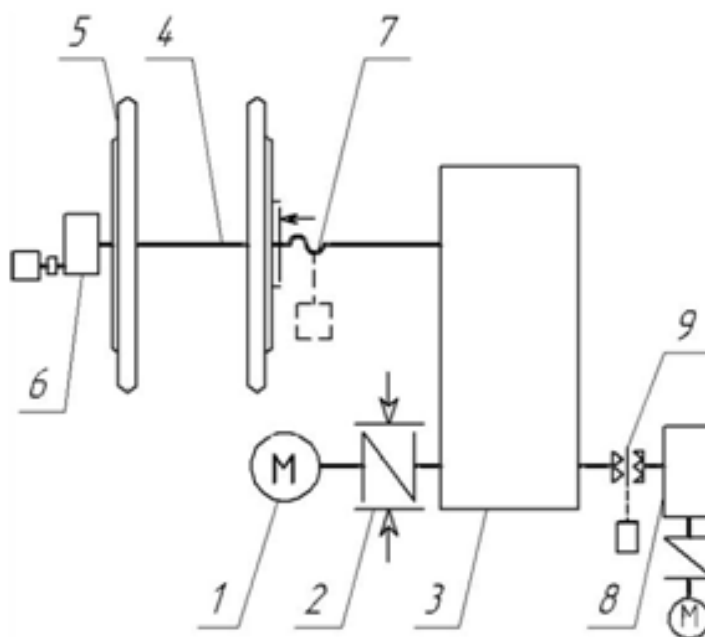
в) корпус редуктора выполнен сварным сборным, крышка обладает меньшими массовыми характеристиками (для Е55Т, Е75Т); г) корпус редуктора выполнен сварным секционным сборным, за счет чего облегчен демонтаж крышки редуктора для обслуживания и ремонта его элементов, крышка обладает меньшими массовыми характеристиками (для ЭС-02, ЭС-03).

Недостатки: не выявлены.

Установлено, процесс развития механизмов привода происходит в модернизации и улучшении принципиальной схемы привода эскалаторов серии ЭТ (опыт работы компаний ЗАО «ЭЛЕС», ЗАО «ЭС-сервис», ПАО «Крюковский вагоно-строительный завод»).

Таким образом, исходя из результатов анализа конструкций ПГТЭ, а также количественной оценки эскалаторов можно сделать вывод: наиболее рациональной по компоновке является схема тоннельных эскалаторов серии ЭТ [72, 92].

Из вышесказанного следует: в общем виде принципиальная схема современного механизма привода тоннельного эскалатора, выглядит следующим образом (рисунок 1.5).



1 – главный электродвигатель; 2 – тормозная муфта с рабочим тормозом; 3 – редуктор главного привода; 4 – главный вал; 5 – тяговая звездочка; 6 – следящая система; 7 – аварийный тормоз с механизмом включения; 8 – вспомогательный электродвигатель с муфтой и редуктором; 9 – механизм переключения вспомогательного привода

Рисунок 1.5 - Принципиальная схема привода

1.3 Особенности статики и динамики электропривода

Основной фактор, определяющий статическую нагрузку эскалатора, – сила трения, действующая между тянущим элементом (лента, цепь и др.) и поддерживающим устройством (ролики, монорельс и др.).

Силы трения возникают в подшипниках вращающихся элементов, местах контакта роликов и катков с опорой, тяговом элементе при его изгибах.. Вследствие значительной протяженности эскалатора и большого количества движущихся элементов эти силы составляют значительную часть суммарной статической нагрузки.

Статическая нагрузка эскалатора в значительной степени зависит от конструкции и массы тягового органа (масса определяется передаваемым усилием). Поэтому мощность двигателя в процессе проектирования эскалатора выбирают с учетом статической нагрузки.

Силы сопротивления движению эскалатора можно разделить на две категории: силы, не зависящие от натяжения тягового элемента, и силы, зависящие от этого натяжения. Первые возникают на наклонных участках и распределены по участку равномерно. Вторые возникают на участках изгиба тягового элемента и сосредоточены на дуге этого участка.

Динамические нагрузки привода эскалатора возникают в процессе пуска и определяются движущимися массами собственно эскалатора и его приводной станции:

Наличие упругих механических связей способствует возникновению колебаний, которые при неблагоприятных условиях существенно увеличивают динамические нагрузки рабочего оборудования. Движение системы с распределенными параметрами описывается дифференциальными уравнениями в частных производных, решение которых в общем виде математически трудно. Однако для рассмотрения физических процессов, возникающих в пусковых режимах эскалатора, реальная механическая система может быть представлена упрощенной динамической моделью, в которой распределенные массы, упругости и силы заменены эквивалентными сосредоточенными.

Колебательный характер процесса пуска обуславливает динамические перегрузки тягового элемента. Возникшие при пуске колебания демпфируются за счет вязкого трения во всей подвижной части привода и главным образом внутри тягового элемента. В конце процесса пуска, когда работа двигателя соответствует жесткой механической характеристике, колебания эффективно демпфируются самим приводом.

Для эскалатора характерны короткие подвески и большие частоты свободных колебаний груза. Интервал продолжительного пуска эскалатора включает в себя несколько периодов таких колебаний, что позволяет в ряде случаев для устранения раскачивания груза использовать метод интерференции противофазных колебаний.

Пуск выполняется плавным с использованием частотного преобразователя. В конце процесса пуска момент привода снимается. При

этом основная часть процесса пуска проходит с постоянным допустимым ускорением без колебаний [1].

Несмотря на значительное конструктивное разнообразие эскалаторов, при выборе электропривода они могут быть объединены в одну характерную группу. Прежде всего следует отметить, что по технологическим условиям эти механизмы обычно не требуют регулирования скорости. Лишь на некоторых эскалаторах для изменения темпа работы применяется неглубокое регулирование скорости в пределах 2:1

Характерной особенностью эскалаторов является большой статический момент сопротивления покоя, который, как правило, превосходит номинальный вследствие различных причин, в том числе и застывания смазки в трущихся деталях. Таким образом, к электроприводу эскалаторов предъявляются требования высокой надежности, простоты обслуживания, также обеспечения повышенного момента при пуске. В некоторых случаях возникают дополнительные требования по обеспечению плавного пуска, предотвращению пробуксовывания лестничного полотна, небольшому регулированию скорости. Всем этим требованиям в достаточной степени удовлетворяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым или с фазным ротором.

Выбор мощности приводного двигателя эскалатора производится методом постепенного приближения совместно с расчетом и выбором всего механического оборудования. Первый этап расчета заключается в ориентировочном определении тягового усилия и натяжения, по которым производятся предварительный выбор мощности двигателя и выбор механического оборудования. На втором этапе расчета строится уточненный график зависимости натяжения с учетом потерь от длины эскалатора. После построения графика выбираются места установки электропривода, двигатель и механическое оборудование проверяются по полученным усилию и натяжению.

Известно большое количество формул для ориентировочного определения тягового усилия и натяжения лестничного полотна эскалатора, предложенных на основе опыта проектирования и эксплуатации эскалаторов. Одна из них имеет следующий вид:

$$T = T_0 + Fn + \Delta F = T_0 + F \quad (1.1)$$

Где T — натяжение лестничного полотна, Н;

P — усилие, которое должен преодолевать электродвигатель, Н;

T_0 — предварительное натяжение, -Н;

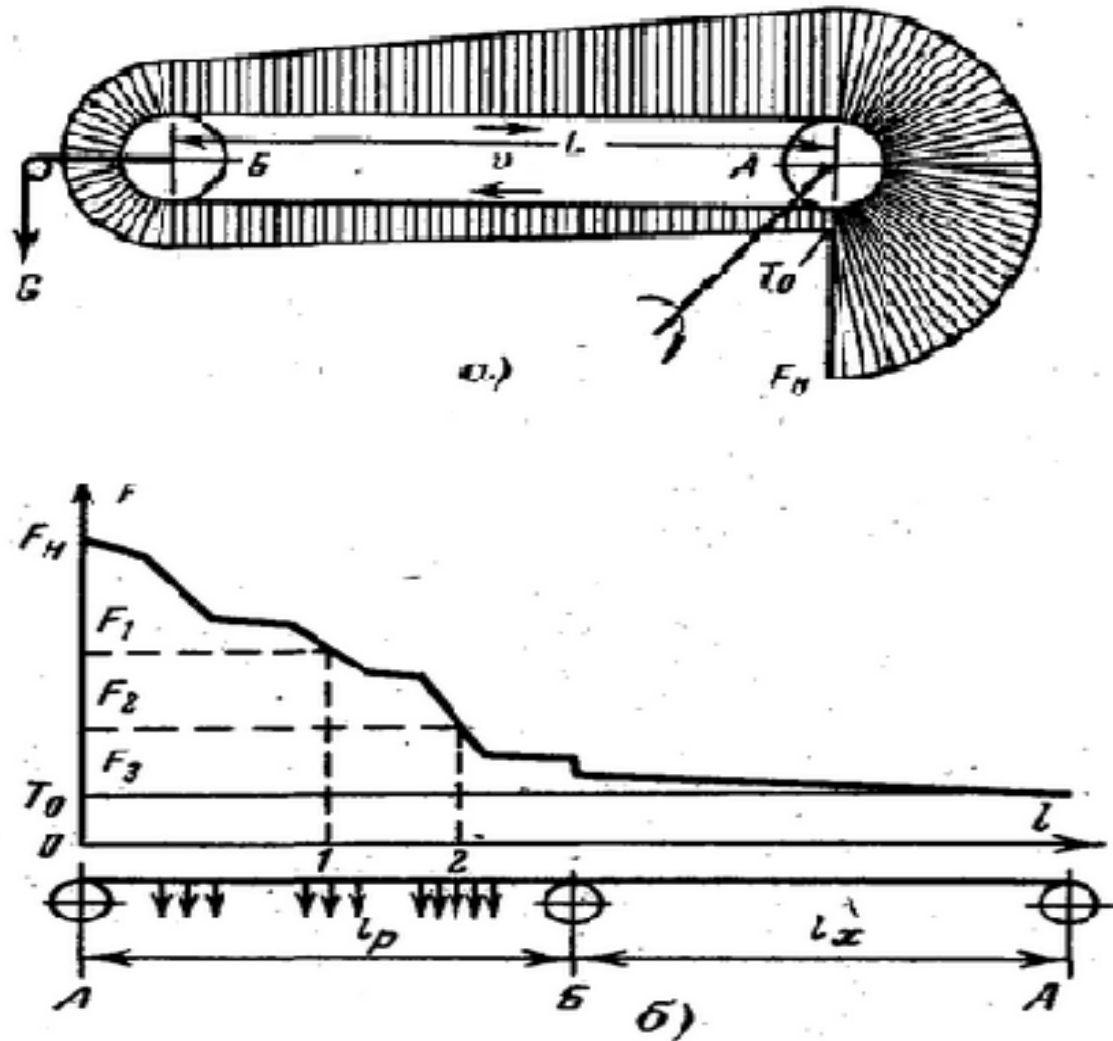
$F_{л.}$ — усилие, обусловленное подъемом груза, Н;

ΔF — суммарное усилие, вызванное силами трения на участках трассы конвейера, Н.

По усилию и натяжению в тяговом органе эскалатора производится предварительный выбор двигателя и механического оборудования. Формулы для подсчета потерь в барабанах, звездочках, блоках и других элементах

оборудования могут быть найдены в специальной литературе по механической части эскалаторов.

Для построения диаграммы тяговых усилий вычерчивается трасса конвейера со всеми подъемами и спусками, перегибами, приводными и натяжными станциями, направляющими блоками и барабанами. Затем, если следовать от наименее нагруженного участка эскалатора, производится учет потерь в каждом элементе и получается натяжение тягового органа по всей длине. На рисунке 1.6 -приведены диаграммы тяговых лестничного полотна эскалатора с однодвигательным электроприводом.



A — приводная станция; *B* — натяжная станция.

Рисунок 1.6- Диаграмма тяговых усилий в ленточном (а) и (б) конвейере.

Мощность приводного двигателя эскалатора определяется по формуле:

$$P = \frac{F_n + v}{N} * 10^{-3} \quad (1.2)$$

здесь *P* — мощность двигателя, кВт;

F_n — усилие на набегающем участке тягового органа, Н;

V — скорость перемещения тягового органа, м/с; N — к. п. д. приводного механизма.

При проектировании эскалаторов после построения диаграммы тяговых усилий определяется место установки приводной станции эскалатора (рисунок 1.7).

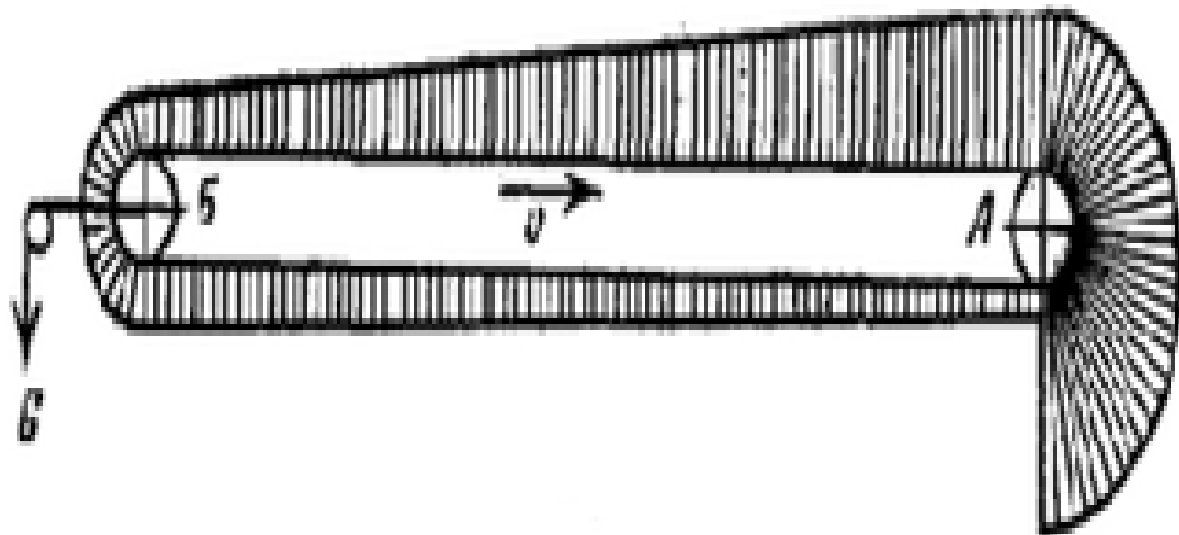


Рисунок 1.7 - Диаграмма тяговых усилий эскалатора.

Следует, однако, учесть, что для окончательного выбора мощности двигателя приводной станции необходимо построить уточненную диаграмму тяговых усилий. Это уточнение вызвано тем обстоятельством, что сумма усилий всех участков может быть не равна усилию при однодвигательном приводе, что определяется уменьшением сечения тягового органа и соответственно снижением потерь на трение.

Наиболее удобными местами установки приводной станции являются концевые точки трассы.

Большое значение при выборе системы управления электроприводом эскалатора имеет правильный расчет упругих деформаций тягового органа и ускорений, которые могут возникнуть в переходных процессах. Обратимся к рисунку 1.8, где изображены графики изменения скорости при пуске двигателя на набегающей 1 и сбегающей 2 ветвях ленты. Эскалатор приводится в движение асинхронным короткозамкнутым двигателем, статический момент на валу двигателя принят постоянным.

Характер изменения скорости в ветвях 1 и 2 эскалатора будет в значительной степени зависеть от протяженности лестничного полотна. При малой длине эскалатора, около нескольких десятков метров, графики изменения скорости ветвей 1 и 2 во времени будут близки друг другу. Естественно при этом, что ветвь 2 начнет двигаться с некоторым отставанием по отношению к ветви 1 за счет упругой деформации лестничного полотна, однако скорости ветвей довольно быстро выравниваются, правда, с некоторыми колебаниями.

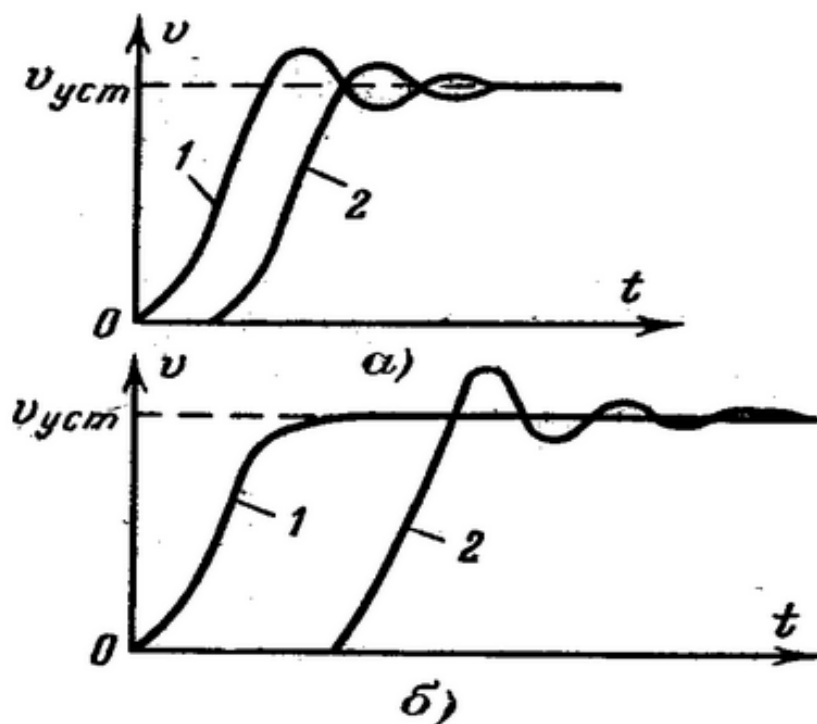


Рисунок 1.8 - Диаграммы скорости различных участков эскалатора при пуске.

По мере достижения всеми участками эскалатора установившейся скорости снижается упругое натяжение лестничного полотна. Возврат запасенной энергии может привести к возрастанию скорости лестничного полотна по сравнению с установившейся и к ее колебаниям (рисунке 1.9б). Такой характер переходного процесса в тяговом органе крайне нежелателен, так как следствием его является повышенный износ лестничного полотна, а в некоторых случаях ее разрыв.

Указанные обстоятельства приводят к тому, что в отношении характера пуска и других переходных процессов в электроприводе эскалатора выдвигаются жесткие требования по ограничению ускорений системы. Удовлетворение их приводит к некоторому усложнению электропривода: появляются многоступенчатые панели управления асинхронными двигателями, дополнительные нагрузочные, пусковые устройства и т. д.

1.4 Система автоматического управления эскалатором

Основная задача САУ в построении при помощи инженерных мер оптимальных автоматических систем, так же исследование статики и динамики. Качественное совершенствование автоматизации эскалаторов должно развиваться в направлении повышения централизации управления на базе использования специализированных микроконтроллеров, что позволит повысить оперативность управления за счет обработки большого объема информации о работе эскалатора, причинах аварийных ситуаций, вести работу эскалатора в оптимальных режимах.

Автоматизация эскалаторного транспорта предусматривает оснащение

средствами автоматического контроля, защиты и управление.

Основными факторами, влияющими на процесс автоматизации являются: разнообразие технологических схем эскалаторов по конфигурации, длине.

Система автоматического управления (САУ), используя информацию с датчика пассажиропотока, посылает сигнал управления инвертору, который регулирует скорость вращения двигателя. Обратная связь реализована посредством наблюдателя основных координат, где оценка скорости вращения и потока формируется на основании информации о фазных токах статора двигателя и фазных напряжениях на выходе автономного инвертора.. Датчики пассажиропотока следует разместить на балюстраде эскалатора, вверху и внизу. В качестве системы управления была выбрана SVPWM (рисунок 1.9) (Space vector modulation PWM – пространственно-векторная широтно-импульсная модуляция (ШИМ)), так как благодаря плавному вращению заданного вектора напряжения пульсации момента меньше, чем в системе управления с DTC (Direct torque control). Соответственно, и пуск привода эскалатора и его работа становятся стабильнее, что особенно важно при транспортировке пассажиров.

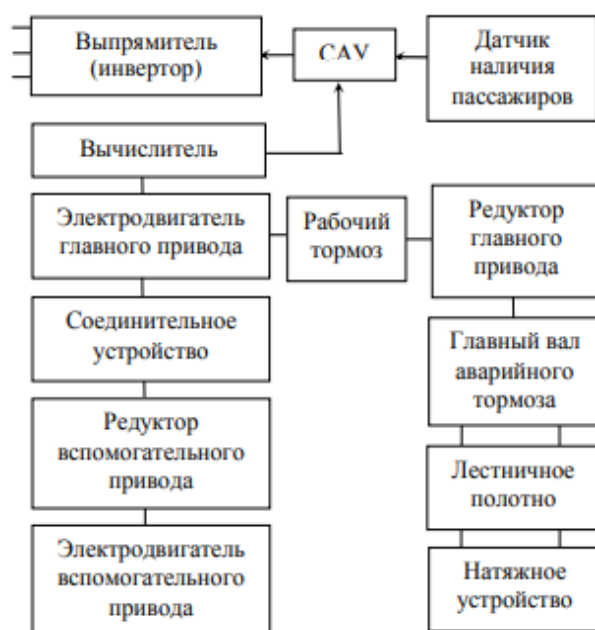


Рисунок 1.9 - Функциональная схема эскалатора с регулируемым приводом

В настоящее время широкое распространение получил классический наблюдатель основных координат электропривода, где вычисление всех выходных параметров происходит за счет подводимых к двигателю токов и напряжений и заранее заложенных внутренних параметров самого привода (Приложение Б). Однако погрешности вычисления значительны и обусловлены режимом работы и тепловым состоянием двигателя. При этом в режиме прямого пуска активное сопротивление ротора может изменяться более чем в 1,5 раза, а индуктивность на 30-40 %, активное сопротивление обмотки статора на 20-30 %. Из этого следует, что текущие значения

устройства, пригодные для использования в науке, на производстве, на транспорте, в медицине, в быту и многих других сферах.

На микропроцессорной базе созданы и выпускаются «миллионными тиражами» так называемые персональные (в частности, «кухонные») компьютеры, причем, как отмечают многие авторы, социальные последствия этого явления, видимо, окажутся соизмеримыми 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 таким показателям, как надежность и простота обслуживания систем, с одной стороны, а также полнота и сложность выполняемых ими функций, с другой.

1.6 Структурная схема PIC16F877

Структурная схема контроллера приведена на рисунке 1.11. 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.

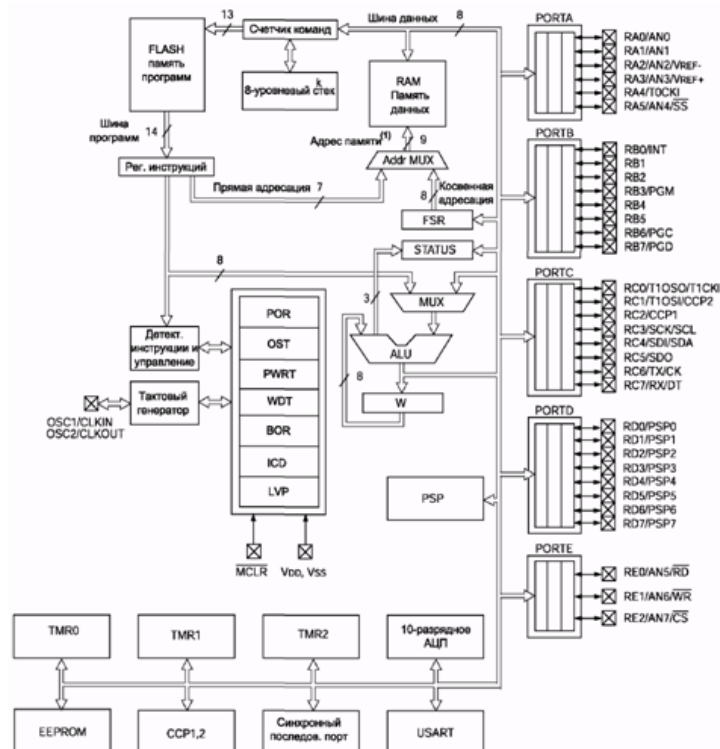


Рисунок 1.11 – Структурная схема контроллера PIC16F877

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 1.12. За выбор банка памяти отвечают биты RP0 и RP1 регистра STATUS (таблица 1).

Таблица 1.1 - банка памяти регистра STATUS

RP1:RP0	Банк
00	0
01	1
10	2
11	3

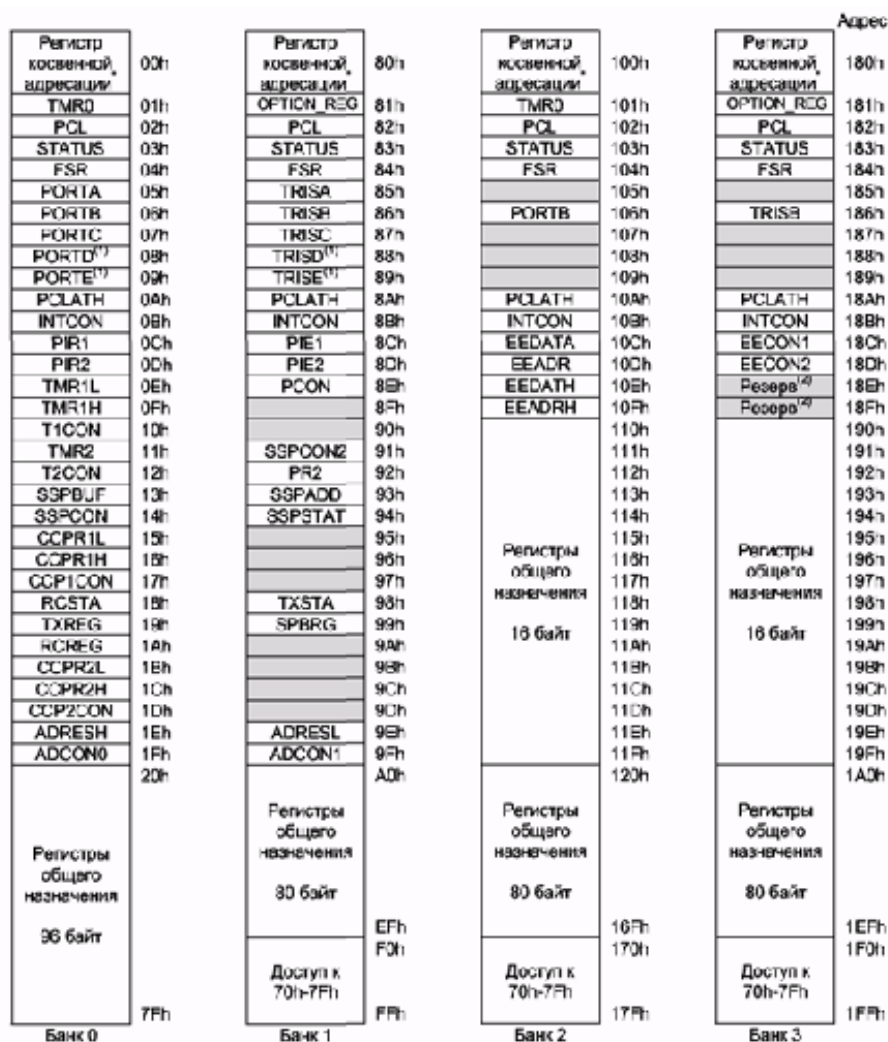


Рисунок 1.12 – Карта памяти данных микроконтроллера PIC16F877

1.6.1 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.

1.6.2 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.

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 1.2

Таблица 1.2 - 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 –ТО 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.

1.7 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 мА, 3.0В, 4.0МГц, 20мкА, 3.0В, 32кГц, < 1 мкА в режиме энергосбережения.

1.8 Разработка системы управления

1.8.1 Разработка алгоритма управления. 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 1.13.

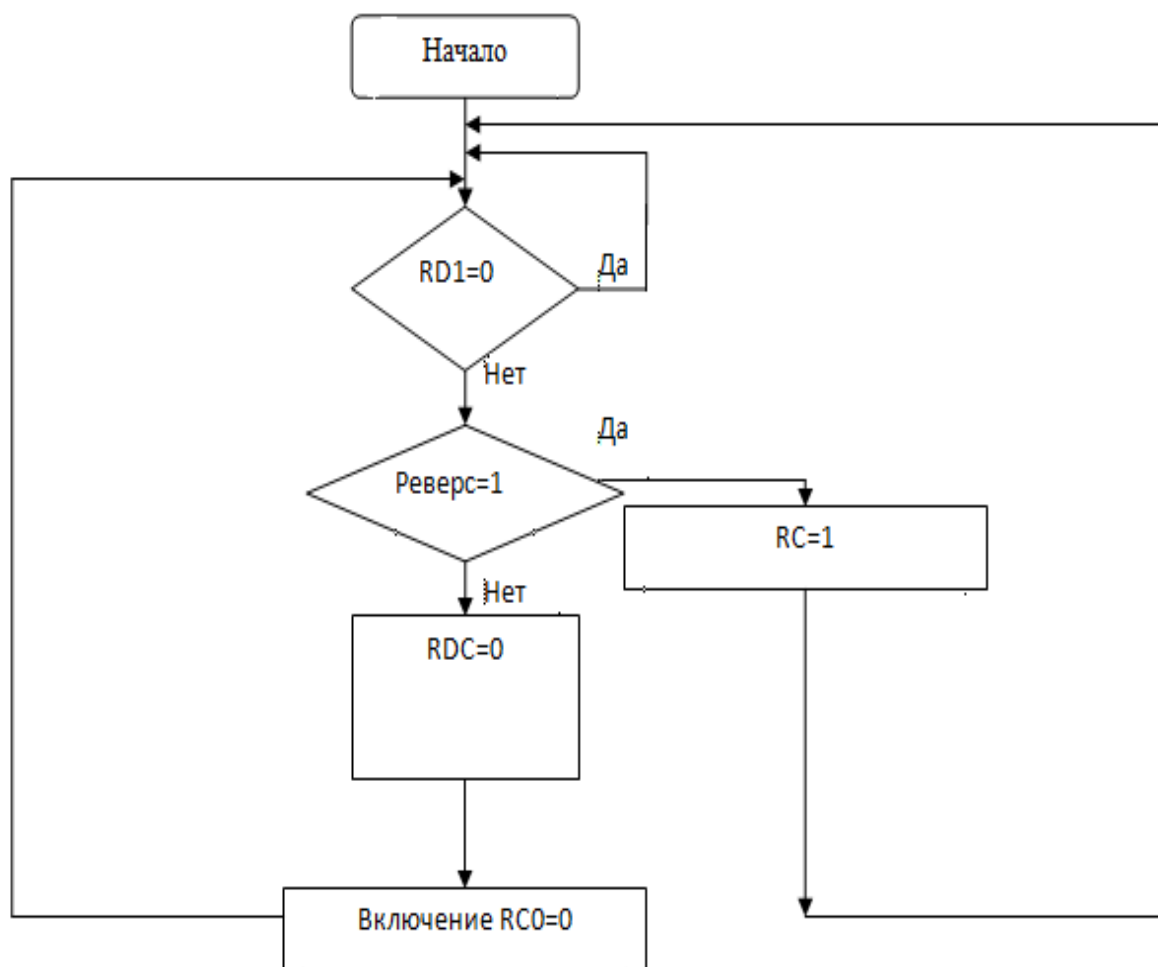


Рисунок 1.13 – Блок-схема алгоритма управления

1.8.2 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 значения байтов слов на 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 эскалатора. В виду слабых

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 семисегментных 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.

В связи с этим, целью выпускной работы является:

- 1) Рассмотреть системы управления частотно регулируемого асинхронного электропривода.
- 2) Определение автоколебаний в системе управления эскалатором
- 3) Обеспечить устойчивую работа эскалатора с помощью параметра синтеза
- 4) Рассмотреть виртуальную модель асинхронного электропривода эскалатора

2. Разработка системы управления энергосберегающего асинхронного электропривода эскалатора

2.1 Структурная схема замкнутой системы управления частотно регулируемого асинхронного электропривода

Функционирование требуемых статических и динамических свойств асинхронного электропривода эскалатора, с системой преобразователь частоты асинхронный двигатель (ПЧ – АД), возможно только в замкнутой системе регулирования его координат. В связи с этим на рисунке 2.1 в среде Matlab представлена структурная схема замкнутой системы ПЧ – АД с нелинейной обратной связью по скорости.

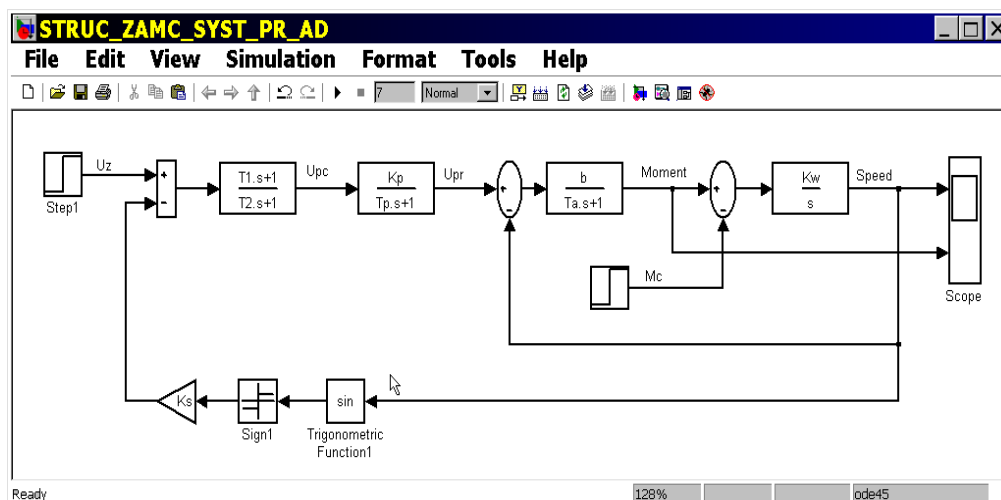


Рисунок 2.1 - Структурная схема замкнутой системы ПЧ-АД по скорости

В данной замкнутой системе ПЧ – АД частота и напряжение питания статора АД формируются напряжением управления с выхода регулятора скорости (Урс). В качестве регулятора скорости АД, на структурной схеме (Приложение В), приведено динамическое инерционно – форсирующее звено [1] с передаточной функцией:

$$W_{PC}(s) = \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}, \quad (2.1)$$

где T_1, T_2 – постоянные времени звена, s – оператор дифференцирования $s = d/dt$.

Преобразователь частоты (ПЧ), на структурной схеме рисунка 2.1, представлен инерционным звеном с передаточной функцией

$$W_P(s) = \frac{k_P}{T_P s + 1}, \quad (2.2)$$

здесь k_P, T_P – коэффициент передачи, постоянная времени ПЧ.

Асинхронный двигатель на рисунке 1 представлен линеаризованной структурной схемой с передаточными функциям [2]: интегрирующего и инерционного динамических звеньев, охваченные обратной связью по скорости. Передаточная функция интегрирующего звена АД имеет вид:

$$W_{D1}(s) = \frac{k_w}{s} = \frac{1}{b T_m \cdot s}, \quad (2.3)$$

где:

b – модуль жесткости линеаризованной механической характеристики АД,
 T_m – электромеханическая постоянная времени АД.

передаточная функция интегрирующего звена АД запишется:

$$W_{D1}(s) = \frac{b}{T_a s + 1}, \quad (2.4)$$

здесь

T_a – электромагнитная постоянная времени АД.

Обратная связь замкнутой системы ПЧ-АД состоит: пропорционального звена с коэффициентом усиления k_s , идеального реле и статического нелинейного звена $y = k \sin(x)$.

2.2 Устойчивость движения частотно – регулируемого асинхронного электропривода эскалатора

В процессе разработки системы управления ПЧ – АД, прежде всего, необходимо исследовать устойчивость замкнутой системы ПЧ – АД? с целью определения автоколебаний в системе управления, которые могут препятствовать нормальной работе электропривода эскалатора. Определение устойчивости движения электропривода, в этом случае, рассмотрим методом фазовых траекторий с помощью математической системы Matlab.

Здесь следует отметить, что метод фазовых траекторий в основном предназначен для определения устойчивости нелинейных систем управления, описываемых дифференциальными уравнениями второго порядка [3]. Однако с помощью математической системы Matlab [4]. поставленная задача может быть успешно решена для определения устойчивости и автоколебаний системы, когда динамика движения эскалатора может быть описана дифференциальными уравнениями третьего порядка. Рассмотрим математическое описание замкнутой системы ПЧ – АД на основе передаточных функций системы без учета постоянной времени ПЧ. В этом случае замкнутую систему ПЧ – АД можно описать дифференциальными уравнениями третьего порядка, что будет показано ниже, где с помощью Matlab, определяется устойчивость и автоколебания в системе автоматического управления асинхронного электропривода эскалатора. Математическое описание замкнутой системы ПЧ – АД рассмотрим на основе передаточных функций системы. Дифференциальные уравнения двигателя имеют следующий вид:

1. Передаточную функцию двигателя (2.3) запишем в виде:

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{1}{b \cdot T_m s}, \quad (2.5)$$

преобразуем (2.5) в дифференциальное уравнение с учетом $s = d/dt$ и получим:

$$\frac{dx_1}{dt} = (1/(bT_m))x_2, \quad (2.6)$$

где:

x_1 – угловая скорость (ω) асинхронного двигателя (АД), x_2 – электромагнитный момент ($M_{\text{э}}$) АД;

2. Передаточную функцию (2.4), с учетом коэффициента передачи ПЧ при $T_p = 0$) и обратной связи по скорости двигателя, можно записать в виде:

$$\frac{x_2}{k_p x_3 - x_1} = \frac{b}{T_A s + 1}, \quad (2.7)$$

дифференциальное уравнение на основе (2.7) запишется в следующем виде:

$$T_A \frac{dx_2}{dt} + x_2 = b k_p x_3 - b x_1$$

или

$$\frac{dx_2}{dt} = ((bk_p)/T_A)x_3 - (b/T_A)x_1 - (1/T_A)x_2, \quad (2.8)$$

здесь: x_3 – напряжение на выходе ПЧ (U_p).

3. Дифференциальное уравнение регулятора скорости АД эскалатора образуем на основе передаточной функции (2.1), которую можно записать с учетом нелинейной обратной связи в виде:

$$\frac{x_3}{U_z - k_s \text{sign}(\sin(x_1))} = \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}. \quad (2.9)$$

где U_z – задающее воздействие,

На основе полученного уравнения (2.9) при $U_z = \text{const}$ дифференциальное уравнение регулятора скорости будет иметь вид:

$$T_2 \frac{dx_3}{dt} + x_3 = U_z - T_1 k_s \cos(x_1) - k_s \text{sign}(\sin(x_1))$$

иначе:

$$\frac{dx_3}{dt} = \left(\frac{1}{T_2}\right) \cdot U_z - \left(\frac{T_1 k_s}{T_2}\right) \cdot \cos(x_1) - \left(\frac{k_s}{T_2}\right) \cdot \text{sign}(\sin(x_1)) - \left(\frac{1}{T_2}\right)x_3 \quad (2.10)$$

Математическая модель (дифференциальные уравнения) замкнутой системы ПЧ- АД согласно уравнениям (2.6), (2.8) и (2.10) после замены переменных имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= (1/(bT_m))y_2, \\ \frac{dy_2}{dt} &= ((bk_p)/T_A)y_3 - (b/T_A)y_1 - (1/T_A)y_2 \\ \frac{dy_3}{dt} &= (1/T_2) \cdot U_z - ((T_1 k_s)/T_2) \cdot \cos(y_1) - (k_s/T_2) \cdot \text{sign}(\sin(y_1)) - (1/T_2)y_3. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Программа расчета фазовой траектории, в координатах системы ПЧ – АД составленная с учетом (2.1), показана на рисунке 2.2.

Рисунок 2.2 Программа расчета траектории замкнутой ПЧ – АД. Численные значения начальных условия для решения дифференциальных уравнений (2.11) приведены в строках программы 13, 14 и 15. Численные значения параметров двигателя и системы управления приведены в строках программы с 7-ой по 11-ую строку включительно. Вывод графика фазовой траектории осуществляется выражением строки №3. Фазовая траектория системы, в пространстве координат системы, показана на рисунке 2.3.


```

Editor - C:\Program Files\MATLAB71\work\PROGRAM_RFT.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
1 function PROGRAMMA
2 y0 = [0.01;0.01;0.01];
3 options = odeset('OutputFcn', @odephas3);
4 [T,y] = ode113(@system,[0 0.5],y0,options);
5 grid on
6 function dy = system(t,y)
7 u=10; b=24.9; Kp=10; Kw=0.05;
8 T1=0.01; T2=0.9; Ta=0.05; Tm=0.2;
9 a1=1/(b*Tm); a2=(b*Kp)/T2; a3=b/Ta; a4=1/Ta;
10 a5=1/T2; a6=(T1*Kw)/T2; a7=Kw/T2; a8=1/T2;
11 T=0.025; Tq=0.05; Tm=0.2; To=0.5;
12 dy = zeros(3,1);
13 dy(1)=a1*y(2);
14 dy(2)=a2*y(3)-a3*y(1)-a4*y(2);
15 dy(3)=a5*u-a6*cos(y(1))-a7*sign(sin(y(1)))-a8*y(3);
16 end
17 end
PROGRAMMA Ln 1 Col 1 OVR

```

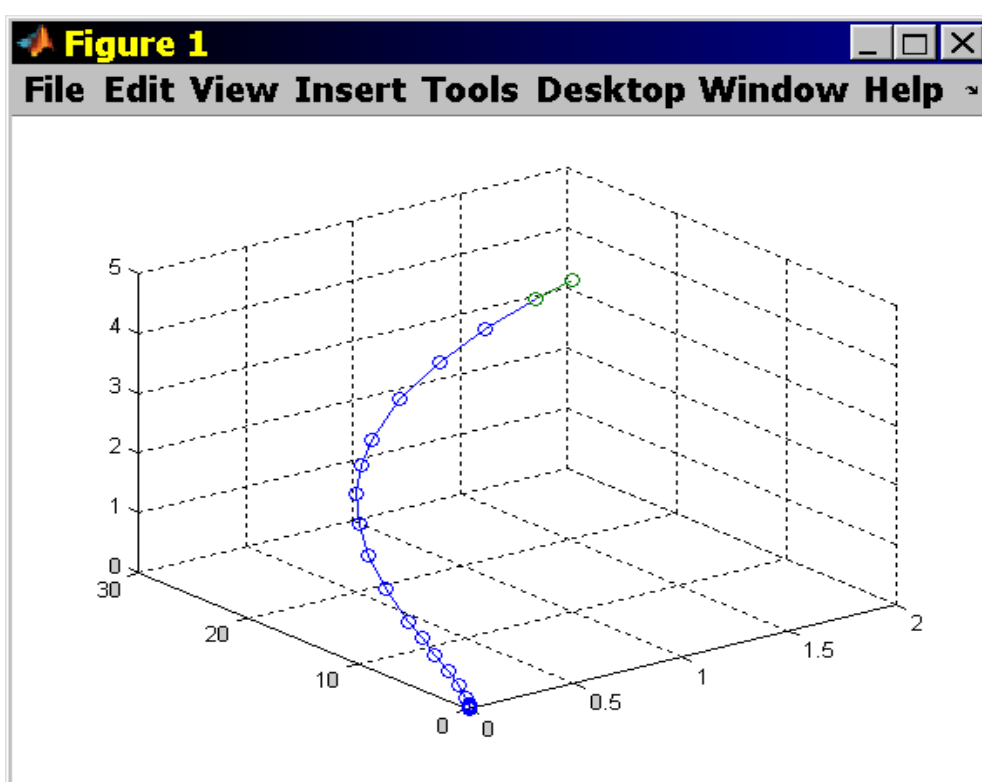


Рисунок 2.3 Фазовая траектория замкнутой системы ПЧ – АД

Из рисунка 2.3 видно, что при малых начальных условиях фазовая траектория стремится в начало координат системы (в точку $(0, 0, 0)$) Это соответствует условию устойчивости замкнутой системы ПЧ – АД и что в системе отсутствуют автоколебания [5]. Однако для подтверждения полученного условия устойчивости и отсутствия незатухающих автоколебаний в замкнутой системе ПЧ – АД, рассмотрим задачу устойчивости системы при условии, что постоянная времени ПЧ не равна нулю ($T_p \neq 0$), В этом случае математическое описание переходных процессов замкнутой системы ПЧ – АД будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
\frac{dy_1}{dt} &= \left(\frac{1}{bT_m}\right)y_2, \\
\frac{dy_1}{dt} &= \left(\frac{b}{T_A}\right)y_3 - \left(\frac{b}{T_A}\right)y_1 - \left(\frac{1}{T_A}\right)y_2 \\
\frac{dy_3}{dt} &= \left(\frac{k_p}{T_p}\right)y_4 - \left(\frac{1}{T_p}\right)y_3, \\
\frac{dy_4}{dt} &= \left(\frac{1}{T_2}\right) \cdot U_z - \left(\frac{k_s T_1}{T_2}\right) \cdot \cos y_1 - \left(\frac{k_s}{T_2}\right) \cdot \text{sign}(\sin y_1)
\end{aligned}
\tag{2.12}$$

Приведём полученную систему уравнений динамики (2.12) к удобному виду для образования программы решения поставленной задачи в среде Matlab. Преобразуем систему уравнений (2.12) в систему уравнений с символьными переменными. Первое уравнение системы (2.12), в этом случае, будет иметь следующий вид:

$$y_1 = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{b \cdot T_m} y_2$$

или:

$$y_1 = w \cdot y_2$$

иначе:

$$(1/w_1) \cdot y_1 - y_2 = 0, \tag{2.13}$$

где: w_1 – символьная переменная,

$$w_1 = \frac{k_1}{s}, \quad k_1 = \frac{1}{bT_m} \dots$$

Второе уравнение системы (2.12) запишется:

$$y_2 = w_2 \cdot (y_3 - y_1) \cdot$$

или:

$$(1/w_2)y_2 = (y_3 - y_1)$$

иначе:

$$y_1 + (1/w_2)y_2 - y_3 = 0, \tag{2.14}$$

где w_2 – символьная переменная, $w_2 = b/(T_A s + 1)$.

Третье уравнение системы (2.12) можно записать в виде:

$$(T_p s + 1) \cdot x_3 = k \cdot x_4$$

или

$$x_3 = \frac{k_p}{T_p s + 1} x_4$$

иначе

$$(1/w_3)x_3 - x_4 = 0, \quad (2.15)$$

где w_3 – символьная переменная, $w_3 = \frac{k_p}{T_p s + 1}$.

Четвертое уравнение системы уравнений (2.12) будет иметь вид:

$$\frac{x_4}{u - k_s \cdot \text{sign}(\sin(y_1))} = \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$$

или

$$(1/w_4) \cdot x_4 = u - k_s \cdot \text{sign}(\sin(y_1))$$

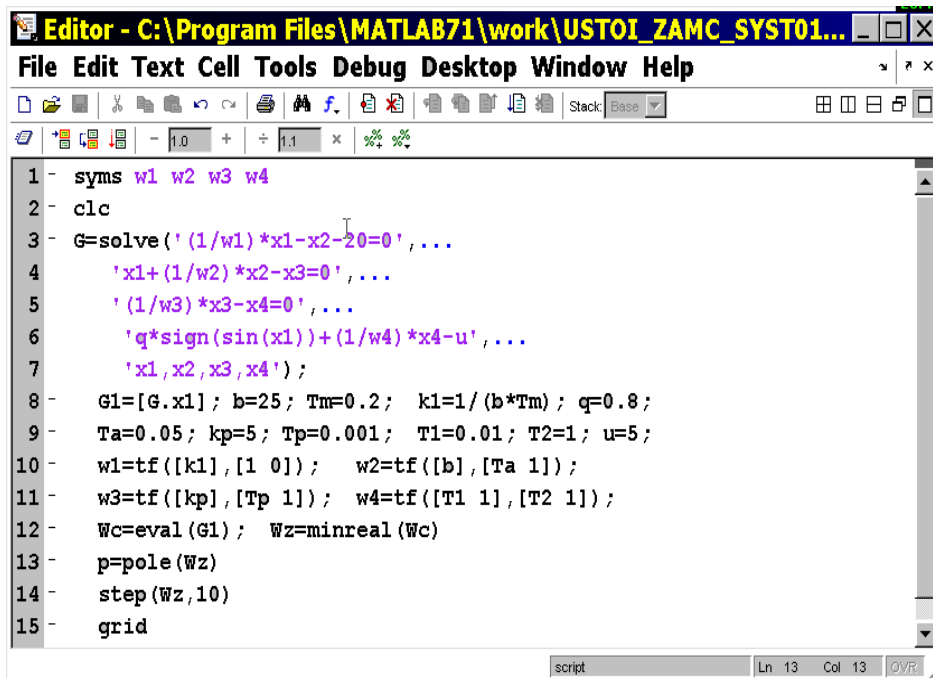
иначе

$$k_s \cdot \text{sign}(\sin(y_1)) + (1/w_4) \cdot x_4 - u = 0 \quad (2.16)$$

где w_4 – символьная переменная,

$$w_4 = \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}.$$

Программа определения устойчивости замкнутой системы ПЧ – АД основана на уравнениях (2.13), (2.14), (2.15) и (2.16) и представлена на рисунке 2.4.



```
1 - syms w1 w2 w3 w4
2 - clc
3 - G=solve(' (1/w1)*x1-x2-20=0', ...
4 - 'x1+(1/w2)*x2-x3=0', ...
5 - ' (1/w3)*x3-x4=0', ...
6 - 'q*sign(sin(x1))+(1/w4)*x4-u', ...
7 - 'x1,x2,x3,x4');
8 - G1=[G.x1]; b=25; Tm=0.2; k1=1/(b*Tm); q=0.8;
9 - Ta=0.05; kp=5; Tp=0.001; T1=0.01; T2=1; u=5;
10 - w1=tf([k1],[1 0]); w2=tf([b],[Ta 1]);
11 - w3=tf([kp],[Tp 1]); w4=tf([T1 1],[T2 1]);
12 - Wc=eval(G1); Wz=minreal(Wc)
13 - p=pole(Wz)
14 - step(Wz,10)
15 - grid
```

Рисунок 2.4. Программа определения устойчивости САУ ПЧ – АД

Следует отметить, что программа (рисунок 2.4) написана на алгоритмическом языке Matlab. В первой строке программы указываются символьные переменные W_i . С 3-ей по 5-ую строки программы записаны алгебраические символьные уравнения. Функция solve осуществляет аналитическое решение системы уравнений в символьном виде [6]. В строках с 8-ой по 9 –ую даются параметры двигателя и системы управления. С 10-ой по 11-ой строки вводятся передаточные функции замкнутой системы ПЧ – АД. Функция eval (строка 12 –ая) позволяет получить передаточную функцию замкнутой системы ПЧ- АД. Функция pole (строка 13-ая) осуществляет расчет корней характеристического уравнения передаточной функции всей системы, по виду которых определяется устойчивость системы управления.

В результате счета программы передаточная функция замкнутой системы ПЧ – АД и корни характеристического уравнения этой передаточной функции системы показаны на рисунке 2.5.

```

MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
C:\Program Files\MATLAB71\work
Shortcuts

Transfer function:
      4 s^3 + 4084 s^2 + 1.051e005 s + 2.18e006
-----
s^4 + 1021 s^3 + 2.112e004 s^2 + .201e005 s + 1e005

p =

1.0e+003 *

-1.0000
-0.0100
-0.0100
-0.0010

>>

```

Рисунок 2.5 - Функция замкнутой системы ПЧ – АД

Передаточная функция и корни замкнутой системы ПЧ – АД. Как видно из рисунка 2.5 корни характеристического уравнения передаточной

функции замкнутой системы ПЧ – АД являются отрицательными (числа расположенные на рисунке 2.5 находятся ниже передаточной функции системы) – система устойчива согласно теории [7]. Устойчивость системы также подтверждается графиком переходного процесса угловой скорости асинхронного двигателя эскалатора. График угловой скорости двигателя показан на рисунке 2.6.

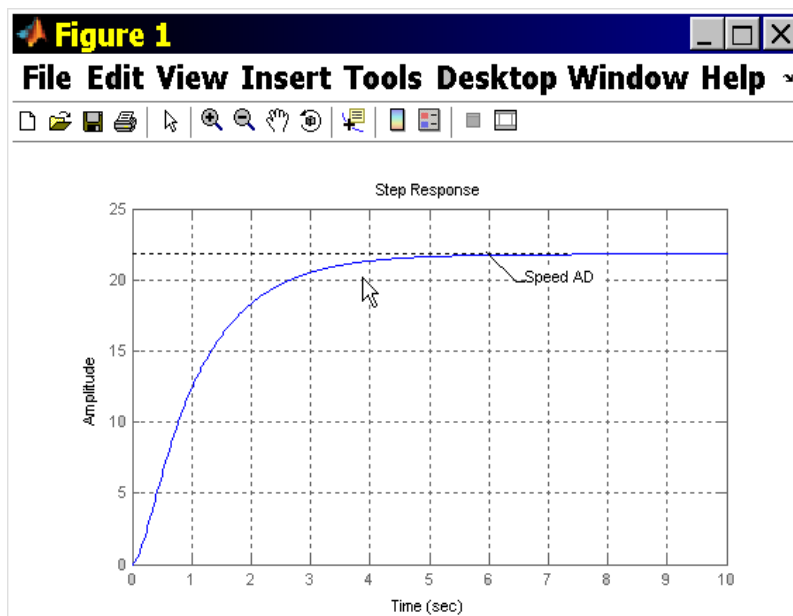


Рисунок 2.6 - Переходной процесс угловой скорости АД

2.3 Синтез параметров системы управления асинхронного электропривода

Синтез параметров спроектированной системы управления электропривода эскалатора также является необходимой задачей проектирования системы, обеспечивающая нормальную и устойчивую работу эскалатора. Наиболее эффективен синтез параметров системы управления в диалоговом режиме [9] при использовании, в настоящее время, персонального компьютера (ПК). В связи с этим если результаты решения задачи синтеза не удовлетворяют требованиям, например, устойчивости качеству переходных процессов электропривода, то решение задачи повторяется до тех пор пока данные требования будут выполнены. Программа синтеза параметров системы управления электропривода эскалатора, представленная на рисунке 7 имеет следующий вид.

Программа синтеза параметров системы управления:

```
function Sintes_ADAP_SYST
global kpr; global koc; global T1;
global T2; global s1; global s3;
clc
global s5; global s7;
```

```

n=4; h=0.01; e=0.001;
for i=1:n a(i)=1; end;
g=0;s1=0; m=2000;
for i=1:m j=1;
    while j<10 s=1;
        while s~=0
            for i=1:n
                z=a(i);
                v=mass54(a(1),a(2),a(3),a(4));
                a(i)=z-h; w=mass54(a(1),a(2),a(3),a(4));
                a(i)=z+h; u=mass54(a(1),a(2),a(3),a(4));
                t=w*(2*z+h)-4*v*z+u*(2*z-h);t=t/(w-2*v+u)/2;
                if abs(t-z)<=e s=0;end
                a(i)=t; end;
            if s==0 break;end
        end;
        j=j+1;
    end;
    s1=s1+kpr; s2=sqrt((s1/m)^2);
    s3=s3+koc; s4=sqrt((s3/m)^2);
    s5=s5+T1; s6=sqrt((s5/m)^2);
    s5=s5+T2; s8=sqrt((s7/m)^2);
    g=g+1; g=g+1;
    if g>=m break;end
end
disp(' Результаты счета ');
disp('kpr='); disp(kpr);
disp('koc='); disp(koc);
disp('T1='); disp(T1);
disp('T2='); disp(T2);
x0=[0;0;0;0];
[T, X]=ode45(@urav1, [0 5],x0);
plot(T, X(:,1)*5,'r.-',T, X(:,2),'b.-')
grid
function dx=urav1(t,x)
global kpr
global koc
global T1
global T2
dx=zeros(4,1);
if t<=3 Mn=20; else Mn=60;end
dx(1)=0.2*x(2)-Mn;
dx(2)=500*x(3)-500*x(1)-20*x(2);
dx(3)=1000*kpr*x(4)-1000*x(3);
dx(4)=(1/T2)*5-((koc*T1)/T2)*cos(x(1))-...

```

$$(koc/T2)*sign(sin(x(1)))- (1/T2)*x(4);$$

```
function q=mass54(x1,x2,x3,x4)
```

```
global kpr
```

```
global koc
```

```
global T1
```

```
global T2
```

```
kpr=rand*20; koc=rand*0.05;
```

```
T1=rand*0.01; T2=rand;
```

```
b=25; Tm=0.2; Ta=0.05; Tp=0.001;
```

```
q=(1/(b*Tm)*x2)*2*x1+((b/Ta)*x3-(b/Ta)*x1-(1/Ta)*x2)*2*x2+((kpr/Tp)*x4-  
(1/Tp)*x3)*2*x3+...
```

```
((1/T2)*10-((koc*T1)/T2)*cos(x1)-(koc/T2)*sign(sin(x1))-(1/T2)*x4)*2*x4;
```

Программа вычисления параметров системы управления, обеспечивающих устойчивость системы и качественные переходные процессы скорости и момента асинхронного двигателя эскалатора, заключается в следующем:

1. Вводятся исходные данные для метода поиска экстремума функции многих переменных (полная производная функции Ляпунова – с 9-ой по 12 – ую строки подпрограммы) с параметрами системы управления заданные случайными числами и рассчитанными параметрами двигателя, Поиск экстремума функции многих переменных осуществляется методом [8].

2. Расчет переходных процессов скорости и момента асинхронного двигателя осуществляется общеизвестным методом Рунге – Кутты.

3. Решение задачи синтеза параметров системы управления считается законченным, если переходные процессы скорости и момента двигателя, удовлетворяют требованиям ,предъявляемые к системе управления.

График переходных процессов скорости и момента двигателя представлен на рисунке 2.8.

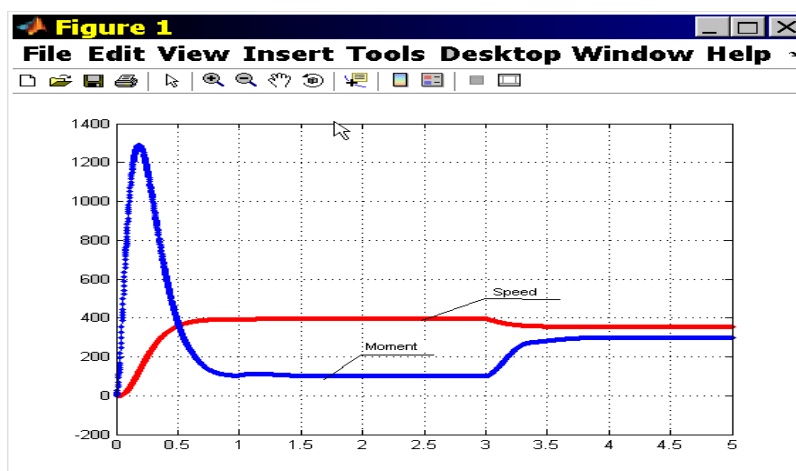


Рисунок 2.8 - График переходных процессов скорости и момента двигателя

На рисунке 2.8 представлены переходные процессы скорости и момента двигателя, которые при набросе нагрузки на двигатель, которые удовлетворяют качественные характеристики переходных процесса. Результаты счета программы (рисунок 2.7) показаны на рисунке 2.9.

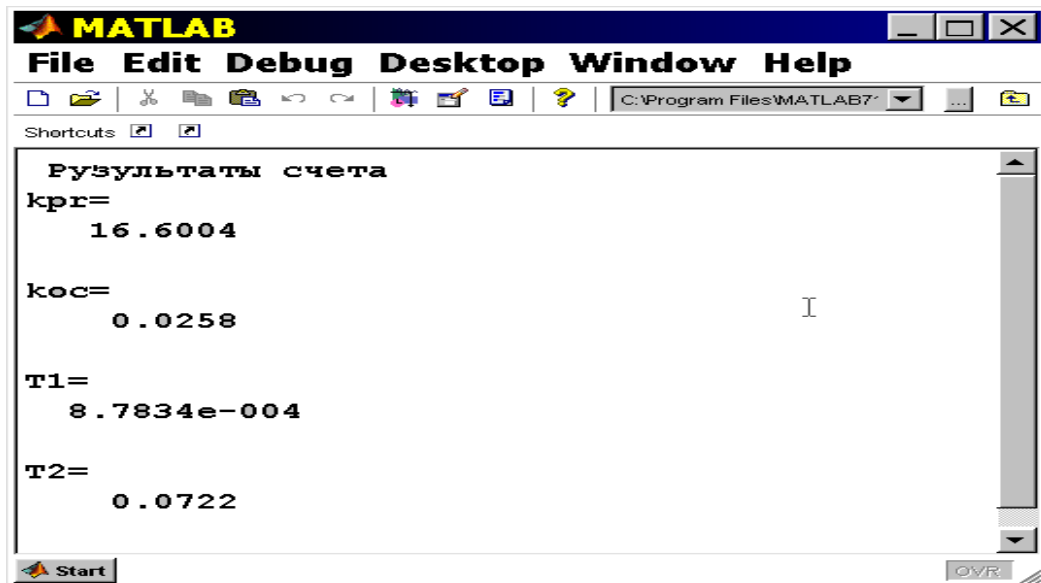


Рисунок 2.9 - Результаты счета программы

2.4 Виртуальная модель асинхронного электропривода эскалатора

Виртуальная модель асинхронного двигателя с нелинейным регулятором скорости показана на рисунке 2.10.

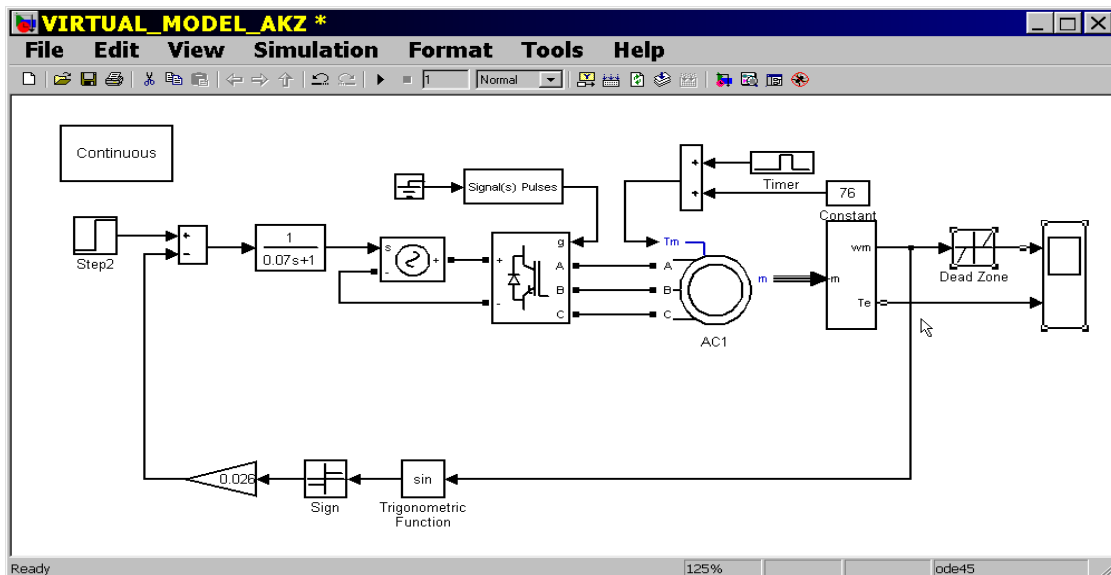


Рисунок 2.10. Виртуальная модель асинхронного электропривода

Из рисунка 10 видно, что модель содержит асинхронный двигатель, трехфазный инвертор, блок управления инвертора, управляемый источник

напряжения и регулятор скорости, на вход которого подается разность напряжения с задающего источника напряжения и напряжения с датчика обратной связи по скорости. Для моделирования виртуальной модели выбран двигатель AKZ 20 HP (15 kW) из библиотеки Sim Power System Matlab. Следует же отметить, что регулятор скорости двигателя представлен на рисунке 10 как инерционное звено, так как постоянная времени T_2 (рисунок 9) имеет весьма малую и численную величину.

Переходные процессы скорости и момента асинхронного двигателя показаны на рисунке 2.11.

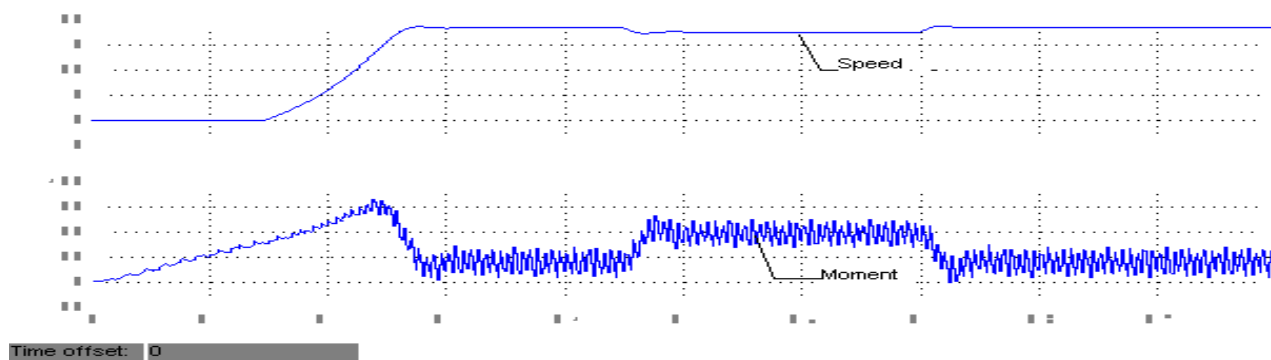


Рисунок 2.11 Переходные процессы скорости и момента AKZ

Из рисунка 2.11 видно, что при набросе и сбросе нагрузки на двигатель угловая скорость двигателя имеет незначительные отклонения от установившегося значения скорости.

3. Безопасность жизнедеятельности

3.1 Анализ эксплуатации пассажирского эскалатора в торговых центрах

В данной дипломной главе описана эксплуатация пассажирского эскалатора, а именно предназначенного для перевозки пассажиров в ТРЦ.

В современном мире эскалаторы используются в каждом крупном бизнес центре или же торговых центрах, поэтому необходим расчет эффективности и безопасности эксплуатации. Оценка качества работы эскалаторной службы напрямую зависит от количества произошедших отказов и времени их устранения. Так же если сделать неверную оценку фактической производительности и пассажирских нагрузок эскалатора это грозит: перегрузкой транспортного узла, заторами и давкой у входной площадки, так же понижает порог безопасности пассажиров и влияет на его стоимость и затраты энергии при эксплуатации.

Рассмотрим стандартную эскалаторную ступень, которая имеет номинальную ширину 1 м, глубину 0.4 м и предназначена для транспортирования двух пассажиров. При этом, если все ступени заполнены,

на одном метре лестничного полотна способны разместиться 5 пассажиров, а производительность эскалатора в теории за интервал времени t (с) при скорости V (м/с) равна $\Pi_T = 5Vt$, (1), т.е. 5 чел/с, 300 чел/мин и 18000 чел/час соответственно при $V = 1$ м/с.

Но это всего лишь теоретическая производительность, показатель недостижимый на практике. Потому что даже при самом напряженном пассажиропотоке лестничное полотно никогда не бывает заполнено полностью. Препятствуют самые обычные человеческие факторы: одни пассажиры не успевают зайти на уходящую из-под ног ступень, другие не хотят тесниться, упираясь в спину стоящего впереди пассажира, и специально пропускают одну-другую ступень.

«Правила устройства и безопасной эксплуатации эскалаторов ПБ 10-77-94» содержат эмпирические зависимости для определения фактической производительности и пассажирских нагрузок.

Максимальная фактическая производительность эскалатора (при скорости V м/с):

- часовая

$$\Pi_{\phi}^{\text{час}} = 8800(2.1-V)VB, \text{ чел/час};$$

- минутная

$$\Pi_{\phi}^{\text{мин}} = 190(2.1-V)VB, \text{ чел/мин.}$$

Пассажирские нагрузки на погонный метр лестничного полотна (шириной B , м):

- максимальная эксплуатационная (проверка пусковых и тормозных характеристик, расчет элементов эскалатора на прочность)

$$q_{\text{мэ}} = 2000(2.1-V)B, \text{ Н/м}; \quad (3.1)$$

- среднечасовая (расчет номинальной мощности электродвигателя) для эскалатора тоннельного:

$$q_{\text{час}}^T = 0.83 q_{\text{мэ}};$$

поэтажного:

$$q_{\text{час}}^П = 0.55 q_{\text{мэ}};$$

- эквивалентная (расчет элементов конструкции на выносливость и долговечность) для эскалатора:

-тоннельного

$$q_{\text{экв}}^T = 0.63 q_{\text{мэ}};$$

-поэтажного

$$q_{\text{экв}}^П = 0.42 q_{\text{мэ}}.$$

Нагрузки на погонный метр поручня, q_p :

-максимальная $0.01 q_{мэ}$;

-среднечасовая $0.01 q_{час}$;

-эквивалентная $0.01 q_{эkv}$;

Так или иначе - фактическая производительность эскалатора меньше теоретической и равна $Pф = φ Пт$, где $φ$ - коэффициент заполнения лестничного полотна (отношение фактического количества пассажиров на эскалаторе к теоретически возможному).

Для определения $φ$ нужно лишь подсчитать пассажиров, входящих на эскалатор или сходящих с него за единицу времени. Но на практике коэффициент $φ$ получается всегда разным.

Если рассмотреть исследования СССР, по определению производительности эскалаторов и пассажирских нагрузок начаты после пуска первых эскалаторов московского метрополитена. Была установлена зависимость наполняемости эскалатора пассажирами от скорости V

$$φ = 0.6 (2 - V), \quad (3.2)$$

его фактическая производительность $Pф$ и пассажирская нагрузка q на погонный метр длины лестничного полотна шириной 1м

$$Pф = φ 5 V t = 10800 (2 V - V^2), \text{ чел/час}; \quad (3.3)$$

$$q = 5 G φ = 195 (2 - V), \text{ кгс/м}, \quad (3.4)$$

где:

$G = 65$ кгс – вес пассажира.

Дальше была выведена новая зависимость для определения максимального коэффициента заполнения $φ$ с учетом высоты подъема эскалатора H .

$$φ_{max} = (2.25 - V^2)^{1/2} - 0.28H^{0.225 - 0.1V}, \quad (3.5)$$

и установлена взаимосвязь между минутным $φ_{1.0}$, пятнадцатиминутным $φ_{15}$ и часовым $φ_{час}$ коэффициентами заполнения:

$$φ_{15} = φ_{1.0} (1 - 0.087 V); \quad (3.6)$$

$$φ_{час} = φ_{1.0} (1 - 0.087 V) / 1.2, \quad (3.7)$$

и на основании диаграммы среднесуточной нагрузки определил эквивалентную загрузку лестничного полотна в течение суток.

Из приведенных в таблицах 3.1 и 3.2 результатов хорошо видно, – что фактическая производительность эскалатора существенно ниже теоретической. Она возрастает с увеличением скорости лестничного полотна, но при $V > 0.8$ м/с этот рост замедляется, объясняя одну из главных причин ограничения скорости зарубежных эскалаторов: по нормам EN-115 скорость лестничного полотна должна быть не более 0.75 м/с.

Таблица 3.1 - Значения коэффициентов заполнения полотна φ и соответствующая им производительность эскалатора Π_{φ} по данным И.Н. Поминова (НИР⁵)

V, м/с	Интервал времени			
	минута		час	
	φ (МИН)	Π_{φ} (МИН), чел/мин	φ (ЧАС)	Π_{φ} (ЧАС), чел/час
0.5	0.95	141	0.76	6840
0.6	0.92	165	0.73	7920
0.7	0.88	186	0.69	8640
0.8	0.83	198	0.64	9180
0.9	0.76	207	0.58	9360
0.95	0.73	207	0.56	9540
1.0	0.69	207	0.53	9540
1.05	0.64	204	0.48	9000

Таблица 3.2 - Изменение φ (ЧАС) в течение суток (при V = 1.0 м/с)

Время суток	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13
φ (ЧАС)	0.16	0.43	0.46	0.29	0.27	0.25	0.27
Время суток	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
φ (ЧАС)	0.28	0.31	0.34	0.41	0.53	0.51	0.29
Время суток	20-21	21-22	22-23	23-24	24-1		
φ (ЧАС)	0.20	0.16	0.11	0.05	0.02		

Примечание: для других скоростей данные таблиц должны быть умножены на соотношение $\varphi(V) / \varphi(1.0)$, где $\varphi(V)$ - часовой коэффициент заполнения лестничного полотна при скорости V.

Для глубоких метрополитенов, где скорость лестничного полотна эскалаторов достигает 0.95 м/с, учет зависимости пассажирской нагрузки от скорости всегда был актуален. Именно поэтому формула 3.4, преобразованная к виду:

$$q_3 = 195 A B (2 - V) / T, \text{ кгс/м}, \quad (3.8)$$

где A, B и T – глубина, ширина и шаг ступеней, м.

После уточнения коэффициента заполнения φ по формуле 3.5 и фактической производительности эскалатора вполне логичным представлялось и предложенное в НИР⁵ уточнение пассажирской нагрузки:

$$q = 5 * 680 \{ (2.25 - V^2)^{1/2} - 0.28N^{(0.225 - 0.1V)} \}, \text{ Н/м} \quad (3.9)$$

где 680 Н – средний вес пассажиров (вместо 65 кгс в формулах 3.4 и 3.5).

Нормы распределения среднего веса населения по данным НИИ антропологии (без учета одежды) представлены на рисунке 3.1

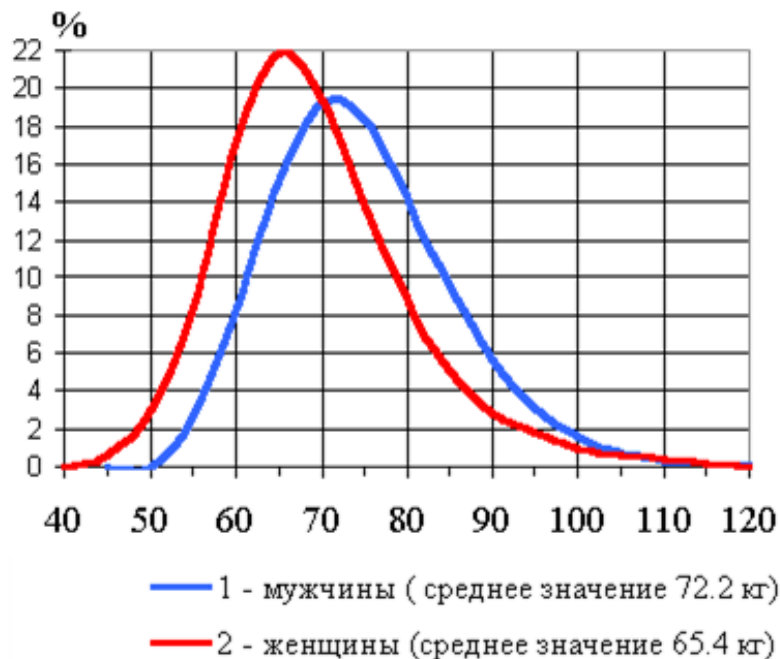


Рисунок 3.1 – Нормы распределения среднего веса населения по данным НИИ антропологии (без учета одежды)

Нагрузки максимального уровня (максимальные эксплуатационные) зарегистрированы на эскалаторах разных высот подъема, соответствуют предельным пассажиропотокам и описываются зависимостью:

$$q_{мэ} = 2000 (2.1 - V), \text{ Н / м } , \quad (3.10)$$

фактически повторяющей формулу 3.8 с небольшим превышением. Чаще нагрузки такого уровня фиксировались на эскалаторах небольших высот подъема. Кратковременная нагрузка $q_{мэ}$, возникновение которой при определенных условиях возможно на любом эскалаторе независимо от места установки, принята в качестве нормативной для расчетов механизмов и узлов эскалатора на прочность.

По наибольшему зарегистрированному уровню среднеквадратичных нагрузок за интервал времени 60 мин, (среднечасовые) определена нормативная нагрузка для выбора номинальной мощности двигателя эскалаторов метрополитенов и транспортных узлов (индекс т):

$$q_{\text{част}} = 0.825q_{мэ} \quad (3.11)$$

Эскалаторы в универмагах, административных зданиях и т.д. загружены значительно меньше, чем в метрополитене. Специальных исследований на таких эскалаторах не проводилось. Среднечасовая нагрузка для таких эскалаторов (поэтажных–индекс п) определена по нижней границе
 - для эскалаторов зданий и сооружений:

$$q_{\text{ЭКВ}}^{\text{П}} = 0.418 q_{\text{МЭ}} . \quad (3.12)$$

В диапазоне $\varphi < (0.45-0.6)$ нагрузка q_{max} возрастает с увеличением φ практически линейно:

$$q_{\text{max}} = 480 \varphi - 20 , \quad (3.13)$$

но при $\varphi > (0.45-0.6)$ ее рост прекращается и во многих случаях, начиная со значений $\varphi > (0.6-0.65)$ происходит уменьшение величины q_{max}

Во всех приведенных случаях при $\varphi > (0.45-0.6)$ наблюдалось снижение наибольшего зарегистрированного среднего веса пассажиров $G_{\text{ср}}^{\text{max}}$ (цветные линии на рисунке 3.4), прямые линии очерчивают границы $G_{\text{ср}}^{\text{max}}$:

- черная для скоростей 0.9...0.95 м/с на участке $0.55 < \varphi < 0.8$ близка к прямой:

$$G_{\text{ср}}^{\text{max}} = 140 (1.15 - \varphi) , \quad (3.14)$$

- коричневая для скоростей 0.72-0.75 м/с на участке $0.6 < \varphi < 0.8$ также может быть представлена прямой:

$$G_{\text{ср}}^{\text{max}} = 150 (1.20 - \varphi) . \quad (3.15)$$

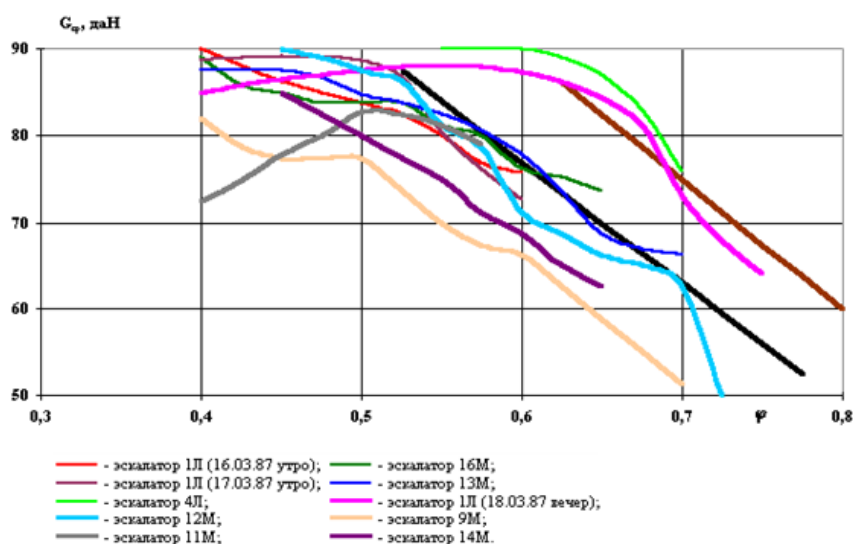


Рисунок 3.2 – Зависимость максимального значения среднего веса пассажиров $G_{\text{ср}}$ от коэффициента заполнения лестничного полотна φ

Приведенные данные свидетельствуют о том, что при заполнении эскалатора более чем на 60% средний вес пассажиров и коэффициент заполнения φ перестают быть независимыми величинами: высокие значения φ могут быть реализованы только в случае, когда на эскалаторе находятся "малогобаритные" пассажиры, т.е. пассажиры с малым средним весом. Вот почему формула 3.9, основанная на скрупулезно выверенной зависимости 5 для коэффициента φ_{\max} , дает ошибочные результаты при расчете пассажирских нагрузок.

После подстановки $G_{\text{ср}}^{\max}$ из 3.16 и 3.17 в формулу для определения распределенной пассажирской нагрузки $q = 5 G \varphi$, получены приближенные зависимости для определения q_{\max} :

$$q_{\max} = 700 (1.15 - \varphi) \varphi; \quad (3.16)$$

$$q_{\max} = 750 (1.20 - \varphi) \varphi. \quad (3.17)$$

графики которых показывают, что максимальные нагрузки реализуются не при наибольших значениях коэффициента φ , как предполагалось ранее, а при его промежуточных значениях в зависимости от скорости. Для скорости 0.5 м/с аналогичную зависимость предположительно можно представить формулой $q_{\max} = 800 (1.24 - \varphi) \varphi$.

Графики зависимостей, определяющих взаимосвязь между максимальной нагрузкой на лестничном полотне q_{\max} и коэффициентом φ представлены на рисунке 3.3.

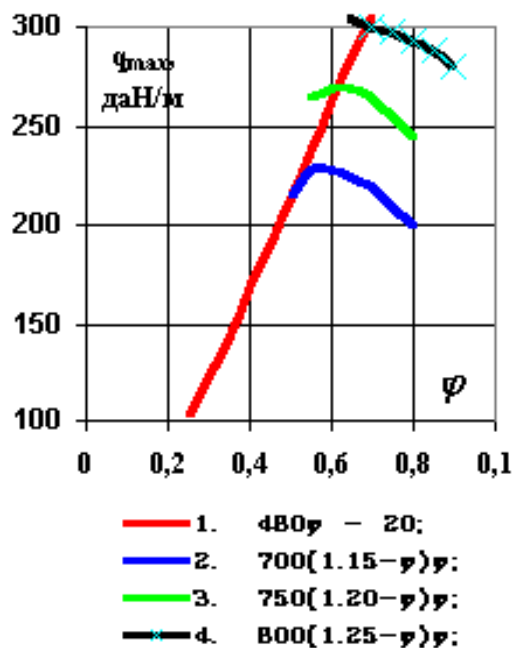


Рисунок 3.3 - Графики зависимостей, определяющих взаимосвязь между максимальной нагрузкой на лестничном полотне q_{\max} и коэффициентом φ

Результаты исследований позволили не совсем обычным способом (без подсчета пассажиров) определить производительность эскалатора:

$$П = q V t / G_{cp}. \quad (3.18)$$

Для расчета часовой производительности, нагрузка q определена по ф.11, а средний вес принят равным 67.6-76 кг – по асимптотам кривых графика $G_{cp}=f(n)$ (изменения среднего веса пассажиров в группах различного численного состава):

$$П_{час}^{\phi} = 3600q_{час}^T V / (67.5...76) = (7805...8795) (2.1-V)V, чел/час. \quad (3.19)$$

При определении минутной производительности нагрузка q принята равной $0.95q_{мэ}$ (наибольшая среднеквадратичная нагрузка за одну минуту измерений). Границы среднего веса в данном случае определены по графику $G_{cp} = f(n)$ методом последовательных приближений:

$$П_{мин}^{\phi} = 60 * 0.95q_{мэ} V / (G_{min}...G_{max}) = (142...190) (2.1 - V) V \text{ чел/мин.} \quad (3.20)$$

На графиках, построенных по формулы 3.21 и 3.22, нижние границы производительности соответствует максимальному среднему весу пассажиров G_{max} , верхние – минимальному G_{min} и практически совпадают с данными ВНИПТМАШ⁵, полученными на основании подсчета пассажиров. Но это означает, что и значениям коэффициентов ϕ_{max} по формуле 3.5 соответствует средний вес пассажиров G_{min} , а не 680 Н, который использовался для расчета пассажирских нагрузок в формула 3.9.

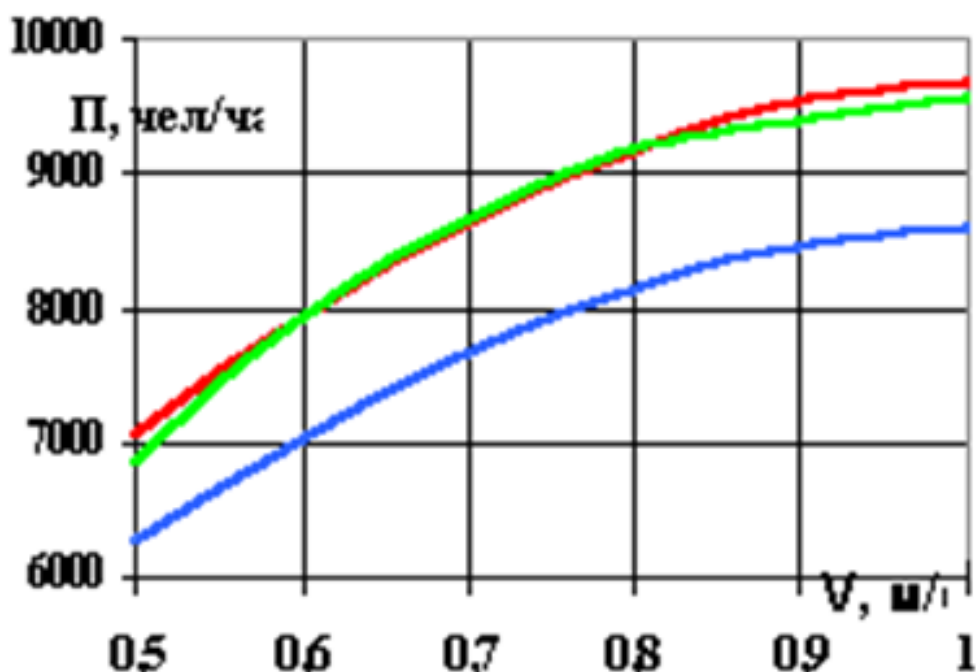


Рисунок 3.4 – Максимальная часовая производительность эскалатора

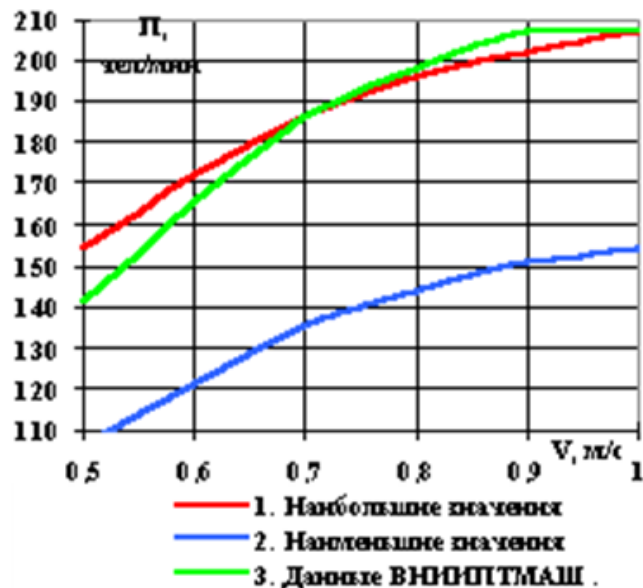


Рисунок 3.5 – максимальная минутная производительность эскалатора

Таблица 3.3 - Результаты расчета пассажирских нагрузок по формулам 3.9 и 3.10:

V, м/с	H, м	N _{теор} чел	Коэфф. φ по ф.2.5	N _{фак} чел	G _{ср} ^{min} , даН	q, даН/м	
						φ.2.9	φ.2.10
0.5	3	30	1.075	32	53.0	284.8	
	30	300	0.906	272	63.0	285.4	320.0
	65	650	0.830	540	67.0	278.0	
0.6	3	30	1.039	31	52.5	272.7	
	30	300	0.884	265	62.6	276.2	300.0
	65	650	0.817	531	66.8	272.8	
0.7	3	30	0.994	30	52.0	258.4	
	30	300	0.852	255	62.2	264.9	280.0
	65	650	0.792	515	66.6	263.7	
0.8	3	30	0.940	28	51.5	242.0	
	30	300	0.810	243	61.8	250.3	260.0
	65	650	0.756	491	66.4	251.0	
0.9	3	30	0.875	26	51.0	223.1	
	30	300	0.757	227	61.4	232.4	240.0
	65	650	0.708	460	66.2	234.3	
1.0	3	30	0.774	23	50.5	195.4	
	30	300	0.689	207	61.0	210.1	220.0
	65	650	0.646	420	66.0	213.2	

4. Экономическая часть. Оценка экономической эффективности эскалатора с режимом автоматического пуска.

4.1 Характеристика проекта

В экономической части дипломного проекта мы рассмотрим два режима работы поэтажного пассажирского эскалатора: при постоянной нагрузке и при режиме холостого хода с автоматическим пуском. Так же рассчитаем капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Экономический расчет важен в любой отрасли и эскалатор не является исключением. Наш пассажирский эскалатор будет относиться к конвейеру с нормальным режимом работы, так как некоторую часть времени он работает без нагрузки от перевозки пассажиров. В этом будет заключаться актуальность данной темы.

Цель заключается в том, чтобы сделать оценку электропотребления эскалатора для повышения энергетической эффективности при их использовании, с помощью режима холостого хода с автоматическим пуском. Для расчета мы возьмем эскалатор одной марки и одного и того же производителя и для сравнения возьмем эскалатор другой марки.

4.2 Характеристики эскалатора

Показателем экономии электроэнергии является удельный расход энергии при транспортировании одного пассажира на высоту одного метра. Для энергосбережения при работе эскалатора используют энергосберегающие режимы работы, когда во время отсутствия пассажиров лестничное полотно движется с пониженной скоростью или вообще останавливается. Эффективность энергосбережения зависит от продолжительности действия мер экономии электроэнергии для конкретного эскалатора или пассажирского конвейера.

Определим экономическую эффективность с помощью трех экономических показателей:

- Производительность машины
- Капитальные затраты
- Эксплуатационные расходы:

Для данного исследования мы возьмем ТРЦ «Dostyk Plaza» и, эскалатор, который лучше всего подходит для данного исследования, показывает большую надежность и обладает хорошими показателями экономичности.

Тип нашего эскалатора: IZA 30-1000, который имеет следующие параметры:

Производство: Россия

Номинальная скорость = 0,5 м/с

за высоту этажей (h) примем = 5м

масса (m) = 7100кг

нагрузка на опоры R1=73, R2 = 66

мощность двигателя = 8кВт

Длина (L) = 13,6м

Угол наклона = 30 градусов

Ширина ступени = 1000 мм

Пропускная способность = 9000 чел/час.

Рабочее время с 8:00 до 00:00 (14 часов рабочий день)

Энергопотребление эскалатора $E_{тр}$, без энергии потребляемой на транспортировании пассажиров = 32,5 кВт · ч / день

Количество людей: будний день = 25000, выходной = 30000

Работа в режиме ожидания пассажиров на пониженной скорости (0,2 м/с) с экономией ресурса эскалатора = 30 %.

Для начала мы произведем расчет показателей энергопотребления при транспортировании одного пассажира на высоту H в ТРЦ «Dostyk Plaza Almaty», количество людей в день взято с официального сайта. Далее мы используем формулу:

$$E_{1-1} = \frac{m_{\text{масс}} \cdot g \cdot H}{3600000} \quad (4.1)$$

где:

E_{1-1} – энергия необходимая для подъема одного человека средней массой 75 кг на высоту H.

$m_{\text{масс}}$ – средняя масса человека

H – высота подъема эскалатора

Произведем расчет:

$$E_{1-1} = \frac{75 \cdot 9,81 \cdot 5}{3600000} = 20,42 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{чел} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{м}},$$

Отсюда следует, что для транспортировки всех пассажиров необходимо 25,525 кВт · ч в будний день, и 30,525 кВт · ч в выходной. В ТРЦ расположено 8 эскалаторов для перемещения между этажами. Рассчитаем сколько эскалатор работает без нагрузки от пассажиров:

32,5кВт – 25,525кВт = 6,975 кВт будний день

32,5кВт – 30,525кВт = 1,925 кВт выходной день

6,975 · 26 + 1,925 · 4 = 267,05 кВт – работа эскалатора без нагрузки от пассажиров за 1 месяц в базовом режиме.

В режиме автоматического пуска энергопотребление меньше на 30%.

Используем это соотношение для определения экономии энергии:

$$267,05 - 30\% = 186,935 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{мес}$$

Экономия энергии будет равна 80,115 кВт · ч /мес.

Рассчитаем месячное энергопотребление в постоянном режиме:

$$32,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч/день} \cdot 30 = 975 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{мес}.$$

Так же рассчитаем энергопотребление с режимом автоматического пуска:

$$25,525 \cdot 22 + 30,525 \cdot 8 = 845,75 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{чел} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{м}}, / \text{мес.}$$

И энергопотребление от автоматического пуска 80,115 кВт·ч /мес.

Итого $845,75 + 80,115 = 925$ кВт·ч /мес.

Можно сделать вывод, что экономия электроэнергии для одного эскалатора в месяц будет равна 50 кВт·ч. Переведем это в денежную единицу - тенге. На 2020 год цена электроэнергии для юридических лиц составляет 16,87 тг/кВт·ч.

$$50 \cdot 16,87 = 843,5 \text{ тг}$$

843,5 тг мы умножаем на 8 эскалаторов. В месяц составит экономия при использовании режима автоматического пуска 6748 тг.

4.3 Определение капитальных затрат

Капитальные затраты это – затраты на приобретение основных средств, такие как: стоимость привода, затраты на монтаж, накладные расходы и прочие расходы (транспортировка, заготовительные и тд.). В данной теме капитальные затраты зависят от марки и производителя конвейера. Мы используем для примера две модели IZA 30-1000 (россия) и ATLANTER (Китай). Определим капитальные затраты по следующей формуле:

$$K_i = K_o + K_{\text{мр}} + K_{\text{тр}} \quad (4.2)$$

K_i – капитальные затраты

K_o – затраты на оборудование

$K_{\text{мр}}$ – затраты монтажные работы

$K_{\text{тр}}$ – затраты на транспортировку

Рассчитаем капитальные затраты IZA 30-1000:

Цена за доставку с Крыма до Алматы оценивается в 165тг за 1 кг. Стоимость самого эскалатора составляет 2.000.000 рублей, 1 рубль = 5.81 тг. И монтаж оборудования будет стоить 1.278.200тг. Курс валют был взят 30.04.2020года.

$$K_i = 2000000 \cdot 5.81 + 1155000 + 1.278.200 = 14.053.200 \text{ тг}$$

Рассчитаем капитальные затраты на ATLANTER:

Цена за доставку из Китая 200тг за 1кг. Стоимость эскалатора равно 28000 долларов. Монтаж оборудования будет стоить 1.278.200 тг.

$$K_i = 28000 \cdot 461.13 + 1400000 + 1278200 = 15.589.840 \text{ тг.}$$

Разница между двумя видами составляет 1.536.640тг. Отсюда можем сделать вывод, что китайский эскалатор по капитальной стоимости выходит дороже только по цене доставки. Что ставит российский эскалатор в приоритет и рекомендуется к установке.

4.4 Определение эксплуатационных расходов

В эксплуатационные расходы входит стоимость потребляемой электроэнергии, ремонт и расходы на обслуживание.

$$I_э = I_{э.э.} + I_{рем.} + I_{обсл.} \quad (4.3)$$

$I_э$ – Эксплуатационные расходы (тг/год)

$I_{э.э.}$ – Расходы на электроэнергию (тг/год)

$I_{рем.}$ – Расходы на ремонт (тг/год)

$I_{обсл.}$ – расходы на обслуживание;

Расход электроэнергии мы уже имеем, равен он = 925 кВт · ч/мес.

Переведем на годовой расход.

$$I_{э.э.} = 11100 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год},$$

$$I_{э.э.} = 187257 \text{ тг/год.}$$

Ремонт эскалатора обычно длится 1-2 месяца. Капитальный ремонт рекомендуется выполнять через определенное количество пройденных тысяч километров. Затраты на капитальный и текущий ремонт производятся с учетом того, что они составляют до 10% от капитальных затрат.

$$14.053.200 \text{ тг} - 90\% = 1.405.320 \text{ тг.}$$

4.5 Расчет расходов на обслуживание

Учет расходов по обслуживанию и управлению производством должен обеспечить определение сумм фактических расходов, выявление в текущем порядке отклонений (экономия или перерасход) от утвержденных смет расходов с тем, чтобы можно было своевременно принять необходимые меры к предотвращению перерасходов. Для предупреждения перерасходов по сметам на содержание и эксплуатацию оборудования, цеховых и общезаводских расходов организуется оперативный текущий контроль на основе лимитных карт по расходу материалов, штатных расписаний и др. На ремонт основных средств могут открываться годовые заказы. Затраты по мелким ремонтам производственного оборудования, транспортных и прочих основных средств, по текущему обслуживанию, надзору, плановым осмотрам

ежемесячно относятся (независимо от окончания ремонта) на расходы по обслуживанию производства и управлению.

Они включают в себя основную и дополнительную затрату обслуживающего персонала. Эту составляющую определять не целесообразно, т. к. количество обслуживающего персонала и его профессиональный уровень не изменяется. Соответственно, нет необходимости определять и единый социальный налог и отчисления на страхование от несчастных случаев.

Тогда общие эксплуатационные расходы будут равны:

$$И_3 = 187257 \text{ тг} + 1.405.320 \text{ тг} = 1.592.577. \text{ тг/год.}$$

4.6 Расчет приведенных затрат

Основной характеристикой сравнительной эконом. эффективности является минимальный уровень приведенных затрат. Приведенные затраты — экономическая категория, отражающая величину полных затрат общественного труда (текущих и единовременных) на производство продукции. Численно приведенные затраты равны сумме полных текущих производственных затрат и капитальных вложений. Используются в планировании при выборе вариантов капитальных вложений, при определении уровня цен на новую технику, на размещение производства и т.д. Выбирается проект, обладающий наивысшей целесообразностью, т. е. наиболее оптимальным сочетанием операционных издержек и кап. затрат. При этом показатели издержек и вложенных средств могут различаться у проектов достаточно существенно. В данном случае следует сопоставить капвложения с экономией на расходах и сравнить итоговую величину с ее нормативным значением. По каждому из сравниваемых вариантов капитальных вложений производственные затраты определяются:

$$Z_{пр} = C + E_n \cdot K, \quad (4.4)$$

где:

$Z_{пр}$ — приведённые затраты;

C — годовые эксплуатационные расходы;

K — капитальные вложения;

E_n — нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений (равные 0,16).

В качестве примера возьмем два предыдущих эскалатора и один новый для сравнения. Для этого составим таблицу 4.1.

По полученным результатам приведенных затрат в таблице 1, мы видим что разница между самым экономически выгодным и остальными вариантами разница составляет: 399526тг и 1206660тг. Таким образом наиболее экономически эффективным пассажирским конвейером с режимом автоматического пуска является IZA 30-1000 производства Россия, так как его

затраты наименьшие по сравнению с другими конвейерами, но уступает по качеству эскалатора производства Кореи.

Таблица 4.1 - Капитальных вложений производственные затраты

	Капитальные вложения (тг/)	Эксплуатационные расходы (тг/год)	Приведенные (затраты тг/год)
Эскалатор Hyundai (Корея)	18.694.200	2.056.677	5.047.749
ATLANTER (Китай)	15.589.840	1.746.241	4.240.615
IZA 30-1000 (Россия)	14.053.200	1.592.577	3.841.089

Заключение

В данной дипломной работе был рассмотрен и разработан метод использования холостого хода поэтажного конвейера (эскалатора), предназначенный для транспортировки пассажиров высотой до 10м. Целью работы являлась разработка ползущего режима путем применения статических и динамических свойств асинхронного электропривода эскалатора, с системой преобразователь частоты - асинхронный двигатель, что значительно снижает перегрузки при транспортировке, а так же позволяет увеличить срок службы конвейера и его экономические показатели. На основе исходных данных и технических требований в результате анализа, выбрана наиболее рациональная в данном случае схема электропривода по системе ПЧ-АД. Создание программы происходило на алгоритмическом языке MatLab. И был произведен синтез параметров спроектированной системы управления, что дает нам:

- Плавный пуск и старт;

-Автоматический запуск конвейера при нахождении на нем пассажира;

Разработана математическая модель автоматизированного электропривода эскалатора по системе ПЧ-АД, в которую входят короткозамкнутый асинхронный двигатель и трёхфазный инвертор, блок управления инвертора, управляемый источник напряжения и скорости. Для моделирования выбран двигатель АКЗ 20 НР мощностью 15 кВт, из библиотеки MatLab. Результаты исследования на виртуальной модели в режиме пуска двигателя от ПЧ в среде Matlab при линейном и ступенчатом задающем воздействии доказывают адекватность разработанной математической модели.

Производится с целью уменьшения энергопотребляющих показателей и увеличению срока службы эскалатора.

В ходе модернизации пассажирского конвейера мы получили повышение энергетической эффективности в ТРЦ «Dostyk Plaza» г. Алматы. Рассмотрели несколько экономически выгодных вариантов пассажирских конвейеров, и выбрали наиболее подходящий. Ознакомились с его характеристиками, произвели расчет энергопотребления в режиме автоматического пуска, капитальные вложения и затраты. Можно сказать что по итогу исследования эскалатор IZA 30-1000 является наиболее экономически выгодным по следующим параметрам:

1) Выгода в цене транспортировки

2) Наличие режима автоматического пуска, что позволяет экономить энергопотребление

3) Эксплуатационные и приведенные затраты значительно ниже чем у других производителей.

Расчет выполнен следующим образом: для каждой из высот подъема 3, 30 и 65 м определено теоретически возможное количество пассажиров на эскалаторе $N_{теор}$; по формула 5 для разных высот подъема и скоростей движения лестничного полотна определены значения φ_{max} и соответствующим

фактическое количество пассажиров на эскалаторе $N_{\text{факт}}$; далее по графику $G_{\text{ср}} = f(n)$ определен минимальный средний вес пассажиров для группы полученного численного состава, значения которого и подставлены в формула 9 вместо 680 Н. Здесь же приведены расчетные значения максимальных эксплуатационных пассажирских нагрузок, рассчитанных по формула 10. Результаты подтверждают отсутствие зависимости величины пассажирских нагрузок от высоты подъема эскалатора и то, что нагрузки, соответствующие наибольшему значению коэффициента заполнения, не являются максимальными.

После обработки полученной информации на ЭВМ установлено, что средняя нагрузка на поручень составляет 0.85% от пассажирской нагрузки на лестничном полотне, максимальная величина 1.1%. В ПБ 10-77-94 для упрощения расчетов принята цифра 1% для всех видов нагрузок.

И последнее: зависимости для расчета фактической производительности эскалаторов с учетом максимальных коэффициентов включены в ПБ 10-77-94 и соответствуют предельным пассажиропотокам – дискомфортным для пассажиров. При проектировании транспортных узлов и определении необходимого количества эскалаторов следует ориентироваться на более низкие (на 20-30%) значения этого показателя. Попытки во время испытаний специально организовать пассажиропоток максимальной интенсивности на станциях, где пассажиры привыкли пользоваться в часы «пик» двумя эскалаторами, не привели к ожидаемому результату - после отключения одного эскалатора пассажиры не стали устраивать жесткий подпор на входе. По результатам исследований на семи эскалаторах Лондонского метрополитена¹ при скорости движения лестничного полотна 0.75 м/с их наибольшая производительность составила: 124 чел/мин или 7425 чел/час с учетом движения пассажиров и 94 чел/мин или 5630 чел/час без учета движения пассажиров. Это значительно меньше расчетных значений по формулам 3.22-3.23.

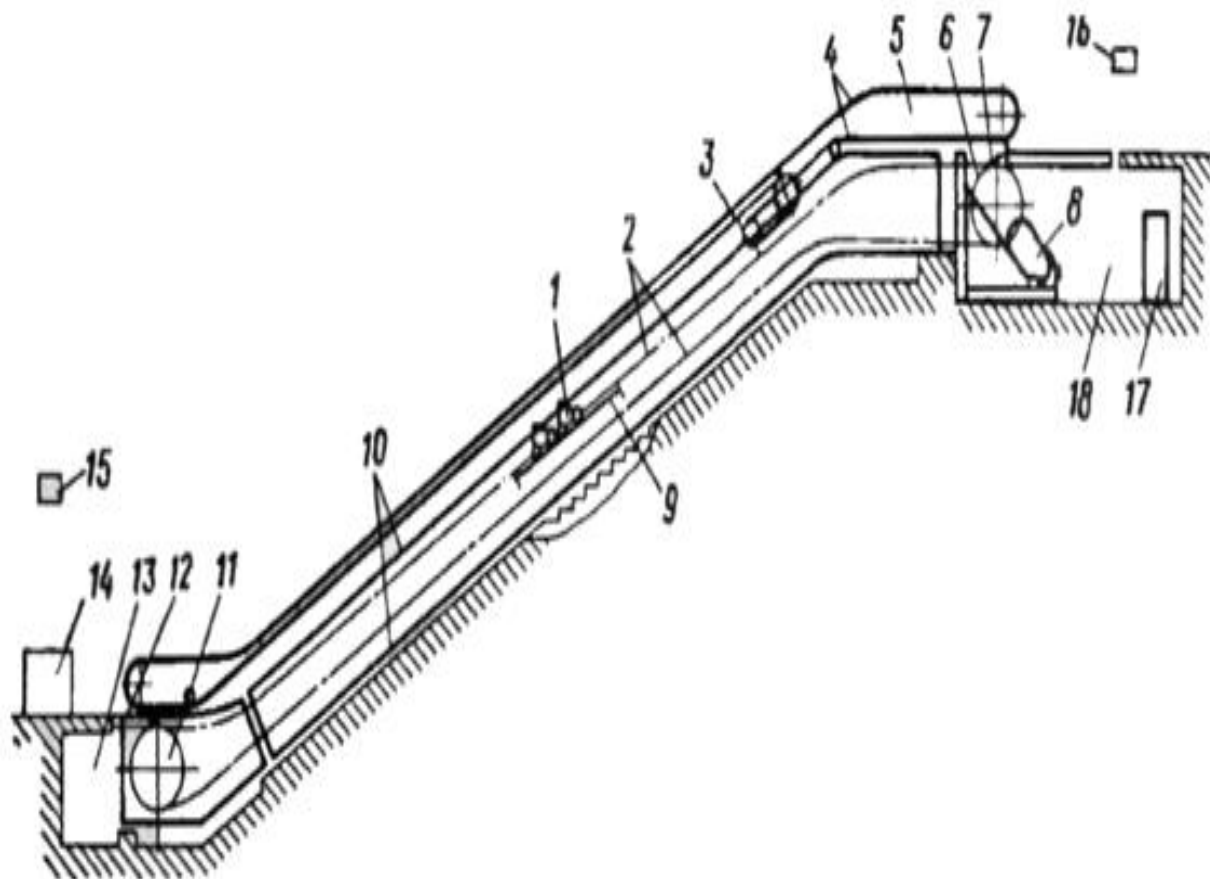
Перемещение пассажиров, наблюдаемое на всех спускных эскалаторах и на подъемных небольших высот, несколько увеличивает производительность, но снижает величину пассажирской нагрузки на лестничное полотно – каждый движущийся пассажир оставляет впереди себя несколько свободных ступеней, уменьшая тем самым общее заполнение эскалатора.

Список используемой литературы:

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб: Издательство «Профессия», 2004. – 752 с.
 2. Терехов И.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.
 3. Ануфриев И.В., Смирнов Ф.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. - СПб. БХВ-Петербург, 2005 г.
 4. Лурье Б.Я., П. Дж, Энрайт. Классические методы автоматического управления (под ред. А.А. Луннэ). – СПб.: БХВ - Петербург, 2004.
 5. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. MATLAB 7. – М.: НТ Пресс, 2006. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб: Издательство «Профессия», 2004. – 752 с.
 6. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ. – М.: Наука. Гл. ред. физ. – мат. лит., 1987.
 7. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – Л.: Энергоиздат, Ленингр. отделение, 1982
 8. Lutfi Al-Sharif. Escalator Handling Capacity, Elevator World, 12, 1996.
 9. Вольдемаров О.Н., Либин Н.Г. Современные конструкции эскалаторов за рубежом.- М., 1979.
 10. Turner F. Proceedings of the institution of civil engineers. Volum 12, January to April, 1959.
 11. Grabe W., Meyer L. Verkehr und Technik. 1970, Heft 1.
 12. НИР «Определение нормативных нагрузок на лестничное полотно эскалаторов», ВНИИПТМАШ, 1986.
 13. «Исследование режимов работы эскалаторов московского метрополитена. -М.: ВНИИПТМАШ, НИ-2153», 1966.
 15. НИР "Уточнение величины действующих нагрузок на лестничное полотно и поручень, и определение кинематических параметров эскалаторов в переходных режимах работы", СКБЭ, 1987.
 16. ГОСТ Р 56420.3-2015 (ИСО 25745-3:2015) Лифты, эскалаторы и конвейеры пассажирские. Энергетические характеристики. Расчет энергопотребления и классификация энергетической эффективности эскалаторов и пассажирских конвейеров (Переиздание)
 217. Выполнение экономических расчетов в составе дипломного проекта 2008г.
 18. Экономический анализ: теория и практика № 3 2013
 19. Теория автоматического управления. Ч. 1. Под редакцией . профессора . А.В. Нетушила . Учебник «Высшая школа», 1967.
 20. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: «Наука», 1988.
- <http://www.izamet.crimea.ua/>
<https://wiki.nashtransport.ru/>
<https://hyundaielevator.kz/>

Приложение А

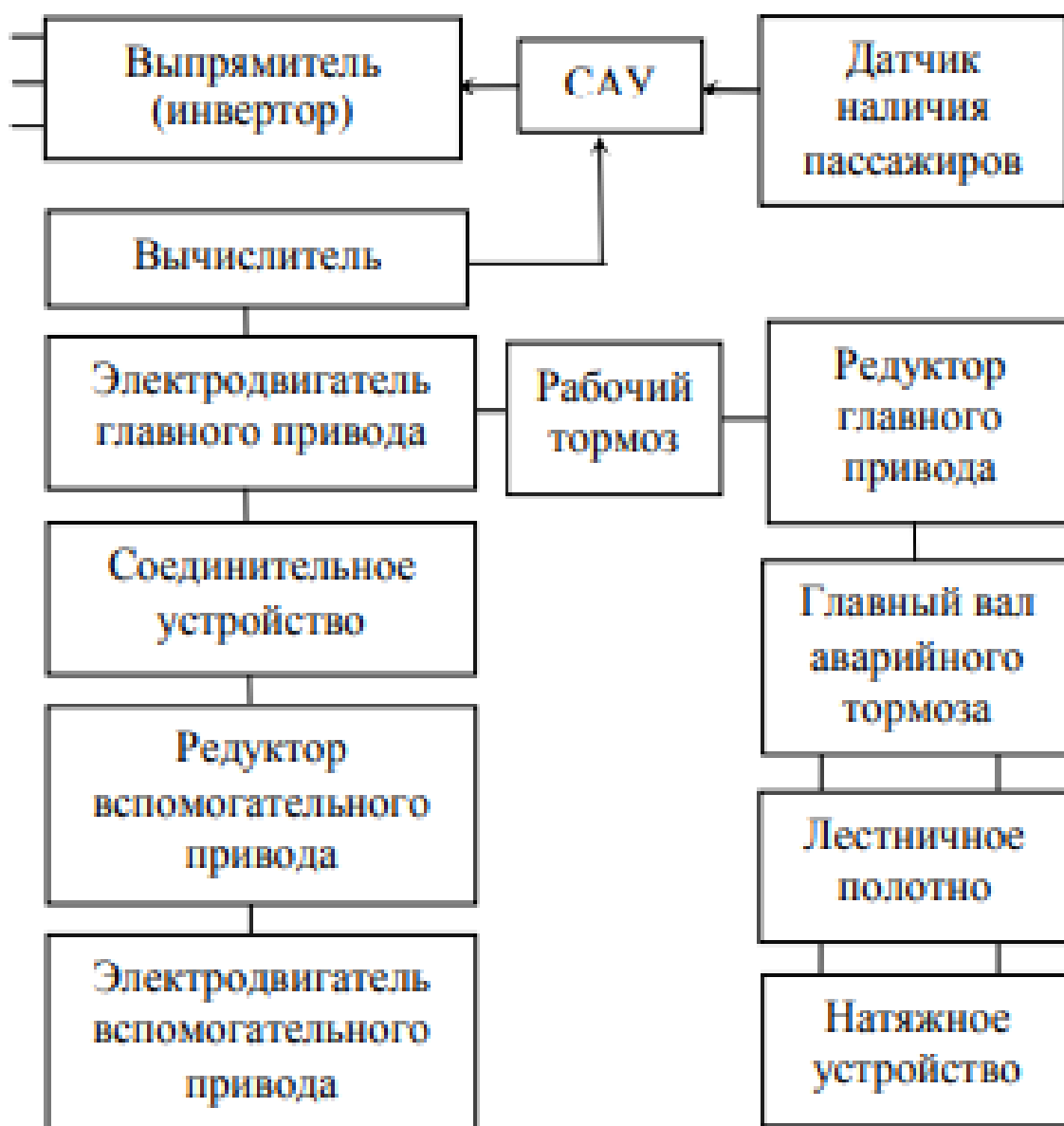
Общая схема тоннельного эскалатора



1 – ступени; 2 – тяговые цепи; 3 – привод поручня; 4 – поручень; 5 – балюстрада; 6 – тяговая звездочка; 7 – верхняя площадка; 8 - передаточный механизм и механизм привода; 9 – направляющие; 10 – металлоконструкции; 11 - натяжная звездочка; 12 – нижняя площадка; 13 – натяжная камера; 14 – кабина оператора; 15, 16 – пульты управления; 17 – шкафы управления; 18 – машинное помещение

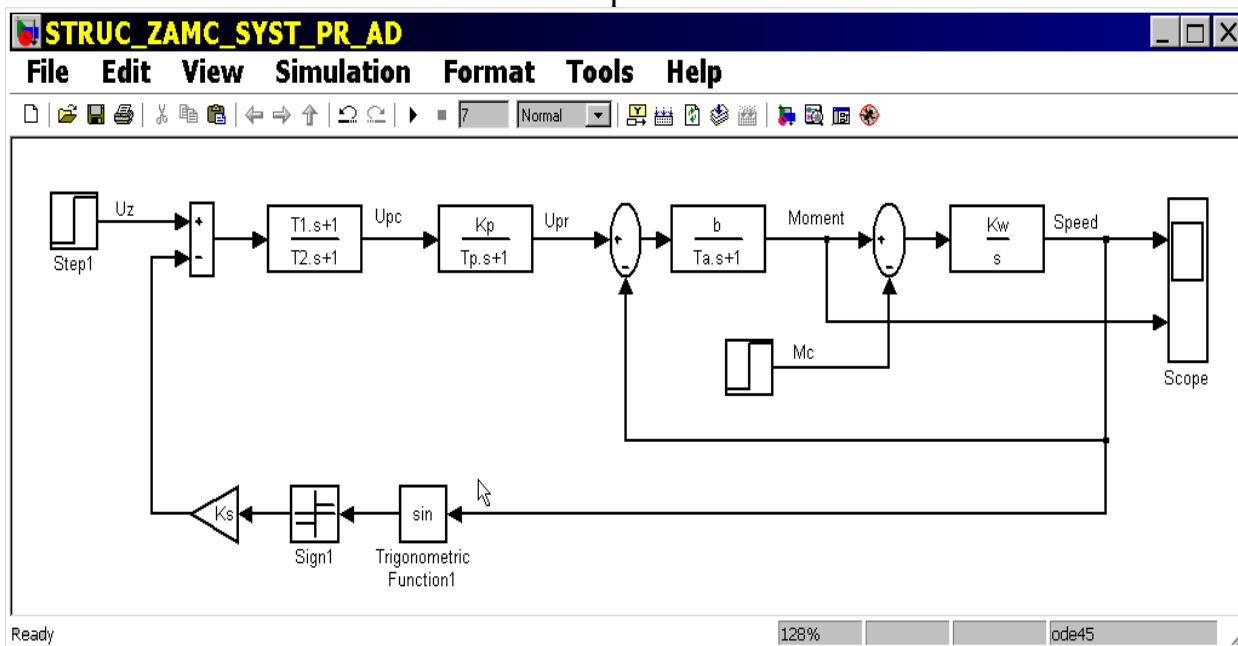
Приложение Б

Функциональная схема эскалатора с регулируемым приводом



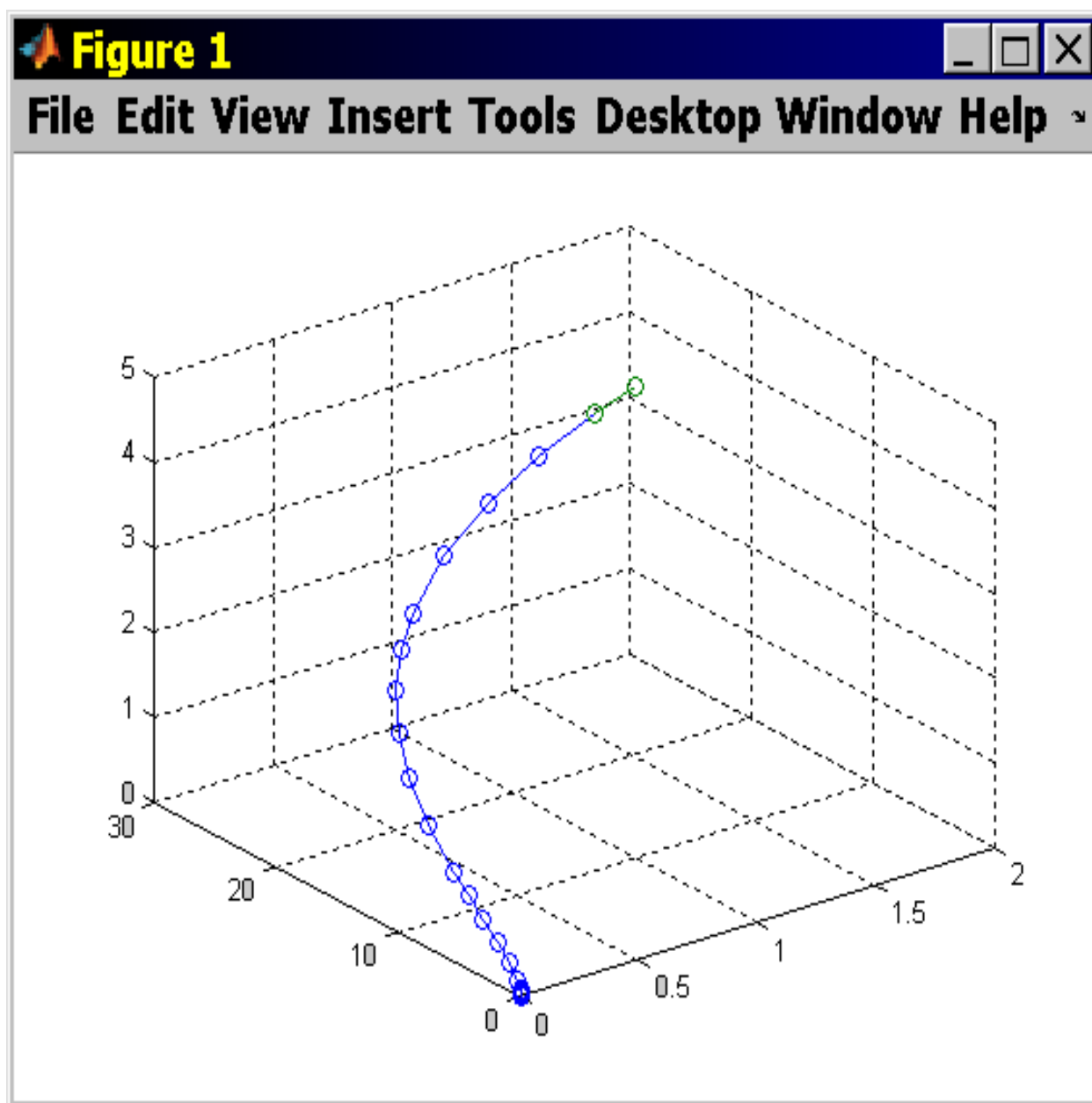
Приложение В

Структурная схема замкнутой системы ПЧ-АД по скорости



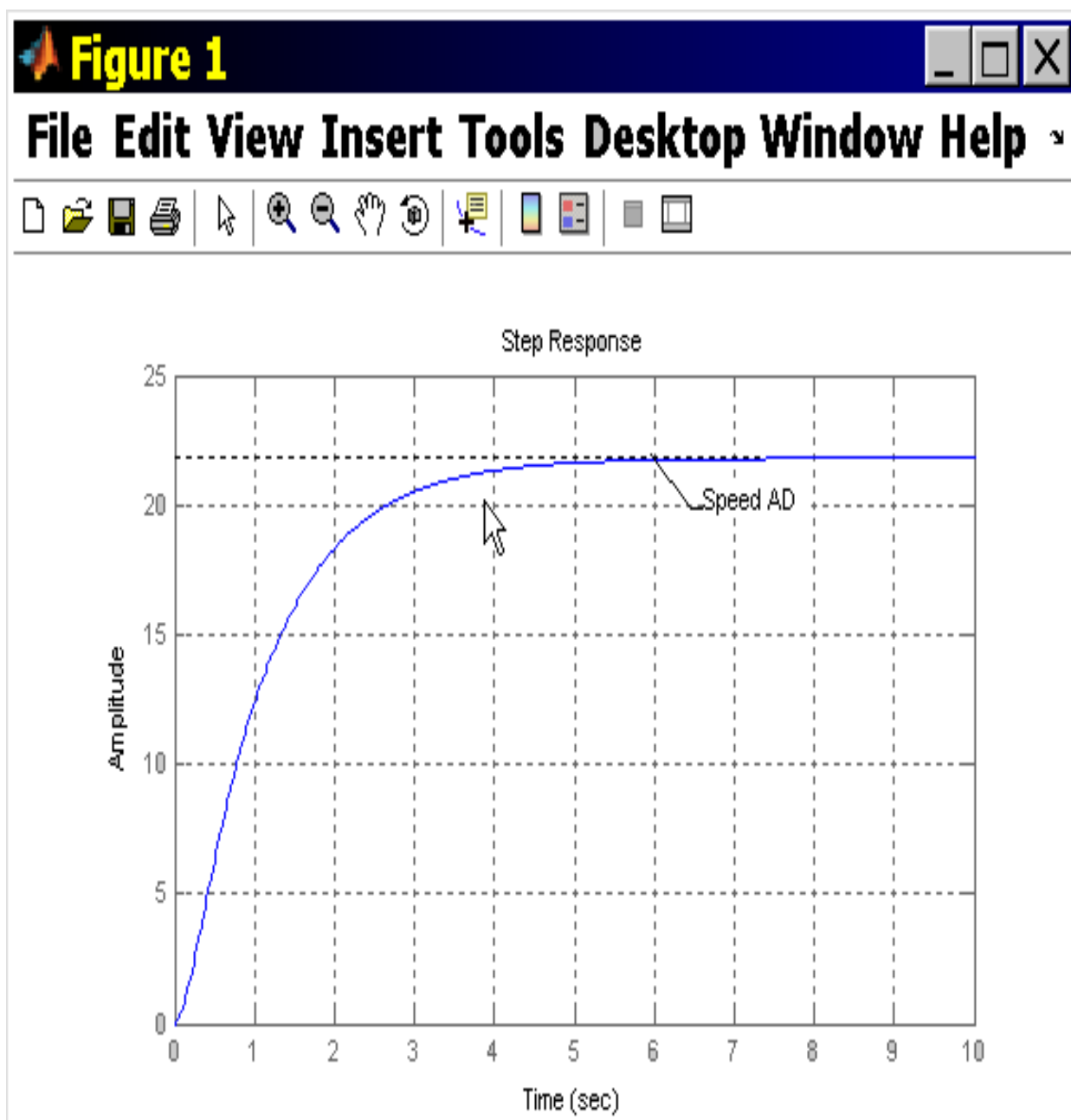
Приложение Г

Фазовая траектория замкнутой системы ПЧ – АД



Приложение Д

Переходной процесс угловой скорости АД



Приложение Е

График переходных процессов скорости и момента двигателя

