

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН**

Некоммерческое акционерное общество

**АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
имени Г. ДАУКЕЕВА**

кафедра Электрических машин и электропривода

**«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой
к.т.н., профессор Оржанова Ж.К.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)
_____ « ____ » _____ 2020 г.
(подпись)**

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: Автоматизированный электропривод подвешенного конвейера

Специальность 5В071800 - Электроэнергетика

**Выполнил (а) Лян Артур Игоревич ЭЭ(ЭАТ)-16-7
(Фамилия и инициалы) группа**

**Научный руководитель Алдибеков Исабай Танирбергеневич, д.т.н., профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)**

Консультанты:

по технической части:

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ « ____ » _____ 20 ____ г.
(подпись)

по экономической части:

Түзелбаев Бақберген Ибадиллаевич, доктор PhD
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ « ____ » _____ 20 ____ г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Мананбаева Светлана Евгеньевна, старший преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ « ____ » _____ 20 ____ г.
(подпись)

Рецензент:

Шыныбай Жандос Сапарғалиұлы, доктор PhD
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ « ____ » _____ 20 ____ г.
(подпись)

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
имени Г. ДАУКЕЕВА

Институт: Электроэнергетики и электротехники

Специальность: 5В071800-Электроэнергетика

Кафедра: Электрических машин и электропривода

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Студент: Лян Артур Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

Тема работы: Автоматизированный электропривод подвесного конвейера

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

Срок сдачи законченной работы «28» мая 2020 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта:

Производительность конвейера $Z_{см} = 12000$ шт., продолжительность смены

$T_{см} = 8$ час, эксплуатационная продолжительность $Z_э = 1500$ шт/ч,

наибольший угол наклона пути $\beta_{min} = 30^\circ$, диаметр звездочек $D = 831.7$ мм,

масса подвески - $G_n = 7$ кГ, масса груза (поковки) $G = 10$ кГ, вес каретки $G_n = 8$ кГ, условия работы – средние.

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломной работе или краткое содержание:

1) Общие сведения о конвейерах и их электроприводах

2) Тяговый расчет конвейера и выбор электродвигателя для привода

3) Расчет параметров электродвигателя и построение естественных и искусственных механических характеристик электродвигателя

4) Выбор частотного преобразователя и дополнительного оборудования

5) Составление структурной схемы и расчет параметров основных ее элементов

6) Исследование динамических характеристик в программе Matlab

7) Безопасность жизнедеятельности

8) Экономическая часть

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- 1) Конструкция подвешенного конвейера
- 2) Схемы элементов электропривода конвейера
- 3) Схемы трассы конвейера
- 4) Т и Г – образные схемы замещения электродвигателя
- 5) Естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики
- 6) Искусственные механические и электромеханические характеристики
- 7) Схема подключения преобразователя частоты к сети
- 8) Структурная схема электропривода
- 9) Виртуальная модель электропривода в пакете Matlab и график переходных процессов
- 10) Схема зона распыления порошка

Рекомендуемая основная литература:

1. Системы автоматизированного управления электроприводом: Усеб. Пособие / Г.И.Гульков, Ю.Н. Петренко, Е.П. Раткевич, О.Л. Симоненкова; Под общ. Ред. Ю.Н. Петренко. – Мн.: Новое знание, 2004. -384 с.: ил.
2. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебн. пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
3. Шеховцев П.В. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов / М.: ФОРУМ, 2010. -352с.
4. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – М.: Издательский центр “Академия”, 2004. – 576 с.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Основной	Алдибеков И.Т.		
Безопасность жизнедеятельности	Мананбаева С.Е.		
Экономический	Тузелбаев Б.И.		

ГРАФИК
выполнения дипломной работы

№ + п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1	Сбор данных и разбор литературных источников по электроприводам конвейера	18.11.2019	
2	Тяговый расчет подвешенного конвейера и выбор электродвигателя	09.12.2019	
3	Расчет параметров Т-образной схемы замещения электродвигателя	06.01.2020	
4	Расчет естественных и искусственных механических и электромеханических характеристик электродвигателя	27.01.2020	
5	Выбор преобразователя частоты и дополнительного оборудования	14.02.2020	
6	Построение функциональной и структурной схемы электропривода и расчет параметров основных его элементов	11.03.2020	
7	Составление виртуальной модели Электропривода в программе Matlab и исследование динамических характеристик	30.03.2020	
8	Раздел безопасности жизнедеятельности	15.04.2020	
9	Экономический расчет определения Эффективности электропривода	08.05.2020	
10	Оформление дипломной работы	28.05.2020	

Дата выдачи задания « 19 » ноябрь 2019 г.

Заведующий кафедрой _____ Оржанова Ж.К. к.т.н., профессор
(подпись) (Фамилия и инициалы, ученая степень)

Руководитель _____ Алдибеков И.Т., д.т.н., профессор
(подпись) (Фамилия и инициалы, ученая степень)

Задание принял к исполнению
студент _____ Лян А.И.
(подпись) (Фамилия и инициалы, ученая степень)

Аннотация

В дипломной работе рассмотрены вопросы модернизации автоматизированного электропривода подвешенного конвейера».

В введении рассмотрены вопросы актуальности темы, поставленные цели и основные задачи к проекту.

В основной части дипломной работы приведены общие сведения о назначениях, типах и конструкциях конвейеров. Рассмотрены условия и режимы их работы и анализированы системы электроприводов, применяемых в конвейерах. Сформулированы требования, предъявляемые к электроприводам конвейеров.

В соответствии с результатами тягового расчета был выбран асинхронный двигатель типа 4А112МА8У3 по номинальной мощности и скорости. Определены параметры схемы замещения двигателя и построены его естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики и определены энергетические показатели.

Разработана силовая схема автоматизированного электропривода, выбран частотный преобразователь и определены параметры его элементов. Разработана структурная схема замкнутой системы электропривода, рассмотрены динамические модели асинхронных двигателей и преобразователей частоты и определены их передаточные функции. В пакете прикладных программ Matlab была составлена виртуальная модель электропривода и изучена динамика изменений скорости и крутящего момента в переходном режиме.

Произведен расчет количества модуля порошкового пожаротушения и рассчитана вероятность пожаров в течение определенного времени.

В экономической части произведен расчет капитальных затрат на разработку электроприводов для двухмоторных двухобмоточных конвейеров, расходы электроэнергии и экономическая эффективность.

Аңдатпа

Дипломдық жұмыста аспалы конвейердің автоматтандырылған электр жетегін модернизациялау мәселелері талқыланады.

Кіріспеде тақырыптың өзектілігі, жобаның мақсаттары мен негізгі міндеттері қарастырылған.

Дипломдық жұмыстың негізгі бөлімі конвейерлердің мақсаттары, түрлері және конструкциялары туралы жалпы ақпарат береді. Олардың жұмыс шарттары мен режимдері қарастырылады және конвейерлерде қолданылатын электр жетектерінің жүйелері талданады. Конвейерлердің электр жетектеріне қойылатын талаптар тұжырымдалған.

Тартымды есептеу нәтижелері бойынша номиналды қуат пен жылдамдық үшін 4A112MA8U3 типті асинхронды қозғалтқыш таңдалды. Қозғалтқыштың эквивалентті тізбегінің параметрлері анықталған және оның табиғи және жасанды механикалық және электромеханикалық сипаттамалары құрылып, энергетикалық көрсеткіштері анықталған.

Автоматтандырылған электр жетегінің электр тізбегі жасалынған, жиілік түрлендіргіші таңдалған және оның элементтерінің параметрлері анықталған. Тұйықталған электр жетегі жүйесінің блок-схемасы жасалынған, асинхронды қозғалтқыштар мен жиілік түрлендіргіштерінің динамикалық модельдері қарастырылған және олардың берілу функциялары анықталған. Matlab қосымшасында электр жетегінің виртуалды моделі құрастырылып, өтпелі режимдегі жылдамдық пен бұралу динамикасы зерттелді.

Ұнтақты өрт сөндіру модулінің мөлшері есептелді және белгілі бір уақытқа өрт шығу ықтималдығы есептелді.

Экономикалық бөлімде екі қозғалтқышты екі орамалы конвейерлер үшін электр жетектерін жасауға жұмсалатын күрделі шығындар, энергия шығындары және экономикалық тиімділік есептелген.

Annotation

The thesis discusses the issues of modernization of an automated electric drive of an overhead conveyor.

The introduction addresses the relevance of the topic, the goals and main objectives of the project.

The main part of the thesis provides general information about the purposes, types and designs of conveyors. The conditions and modes of their operation are considered and the systems of electric drives used in conveyors are analyzed. The requirements for electric drives of conveyors are formulated.

In accordance with the results of the traction calculation, an asynchronous motor of type 4A112MA8U3 was selected for rated power and speed. The parameters of the engine equivalent circuit are determined and its natural and artificial mechanical and electromechanical characteristics are built and the energy indicators are determined.

In accordance with the results of the traction calculation, an asynchronous motor of type 4A112MA8U3 was selected for rated power and speed. The parameters of the engine equivalent circuit are determined and its natural and artificial mechanical and electromechanical characteristics are built and the energy indicators are determined.

A power circuit of an automated electric drive is developed, a frequency converter is selected and the parameters of its elements are determined. A block diagram of a closed-loop electric drive system is developed, dynamic models of asynchronous motors and frequency converters are considered, and their transfer functions are determined. In the Matlab application package, a virtual model of the electric drive was compiled and the dynamics of changes in speed and torque in transient mode was studied.

The quantity of the powder fire extinguishing module was calculated and the probability of fires over a certain time was calculated.

In the economic part, the capital costs for the development of electric drives for twin-engine double-winding conveyors, energy costs and economic efficiency were calculated.

Содержание

	Введение.....	10
1	Общие сведения о конвейерах и их электроприводах.....	11
1.1	Назначение и классификация конвейеров.....	11
1.2	Типы подвесных конвейеров и их конструкций.....	13
1.3	Особенности режимов работы подвесных конвейеров и требования, предъявляемые к электроприводам конвейеров.....	19
1.4	Типы электроприводов, предназначенных для конвейеров. Принципы работы, достоинства и недостатки.....	20
1.5	Перспективы использования частотно-регулируемых электроприводов.....	23
2	Выбор и расчет основных силовых элементов электропривода конвейера.....	26
2.1	Исходные данные для проектирования и кинематическая схема конвейера.....	26
2.2	Выбор электродвигателя для привода конвейера и расчет его параметров и характеристик.....	29
2.3	Расчет параметров Т-образной схемы замещения электродвигателя.....	31
2.4	Расчет естественных механической и электромеханической характеристик электродвигателя.....	33
2.5	Расчет искусственных механических характеристик электродвигателя при законе $U/f = \text{const}$ частотного регулирования.....	40
2.6	Выбор преобразователя частоты. Общие положения.....	47
2.7	Описание преобразователя частоты E2-8300-S3L.....	49
2.8	Расчет энергетических показателей электродвигателя.....	54
3	Исследование системы электропривода в динамических режимах работы.....	56
3.1	Математическая модель и структурная схема асинхронного двигателя.....	56
3.2	Расчет параметров объекта управления.....	59
3.3	Структурная схема системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» и расчет ее параметров.....	60
3.4	Выбор виртуальной модели электропривода и исследование переходных процессов.....	61
4	Безопасность жизнедеятельности.....	66
4.1	Анализ пожарной опасности конвейерной ленты.....	66
4.2	Расчетная часть.....	69
4.3	Расчет количества модуля порошкового пожаротушения.....	71
5	Экономическая часть.....	74
5.1	Капитальные затраты на разработку электроприводов для двухмоторных двухобмоточных конвейеров.....	74

5.1.1	Эксплуатационные расходы.....	75
5.1.2	Амортизационные выплаты.....	75
5.1.3	Текущие расходы на ремонт и обслуживание.....	75
5.1.4	Зарплата обслуживающего персонала.....	76
5.1.5	Расчет годового фонда оплаты труда инженеров и техников.....	76
5.2	Расходы электроэнергии.....	77
5.3	Экономическая эффективность.....	78
	Заключение.....	80
	Список литературы.....	81

Введение

В нынешнем высокотехнологичном веке произошла полная электрификация всех отраслей любых хозяйств. На основе электрификации происходят автоматизация и механизация технологических и производственных процессов, что, в свою очередь, умножает и ускоряет производительность труда и совершенствует условия труда рабочего класса. Главная роль в существующей электрифицированности занимает электрический привод, являющийся одним из главных приводов транспортных механизмов, оборудования снабжения, медицинской аппаратуры, промышленности, телевизионной и космической техники и т.д.

Технологии не стоят на месте, поэтому появляются разнообразные запросы и к системам автоматизированного электропривода. Специалистами разрабатываются различные теоретические базы, основанные на математических и более совершенных методах. Все это привело к тому, что автоматизированный электропривод почти реализовался в качестве отдельной самостоятельной отрасли и в техническом, и в научном плане. Автоматизированный привод можно считать синтезом электротехники, автоматизации и управления, механики, объединивший их в себе, и на основе этого создавший собственную методологию решения задач и исследований.

В данном дипломном проекте рассматривается автоматизированный электропривод подвесного конвейера. Конвейер является немаловажным оборудованием, ведь сейчас преобладают крупные производства, требующие непрерывной и безопасной транспортировки и перемещения в ходе процесса. Разработка энергоэффективного, частотно-регулируемого электропривода для конвейеров является актуальной задачей.

Целью данной дипломной работы является обоснование выбора и проектирования частотно-регулируемого электропривода для подвесных конвейеров заданной производительности. По результатам тяговых расчетов выбран асинхронный электродвигатель соответствующей мощности, рассчитаны его параметры и построены естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики, составлены функциональные и структурные схемы замкнутой системы частотно-регулируемого электропривода и изучены переходные характеристики в пакете прикладных программ Matlab.

1 Общие сведения о конвейерах и их электроприводах

1.1 Назначение и классификация конвейеров

Конвейер (от англ. convey — продвигать) — это организация выполнения операций над объектами, при которой целый процесс влияния делится на очередность стадий с целью увеличения производительности путём одновременного независящего выполнения операций над несколькими объектами, которые проходят всевозможные стадии. Конвейером еще именуют средство продвижения объектов между стадиями при подобной организации.

Важной характеристикой работы конвейера считается её непрерывность. Это правильно и когда конвейером именуют средство для транспортировки грузов на маленькие расстояния, и когда конвейер — система поточного изготовления на основе двигающегося объекта для сборки. Данная система сделала процесс сборки трудных изделий, раньше требующий высочайшей квалификации от сборщика, в рутинный, однообразный, низкоквалифицированный труд, значительно повысив его производительность. Расстановка рабочих или автоматов на линии конвейерной сборки осуществляется с учётом технологии и очередности сборки или же обработки деталей, чтобы добиться эффективного разделения труда.

Конвейеры делятся по разным признакам. По направлению перемещения объектов конвейеры классифицируются на горизонтальные, вертикальные и наклонные. По типу груза их можно классифицировать на штучные и насыпные. Исходя из выполняемых функций есть транспортировочные и сборочные конвейеры. Также популярны напольные и подвесные конвейеры, отличные размещением самого конвейера, а также деталей; ленточные, цепные и канатные, в зависимости от тягового элемента; гравитационные, инерционные и винтовые при отсутствии тягового органа. Сравнительно грузоподъемности конструкции конвейеров гладкие, люлочные, карманные, ленточные, профилированные, скребковые, и ковшовые, пластинчатые конвейеры.

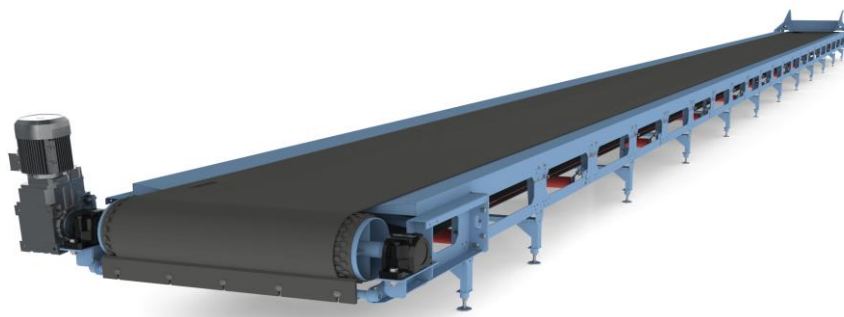


Рисунок 1.1 – Ленточный конвейер



Рисунок 1.2 – Подвесной конвейер

Устройство различных видов конвейеров:

-Винтовой (шнековый) конвейер состоит из жёлоба и размещенного в нём архимедова винта; используется для сыпучих веществ.

-Канатный конвейер состоит из жёлоба и (проволочного, кольцевого) каната, на котором закреплены металлические диски, движущие неабразивный материал (например, каменный уголь) внутри жёлоба.

-Качающийся конвейер применяется для мелких объектов, катящихся или скользящих по наклонной качающейся поверхности.

-Ковшовый конвейер грузонесущим органом конвейера являются ковши, ось подвеса которых проходит по средней точке, что позволяет им качаться; для транспортировки сыпучих материалов (угля, щебня, шлака, клинкера) ковши устанавливаются с перекрытием без промежутков, в отличие от устройств для перегрузки самотёком, по типу нории.

-Пластинчатый конвейер грузонесущим органом конвейера считаются пластинки цепной пластинчатый конвейер состоит из двух параллельных цепей, соединённых между собой пластинами, специальные пластиковые или нержавеющие цепи.

-Пневматический конвейер. Конвейер, тяга которого обеспечивается потоком воздуха, состоит из трубки и перемещаемых по ней закрытых контейнеров, плотно прилегающих к стенкам; сыпучий материал перемещается в потоке воздуха как взвесь.

-Роликовый конвейер состоит из закреплённых на каркасе роликов, отдельные ролики могут приводиться в движение, или весь каркас расположен с наклоном, как в случае с гравитационным роликовым конвейером; применяется для крупных твёрдых объектов.

-Скребокый конвейер состоит из жёлоба и перемещающих по нему сыпучий материал скребков, крепящихся обычно на кольцевой цепи; разгрузка может осуществляться как в конце конвейера, так и через отверстия в желобе.

-Тележечный конвейер применяют для перемещения собираемых и свариваемых узлов в поточных линиях. При напольном исполнении тележечного конвейера целесообразно использование платформ тележек для монтажа на них сборочно-сварочной оснастки.

-Шаговый конвейер применяется для перемещения собираемых и свариваемых узлов в поточных линиях. При напольном исполнении тележечного конвейера целесообразно использование платформ тележек для монтажа на них сборочно-сварочной оснастки.

-Ленточные конвейеры применяют для перемещения сыпучих грузов на агломерационных фабриках, в доменных цехах металлургических заводов, на тепловых станциях

1.2 Типы подвесных конвейеров и их конструкций

Подвесные конвейеры служат для перемещения разнообразных по форме, габаритным размерам и массе штучных грузов: полуфабрикатов, сборочных единиц и готовых изделий по замкнутому контуру сложной пространственной трассы со скоростью 0,1–45 м/мин. На подвесном конвейере транспортируемые грузы размещаются на подвесках или в коробах, подвешенных к кареткам или тележкам, движущимся вместе с ходовой частью по подвесному направляющему пути

Подвески загружаются и разгружаются на ходу конвейера вручную или автоматически. Во время транспортирования грузы подвергаются различным технологическим операциям (механической очистке в пескоструйных камерах, мойке и травлению в химических ваннах, окраске, сушке, термообработке, складированию, сборке и т. д.).

Подвесные конвейеры применяют в машиностроительной, химической, пищевой и других отраслях промышленности.

Подвесные конвейеры классифицируют по способу соединения тяговой цепи с подвеской, по характеру перемещения грузов:

Подвесной грузонесущий конвейер, который имеет каретки с подвесками, прикрепленные к цепи и перемещающиеся по постоянной трассе подвесных путей;

Подвесной грузотолкающий конвейер имеет неприкрепленные к тяговой цепи тележки с подвесками, которые движутся по отдельному подвесному пути при помощи толкателей, закрепленных на тяговой цепи и толкающих находящиеся перед ними тележки с грузами. Цепь с каретками и толкателями движется по тяговому подвесному пути, а тележки с грузами – по самостоятельному грузовому пути;

Подвесной несущо-толкающий конвейер представляет собой сочетание грузонесущего и толкающего конвейеров. У конвейера такого типа к тяговой цепи прикреплены каретки с крюками-толкателями, подвеска с грузом прикреплена к грузовой тележке и перемещается на одних участках трассы проталкиванием (как у толкающего конвейера), на других – в подвешенном состоянии на крюке каретки (как у грузонесущего конвейера);

Подвесной грузоведущий конвейер перемещает напольные тележки с грузом, которые передвигаются по полу склада или цеха. Тележки имеют

вертикальную ведущую штангу, взаимодействующую с толкателем каретки, которая соединена с тяговой цепью и перемещается по подвесному пути;

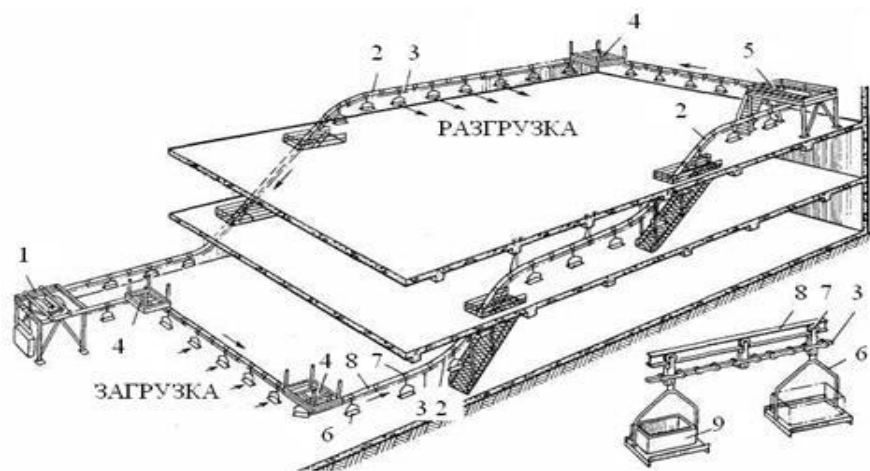
Подвесной несущо-грузоведущий конвейер перемещает напольные тележки, шарнирно прикрепленные к каретке, движущейся по подвесному пути. На одних участках трассы тележка перемещается по полу цеха или склада, на других – поднимается и транспортируется в подвешенном состоянии (с одного уровня на другой).

Конструкции всех типов подвесных конвейеров имеют много общего, используются унифицированные тяговые цепи, приводы, поворотные и натяжные устройства. Существенные отличия имеют ходовые пути, тележки и другие специфические сборочные единицы и элементы.

Подвесной грузонесущий конвейер (рисунок 1.3) состоит из тягового элемента, замкнутого по контуру трассы, с прикрепленными к нему каретками, к которым шарнирно подвешены подвески с транспортируемыми грузами.

Тяговый элемент с каретками и подвесками движется при помощи привода по замкнутому подвесному пути, подвешенному к элементам или опорным конструкциям здания. Необходимое натяжение тягового элемента обеспечивается натяжным устройством.

Основными параметрами подвесных конвейеров являются массовая производительность Q (т/ч), штучная производительность Z (шт./ч), скорость цепи v (м/с), шаг цепи $t_{ц}$ (м), грузоподъемность каретки N_r (кг). Подвесные конвейеры классифицируются: по характеру привода: одноприводные и многоприводные; по типу тягового элемента: цепные и канатные.



1 – натяжное устройство; 2 – вертикальные перегибы трассы; 3 – тяговый элемент; 4 – поворотные устройства; 5 – привод; 6 – подвески; 7 – каретки; 8 – подвесной путь; 9 – груз

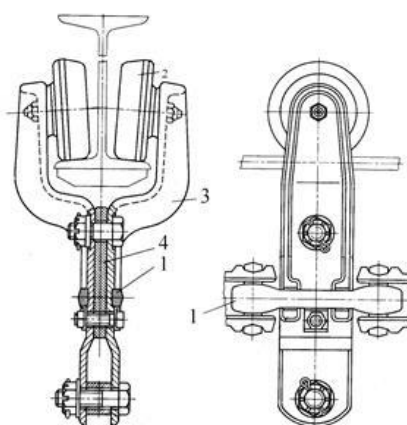
Рисунок 1.3 – Подвесной грузонесущий конвейер

Преимуществами подвесных конвейеров являются: пространственная трасса, позволяющая обслужить полный производственный цикл не только в одном помещении, но и в рядом расположенных зданиях; приспособляемость трассы к возможным изменениям технологического процесса; возможность создания на конвейере запаса изделий; малый расход энергии; возможность широкого применения автоматизации.

Тяговым элементом подвесных конвейеров, расположенных в горизонтальной плоскости служит цепь или канат; для конвейеров с пространственной трассой применяются специальные (разборные) цепи, которые обеспечивают повороты в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Грузонесущими элементами являются каретки: грузовые (одинарные и траверсные) служат для крепления подвески с грузом и перемещения их по подвесным путям; опорные (поддерживающие) устанавливаются между грузовыми и служат для поддержки цепи и уменьшения ее провеса. Конструкция каретки зависит от типа направляющих путей, по которым она перемещается. Каретка (рисунок 1.4) подвесного конвейера состоит из двух катков с консольными осями и подшипниками, кронштейнов и прокладки.

Катки кареток – безребордные; профиль обода катка зависит от профиля пути. Наиболее целесообразным исполнением каретки является конструкция катка-подшипника со сфероконическим ободом (как единый комплект), обеспечивающая высокую надежность. Кронштейны кареток должны иметь высокую прочность и жесткость при минимальной массе.



1 – цепь; 2 – катки; 3 – кронштейн; 4 – прокладки
Рисунок 1.4 – Каретка подвесного грузонесущего конвейера

Шаг кареток (рисунок 1.5) зависит от шага подвесок с грузом и необходимых радиусов вертикальных перегибов, с уменьшением шага кареток радиус уменьшается. Для конвейеров с вертикальными перегибами каретки устанавливают на расстоянии 4–10 шагов цепи, но не более 960 мм.

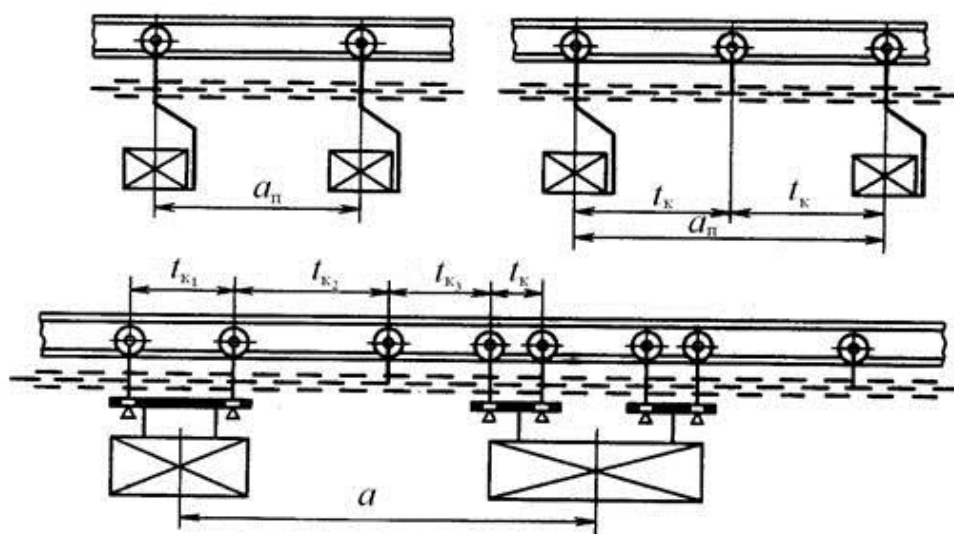


Рисунок 1.5 – Схема установки одинарных и траверсных кареток на тяговой цепи

Для конвейеров с вертикальными перегибами шаг кареток $t_{\text{к}} = (4-10) t_{\text{ц}}$, при большем шаге устанавливают вспомогательные каретки для предотвращения чрезмерного провисания цепи.

Роликовая батарея (рисунок 1.6) представляет собой ряд стационарных роликов, расположенных по дуге.

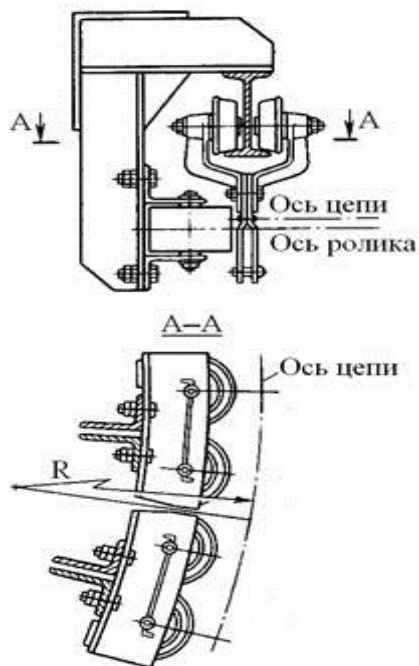


Рисунок 1.6 – Поворотное устройство подвесного конвейера на роликовой батарее

Оси роликов крепятся на неподвижном каркасе на металлоконструкции или на ходовом пути. Ролики изготавливают из серого чугуна или из стали 40, диаметр роликов 70 мм, шаг роликов 90–170 мм. Роликовые батареи используют для разборных или пластинчатых цепей.

Направляющие шины представляют собой изогнутый по радиусу участок ходового пути и используются для двухшарнирных и стержневых цепей.

Поворотные устройства устанавливаются на металлических стойках с консолями, на кронштейнах, тросах и конструкциях, подвешиваемых к перекрытию здания.

Радиус поворота пути в горизонтальной плоскости зависит от типа и размеров поворотного устройства и типа тягового элемента, радиус поворота пути на звездочке выполняют меньше радиуса ее начальной окружности. При повороте на блоках с гладкими ободами радиус поворота пути определяют с учетом расположения тягового элемента и каретки на блоке.

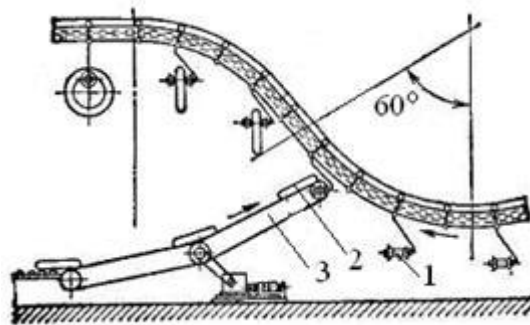
Приводы подвесных конвейеров для всех типов цепей применяют угловые со звездочкой и прямолинейные гусеничные; для каната и круглозвенной цепи используют фрикционные приводы. Угловой привод со звездочкой устанавливают в местах горизонтального поворота трассы конвейера на 90 или 180°; гусеничный привод – на горизонтальных прямолинейных участках трассы. Механизмы гусеничного привода размещают на подвижной раме, которая может перемещаться внутри неподвижной рамы подвесного пути.

Приводы подвесных конвейеров обеспечивают постоянную или переменную скорость. Плавное изменение скорости достигается за счет применения вариатора скорости, гидромотора или электродвигателя постоянного тока. Привод устанавливается в точке максимального натяжения тяговой цепи – после длинных тяжело нагруженных горизонтальных участков или больших подъемов для получения оптимальных величин тягового усилия и натяжения цепи (чтобы на участках трассы, имеющих большое количество поворотов, натяжения тягового элемента и величины сил сопротивлений были минимальными).

В многоприводном конвейере периодически устанавливают несколько приводных механизмов. В системе совместно работающих приводов все приводные механизмы конвейера должны иметь электродвигатели с одинаковыми характеристиками и одинаковое передаточное число.

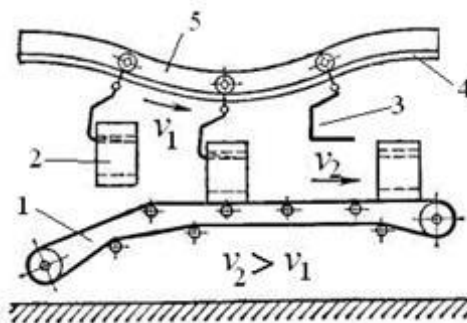
Подвески являются грузонесущими элементами подвесного конвейера. Подвески имеют разнообразные конструкции, которые зависят от свойств груза, его размеров и массы, назначения конвейера, способа загрузки и разгрузки. Подвески выполняются в виде этажерок, лотков, крюков, захватов, коробов и др. и имеют шарнирное крепление к каретке или траверсе для обеспечения вертикального положения на наклонных участках и надежного положения груза.

Подвеска должна быть прочной, экономичной, удобной для загрузки и разгрузки, надежной и безопасной для перемещения грузов на горизонтальных и наклонных участках трассы конвейера. Загрузка и разгрузка подвесок производится вручную, при помощи грузоподъемных устройств, полуавтоматически или автоматически (рисунок 1.7, 1.8).



1 – подвеска; 2 – груз; 3 – ленточный конвейер

Рисунок 1.7 – Схема полуавтоматической загрузки подвесного конвейера



1 – ленточный конвейер; 2 – груз; 3 – подвеска; 4 – цепь; 5 – подвесной путь

Рисунок 1.8 – Схема полуавтоматической разгрузки подвесного конвейера

Система автоматического адресования подвесок обеспечивает автоматическую загрузку и разгрузку в обусловленных местах.

Автоматическая разгрузка подвесок производится следующим образом: системой автоматического адресования подвеске задается пункт – адрес разгрузки; подвеска на ходу конвейера адресоносителем включает исполнительный механизм, при помощи которого подвеска или ее опорная часть освобождается от груза, или груз передается на устройство вне конвейера.

Элементами адресования (информации) являются диски, штыри, клавиши, выступы и контакты, комбинация расположения которых на адресоносителе задает определенный адрес транспортируемому грузу.

Для исключения возможности падения перемещаемых грузов на всех подъемах и спусках трассы, а также на горизонтальных участках, расположенных над проходами и проездами, устанавливаются ограждения в виде лотка, которые выполняются из стальной сетки или листовой стали, укрепляются на раме, подвешенной к ходовой части конвейера.

Случайные перегрузки привода и ходовой части конвейера контролируются установленными в приводе срезными штифтами и упорными пружинами. Для предохранения от аварии при случайном обрыве цепи на конвейере устанавливаются специальные ловители, захватывающие цепь или каретки при обрыве цепи.

Положения тележки и грузов натяжного устройства контролируются конечными выключателями, установленными на раме натяжного устройства. Исследование состояния цепи проводится вручную или автоматически. Конвейер (система подвесных конвейеров) имеет центральный пульт управления, на котором расположены пусковое и сигнальное устройства, лампы световой сигнализации, мнемосхема трассы с указанием пунктов загрузки и разгрузки конвейера.

На пульте отражается и фиксируется положение всех конечных выключателей, установленных на трассе конвейера, располагаются счетчики грузов. Современные конвейерные комплексы оснащены автоматизированной системой видеонаблюдения с устройствами электронного слежения, информация с которых оперативно передается на процессор центра управления.

1.3 Особенности режимов работы подвесных конвейеров и требования, предъявляемые к электроприводам конвейеров

Условия эксплуатации:

- продолжительный режим работы, как правило, в течение значительных промежутков времени (смены или нескольких смен) без пауз за время включения;

- относительно редкие пуски, продолжительность которых не влияет на производительность конвейера, и неизменное направление вращения двигателя;

- возможность возникновения значительных статических моментов при трогании, превосходящих иногда номинальные нагрузки ($M_{с,тр} > M_{с,н0м}$), например при пуске нагруженных конвейеров после внезапной (аварийной) остановки;

- работа двигателей конвейеров при самых различных условиях окружающей среды: на открытом воздухе, в запылённых и влажных

помещениях, при высокой и низкой температурах, в цехах с агрессивной средой.

Требования к электроприводу:

- повышенный пусковой момент ($M_{п}/M_{нои} = 1,6... 1,8$);
- плавный пуск и торможение (для предотвращения пробуксовывания ленты или раскачивания груза у ленточных и подвесных);
- небольшое регулирование скорости в диапазоне 1:2 (для изменения темпа работы у поточных линий);
- согласованное вращение электроприводов (для нескольких конвейеров).

Перечисленным требованиям в достаточной степени удовлетворяет электропривод с трехфазными асинхронными двигателями продолжительного режима работы - с короткозамкнутым и с фазным ротором. Недостатком двигателей с короткозамкнутым ротором является большой пусковой ток. Но применение двигателей с короткозамкнутым ротором удешевляет автоматизацию конвейеров. При этом предпочтительнее выбирать двигатели с повышенным пусковым моментом. Для однодвигательного привода конвейеров, скорость которых должна регулироваться, используют многоскоростные двигатели с переключением числа пар полюсов, либо применяют дополнительные механические вариаторы или регулируемые электрические и гидравлические муфты. Двигатели с фазным ротором устанавливают на конвейерах, требующих повышенного пускового момента, при многодвигательном приводе конвейеров с целью выравнивания нагрузок отдельных двигателей, а также при необходимости согласованного движения конвейеров ПТС.

1.4 Типы электроприводов, предназначенных для конвейеров. Принципы работы, достоинства и недостатки

АД с КЗ-ротором и повышенным пусковым моментом, односкоростные или многоскоростные (с переключением числа пар полюсов). Примечание — для регулирования скорости однодвигательного привода конвейера применяются дополнительные вариаторы механические или регулируемые электрические и гидравлические муфты.

АД с фазным ротором:

- на конвейерах, требующих повышенного пускового момента;
- при многодвигательном приводе конвейеров (для выравнивания нагрузок отдельных двигателей);
- при обеспечении согласованного движения конвейеров.

Многодвигательный привод применяется при большой протяженности конвейеров. Использование нескольких приводных станций позволяет избежать больших напряжений в механизмах, перегрузки участков, уменьшить габариты тягового органа и величину тяговых усилий.

При этом тяговый орган каждой приводной станции передает усилие, пропорциональное статическому сопротивлению только одного участка, а не всего конвейера.

Выбор места установки приводных станций определяется в соответствии с диаграммой изменения усилий натяжения.

Оптимальное количество приводных станций определяется техникоэкономическими расчетами.

Приводные АД с КЗ-ротором должны иметь одинаковые параметры, у АД с фазным ротором характеристики в соответствие можно привести введением дополнительных сопротивлений в цепь их роторов.

Электропривод синхронного вращения.

Есть механизмы, привод которых состоит из одинаковых двигателей (два и более), требующих вращения с равными скоростями. Примерами могут быть механизмы башенных кранов, створов разводных мостов, ворот шлюзов, конвейеров, где требуется согласованное вращение электродвигателей, а соединение их механическим валом невозможно. В этом случае применяется электрическая связь между роторами асинхронных (АД) или синхронных (СД) двигателей, называемая электрическим валом.

Существует несколько специальных схем, реализованных по принципу «электрического вала».

В состав схемы входят два главных двигателя (ГД1, ГД2), приводящие в движение, соответственно, «механизм 1» и «механизм 2». Они имеют одинаковые характеристики.

На каждом валу «ГД1» и «ГД2» смонтированы вспомогательные асинхронные двигатели «АД1» и «АД2», фазные роторы которых соединены электрически. Мощность вспомогательных электродвигателей значительно меньше мощности главных.

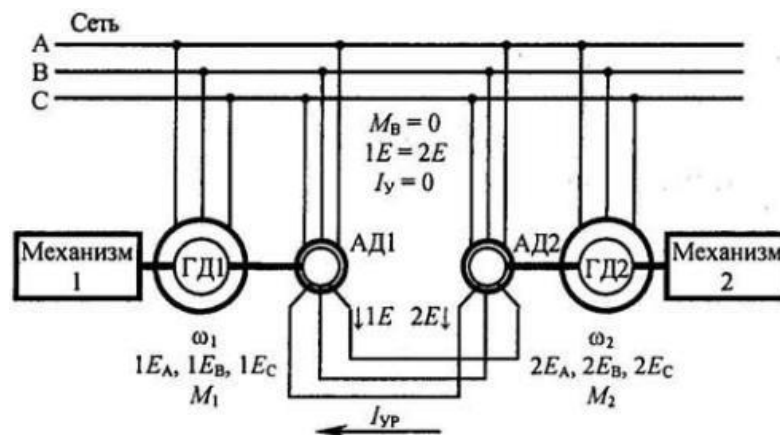


Рисунок 1.9 – Схема «электрического вала» с вспомогательным АД

Обмотки статоров ГД включены в сеть с прямым чередованием фаз, а вспомогательных — с обратным. При не равенстве нагрузок на механизмы,

различаются скорости вращения роторов ω_1 и ω_2 , возникает ЭДС, под действием которой появляются уравнительные токи, создающие моменты M_1 , M_2 , которые будут противодействовать вызвавшей из причине (закон Ленца) до тех пор, пока ω_1 и ω_2 не уравниются.

Достоинства: большая эффективность и жесткая механическая характеристика.

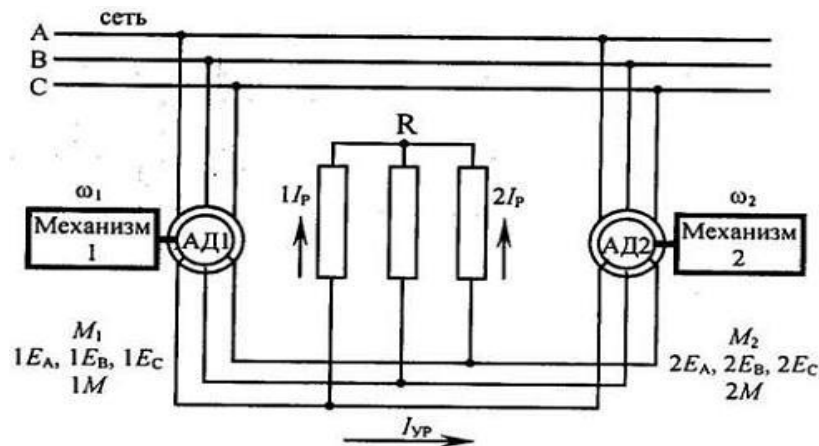


Рисунок 1.10 – Схема «электрического вала» с резисторами

В состав схемы входят два приводных асинхронных двигателя с фазным ротором (АД1, АД2) и резисторы (R). Схема работает аналогично схеме с вспомогательными АД.

Недостатки схемы (по сравнению с предыдущей): меньшая эффективность, т. к. вспомогательные моменты M_1 и M_2 значительно меньше; наличие резисторов в цепи ротора уменьшает жесткость характеристик и вызывает дополнительные потери электроэнергии.

Достоинства (по сравнению с предыдущей): схема проще, дешевле и меньше по габаритам.

В состав схемы входят два приводных двигателя с фазным ротором Д1, Д2 и преобразователь частоты (ПЧ). Статорные обмотки ПЧ, Д1 и Д2 подключены к сети, а роторные связаны электрически.

При вращении ПЧ частота в роторах будет пропорциональна скольжению, скорость вращения всех машин будет одинаковой и равной

$$\omega = \frac{2\pi}{p}(f_1 - f_2)$$

. Это справедливо при равных нагрузках на механизмах.

При увеличении нагрузки одного механизма (например, первого), скольжение его увеличится, а скорость снизится. При новом скольжении ЭДС ротора Д1 увеличится, что приведет к увеличению тока ротора, а, следовательно, и его момента. Система вернется в исходное состояние и будет работать согласованно.

Для расширения пределов изменения скоростей, работающих механизмов можно установить устройство для изменения частоты (например, меха-

нический вариатор). Это позволит устанавливать (выбирать) величину согласованной скорости механизмов без изменения скорости АД.

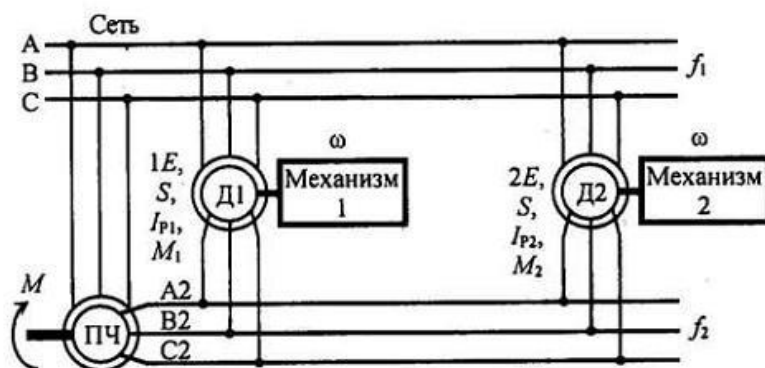


Рисунок 1.11 – Схема «электрического вала» двойного питания

Рассмотренные схемы можно применять для любого числа согласованно работающих механизмов, принцип работы схемы не меняется.

1.5 Перспективы использования частотно-регулируемых электроприводов

Применение релейно-контакторных схем и устройств плавного пуска решают вопросы обеспечения пусковых процессов конвейерных установок. Для реализации остальных требований к конвейерным установкам, таких как, регулирование скорости ленты в функции грузопотока или ограничения динамических нагрузок, требуется применение регулируемого электропривода. В современных условиях наибольшими перспективами обладают частотно-регулируемые электроприводы с асинхронными и синхронными двигателями. Синхронный частотно-регулируемый электропривод выполняется на базе высоковольтных преобразователей частоты с выходным напряжением 6 и 10 кВ. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод выполняется с преобразователями частоты отечественных и зарубежных производителей на напряжения 0,4; 0,69; 1,19; 3,0 (3,3); 6,0 (6,3; 6,6); 10,0 (10,5) кВ для двигателей соответствующего напряжения. Так как регулирование скорости ленты конвейерных установок и ограничение динамических нагрузок требует диапазон регулирования скорости как минимум 10:1, то двухтрансформаторные преобразователи частоты не могут быть использованы для привода конвейерных установок. Повышающий трансформатор уже при диапазоне регулирования 1,5:1 входит в режим насыщения из-за меньшей частоты тока относительно номинальной, что приводит к повышенным потерям мощности.

Низковольтные преобразователи частоты напряжением до 1,19 кВ и высоковольтные на напряжение до 10 кВ выпускаются с инверторами напряжения на базе IGBT транзисторов и, как правило, комплектуются ПИД-

регулятором (PID Controller). Высоковольтные преобразователи частоты на напряжение от 3,0 (3,3) до 10 (10,5) кВ выпускаются с инверторами тока на базе запираемых тиристоров.

На рисунке 1.12 представлена типовая схема низковольтного асинхронного частотно-регулируемого электропривода с автономным инвертором напряжения на базе IGBT транзисторов. Преобразователи частоты построены на основе полупроводниковой силовой электроники: интеллектуальные силовые модули (IGBT-модуль), представляющие собой конструктивное единство силовых ключей и драйверов управления ими; встроенные элементы защиты и интерфейса с микроконтроллерной системой управления.

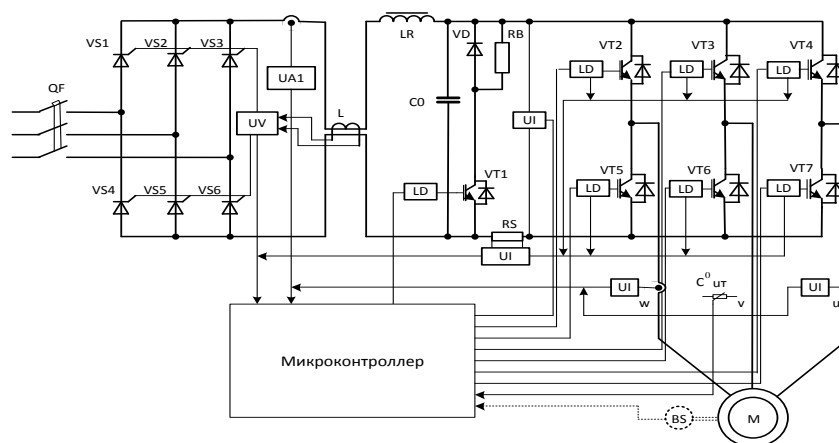


Рисунок 1.12 - Типовая схема низковольтного асинхронного частотно-регулируемого электропривода с автономным инвертором напряжения

Преобразователь частоты предназначен для регулирования частоты вращения вала асинхронных и синхронных электродвигателей на номинальное напряжение питания 6 и 10 кВ. Диапазон изменения частоты тока статора от 0,2 до 70 Гц, а напряжения – от 0 до 6000 В или от 0 до 10000 В.

Метод управления, используемый в высоковольтном преобразователе частоты с инвертором тока, называется бездатчиковым прямым векторным управлением. Это означает, что ток статора разлагается на составляющие, определяющие момент и поток, позволяя быстро изменять момент двигателя не влияя на его поток. Этот метод применяется без тахометрической обратной связи в случаях, когда требуется длительная работа двигателя при скоростях, соответствующих более 6 Гц и начальном пусковом моменте менее 100% номинального.

Полное векторное управление может быть осуществлено и с тахометрической обратной связью, когда требуется продолжительный режим работы двигателя при малых значениях скорости, соответствующих 0,2 – 6 Гц и с большим начальным пусковым моментом – до 150% номинального.

Анализ существующего парка преобразователей частоты показывает, что обеспечивается вся линейка приводных двигателей конвейерных установок. При выборе преобразователей частоты для регулирования скорости тягового органа конвейерной установки необходимо руководствоваться следующими правилами:

- номинальное напряжение приводного двигателя должно соответствовать номинальному напряжению преобразователя частоты;

- номинальная мощность (ток) преобразователя частоты должна соответствовать номинальной мощности (тока) преобразователя частоты;

- параллельное включение нескольких двигателей допускается только к преобразователям частоты с инвертором напряжения. Такое подключение двигателей допускается в пределах мощности (тока) преобразователя частоты (суммарная номинальная мощность подключенных двигателей должна быть равна или меньше номинальной мощности преобразователя частоты);

- преобразователь частоты с инвертором тока предназначен для работы с индивидуальным электроприводом, т.е. к нему можно подключить только один приводной двигатель конвейерной установки. Ряд конвейерных установок имеют несколько приводных двигателей, для них необходимо использовать несколько преобразователей частоты с инвертором тока, количество которых соответствует количеству двигателей;

- для шахт, опасных по газу и пыли, необходимо применение взрывозащищённых преобразователей частоты. Отечественная и зарубежная промышленность изготавливает специальные взрывозащищенные преобразователи частоты с инвертором напряжения для шахтных конвейерных установок мощностью до 500 кВт на напряжения 660 и 1140 В. Ряд модификаций преобразователей частоты имеют встроенную функцию динамического торможения, что необходимо для конвейеров, работающих на спуск груза.

2 Выбор и расчет основных силовых элементов электропривода конвейера

2.1 Исходные данные для проектирования и кинематическая схема конвейера

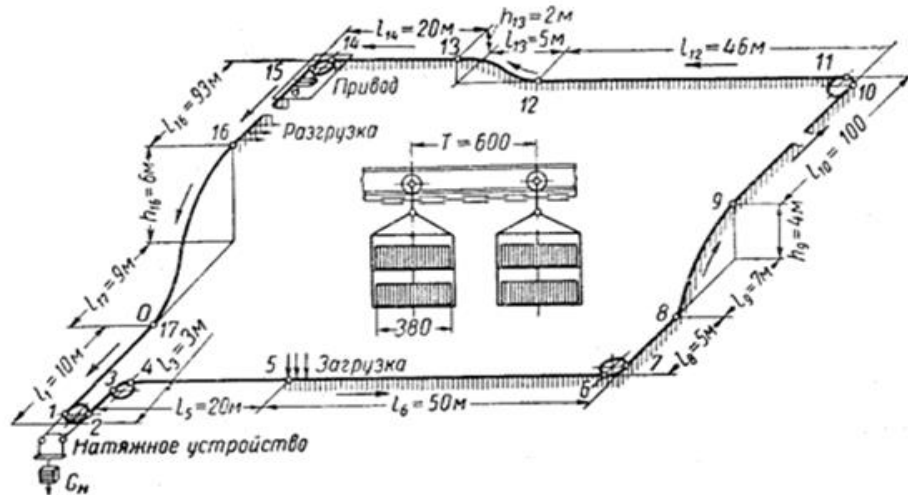


Рисунок 2.1 – Схема трассы конвейера

Плановая (сменная) производительность конвейера $Z_{см}=12000$ шт.;

Продолжительность смены $T_{см}=8$ час;

Эксплуатационная продолжительность $Z_э=Z_{см}/T_{см}=12000/8=1500$ шт/ч;

Наибольший угол наклона пути конвейера на вертикальном перегибе

$\beta_{min}=30$;

Диаметр поворотных звездочек $D=831.7$ мм;

Число грузов на подвеске $m=2$;

Масса подвески - $G_п=7$ кГ;

Масса груза (поковки) $G=10$ кГ;

Размеры груза $380 \times 200 \times 120$ мм;

Шаг подвесок $T=0.6$ м;

Шаг кареток $t_к=T=0.6$ м;

Вес каретки $G_п=8$ кГ;

Загрузка подвесок – ручная;

Разгрузка подвесок – ручная;

Режим работы конвейера – средний;

Условия работы – средние.

Определяем эксплуатационную производительность:

$$Z_э = \frac{Z_{см}}{T_{см}} = \frac{12000}{8} = 1500 \quad \text{шт/час.} \quad (2.1)$$

Расчетная производительность по формуле при $K_n = 1.25$; $K_b = 0.9$:

$$Z = \frac{Z_0 \cdot K_n}{K_b} = \frac{1500 \cdot 1.25}{0.9} = 2084 \text{ шт/час.} \quad (2.2)$$

Наибольший угол наклона пути конвейера на вертикальном перегибе $\beta_{\min} = 30^\circ$ отсюда минимально допускаемый шаг подвесок по формуле:

$$T_{\min} = \frac{1}{\cos \beta} (b + 0.1) = \frac{1}{0.866} (0.38 + 0.1) = 0.554 < T = 0.6 \quad (2.3)$$

Графическая проверка прохождения грузов на поворотных звездочках диаметром 831.7 мм показывает наличие достаточных зазоров между подвесками; следовательно, шаг подвесок выбран правильно. Для обеспечения заданной производительности на каждую подвеску укладываем по две поковки, т. е. $m = 2$. Тогда скорость конвейера из формулы:

$$v = \frac{ZT}{3600_m} = \frac{2084 \cdot 0.6}{3600 \cdot 2} = 0.174 \text{ м/с.} \quad (2.4)$$

Погонные нагрузки на холостой ветви по формуле:

$$q_0 = \frac{G_n}{T} + \frac{G_k}{t_k} + q_u = \frac{7}{0.6} + \frac{8}{0.6} + 4.9 = 29.9 \approx 30 \text{ кг/м.} \quad (2.5)$$

На грузовой ветви:

$$q = q_0 + \frac{G \cdot m}{T} = 30 + \frac{10 \cdot 2}{0.6} = 63.33 \approx 63 \text{ кг/м.} \quad (2.6)$$

Предварительное определение наибольшего натяжения цепи.

По формуле приближенно определяем наибольшее натяжение цепи

$$S_{\max} = S_0 K_m + c(qL_T + q_0 L_X)(1 + 0.35 K_m) + (q - q_0)(H_p - H_z) \quad (2.7)$$

где, согласно схеме трассы конвейера

$$L_T = l_6 + l_8 + l_9 + l_{10} + l_{12} + l_{13} + l_{14} + l_{16} = 50 + 5 + 7 + 100 + 46 + 5 + 20 + 93 = 326 \text{ м.} \quad (2.8)$$

$$L_X = l_{17} + l_1 + l_3 + l_5 = 9 + 10 + 3 + 20 = 42 \text{ м.} \quad (2.9)$$

$$x = 6; y_{90} = 3; y_{180} = 1; H_p = 8.5; H_3 = 2.5$$

Суммарный коэффициент местных сопротивлений:

$$K_M = \varphi^x \cdot \varepsilon_{90}^y \cdot \varepsilon_{180} = 1.02^6 \cdot 1.033^3 \cdot 1.04 \approx 1.28. \quad (2.10)$$

Коэффициенты сопротивления приняты для средних условий работы:

$$C = 0.02; \varphi = 1.02; \varepsilon_{90} = 1.033; \varepsilon_{180} = 1.04$$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 50 \cdot 1.28 + 0.02(63 \cdot 326 + 30 \cdot 42)(1 + 0.35 \cdot 1.28) + (63 - 30)(8.5 - 2.5) = \\ &= 64 + 436 \cdot 1.448 + 198 \approx 893 \text{ кг}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Полученная величина наибольшего $S_{\max} = 893$ кг показывает, что цепь выбрана правильно.

Уточненный тяговый расчет. Привод конвейера располагаем в наивысшей точке 14 грузовой ветви конвейера. Минимальное натяжение цепи следует ожидать после спуска в точке О (17), с нее и начнем тяговый расчет по движению цепи конвейера

Принимаем $S_0 = 50$ кг

$$S_1 = S_0 + cq_0 l_1 = 50 \cdot 0.02 \cdot 30 \cdot 10 = 56 \text{ кг}. \quad (2.12)$$

$$S_2 = \varepsilon_{180} \cdot S_1 = 1.033 \cdot 56 \approx 58 \text{ кг}. \quad (2.13)$$

$$S_3 = S_2 + cq_0 l_3 = 58 \cdot 0.02 \cdot 30 \cdot 3 \approx 60 \text{ кг}. \quad (2.14)$$

$$S_4 = \varepsilon_{90} \cdot S_3 = 1.033 \cdot 60 \approx 62 \text{ кг}. \quad (2.15)$$

$$S_5 = S_4 + cq_0 l_5 = 62 + 0.02 \cdot 30 \cdot 20 \approx 74 \text{ кг}. \quad (2.16)$$

$$S_6 = S_5 + cql_6 = 74 + 0.02 \cdot 63 \cdot 50 \approx 137 \text{ кг}. \quad (2.17)$$

$$S_7 = \varepsilon_{90} \cdot S_6 = 1.033 \cdot 137 \approx 142 \text{ кг}. \quad (2.18)$$

$$S_8 = S_7 + cql_8 = 142 + 0.02 \cdot 63 \cdot 5 \approx 148 \text{ кг}. \quad (2.19)$$

$$S_9 = \varphi(\varphi S_8 + cql_9 + qh_9) = 1.02(1.02 \cdot 148 + 0.02 \cdot 63 \cdot 7 + 63 \cdot 4) = 419 \text{ кг}. \quad (2.20)$$

$$S_{10} = S_9 + cql_{10} = 419 + 0.02 \cdot 63 \cdot 100 \approx 545 \text{ кг}. \quad (2.21)$$

$$S_{11} = \varepsilon_{90} \cdot S_{10} = 1.033 \cdot 545 \approx 563 \text{ кг}. \quad (2.22)$$

$$S_{12} = S_{11} + cql_{12} = 563 + 0.02 \cdot 63 \cdot 46 \approx 621 \text{ кг}. \quad (2.23)$$

$$S_{13} = \varphi(\varphi S_{12} + cql_{13} + qh_{13}) = 1.02(1.02 \cdot 621 + 0.02 \cdot 63 \cdot 5 + 63 \cdot 2) = 766 \text{ кг}. \quad (2.24)$$

$$S_{14} = S_{13} + cql_{14} = 766 + 0.02 \cdot 63 \cdot 20 \approx 791 \text{ кг}. \quad (2.25)$$

Наибольшее натяжение получилось в точке 14 ($S_{14} = 791$), при $S_{\max} = 893$ кг.

Для определения натяжения в точках 16 и 15 необходимо вести расчет против хода конвейера в обратном порядке, начиная с точки О(17): $S_{17} = S_0 = 50$ кг

$$S_{16} = \frac{1}{\varphi} \left(\frac{1}{\varphi} S_{17} - cql_{17} + q_0 h_{16} \right) = \frac{1}{1.02} \left(\frac{1}{1.02} \cdot 50 - 0.02 \cdot 30 \cdot 9 + 30 \cdot 6 \right) = 172 \text{ кг.} \quad (2.26)$$

$$S_{15} = S_{16} - cql_{16} = 172 - 0.02 \cdot 63 \cdot 93 \approx 55 \text{ кг.} \quad (2.27)$$

Тяговое усилие на приводной звездочке по формуле:

$$P = (S_{14} - S_{15}) \varepsilon_{90} = (791 - 55) \cdot 1.033 \approx 760 \text{ кг.} \quad (2.28)$$

Потребная мощность электродвигателя по формуле при к.п.д. $\eta = 0.75$

$$N = K \frac{P \vartheta}{102 \eta} = 1.1 \frac{760 \cdot 0.174}{102 \cdot 0.75} = 1.9 \text{ кВт.} \quad (2.29)$$

Необходимая угловая скорость двигателя, рад/сек

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{2 \vartheta_k i_p}{D} = \frac{2 \cdot 0.174 \cdot 24.8}{0.42} = 20.55 \text{ рад/сек.} \quad (2.30)$$

2.2 Выбор электродвигателя для привода конвейера и расчет его параметров и характеристик

Выбираем асинхронный двигатель мощностью 2,2 кВт серии 4А112МА8У3. Техническая характеристика приведена в таблице 2.1.

Для расчета имеем следующие данные электродвигателя:

- номинальная выходная мощность $P_{2н}=2,2$ кВт;
- номинальное фазное напряжение обмотки статора $U_{1н}=220$ В;
- номинальная частота тока $f_1=50$ Гц;
- номинальный коэффициент полезного действия $\eta_n=76,5$ %;
- номинальный коэффициент мощности статорной обмотки $\cos \varphi_n=0,71$;
- критическое скольжение ротора $S_k=29$ %;
- номинальное скольжение ротора $S_n=3,4$ %;
- число пар полюсов: $p=4$;
- число фаз: $m=3$;
- скорость холостого хода: $n_0=750$ об/мин;
- момент инерции на валу машины: $J=0,017$ кг·м².
- отношение пускового момента к номинальному моменту, $m_n=1,9$;
- отношение пускового тока к номинальному току, $k_{i.n}=5,0$

-отношение максимального (критического) момента к номинальному моменту, $m_k=2,2$;

- отношение минимального момента к номинальному моменту, $m_m=1,5$;

Таблица 2.1 - Номинальные данные асинхронного двигателя 4A112MA8Y3

Тип Двигателя	Номинальная мощность, кВт	Номинальная синхронная частота вращения, об/мин	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент мощности	Номинальный ток при 380 В, А	Номинальный момент, Нм	Отношение пускового момента к номинальному моменту, m_p	Отношение пускового тока к номинальному току, $k_{i,p}$	Отношение максимального момента к номинальному моменту, m_k	Отношение максимального момента к номинальному моменту, m_m	Динамический момент инерции ротора, $J_{дв}$, кгм ²
4A112M A8Y3	2,2	750	76,5	0,71	6,1	29	1,9	5	2,2	1,5	0,017

Синхронная угловая скорость вращения:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,5 \text{ рад/с.} \quad (2.31)$$

Номинальная угловая скорость вращения:

$$\omega_n = (1 - s_n) \cdot \omega_0 = (1 - 0,034) \cdot 78,5 = 75,83 \text{ рад/с.} \quad (2.32)$$

Номинальный момент электродвигателя:

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{2,2 \cdot 10^3}{75,83} = 29 \text{ Н·м.} \quad (2.33)$$

Номинальное фазное напряжение:

$$U_{\text{фн}} = \frac{U_{\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В.} \quad (2.34)$$

Номинальный фазный ток статора:

$$I_{1\text{фн}} = \frac{P_{2\text{н}} \cdot 10^3}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}}} = \frac{2.2 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.765 \cdot 0.71} = 6.1 \text{ А.} \quad (2.35)$$

Максимальный пусковой ток:

$$I_{\text{пуск}} = k_{\text{i.у.уск}} \cdot I_{1\text{фн}} = 5 \cdot 6.1 = 30.5 \text{ А.} \quad (2.36)$$

Критический (максимальный) момент электродвигателя:

$$M_k = m_k \cdot M_{\text{н}} = 2.2 \cdot 29 = 63.8 \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (2.37)$$

Пусковой момент электродвигателя:

$$M_{\text{пуск}} = m_{\text{н}} \cdot M_{\text{н}} = 1.9 \cdot 29 = 55.1 \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (2.38)$$

Минимальный момент электродвигателя:

$$M_{\text{мин}} = m_{\text{м}} \cdot M_{\text{н}} = 1.5 \cdot 29 = 43.5 \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (2.39)$$

2.3 Расчет параметров Т-образной схемы замещения электродвигателя

В справочнике приведены параметры Г-образной схемы замещения (рисунок 2.2) в относительных единицах:

- в номинальном режиме:

$$R_1' = 0,093; X_1' = 0,11; R_2'' = 0,083; X_2'' = 0,17; X_{\mu} = 1,5$$

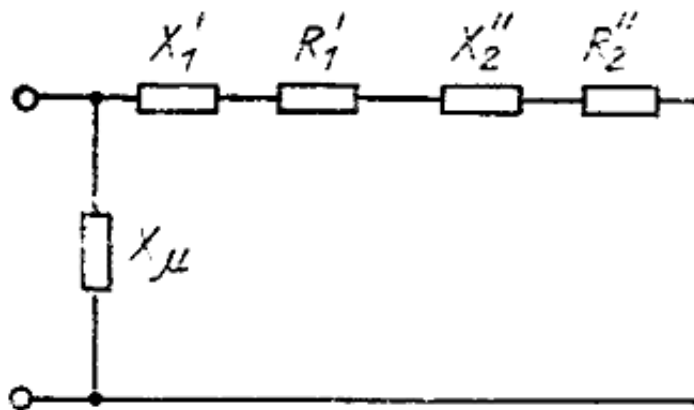


Рисунок 2.2– Г-образная схема замещения

По известным паспортным данным АД и параметрам Г-образной схемы замещения рассчитываются параметры Т-образной схемы замещения (рисунок 2.3).

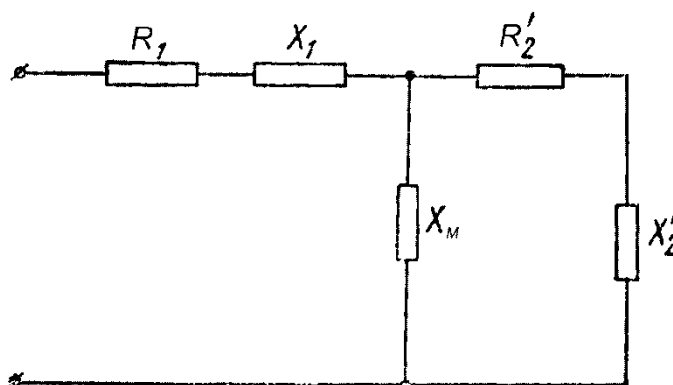


Рисунок 2.3 – Т-образная схема замещения

Базисное значение сопротивления:

$$Z_{\text{баз}} = \frac{U_{1н}}{I_{1н}} = \frac{220}{6.1} = 36 \text{ Ом.} \quad (2.40)$$

Реактивное сопротивление рассеяния статора в относительных единицах:

$$X_{1*} = \frac{2 \cdot X_1' \cdot X_m}{X_m + \sqrt{X_m^2 + 4 \cdot X_1' \cdot X_m}} = \frac{2 \cdot 0,11 \cdot 1,5}{1,5 + \sqrt{1,5^2 + 4 \cdot 0,11 \cdot 1,5}} = 0,103 \quad (2.41)$$

Коэффициент, связывающий параметры машины в Т и Г-образной схемах замещения:

$$c_1 = \frac{X'_1}{X_1} = \frac{0,11}{0,103} = 1,07 \quad (2.43)$$

Реактивное сопротивление рассеяния фазы статора:

$$X_1 = \frac{X'_1 \cdot Z_{\sigma a3}}{c_1} = \frac{0,11 \cdot 36}{1,07} = 3,7 \quad \text{Ом.} \quad (2.44)$$

Активное сопротивление фазы статора:

$$R_1 = R_s = \frac{R'_1 \cdot Z_{\sigma a3}}{c_1} = \frac{0,093 \cdot 36}{1,07} = 3,35 \quad \text{Ом.} \quad (2.45)$$

Индуктивность рассеяния фазы статора:

$$L_{1s} = \frac{X_1}{\omega_1} = \frac{3,7}{314} = 0,0118 \quad \text{Гн.} \quad (2.46)$$

Реактивное сопротивление рассеяния фазы ротора:

$$X'_2 = \frac{X''_2 \cdot Z_{\sigma a3}}{c_1} = \frac{0,17 \cdot 36}{1,07} = 5,72 \quad \text{Ом.} \quad (2.47)$$

Активное сопротивление фазы ротора:

$$R'_2 = R'_R = \frac{R''_2 \cdot Z_{\sigma a3}}{c_1} = \frac{0,083 \cdot 36}{1,07} = 2,79 \quad \text{Ом.} \quad (2.48)$$

Индуктивность рассеяния фазы ротора:

$$L_{2s} = \frac{X'_2}{\omega_1} = \frac{5,72}{314} = 0,018 \quad \text{Гн.} \quad (2.49)$$

Реактивное сопротивление взаимоиндукции:

$$X_{m^*} = X_m \cdot Z_{\sigma a3} = 1,5 \cdot 36 = 54 \quad \text{Ом.} \quad (2.50)$$

Индуктивность взаимоиндукции

$$L_m = \frac{X_{m^*}}{\omega_1} = \frac{54}{314} = 0,172 \quad \text{Гн.} \quad (2.51)$$

Полная индуктивность фазы статора:

$$L_S = L_m + L_{1S} = 0,172 + 0,0118 = 0,1838 \text{ Гн.} \quad (2.52)$$

Полная индуктивность фазы ротора:

$$L_R = L_m + L_{2S} = 0,172 + 0,018 = 0,19 \text{ Гн.} \quad (2.53)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$X_k = X_1 + X_2' = 3,7 + 5,72 = 9,42 \text{ Ом.}$$

2.4 Расчет естественных механической и электромеханической характеристик электродвигателя

К основным характеристикам асинхронных двигателей относятся зависимости $M(s)$, $I_2'(s)$, $I_1(s)$, т.е. зависимости момента, тока ротора и тока статора от скольжения

Под механической характеристикой асинхронных двигателей понимают зависимость частоты вращения n ротора от электромагнитного момента M , т.е. $n = f(M)$.

Эту характеристику удобно рассчитать по зависимости момента от скольжения ($M=f(s)$). Реальный расчет механическую характеристику производится по формуле Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_K \cdot (1 + a s_k)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2 \cdot a \cdot s_k} \quad (2.54)$$

где M_K – критический момент двигателя;

s_k – критическое скольжение;

s – текущее значение скольжения;

$a = R_1/R_2'$ – коэффициент, $a=1,2$.

Значение критического скольжения определяется по следующей формуле:

$$s_k = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{2,79}{\sqrt{3,35^2 + (3,7 + 5,72)^2}} = 0,28 \quad (2.55)$$

Расчет зависимости момента от скольжения производится по следующим формулам:

$$M_{\text{д}} = \frac{2 \cdot M_K \cdot (1 + as_k)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2 \cdot a \cdot s_k} = \frac{2 \cdot 69,28 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,28)}{\frac{s}{0,28} + \frac{0,28}{s} + 2 \cdot 1,2 \cdot 0,28} = \frac{185,1}{\frac{s}{0,28} + \frac{0,28}{s} + 0,672} \quad (2.56)$$

Критический момент определяется по формуле:

$$M_k = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2}{2 \cdot \omega_0 [R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}]} \quad (2.57)$$

$$M_k = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 78,5 [3,35 + \sqrt{3,35^2 + (3,7 + 5,72)^2}]^2} = 69,28 \quad \text{Нм.}$$

При $f = 50$ Гц, изменяя s в пределах диапазона $0 \dots 1$, определяем значения моментов, результаты расчета сведем в таблицу 2.2

1. $s=0$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 78,5 - 78,5 \cdot 0 = 78,5$ рад/с.

2. $s=0,01$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 78,5 - 78,5 \cdot 0,01 = 77,71$ рад/с.

$$M_{\text{д}} = \frac{185,1}{\frac{0,01}{0,28} + \frac{0,28}{0,01} + 0,672} = 6,45 \quad \text{Нм.}$$

3. $s=0,034$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 78,5 - 78,5 \cdot 0,034 = 75,83$ рад/с.

$$M_{\text{д}} = \frac{185,1}{\frac{0,034}{0,28} + \frac{0,28}{0,034} + 0,672} = 20,51 \quad \text{Нм.}$$

4. $s=0,1$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 78,5 - 78,5 \cdot 0,1 = 70,65$ рад/с.

$$M_{\text{д}} = \frac{185,1}{\frac{0,1}{0,28} + \frac{0,28}{0,1} + 0,672} = 48,34 \quad \text{Нм.}$$

5. $s=0,29$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 78,5 - 78,5 \cdot 0,29 = 55,73$ рад/с.

$$M_{\text{д}} = \frac{185,1}{\frac{0,29}{0,28} + \frac{0,28}{0,29} + 0,672} = 69,34 \quad \text{Нм.}$$

6. $s=0,4$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 78,5 - 78,5 \cdot 0,4 = 47,1$ рад/с.

$$M_{\text{д}} = \frac{185,1}{\frac{0,4}{0,28} + \frac{0,28}{0,4} + 0,672} = 66,12 \quad \text{Нм.}$$

7. $s=0,7$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 78,5 - 78,5 \cdot 0,7 = 23,55$ рад/с.

$$M_d = \frac{185.1}{\frac{0.7}{0.28} + \frac{0.28}{0.7} + 0.672} = 51.86 \quad \text{Нм.}$$

8. $s=0,85, \quad \omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 78.5 - 78.5 \cdot 0.85 = 11.775 \text{ рад/с.}$

$$M_d = \frac{185.1}{\frac{0.85}{0.28} + \frac{0.28}{0.85} + 0.672} = 45.83 \quad \text{Нм}$$

9. $s=1, \quad \omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 78.5 - 78.5 \cdot 1 = 0 \text{ рад/с.}$

$$M_d = \frac{185.1}{\frac{1}{0.28} + \frac{0.28}{1} + 0.672} = 40.96 \quad \text{Нм.}$$

Таблица 2.2 - Результаты расчета

S	0	0,01	$S_H=0,034$	0,1	$S_K=0,29$	0,4	0,7	0,85	1
ω	78,5	77,71	75,83	70,65	55,73	47,1	23,55	11,775	0
M	0	6,45	20,51	48,34	69,34	66,12	51,86	45,83	40,96

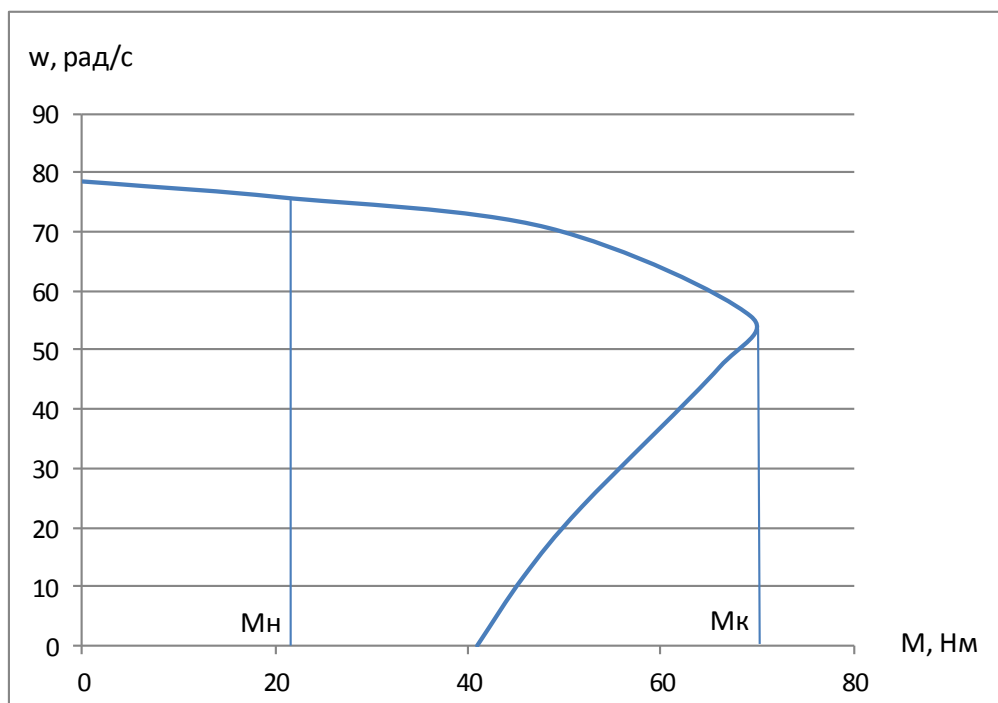


Рисунок 2.4 – Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Электромеханическими характеристиками асинхронных двигателей называют зависимости токов статора и ротора от скольжения, т.е. $(I_1(s))$ и $I_2(s)$, которые определяются по следующим формулам:

$$I_2' = \frac{U_{\phi H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + X_K^2}}. \quad (2.58)$$

где $U_{\phi H}$ – номинальное фазное напряжение обмотки статора, В;
 X_K – индуктивное сопротивление короткого замыкания, Ом.

$$I_2' = \frac{U_{\phi H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + X_K^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{S}\right)^2 + (9.42)^2}}. \quad (2.59)$$

Изменяя значение скольжения s в диапазоне $0 \dots 1$, находим значения I_2'
 Результаты расчета запишем в таблицу 2.3

1. $s=0, I_2' = 0.$

2. $s=0.01.$

$$I_2' = \frac{220}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.01}\right)^2 + (9.42)^2}} = 0.79.$$

3. $s=0.034$

$$I_2' = \frac{220}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.034}\right)^2 + (9.42)^2}} = 2.56.$$

4. $s=0.1$

$$I_2' = \frac{220}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.1}\right)^2 + (9.42)^2}} = 6.74.$$

5. $s=0.29$

$$I_2' = \frac{220}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.29}\right)^2 + (9.42)^2}} = 13.72.$$

6. $s=0.4$

$$I_2' = \frac{220}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.4}\right)^2 + (9.42)^2}} = 15.74.$$

7. $s=0.7$

$$I_2' = \frac{220}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.7}\right)^2 + (9.42)^2}} = 18.43.$$

8. $s=0.85$

$$I_2' = \frac{220}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.85}\right)^2 + (9.42)^2}} = 19.1.$$

9. $s=1$

$$I_2' = \frac{220}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{1}\right)^2 + (9.42)^2}} = 19.57.$$

Таблица 2.3 – Результаты расчета

S	0	0,01	$S_H=0,034$	0,1	$S_K=0,29$	0,4	0,7	0,85	1
ω	78,5	77,71	75,83	70,65	55,73	47,1	23,55	11,775	0
I_2'	0	0.79	2.56	6.74	13.72	15.74	18.43	19.1	19.57

Ток I_1 является векторной суммой роторного тока I_2' и тока намагничивания I_μ . Модуль тока статора определяется по следующей формуле:

$$I_1(s) = \sqrt{(I_2')^2 + I_\mu^2 + 2I_\mu I_2' \sin \psi_2}. \quad (2.60)$$

где $\sin \psi_2$ – сдвиг тока статора по фазе:

$$\sin \psi_2 = \frac{x_1 + x_2'}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_k^2}} = \frac{9.42}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{s}\right)^2 + 9.42^2}}. \quad (2.61)$$

Ток намагничивания I_μ определяется по формуле:

$$I_\mu = \frac{U_H}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_\mu)^2}} = \frac{220}{\sqrt{3.35^2 + (3.7 + 54)^2}} = 3.81 \text{ А}. \quad (2.62)$$

При различных значениях скольжения s находим ток ротора $I_2'(s)$ по формуле (2.58), значения $\sin \psi_2$ – по формуле (2.61), а ток статора $I_1(s)$ - по формуле (2.60).

Результаты расчета приведены в таблице 2.4

1. $s=0$, $\sin \psi_2 = 0$, $I_1 = 0$

2. $s=0.01$

$$\sin \psi_2 = \frac{9.42}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.01}\right)^2 + 9.42^2}} = 0.033.$$

$$I_1(S) = \sqrt{(0.79)^2 + 3.81^2 + 2 \cdot 3.81 \cdot 0.79 \cdot 0.033} = 0.152.$$

3. $s=0.034$

$$\sin \psi_2 = \frac{9.42}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.034}\right)^2 + 9.42^2}} = 0.110.$$

$$I_1(S) = \sqrt{(2.56)^2 + 3.81^2 + 2 \cdot 3.81 \cdot 2.56 \cdot 0.110} = 0.7.$$

4. $s=0.1$

$$\sin \psi_2 = \frac{9.42}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.1}\right)^2 + 9.42^2}} = 0.289.$$

$$I_1(S) = \sqrt{(6.74)^2 + 3.81^2 + 2 \cdot 3.81 \cdot 6.74 \cdot 0.289} = 3.05.$$

5. $s=0.29$

$$\sin \psi_2 = \frac{9.42}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.29}\right)^2 + 9.42^2}} = 0.588.$$

$$I_1(S) = \sqrt{(13.72)^2 + 3.81^2 + 2 \cdot 3.81 \cdot 13.72 \cdot 0.588} = 10.31.$$

6. $s=0.4$

$$\sin \psi_2 = \frac{9.42}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.4}\right)^2 + 9.42^2}} = 0.674.$$

$$I_1(S) = \sqrt{(15.74)^2 + 3.81^2 + 2 \cdot 3.81 \cdot 15.74 \cdot 0.674} = 13.18.$$

7. $s=0.7$

$$\sin \psi_2 = \frac{9.42}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.7}\right)^2 + 9.42^2}} = 0.790.$$

$$I_1(S) = \sqrt{(18.43)^2 + 3.81^2 + 2 \cdot 3.81 \cdot 18.43 \cdot 0.790} = 17.57.$$

8. $s=0.85$

$$\sin \psi_2 = \frac{9.42}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0.85}\right)^2 + 9.42^2}} = 0.818.$$

$$I_1(S) = \sqrt{(19.1)^2 + 3.81^2 + 2 \cdot 3.81 \cdot 19.1 \cdot 0.818} = 18.74.$$

9. s=1

$$\sin \psi_2 = \frac{9.42}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{1}\right)^2 + 9.42^2}} = 0.838.$$

$$I_1(S) = \sqrt{(19.57)^2 + 3.81^2 + 2 \cdot 3.81 \cdot 19.57 \cdot 0.838} = 19.59.$$

Таблица 2.4 - Результаты расчета зависимости $I_1(s)$

S	0	0,01	$S_H=0,034$	0,1	$S_K=0,29$	0,4	0,7	0,85	1
ω	78,5	77,71	75,83	70,65	55,73	47,1	23,55	11,775	0
$I_2(s)$	0	0.79	2.56	6.74	13.72	15.74	18.43	19.1	19.57
$I_1(s)$	0	0.152	0.7	3.05	10.31	13.18	17.57	18.74	19.59
$\sin \psi_2$	0	0.033	0.110	0.289	0.588	0.674	0.790	0.818	0.838

На рисунке 2.5 приведены естественные электромеханические характеристики, т.е. графики зависимостей $I_1(\omega)$ и $I_2(\omega)$.

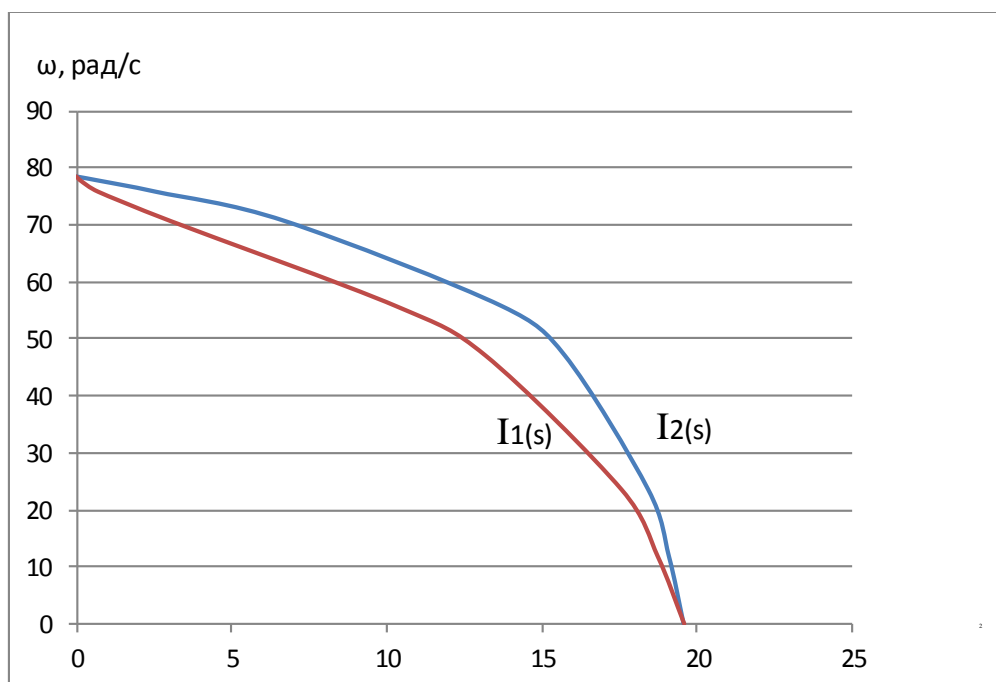


Рисунок 2.5 – Графики зависимостей $I_2'(\omega)$ и $I_1(\omega)$ (электромеханических характеристик)

2.5 Расчет искусственных механических характеристик электродвигателя при законе $U/f = \text{const}$ частотного регулирования

Для нахождения момента воспользуемся формулой:

$$M_d = \frac{2M_k(1 + as_k)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2as_k} \quad (2.63)$$

где M_k – максимальный (критический) момент двигателя;
 s_k – критическое скольжение;

$$a = \frac{R_1}{R_2} = \frac{3.35}{2.79} = 1.2.$$

Следует отметить обстоятельство влияния изменения напряжения сети на механические характеристики асинхронного двигателя. При заданном скольжении момент двигателя пропорционален квадрату напряжения, поэтому двигатель довольно чувствителен к колебаниям напряжения.

При изменении частоты питающего напряжения изменяются синхронная частота вращения ω_0 , скольжения S и индуктивное сопротивление статора и индуктивное сопротивление рассеяния ротора:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{z_p} \left(\frac{f_{li}}{f_{1n}} \right) = \frac{2\pi}{z_p} (f^*). \quad (2.64)$$

$$s = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{\omega}{\frac{2\pi}{z_p} \left(\frac{f_{li}}{f_{1n}} \right)} = \frac{\omega}{\frac{2\pi}{z_p} (f^*)}. \quad (2.65)$$

$$X_1 + X_2' = (X_1 + X_2') \left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right) = (X_1 + X_2') (f^*). \quad (2.66)$$

Соотношение между частотой и напряжением выражается следующей формулой:

$$\frac{U_i}{f_{li}} = \frac{U_n}{f_n} = \text{const} \quad (2.67)$$

Из выражения (2.67) следует, что при значении частоты f_{li} значение напряжения тоже должно меняться, оно должно быть равно:

$$U_i = U_n \frac{f_{li}}{f_n} = U_n \left(\frac{f_{li}}{f_n} \right) = U_n (f^*) \quad (2.68)$$

Рассчитываем искусственные механические характеристики АД при $U/f = \text{const}$ для частот $f_1 = 40$ Гц, $f_2 = 25$ Гц, $f_3 = 15$ Гц.

Для построения данных механических характеристик рассчитываем угловую скорость для всех значений скольжений:

$$\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s.$$

Пересчитываем индуктивные сопротивления статора и ротора для частоты 40 Гц:

$$X_{1(40)} = 2\pi \cdot f_{40} \cdot L_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 0,0118 = 2,96 \text{ Ом.} \quad (2.69)$$

$$X'_{2(40)} = \frac{X'_2}{1,25} = 4,576 \text{ Ом.} \quad (2.70)$$

Индуктивные сопротивления при частоте 25 Гц:

$$X_{1(25)} = 2\pi \cdot f_{25} \cdot L_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 0,0118 = 1,85 \text{ Ом.} \quad (2.71)$$

$$X'_{2(25)} = \frac{X'_2}{2} = 2,86 \text{ Ом.} \quad (2.72)$$

Индуктивные сопротивления при частоте 15 Гц:

$$X_{1(15)} = 2\pi \cdot f_{15} \cdot L_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 15 \cdot 0,0118 = 1,11 \text{ Ом.} \quad (2.73)$$

$$X'_{2(15)} = \frac{X'_2}{3,33} = 1,72 \text{ Ом.} \quad (2.74)$$

Рассчитываем значение критического скольжения при частоте 40 Гц:

$$s_{k40} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1(40)} + X'_{2(40)})^2}} = \frac{2,79}{\sqrt{3,35^2 + (2,96 + 4,576)^2}} = 0,338 \quad (2.75)$$

$$as_{k40} = \frac{R_1}{R_2} \cdot s_{k40} = 0,406 \quad (2.76)$$

$$\omega_{0(40)} = \frac{2\pi f_1}{p} = \frac{6,28 \cdot 40}{4} = 62,8 \text{ рад/с.} \quad (2.77)$$

Рассчитываем значение критического скольжения при частоте 25 Гц:

$$s_{k25} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1(25)} + X_{2(25)})^2}} = \pm \frac{2,79}{\sqrt{3,35^2 + (1,85 + 2,86)^2}} = 0,483 \quad (2.78)$$

$$as_{k25} = \frac{R_1}{R_2'} \cdot s_{k25} = 0,579 \quad (2.79)$$

$$\omega_{0(25)} = \frac{2\pi f_2}{p} = \frac{6,28 \cdot 25}{4} = 39,25 \text{ рад/с.} \quad (2.80)$$

Рассчитываем значение критического скольжения при частоте 15 Гц:

$$s_{k15} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1(15)} + X_{2(15)})^2}} = \pm \frac{2,79}{\sqrt{3,35^2 + (1,11 + 1,72)^2}} = 0,728. \quad (2.81)$$

$$as_{k15} = \frac{R_1}{R_2'} \cdot s_{k15} = 0,873. \quad (2.82)$$

$$\omega_{0(15)} = \frac{2\pi f_3}{p} = \frac{6,28 \cdot 15}{4} = 23,55 \text{ рад/с.} \quad (2.83)$$

Так как задан закон частотного регулирования ($U/f=\text{const}$), то мы получаем $220/50=4,4$, откуда следует что при частоте $f_1=40$ Гц значение $U_{\phi 1}=176$ В, при частоте $f_2=25$ Гц значение $U_{\phi 2}=110$ В, при частоте $f_3=15$ Гц значение $U_{\phi 3}=66$ В.

Рассчитываем значение критического момента для частоты 40 Гц:

$$M_{k40} = \frac{3U_{\phi 1}^2}{2\omega_{40} \left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_{1(40)} + X'_{2(40)})^2} \right]} = \frac{3 \cdot 176^2}{2 \cdot 62,8 \cdot \left[3,35 + \sqrt{3,35^2 + (2,96 + 4,576)^2} \right]} = 63,8$$

Критический момент для частоты 25 Гц:

$$M_{k25} = \frac{3U^2 \phi 2}{2\omega_{25} \left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_{1(25)} + X'_{2(25)})^2} \right]} = \frac{3 \cdot 110^2}{2 \cdot 39,25 \cdot \left[3,35 + \sqrt{3,35^2 + (1,85 + 2,86)^2} \right]} = 50,65$$

Критический момент для частоты 15 Гц:

$$M_{k15} = \frac{3U^2 \phi 3}{2\omega_{15} \left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_{1(20)} + X'_{2(20)})^2} \right]} = \frac{3 \cdot 66^2}{2 \cdot 23,55 \cdot \left[3,35 + \sqrt{3,35^2 + (1,11 + 1,72)^2} \right]} = 35,87$$

Найдем значения моментов асинхронного двигателя при частоте 40 Гц.

$$M_{д40} = \frac{2M_{k40}(1 + as_{k40})}{\frac{s}{s_{k40}} + \frac{s_{k40}}{s} + 2as_{k40}} = \frac{179,35}{\frac{s}{0,338} + \frac{0,338}{s} + 0,812}$$

1. $s=0$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 62.8 - 62.8 \cdot 0 = 62.8$ рад/с, $M=0$.

2. $s=0.01$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 62.8 - 62.8 \cdot 0.01 = 62.172$ рад/с.

$$M_d = \frac{179,35}{\frac{0,01}{0,338} + \frac{0,338}{0,01} + 0,812} = 5.16 \text{ Нм.}$$

3. $s=0.034$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 62.8 - 62.8 \cdot 0.034 = 60.66$ рад/с.

$$M_d = \frac{179,35}{\frac{0,034}{0,338} + \frac{0,338}{0,034} + 0,812} = 16.5 \text{ Нм.}$$

4. $s=0.1$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 62.8 - 62.8 \cdot 0.1 = 56.52$ рад/с.

$$M_d = \frac{179,35}{\frac{0,1}{0,338} + \frac{0,338}{0,1} + 0,812} = 39.77 \text{ Нм.}$$

5. $s=0,338$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 62.8 - 62.8 \cdot 0.338 = 41.57$ рад/с.

$$M_d = \frac{179,35}{\frac{0,338}{0,338} + \frac{0,338}{0,338} + 0,812} = 63.63 \text{ Нм.}$$

6. $s=0,4$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 62.8 - 62.8 \cdot 0.4 = 37.68$ рад/с.

$$M_d = \frac{179,35}{\frac{0,4}{0,338} + \frac{0,338}{0,4} + 0,812} = 62.99 \text{ Нм.}$$

7. $s=0,7$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 62.8 - 62.8 \cdot 0.7 = 18.84$ рад/с.

$$M_d = \frac{179,35}{\frac{0,7}{0,338} + \frac{0,338}{0,7} + 0,812} = 53.04 \text{ Нм.}$$

8. $s=0,85$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 62.8 - 62.8 \cdot 0.85 = 9.42$ рад/с.

$$M_d = \frac{179,35}{\frac{0,85}{0,338} + \frac{0,338}{0,85} + 0,812} = 48.04 \text{ Нм.}$$

9. $s=1$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 62.8 - 62.8 \cdot 1 = 0$ рад/с.

$$M_d = \frac{179,35}{\frac{1}{0,338} + \frac{0,338}{1} + 0,812} = 43.53 \text{ Нм.}$$

Результаты расчета приведены в таблице 2.5

Таблица 2.5 – Результаты расчета

S	0	0,01	0,034	0,1	0,338	0,4	0,7	0,85	1
ω	62,8	62,172	60,66	56,52	41,57	37,68	18,84	9,42	0
M	0	5,16	16,5	39,77	63,63	62,99	53,04	48,04	43,53

Найдем значения моментов асинхронного двигателя при частоте 25 Гц.

$$M_{\text{д25}} = \frac{2M_{k25}(1 + as_{k25})}{\frac{s}{s_{k25}} + \frac{s_{k25}}{s} + 2as_{k25}} = \frac{160}{\frac{s}{0,483} + \frac{0,483}{s} + 1,159}$$

1. $s=0$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 39.25 - 39.25 \cdot 0 = 39.25$ рад/с, $M=0$.

2. $s=0.01$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 39.25 - 39.25 \cdot 0.01 = 38.86$ рад/с.

$$M_{\text{д25}} = \frac{160}{\frac{0.01}{0,483} + \frac{0,483}{0.01} + 1,159} = 3.23 \text{ Нм.}$$

3. $s=0.034$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 39.25 - 39.25 \cdot 0.34 = 37.92$ рад/с.

$$M_{\text{д25}} = \frac{160}{\frac{0.034}{0,483} + \frac{0,483}{0.034} + 1,159} = 10.37 \text{ Нм.}$$

4. $s=0.1$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 39.25 - 39.25 \cdot 0.1 = 35.33$ рад/с.

$$M_{\text{д25}} = \frac{160}{\frac{0.1}{0,483} + \frac{0,483}{0.1} + 1,159} = 25.82 \text{ Нм.}$$

5. $s=0.29$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 39.25 - 39.25 \cdot 0.29 = 27.87$ рад/с.

$$M_{\text{д25}} = \frac{160}{\frac{0.29}{0,483} + \frac{0,483}{0.29} + 1,159} = 46.78 \text{ Нм.}$$

6. $s=0.483$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 39.25 - 39.25 \cdot 0.483 = 20.29$ рад/с.

$$M_{\text{д25}} = \frac{160}{\frac{0.483}{0,483} + \frac{0,483}{0.483} + 1,159} = 50.65 \text{ Нм.}$$

7. $s=0.7$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 39.25 - 39.25 \cdot 0.7 = 11.78$ рад/с.

$$M_{\text{д25}} = \frac{160}{\frac{0.7}{0,483} + \frac{0,483}{0.7} + 1,159} = 48.48 \text{ Нм.}$$

8. $s=0.85$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 39.25 - 39.25 \cdot 0.85 = 5.89$ рад/с.

$$M_{\text{д25}} = \frac{160}{\frac{0.85}{0,483} + \frac{0,483}{0.85} + 1,159} = 45.85 \text{ Нм.}$$

9. $s=1$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 39.25 - 39.25 \cdot 1 = 0$ рад/с.

$$M_{д25} = \frac{160}{\frac{1}{0,483} + \frac{0,483}{1} + 1,159} = 43.13 \quad \text{Нм.}$$

Результаты расчета приведены в таблице 2.6

Таблица 2.6 – Результаты расчета

S	0	0,01	0,034	0,1	0,29	0,483	0,7	0,85	1
ω	39,25	38,86	37,92	35,33	27,87	20,29	11,78	5,89	0
M	0	3,23	10,37	25,82	46,78	50,65	48,48	45,85	43,13

Найдем значения моментов асинхронного двигателя при частоте 15 Гц.

$$M_{д15} = \frac{2M_{k15}(1 + as_{k15})}{\frac{s}{s_{k15}} + \frac{s_{k15}}{s} + 2as_{k15}} = \frac{134,4}{\frac{s}{0,728} + \frac{0,728}{s} + 1,75}$$

1. $s=0$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 23.55 - 23.55 \cdot 0 = 23.55$ рад/с, $M=0$.

2. $s=0.01$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 23.55 - 23.55 \cdot 0.01 = 23.31$ рад/с.

$$M_{д15} = \frac{134,4}{\frac{0,01}{0,728} + \frac{0,728}{0,01} + 1,75} = 1.8 \quad \text{Нм.}$$

3. $s=0.034$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 23.55 - 23.55 \cdot 0.034 = 22.75$ рад/с.

$$M_{д15} = \frac{134,4}{\frac{0,034}{0,728} + \frac{0,728}{0,034} + 1,75} = 5.79 \quad \text{Нм.}$$

4. $s=0.1$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 23.55 - 23.55 \cdot 0.1 = 21.2$ рад/с.

$$M_{д15} = \frac{134,4}{\frac{0,1}{0,728} + \frac{0,728}{0,1} + 1,75} = 14.66 \quad \text{Нм.}$$

5. $s=0,29$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 23.55 - 23.55 \cdot 0.29 = 16.72$ рад/с.

$$M_{д15} = \frac{134,4}{\frac{0,29}{0,728} + \frac{0,728}{0,29} + 1,75} = 28.84 \quad \text{Нм.}$$

6. $s=0,4$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 23.55 - 23.55 \cdot 0.4 = 14.13$ рад/с.

$$M_{д15} = \frac{134,4}{\frac{0,4}{0,728} + \frac{0,728}{0,4} + 1,75} = 32.62 \quad \text{Нм.}$$

7. $s=0,728$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 23.55 - 23.55 \cdot 0.728 = 6.41$ рад/с.

$$M_{д15} = \frac{134,4}{\frac{0,728}{0,728} + \frac{0,728}{0,728} + 1,75} = 35.84 \text{ Нм.}$$

8. $s=0,85$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 23.55 - 23.55 \cdot 0.85 = 3.53$ рад/с.

$$M_{д15} = \frac{134,4}{\frac{0,85}{0,728} + \frac{0,728}{0,85} + 1,75} = 35.65 \text{ Нм.}$$

9. $s=1$, $\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot s = 23.55 - 23.55 \cdot 1 = 0$ рад/с.

$$M_{д15} = \frac{134,4}{\frac{1}{0,728} + \frac{0,728}{1} + 1,75} = 34.9 \text{ Нм.}$$

Результаты расчета приведены в таблице 2.7

Таблица 2.7 – Результаты расчета

S	0	0,01	0,034	0,1	0,29	0,4	0,728	0,85	1
ω	23,55	23,31	22,75	21,2	16,72	14,13	6,41	3,53	0
M	0	1,8	5,79	14,66	28,84	32,62	35,84	35,65	34,9

По данным, приведенным в таблицах (2.5; 2.6; 2.7), построим искусственные механические характеристики (рисунок 2.6)

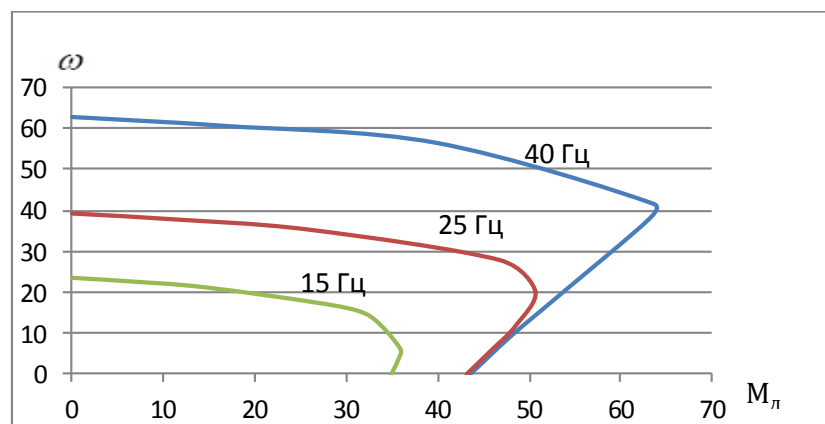


Рисунок 2.6 – Механические характеристики АД при частотном регулировании

2.6 Выбор преобразователя частоты. Общие положения

Возможность частотного регулирования скорости машин переменного тока очевидна из их математического описания. Основным его достоинством является то, что наряду со скоростью осуществляется регулирование и

потребляемой из сети энергии, то есть, по сравнению с параметрическими способами регулирования скорости, потери здесь минимальны.

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} .$$

(2.84)

Применительно к рассматриваемому нами случаю, необходимость установки преобразователя частоты обуславливается такими требованиями к конвейеру, как плавность хода (регулирование в широких пределах), минимальные и постоянные энергетические потери, возможность реверсирования вращения вала двигателя.

При выборе преобразователя частоты следует исходить из конкретной задачи, которую должен решать электропривод:

- типа и мощности подключаемого электродвигателя;
- точности и диапазона регулирования скорости;
- точности поддержания момента вращения на валу двигателя.

При работе со стандартным асинхронным двигателем преобразователь следует выбирать с соответствующей мощностью. Если требуется большой пусковой момент или короткое время разгона/замедления, выбираем преобразователь на ступень выше стандартного.

Для увеличения точности поддержания момента и скорости на валу двигателя в наиболее совершенных преобразователях реализовано векторное управление, позволяющее работать с полным моментом двигателя в области нулевых частот, поддерживать скорость при переменной нагрузке без датчиков обратной связи, точно контролировать момент на валу двигателя.

Преобразователи частоты (инверторы) обычно имеют встроенный ПИД-регулятор. Преобразователь изменяет скорость вращения двигателя таким образом, чтобы поддерживать на заданном уровне определенный параметр системы (расход, скорость, уровень, давление, температура и т.д.) благодаря поступлению аналогового сигнала 0-10В или 4-20мА с датчика. Наличие встроенного ПИД-регулятора позволяет упростить систему управления и не использовать внешних регуляторов.

Как правило, мощность инвертора подбирается равной мощности электродвигателя. Это правило распространяется на электродвигатели с номинальным количеством оборотов 1500 и 3000 оборотов в минуту. При использовании других электродвигателей или в некоторых особых случаях применения выбор преобразователя частоты (инвертора) должен соответствовать следующему условию: номинальный выходной ток преобразователя частоты (инвертора) должен быть не меньше номинального тока электродвигателя.

Выбор типа преобразователей частоты производится:

а) по напряжению питающей сети: $U_c = 220\text{В}$ и величине номинального тока: $I_{ном} = 6,1\text{ А}$, в первом приближении, соответствует модификация: ПЧВ101-К37-А. Однако, учитывая требуемую степень защиты оборудования – IP54 необходимо разместить его в монтажном шкафу и выбирать модификацию ПЧВ с коэффициентом запаса по выходному току, $K_1 \geq 1,3$. Такая мера необходима для безаварийной работы ПЧВ в условиях ограниченного доступа охлаждающего воздуха для отвода тепла от ПЧВ. Тогда, расчетное значение выходного тока для выбора модификации ПЧВ:

$$I_{расч} = I_{ном} \times K_1 \geq 6,1 \times 1,3 \geq 7,93\text{ А}$$

б) требованию по току $I_{расч} \geq 7,93\text{ А}$ удовлетворяет модификация: ПЧВ103-2К2-А (рабочий ток до 9,5 А).

На основании полученных данных, выберем преобразователь E2-8300S3L, с параметрами, приведенными в таблице 2.8:

Таблица 2.8 - Параметры ПЧИТ E2-8300-S3L

Мощность преобразователя, кВА	3
Мощность электродвигателя, кВт	2,2
Выходной номинальный ток, А	10,5
Напряжение питания	Однофазное 220 В (+10 %, -15 %), 50 Гц (±5 %)
Выходная частота, Гц	0,1-400

Допускает перегрузку по току: 150% номинального тока в течение 1 мин.

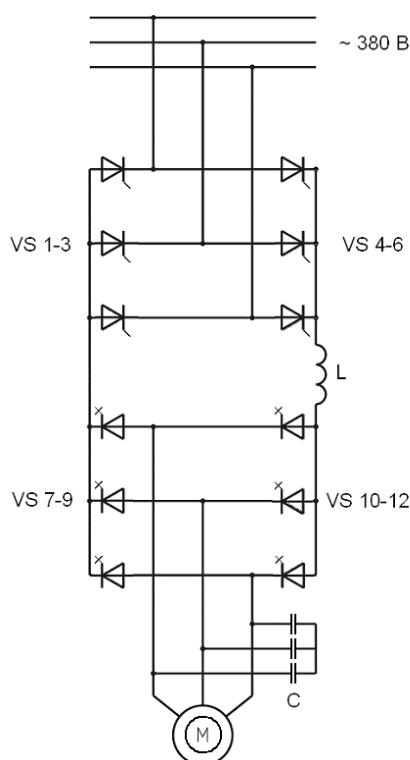


Рисунок 2.7 - Принципиальная схема преобразователя частоты

Данный преобразователь частоты является двухзвенным с промежуточным контуром тока. Первое звено ПЧ – управляемый выпрямитель на тиристорах, промежуточный контур постоянного тока – реактор. Второе звено – автономный инвертор тока (АИТ), выполнен на запираемых тиристорах ГТО. АИТ содержит конденсаторы, которые являются источником реактивной энергии для нагрузки ПЧ.

Основные достоинства ПЧ с АИТ:

- возможность рекуперации энергии в сеть;
- выходное напряжение изменяется по закону, близкому к синусоидальному;
- безаварийность режима короткого замыкания на выходе.

2.7. Описание преобразователя частоты E2-8300-S3L

Как известно, скорость ротора асинхронного электродвигателя регулируется изменением частоты питающего напряжения, амплитуды питающего напряжения, числа пар полюсов статора. Исходя из технологических условий, мы остановимся на первом способе регулирования.

Данное оборудование разработано для регулирования привода лифта и грузоподъемных механизмов с двигателем переменного тока.

Как известно, регулирование скорости асинхронного двигателя изменением частоты подводимого к статору напряжения возможно как в сторону снижения скорости, так и в сторону увеличения скорости выше

номинальной. При регулировании частоты вниз от номинальной, можно выбрать такой закон частотного управления (соотношение между частотой и амплитудой питающего напряжения, подводимого к статору асинхронного двигателя), что магнитный поток машины будет поддерживаться неизменным. В этом случае максимальный момент двигателя сохраняется неизменным, и таким образом обеспечивается постоянство перегрузочной способности во всем диапазоне регулирования при неизменном моменте нагрузки. Выбранный преобразователь частоты является преобразователем с промежуточным звеном постоянного тока, выполненный на базе инвертора тока. Принцип его работы заключается в том, что переменное напряжение сети выпрямляется посредством тиристорного выпрямителя; полученное постоянное напряжение стабилизируется в промежуточной цепи индуктивно-емкостным фильтром нижних частот. В блоке инвертора, выполненного на силовых запираемых тиристорах (GTO), формируется выходной сигнал нужного напряжения и частоты. Формирование выходного напряжения осуществляется методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Таблица 2.9 - Функциональные характеристики преобразователя

Тип		E2-8300
Режим управления		U/f или управление вектором тока
Регулирование частоты	Диапазон	От 0,1 до 650,0 Гц
	Момент при пуске	150%/1Гц (при управлении вектором тока)
	Кратность регулирования скорости	1:50 (при управлении вектором тока)
	Точность регулирования скорости	±0,5% (при управлении вектором тока)
Несущая частота ШИМ		От 2 до 16 кГц
Характеристики U/f		18 фиксированных и 1 программируемая характеристики.
Температура среды		От -10 до +50°C
Относительная влажность		От 0 до 95% (без конденсата)
Степень защиты		IP20 по ГОСТ 14254-96
Управление разгоном / торможением		Две ступени разгона / торможения (0,1 – 3600 с) и S-кривые (см. описание константы 3-05)

Выбор дополнительного оборудования. Для повышения качества управления и безотказной работы привода рекомендуется применять совместно с ПЧВ внешнее дополнительное оборудование. Схема его подключения приведена на рисунке 2.8. Приведены устройства защиты и коммутации и цепи питания ПЧВ.

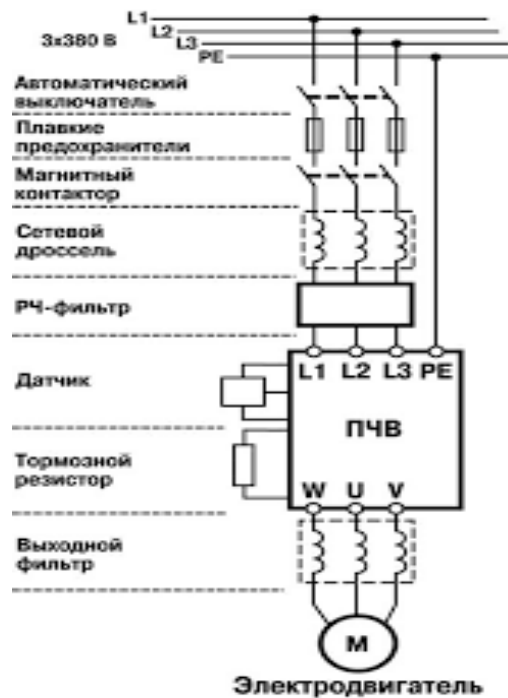


Рисунок 2.8 - Структурная схема подключения привода модификации ПЧВ103-2К2-А

Выбор магнитных контакторов. Магнитный контактор служит для местного или дистанционного управления питанием, а также для выполнения защитных функций ПЧВ. Для преобразователя частоты ПЧВ103-2К2-А выбираем магнитный контактор ПМЛ-110 (исполнение по степени защиты – IP00) с номинальным током 10 А.

Выбор сетевых дросселей. Сетевой дроссель повышает коэффициент мощности и рекомендуется, если мощность источника питания (распределительного трансформатора) более 500 кВА и превышает в шесть и более раз мощность ПЧВ или если длина кабеля между источником питания и преобразователем частоты менее 10 м.

При работе инвертор ПЧВ генерирует высшие гармоники тока, которые искажают форму и симметрию фаз питающего напряжения. Чем больше мощность ПЧВ, тем большие искажения он вносит в систему электроснабжения. Высшие гармоники тока приводят к дополнительным потерям в магнитопроводах других двигателей и трансформаторов, вызывая нагрев и сокращение срока службы. Кроме того, высшие гармоники могут приводить к нестабильной работе электронных приборов.

При внезапных коротких замыканиях на входе и выходе ПЧВ или при грозовых перенапряжениях в сети сетевой дроссель ограничивает скорость нарастания тока через диоды и транзисторы IGBT-модуля, что обеспечивает успешное срабатывание электронной токовой защиты ПЧВ.

Применение сетевого дросселя в составе привода ПЧВ:

1. Позволяет более полно использовать энергосберегающие свойства ПЧВ в приводах насосов, вентиляторов или других механизмов;
2. Защищает сеть электроснабжения от высших гармоник от ПЧВ;
3. Защищает ПЧВ от асимметрии и перенапряжений в сети электроснабжения;
4. Повышает коэффициент мощности.

Для преобразователя частоты ПЧВ103-2К2-А выбираем сетевой дроссель ОВЕН РС0-025-А с номинальным током 25 А и индуктивностью 0,7 мГн.

Выбор радиочастотных фильтров. Для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) на входе питания ПЧВ рекомендуется применять радиочастотные фильтры (далее РЧ - фильтры).. Для преобразователя частоты ПЧВ103-2К2-А выбираем радиочастотный фильтр ЕМF011А21А с номинальным током 11 А, рассчитанный на напряжение 220В.

Выбор выходных фильтров для ПЧВ. Для повышения качества управления и срока службы АД рекомендуется применять на выходе ПЧВ моторные дроссели, дроссели dU/dt и синусные фильтры.

Основное назначение дросселей dU/dt - снижение скорости нарастания напряжения и величины перенапряжения на клеммах АД вследствие импульсной формы напряжения от ПЧВ. Дроссели dU/dt устанавливаются в непосредственной близости от выхода ПЧВ и рекомендуются в следующих случаях:

- а) при коротком кабеле между преобразователем частоты и АД;
- б) со старыми или перемотанными АД;
- в) в агрессивных или с высокой влажностью средах.

Для преобразователя частоты ПЧВ103-2К2-А выбираем дроссель dU/dt ED3du-1,27/7 с номинальным током 7 А и индуктивностью 1,27 мГн.

При питании АД от ПЧВ к его обмоткам прикладывается импульсное напряжение с широким частотным спектром, который негативно влияет на свойства изоляционных материалов и вызывает гармоники в форме его фазного тока.

Моторные дроссели снижают угрозу пробоя изоляции и величину пульсаций тока АД, а так же компенсируют емкостные токи длинных моторных кабелей и позволяют увеличить их длину.

Для преобразователя частоты ПЧВ103-2К2-А выбираем сетевой дроссель ОВЕН РМО-010-А с номинальным током 10 А и индуктивностью 2,1 мГн.

Синусные фильтры представляют собой комбинацию емкостных и индуктивных элементов. Высокая частота преобразования инвертора ПЧВ поглощается синусным фильтром и на его выходе получается синусоидальное напряжение без гармонических составляющих, что позволяет значительно увеличивать длину моторных кабелей (до 150 метров) и исключает необходимость применения экранированного кабеля. Кроме того, при качественной фильтрации напряжения, снижается нагрев и акустический шум

АД, что увеличивает срок его службы. Синусные фильтры устанавливаются в непосредственной близости к ПЧВ.

Для преобразователя частоты ПЧВ103-2К2-А выбираем синусный фильтр EF3LC-5,5/10 с номинальным током 10 А и индуктивностью 5,5 мГн.

Расчет значения мощности и сопротивления тормозного резистора.

Тормозной резистор применяется для торможения двигателя или быстрого снижения его скорости (особенно, для нагрузок с большим моментом инерции). При торможении асинхронный двигатель работает в генераторном режиме и отдает электрическую энергию в ПЧВ, что вызывает перенапряжение в звене постоянного тока. Для гашения перенапряжения в звене постоянного тока используются тормозные резисторы, которые преобразуют электрическую энергию в тепловую.

Для расчета сопротивления тормозного резистора в зависимости от цикла нагрузки рекомендуется использовать нижеописанный алгоритм.

Рассчитываем максимальный момент торможения M_{Bmax} . Данный момент зависит от начальной скорости замедления n_1 , конечной скорости замедления n_2 , желаемого времени замедления t_B и общего момента инерции системы J_{tot}

Требуемое время торможения и значение тормозного цикла для обеспечения заданного момента торможения:

$$t_g = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot M_{Bmax}} = \frac{6,28 \cdot 750}{60 \cdot 29} = 2,71 \text{сек.} \quad (2.85)$$

$$ED = \frac{t_g}{T} = \frac{2,71}{60} = 4,52\%. \quad (2.86)$$

Рассчитаем максимальную тормозную мощность:

$$P_{Bmax} = \frac{M_{Bmax} \cdot (n_1 - n_2)}{9,55} = \frac{29 \cdot 700}{9,55} = 2,1 \text{кВт.} \quad (2.87)$$

Определим электрическую мощность торможения:

$$P_{el} = P_{Bmax} - k \cdot P_{mol} = 2,1 - 0,2 \cdot 2,2 = 1,66 \text{кВт.} \quad (2.88)$$

По графику, изображенному на рисунке 3.3, выбираем коэффициент $f_k=0,15$. Определяем номинальную мощность торможения.

$$P_{elНОМ} = \frac{P_{el}}{f_k} = \frac{1,66}{0,15} = 11,07 \text{кВт} \quad (2.89)$$

Определяем максимально допустимое сопротивление тормозного резистора для заданного цикла нагрузки

$$R_{B\max} \leq \frac{U_B^2}{P_{el}} = \frac{220^2}{1660} = 29,16 \text{ Ом.} \quad (2.90)$$

Выбираем тормозной модуль FCI-BU-50 на 29 Ом.

2.8 Расчет энергетических показателей электродвигателя

Рассчитываем полную мощность:

$$\Delta P_H = P_H \left(\frac{1}{\eta_H} - 1 \right) = 2200 \cdot \left(\frac{1}{0.765} - 1 \right) = 675.8 \text{ Вт.} \quad (2.91)$$

Рассчитываем переменную составляющую потери мощности:

$$\Delta P_{V.H} = M_H (\omega_0 - \omega_H) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 29(78.5 - 75.83) \cdot \left(1 + \frac{3.35}{2.79} \right) = 170.35 \text{ Вт.} \quad (2.92)$$

Рассчитываем постоянную составляющую потери мощности:

$$\Delta P_{CH} = \Delta P_H - \Delta P_{VH} = 675.8 - 170.35 = 505.45 \text{ Вт.} \quad (2.93)$$

Определение коэффициента потерь мощности:

$$a = \frac{\Delta P_{CH}}{\Delta P_{VH}} = \frac{505.45}{170.35} = 2.967 \quad (2.94)$$

Активная мощность.

Расчет полезного расхода энергии:

$$A_2 = M_C \cdot \omega_C \cdot t_C = 29 \cdot 75.83 \cdot 0.8 = 1759.26 \text{ Вт} \cdot \text{с}, \quad (2.95)$$

где ω_C , t_C – угловая скорость и время установившегося режима.

Определение постоянной составляющей потери энергии:

$$\Delta A_C \approx \Delta P_{CH} \cdot \left(\frac{\omega_C}{\omega_o} \right)^2 \cdot t_C = 505.45 \cdot \left(\frac{75.83}{78.5} \right)^2 \cdot 0.8 = 377.3 \text{ Вт} \cdot \text{с}. \quad (2.96)$$

Определение величины приведенного фазного тока ротора в установившемся режиме:

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S_C}\right)^2 + (X_K)^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(3.35 + \frac{2.79}{0,034}\right)^2 + (9.42)^2}} = 2.56 \text{ A.} \quad (2.97)$$

Определение переменной составляющей потери энергии:

$$\Delta A_V = 3 \cdot [I_0^2 \cdot R_1 + (I_2')^2 \cdot (\epsilon \cdot R_1 + R_2')] \cdot t_C \quad (2.98)$$

где ϵ – поправочный коэффициент:

$$\epsilon = 1 + \frac{2 \cdot I_0 \cdot X_K}{U_1} = 1 + \frac{2 \cdot 6.1 \cdot 9.42}{220} = 1.52 \quad (2.99)$$

$$\Delta A_V = 3 \cdot [6.1^2 \cdot 3.35 + 2.56^2 \cdot (1.52 \cdot 3.35 + 2.79)] \cdot 0,8 = 347.58 \text{ Вт} \cdot \text{с.}$$

Потребляемая из сети энергия:

$$A_1 = A_2 + \Delta A_C + \Delta A_V = 1759.26 + 377.3 + 347.58 = 2484.14 \text{ Вт} \cdot \text{с.} \quad (2.101)$$

Потребление реактивной энергии за цикл:

$$\sum A_P = \sum_{i=1}^n 3 [I_0^2 \cdot (X_1 + X_{\mu}) + (I_{2i}')^2 \cdot (X_1 + X_2')] \cdot t_{c,i} \quad (2.102)$$

$$A_P = 3 \cdot [6.1^2 \cdot 57.7 + 2.56^2 \cdot 9.42] \cdot 0,8 = 5300.96 \text{ Вт} \cdot \text{с.}$$

Коэффициент полезного действия

$$\eta_{\Delta} = \frac{\sum A_2}{\sum A_1} \cdot 100\% = \frac{1759.26}{2484.14} \cdot 100\% = 70.8\% \quad (2.103)$$

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi_{\Delta} = \frac{\sum A_1}{\sqrt{(\sum A_1)^2 + (\sum A_P)^2}} = \frac{2484.14}{\sqrt{2484.14^2 + 5300.96^2}} = 0,42 \quad (2.104)$$

3 Исследование системы электропривода в динамических режимах работы

3.1 Математическая модель и структурная схема асинхронного двигателя

Новый подход, основанный на полных дифференциальных уравнениях асинхронного двигателя, позволяет построить структуру системы управления частотным электроприводом, называемую системой частотного управления и осуществить анализ и синтез асинхронного электродвигателя более простыми методами. Дифференциальные уравнения для обобщенной машины записываются в различных системах координат. Приняты оси координат α, β неподвижные относительно статора и оси d, q – неподвижные относительно ротора. Запись уравнений в этих осях является частным случаем математического описания процессов машины. В общем случае уравнения записываются относительно произвольных координатных осей, например u, v , вращающихся со скоростью ω_k , из которых можно получить любые частные случаи работы электрической машины. Если принять ось u за действительную, а ось v – за мнимую, то дифференциальные уравнения могут быть записаны в векторной форме.

$$\begin{aligned}
 U_{1u} &= i_{1u}R_1 + \frac{d\psi_u}{dt} - \omega_k\psi_{1g} \\
 U_{1g} &= i_{1g}R_1 + \frac{d\psi_g}{dt} - \omega_k\psi_{1u} \\
 0 &= i_{2u}R_2 + \frac{d\psi_{2u}}{dt} - (\omega_k - \omega_{\text{эл}})\psi_{2g} \\
 0 &= i_{2g}R_2 + \frac{d\psi_{2g}}{dt} - (\omega_k - \omega_{\text{эл}})\psi_{2u} \\
 M &= p_n L_{12}(i_{1g}i_{2u} - i_{1u}i_{2g}) \\
 \psi_{1u} &= L_1 i_{1u} + L_{12} i_{2u} \\
 \psi_{1g} &= L_1 i_{1g} + L_{12} i_{2g} \\
 \psi_{2u} &= L_2 i_{2u} + L_{12} i_{1u} \\
 \psi_{2g} &= L_2 i_{2g} + L_{12} i_{1g}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Математическая модель двухфазного асинхронного двигателя в осях u - v вид:

$$\begin{aligned}
 \omega_k &= 0 \\
 \overline{U}_1 &= \overline{i}_1 R_1 + \frac{d\overline{\psi}_1}{dt} \\
 0 &= \overline{i}_2 R_2 + \frac{d\overline{\psi}_2}{dt} - j\omega_{\text{эл}} \overline{\psi}_2 \\
 \overline{M} &= p_n L_{12} \text{Im}(\overline{i}_1 \cdot \overline{i}_2^*) = p_n L_{12} (i_{1\beta} i_{2\alpha} - i_{1\alpha} i_{2\beta})
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

ω_k – скорость системы координат;

i_v, i_u – составляющие тока;

ψ_v, ψ_u – потокосцепления;

R_1 – сопротивление статора;

M – электромагнитный момент двигателя;

L_1, L_2 – индуктивности фаз статора и ротора;

L_{12} – индуктивность взаимной индукции;

U_1 – напряжение на статоре.

Все переменные этой модели меняются с частотой тока статора.

Имитационная модель двухфазного асинхронного двигателя в осях α - β имеет вид:

$$\begin{aligned}
 \frac{di_{1\alpha}}{dt} &= K_1(U_{1\alpha} - i_{1\alpha} R_1) + K_3 i_{2\alpha} + K_2 e_{1\beta} \\
 \frac{di_{1\beta}}{dt} &= K_1(U_{1\beta} - i_{1\beta} R_1) + K_3 i_{2\beta} - K_2 e_{1\alpha} \\
 \frac{di'_{2\alpha}}{dt} &= -K_2(U_{1\alpha} - i_{1\alpha} R_1) - K_5 i'_{2\alpha} - K_4 e_{1\beta} \\
 \frac{di'_{2\beta}}{dt} &= -K_2(U_{1\beta} - i_{1\beta} R_1) - K_5 i'_{2\beta} - K_4 e_{1\alpha} \\
 \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{j} (M - |M_c| \text{sign} \omega) \\
 M &= K_6 (i_{\beta} i'_{2\alpha} - i_{1\alpha} i'_{2\beta}) \\
 e_{1\alpha} &= \omega_{\text{эл}} (L_2 i'_{2\alpha} + L_{12} i_{1\alpha}) \\
 e_{1\beta} &= \omega_{\text{эл}} (L_2 i'_{2\beta} + L_{12} i_{1\beta}) \\
 \omega_{\text{эл}} &= p_n \omega
 \end{aligned}$$

Где:

$$K_1 = \frac{L_2}{L_1 L_2 - L_{12}^2}$$

$$K_2 = \frac{L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2}$$

$$K_3 = K_2 R_2'$$

$$K_4 = \frac{L_1}{L_1 L_2 - L_{12}^2}$$

$$K_5 = K_4 R_2'$$

$$K_6 = \frac{3}{2} p_n L_{12}$$

$$U_{1\alpha} = U_{1m} \cos[\phi_{эл}(t)]$$

$$U_{1\beta} = U_{1m} \sin[\phi_{эл}(t)]$$

$$\phi_{эл} = 2\pi f_{1НОМ} \int \alpha(t) dt$$

$$\alpha(t) = \frac{f_1(t)}{f_{1НОМ}}$$

где M , M_c – момент двигателя и статический момент сопротивления механизма;

\dot{J}_Σ - суммарный момент инерции механизма.

На рисунке 3.1 показана структурная схема асинхронного двигателя, построенная на основе модели двухфазного асинхронного двигателя в осях α - β .

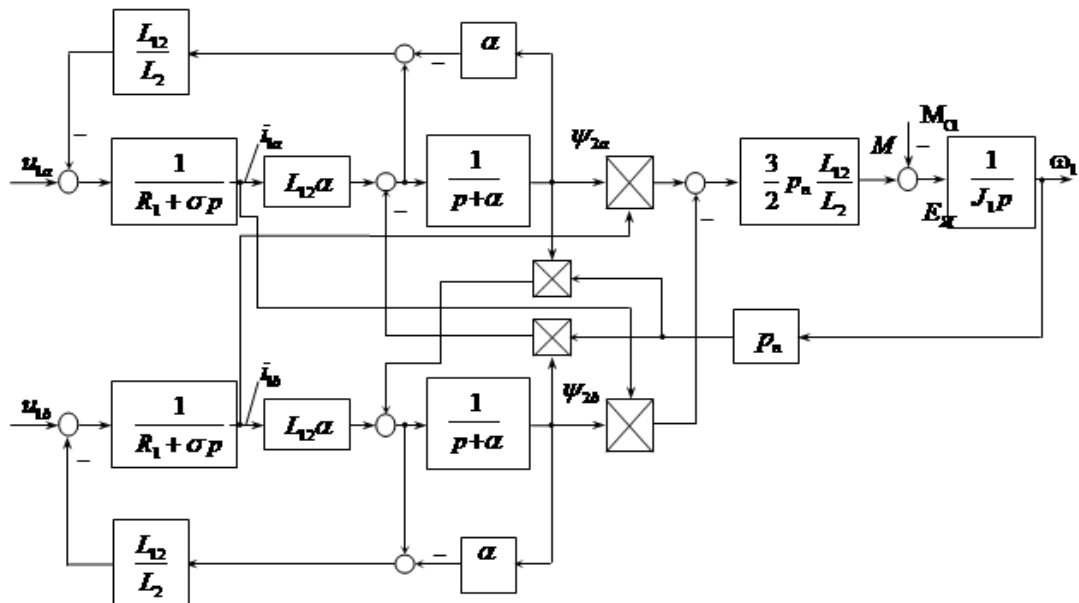


Рисунок 3.1 - Структурная схема асинхронного двигателя
3.2 Расчет параметров объекта управления

Определим коэффициенты $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$, для двухфазной модели АД для этого рассчитаем необходимые параметры:

- индуктивность статора

$$L_1 = \frac{X_1 + X_\mu}{2\pi f} = \frac{1.119 + 79.88}{314} = 0.184 \text{ Гн.}$$

- индуктивность ротора

$$L_2 = \frac{X_2 + X_\mu}{2\pi f} = \frac{2.249 + 79.88}{314} = 0.19 \text{ Гн.}$$

- взаимная индуктивность

$$L_{12} = \frac{X_\mu}{2\pi f} = \frac{54}{314} = 0.172 \text{ Гн.}$$

- эквивалентная индуктивность цепи статора

$$L_s = L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2} = 0.184 - \frac{0.172^2}{0.19} = 0.0283 \text{ Гн.}$$

$$K_1 = \frac{L_2}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{0.19}{0.184 \cdot 0.19 - 0.172^2} = 35.34 \text{ 1/Гн.}$$

$$K_2 = \frac{L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{0.172}{0.184 \cdot 0.19 - 0.172^2} = 31.994 \text{ 1/Гн.}$$

$$K_3 = K_2 R_2 = 31.994 \cdot 2.79 = 89.26 \text{ 1/Гн.}$$

$$K_4 = \frac{L_1}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{0.184}{0.184 \cdot 0.19 - 0.172^2} = 34.226 \text{ 1/Гн.}$$

$$K_5 = K_4 R_2 = 34.226 \cdot 2.79 = 95.49 \text{ 1/Гн.}$$

$$K_6 = \frac{3}{2} p_n L_{12} = \frac{3}{2} \cdot 4 \cdot 0.172 = 1.032 \text{ Ом.}$$

$$R_3 = R_1 + R_2 \left(\frac{L_{12}^2}{L_2^2} \right) = 3.35 + 2.79 \cdot \frac{0.172^2}{0.19^2} = 5.64 \text{ Ом.}$$

$$T_3 = \frac{L_3}{R_3} = \frac{0.0283}{5.64} = 0.005 \text{ с.}$$

$$\psi_1 = \frac{E_s \cdot \text{ном}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{ном}}} = \frac{217}{314} = 0.69 \text{ Вб.}$$

3.3 Структурная схема системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» и расчет ее параметров

Структурная схема линеаризованной системы ТПЧ-Д представляет собой структурную схему АД и динамического звена на её входе с передаточной функцией ТПЧ (рисунок 3.2):

$$W_{\text{ТПЧ}} = \frac{\omega_0(P)}{U_{\text{уч}}(P)} = \frac{K_{\text{уч}} \cdot 2\pi}{P_{\pi}} \quad (3.4)$$

где $U_{\text{уч}}$, $K_{\text{уч}}$ – напряжение управления частотой и коэффициент усиления ТПЧ по каналу частоты.

Модуль статической жесткости рассчитывают по формуле:

$$\beta = \frac{2 \cdot M_K}{\omega_{\text{OH}} \cdot S_K} \cong \frac{M_H}{\omega_{\text{OH}} - \omega_H} = \frac{29}{78.5 - 75.83} = 10.86 \quad (3.5)$$

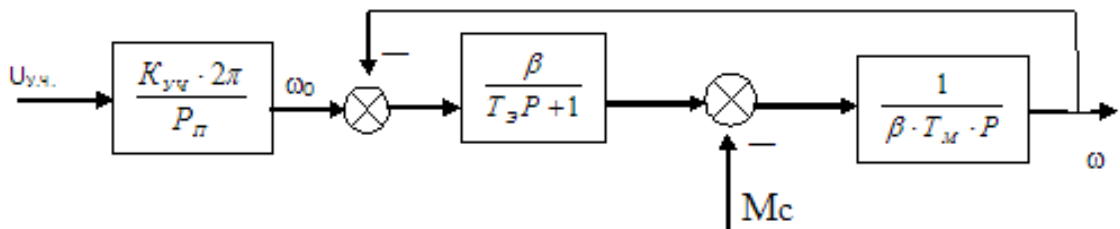


Рисунок 3.2 - Структурная схема системы ТПЧ-АД

Электромагнитная постоянная времени определяется по формуле:

$$T_э = \frac{1}{314 \cdot S_K} = \frac{1}{314 \cdot 0.28} = 0.0114. \quad (3.6)$$

Электрохимическая постоянная времени электродвигателя:

$$T_M = J \frac{\omega_0}{M_{\max}} = 0,017 \frac{78,5}{63,8} = 0,021. \quad (3.7)$$

На рисунке 3.3 показана структурная схема автоматизированной системы управления вентиляторной установкой.

В схеме приняты следующие обозначения:

РТ – регулятор температуры;

$K_{дт}$ – датчик температуры;

$K_{вент}$ - передаточный коэффициент вентилятора;

K_d – передаточный коэффициент электродвигателя, который определяется по формуле:

$$K_d = \frac{2\pi}{p} = \frac{2 \cdot 3,14}{4} = 1,57.$$

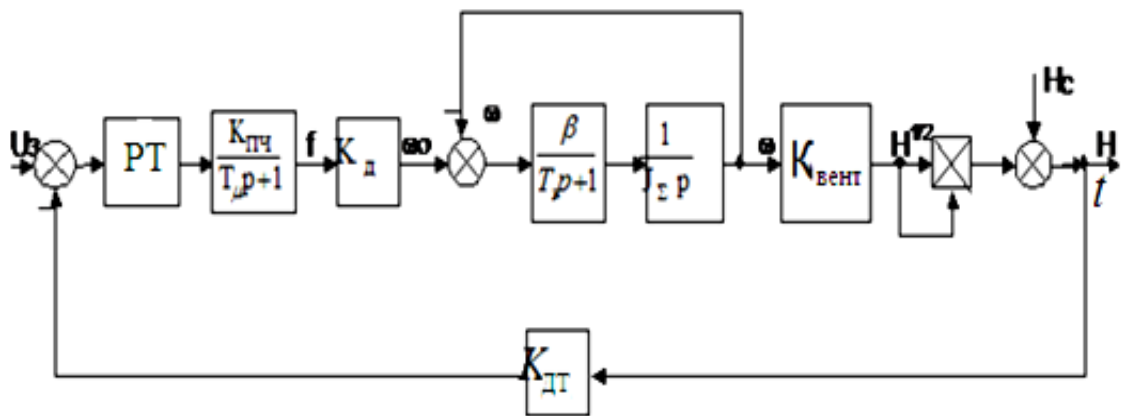


Рисунок 3.3 - Структурная схема автоматизированной системы управления вентиляторной установкой

3.4 Выбор виртуальной модели электропривода и исследование переходных процессов

В качестве программного пакета для моделирования полупроводниковых электроприводов наиболее подходящей считается система MatLab (матричная лаборатория) со своими пакетами расширения (Toolboxes), повсеместно принятая в качестве основного инструмента изучения полупроводникового электропривода.

Основными пакетами расширения, которые использованы при исследовании полупроводникового электропривода, являются Simulink и Power System Blockset.

Пакет Simulink со своими дополнениями - основной инструмент изучения различных электромеханических систем. Практически не

существует задачи, связанной с исследованием систем электропривода, которую нельзя было бы решить в этом пакете.

Simulink предоставляет исследователю самые различные возможности, начиная от структурного (математического) представления системы и кончая генерированием кодов для программирования микропроцессора в соответствии со структурной схемой модели.

Библиотека Simulink представляет собой набор визуальных объектов, используя которые можно исследовать практически любую систему автоматического регулирования. Практически для всех блоков существует возможность настройки параметров. Параметры настройки отражаются в панели окна настройки выбранного блока.

В исследуемую модель (рисунок 3.4) вошли такие элементы:

- Asynchronous Machine SI Unit – готовая модель асинхронного двигателя параметрами, соответствующими номинальным паспортным данным двигателя 4A112MA8Y3;
- Трехфазный источник синусоидального напряжения 3Phase Programmable Voltage Source с номинальными параметрами: $U_m=380$ В; сдвинутые по фазе друг относительно друга на 120° , моделируют трехфазную систему напряжений с номинальными значениями: $U_\phi=220$ В, $U_n=380$ В, $f=50$ Гц;
- Three-Phase V-I Measurement – трехфазный мультиметр для осуществления замеров сетевого тока и напряжения;
- 2 элемента типа Scope – модели осциллографов для просмотра графиков сетевых тока и напряжения, а также изменения во времени частоты вращения ротора двигателя и момента на его валу;
- 2 элемента типа Display для контроля установившегося значения тех же параметров;
- Scope – элемент, с помощью которого возможно снять осциллограммы изменения скорости вращения ротора двигателя и момента на валу во времени;
- Constant – элемент, с помощью которого возможно смоделировать постоянные нагрузки на вал двигателя;
- Timer – элемент, с помощью которого возможно смоделировать наброс и сброс нагрузки на вал двигателя в определенный момент времени.

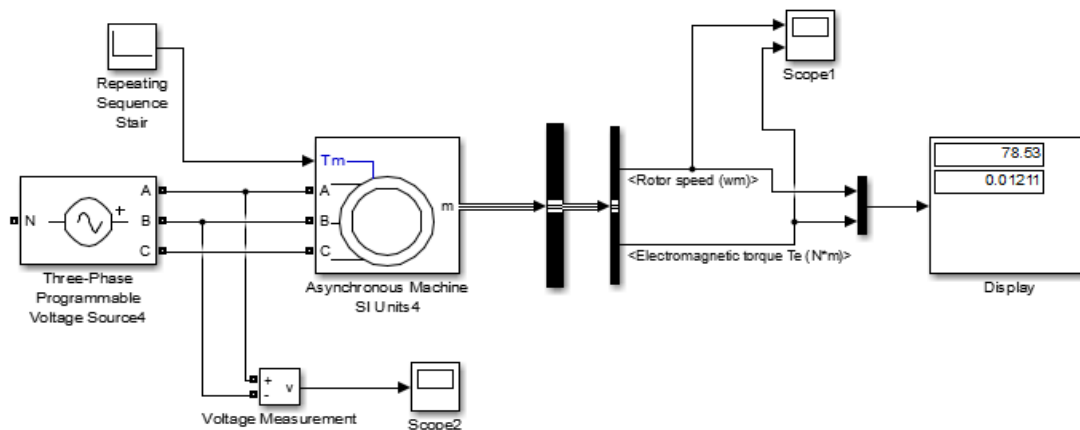


Рисунок 3.4 - Виртуальная модель пуска асинхронного двигателя

В окно ввода введем параметры выбранного электродвигателя 4A112MA8У3, соответствующие номинальным паспортным данным (рис. 3.5).

Моделируем пуск двигателя под нагрузкой при трех различных частотах питающего напряжения $f_1=50$ Гц, $f_2=30$ Гц, $f_3=15$ Гц, используя закон

$$\frac{U}{f} = const$$

частотного регулирования

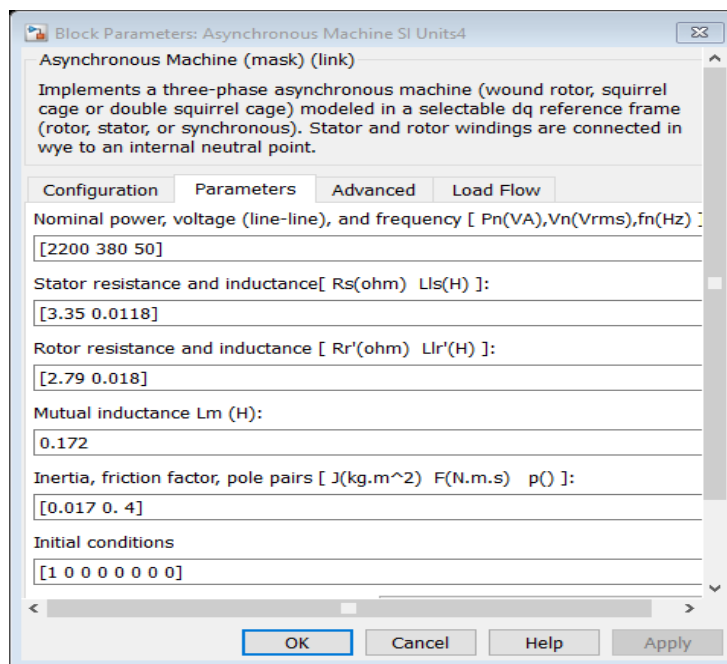


Рисунок 3.5 - Параметры электродвигателя 4A112MA8У3

На рисунке 3.6 показаны переходные характеристики скорости и момента электродвигателя при пуске без нагрузки, при $f=50$ Гц $U_{\pi}=380$ В.

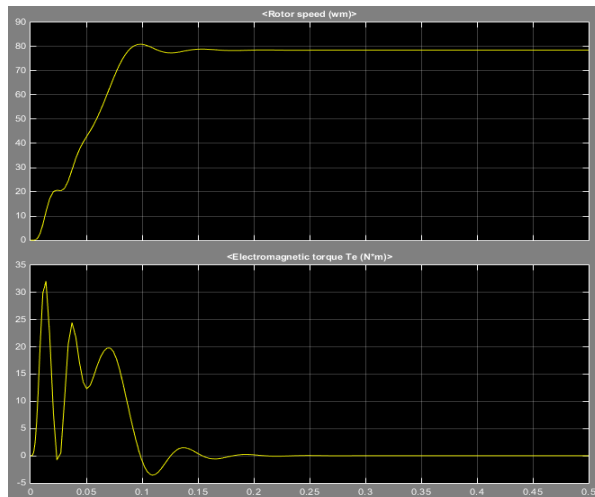


Рисунок 3.6 - Переходные характеристики скорости и момента при пуске 50 Гц без нагрузки

На рисунке 3.7 показаны переходные характеристики скорости и момента электродвигателя при пуске без нагрузки, $f=50$ Гц $U_{\text{н}}=380$ В; при $f=30$ Гц $U_{\text{н}}=228$ В; при $f=20$ Гц $U_{\text{н}}=152$ В; $f=15$ Гц $U_{\text{н}}=114$ В.

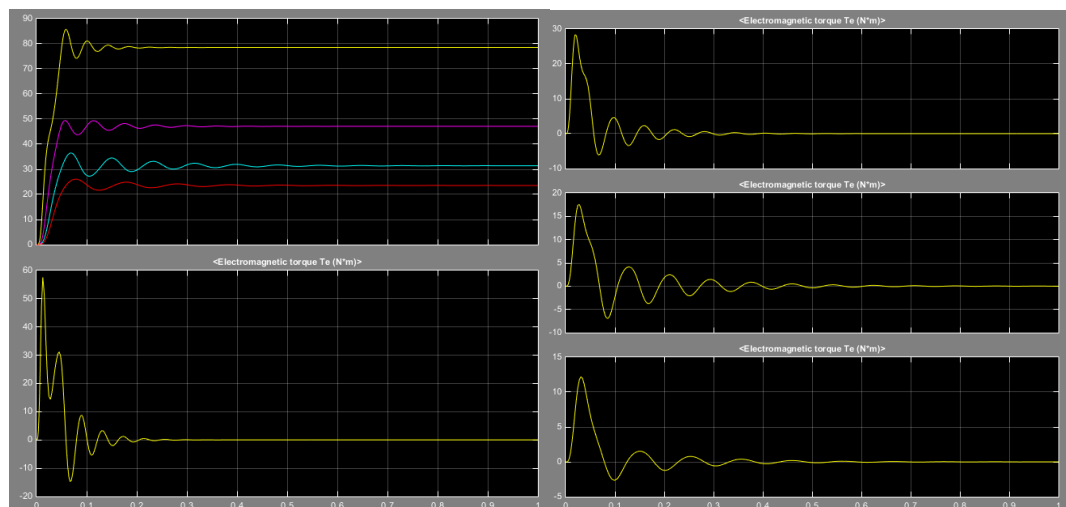


Рисунок 3.7 - Переходные характеристики скорости и момента при пуске 50,30,20,15 Гц без нагрузки

На рисунке 3.8 показаны переходные характеристики скорости и момента электродвигателя при пуске под нагрузкой 10; 5; 0 Нм, каждые 2 с при $f = 50; 30; 20; 15$ Гц

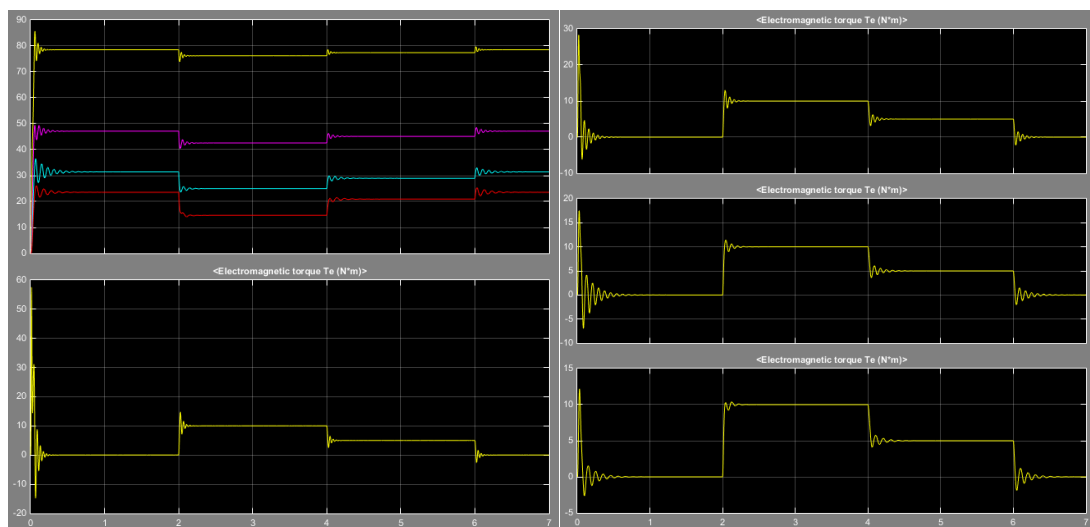


Рисунок 3.8 - Переходные характеристики скорости и момента при пуске под нагрузкой ($M=10; 5; 0 \text{ Н}\cdot\text{м}$) и при $f = 50; 30; 20; 15 \text{ Гц}$

На рисунке 3.9 показаны переходные характеристики скорости и момента электродвигателя при пуске под нагрузкой $7 \text{ Н}\cdot\text{м}$ спустя 1 с после пуска при $f = 50; 30; 20; 15 \text{ Гц}$

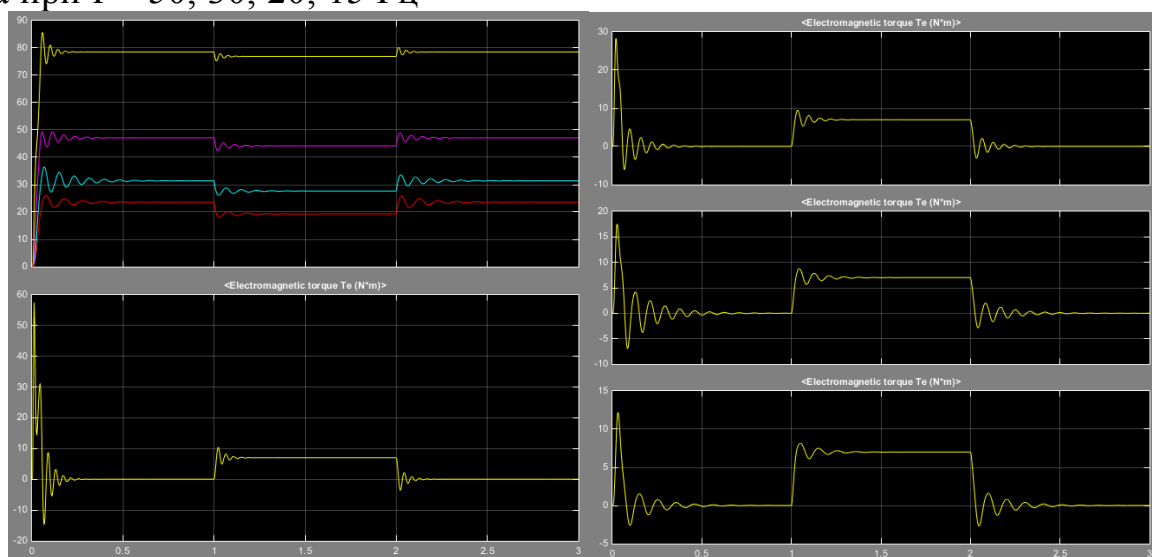


Рисунок 3.9 - Переходные характеристики скорости и момента при пуске под нагрузкой ($M=7 \text{ Н}\cdot\text{м}$) и при $f = 50; 30; 20; 15 \text{ Гц}$

На основании полученных переходных характеристик можно сделать вывод о том, что при пропорциональном снижении напряжения и частоты снижается соответствующим образом значение номинальной скорости и время достижения этой скорости. Электродвигатель может обеспечить номинальный момент

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Анализ пожарной опасности конвейерной ленты

Проблема пожаров, возникающих при эксплуатации ленточных конвейеров, отягощена не только огромным экономическим ущербом, но и невосполнимыми человеческими жертвами. Поэтому этой проблеме в ПБ уделено большое внимание.

Противопожарная защита шахты должна быть спроектирована и выполнена таким образом, чтобы предотвратить возможность пожара, а в случае его возникновения в ходе любого технологического процесса или ремонтных работ, при эксплуатации горно-шахтного оборудования, обеспечивались эффективная локализация и тушение пожара в начальной стадии.

В разделах противопожарной защиты проектов новых, реконструируемых и действующих шахт, а также при разработке и совершенствовании горно-шахтного оборудования необходимо предусматривать следующие мероприятия по предотвращению пожаров, по нейтрализации воздействия на людей опасных факторов пожара и обеспечению сохранности материальных ценностей в случае возникновения пожара:

д) применение безопасных в пожарном отношении машин и механизмов, оборудования, устройств и схем энергоснабжения;

е) применение негорючих и трудно горючих веществ и материалов, в том числе рабочих жидкостей;

з) применение автоматических средств обнаружения начальных стадий подземных пожаров, установок пожаротушения, средств контроля нагрева узлов ленточных конвейеров на всем протяжении, блокировок, не допускающих работу машин и механизмов, в том числе ленточных конвейеров, при несоответствии давления воды в пожарном трубопроводе нормативным требованиям.

Конвейерные ленты, вентиляционные трубы, оболочки электрических кабелей и другие изделия, применяемые в горных выработках и надшахтных зданиях, должны быть изготовлены из негорючих материалов.

Степень горючести и содержания ядовитых веществ, выделяющихся при горении, должна соответствовать нормативам.

Величина поверхностного электрического сопротивления материалов вентиляционных труб и конвейерных лент не должна превышать $3 \cdot 10^8$ Ом.

Запрещается применять дерево и другие горючие материалы для футеровки барабанов и роликов конвейеров, закрепления приводных и натяжных секций ленточных конвейеров, устройства приспособлений, предотвращающих сход ленты, прокладок под конвейерные ленты, переходных мостиков через конвейеры.

Для изготовления установочных брусьев и подкладок под ленточные и скребковые конвейеры (кроме приводных секций), для устройства площадок в местах посадки и схода людей с конвейеров, и временных настилов под оборудование допускается применение древесных материалов, пропитанных огнезащитным составом.

При эксплуатации ленточных конвейеров не допускается:

- а) работа конвейера при снижении давления воды ниже нормативной величины в пожарном трубопроводе, проложенном в конвейерной выработке;
- б) работа конвейера при отсутствии или неисправности средств противопожарной защиты;
- в) работа конвейера при неисправной защите от пробуксовки, заштыбовки, от схода ленты в сторону и снижения скорости, при трении ленты о конструкции конвейера и элементы крепи выработки;
- г) одновременное управление автоматизированной конвейерной линией из двух и более мест (пультов), а также стопорение подвижных элементов аппаратуры способами и средствами, не предусмотренными инструкцией завода-изготовителя;
- д) пробуксовка ленты на приводных барабанах из-за ослабления ее натяжения;
- е) работа конвейера при неисправных роликах или их отсутствии;
- ж) использование резинотросовых лент при износе обкладок рабочих поверхностей на 50 %.

Выработки, оборудованные ленточными конвейерами, должны быть оснащены системами автоматического обнаружения пожаров в начальной стадии.

Система управления ленточными конвейерами должна быть оборудована датчиками давления воды, не допускающими включение и обеспечивающими отключение привода конвейера при падении давления в пожарном трубопроводе ниже нормативной величины. Сигнал об отключении конвейера должен передаваться на пульт горного диспетчера.

Ленточные конвейеры должны быть оборудованы стационарными автоматическими установками пожаротушения, защищающими их на всем протяжении, включая пункты перегруза и натяжные станции.

До оснащения линейной части конвейеров специальными средствами автоматического пожаротушения, защищающими его на всем протяжении, допускается по разрешению технического директора объединения, концерна, ассоциации, акционерного общества и по согласованию с местным органом Гогортехнадзора секционирование конвейерных выработок водоразбрызгивающими установками, предназначенными для локализации и тушения пожаров.

В действующих горных выработках должен быть проложен пожарно-оросительный трубопровод с автоматическим контролем давления воды в точках, определенных главным механиком шахты по согласованию с ВГСЧ.

Пожарные трубопроводы должны быть проложены так, чтобы обеспечивалась подача воды для тушения пожара в любой точке горных выработок шахты.

Диаметр трубопровода определяется расчетом, но должен быть не менее 100 мм. Трубопровод должен быть постоянно заполнен водой и обеспечивать в любой точке необходимые для пожаротушения расход и давление.

Запрещается использование пожарного трубопровода не по назначению (откачка воды и др.), но допускается использование его для борьбы с пылью.

Проектирование трубопроводов должно осуществляться в соответствии с Указаниями по проектированию трубопроводов в подземных выработках угольных шахт.

Ленточные конвейеры должны оборудоваться:

а) датчиками бокового схода ленты, отключающими привод конвейера при сходе ленты на сторону более 10 % ее ширины;

б) средствами пылеподавления в местах перегрузок; в) устройствами по очистке лент и барабанов;

г) устройствами, улавливающими грузовую ветвь ленты при ее разрыве, и устройствами, контролирующими целостность тросов ленты в выработках с углом наклона более 10°;

д) средствами защиты, обеспечивающими отключение конвейера при превышении допустимого уровня транспортируемого материала в местах перегрузки, снижении скорости ленты до 75 % номинальной (пробуксовка), превышении номинальной скорости ленты бремсберговых конвейеров на 8 %;

е) устройством для отключения конвейера из любой точки по его длине;

ж) тормозными устройствами;

з) блокировочными устройствами, отключающими конвейер при снижении давления воды в трубопроводе ниже установленной нормы.

Для конвейерных линий, работающих с автоматическим или дистанционным управлением, допускается блокировка работы всей линии с давлением воды в самой дальней по направлению ее движения точке участка трубопровода, предназначенного для тушения пожара в конвейерной выработке.

Аппаратура автоматического или дистанционного управления конвейерными линиями, кроме средств и устройств, которыми в соответствии с требованиями оборудуются ленточные конвейеры, должна обеспечивать:

а) включение каждого последующего конвейера в линии только после установления номинальной скорости движения тягового органа предыдущего конвейера;

б) отключение всех конвейеров, транспортирующих груз на остановившийся конвейер, а в линии, состоящей из скребковых конвейеров, при неисправности одного из них отключение и впереди стоящего;

в) невозможность дистанционного повторного включения неисправного конвейера при срабатывании электрических защит электродвигателя, неисправности механической части конвейера (обрыв или заклинивание рабочего, или тягового органа), при срабатывании защит из-за затянувшегося

пуска конвейера, снижении скорости ленты до 75 % номинальной (пробуксовки) и превышение номинальной скорости ленты бремсберговых конвейеров на 8 %;

г) местную блокировку, предотвращающую пуск данного конвейера с пульта управления;

д) отключение конвейера при затянувшемся пуске;

е) двухстороннюю телефонную или громкоговорящую связь между пунктами установки приводов конвейера и пультом управления;

ж) блокировку пуска конвейера при отсутствии давления воды в противопожарном ставе;

з) блокировку пуска конвейера при снятом ограждении.

Разработка новых технических средств и системы управления шахтным конвейерным транспортом должна производиться в соответствии с требованиями к автоматизации шахтных конвейеров и конвейерных линий.

4.2 Расчетная часть

При наблюдении в течение $T = 8760$ ч за электрооборудованием одного из пожароопасных цехов были получены следующие исходные данные:

$d_1 = 7340$ ч. - средний интервал времени между появлениями обрыва фазы в рассматриваемой сети, питающей АД;

$d_1 = 5,6 \cdot 10^{-5}$ ч. – среднее время срабатывания защиты при обрыве фазы АД;

$d_2 = 15400$ ч. – средний интервал времени между отказами системы автоматического отключения защитного коммутационного аппарата;

$d_2 = 2160$ ч. – интервал времени между проверками системы отключения защитного коммутационного аппарата;

$d_3 = 520$ ч. – средний интервал времени между появлениями горючей пожароопасной пыли на корпусах АД;

$d_3 = 180$ ч. – интервал времени между проверками наличия горючего материала на корпусах АД.

Определить вероятность пожаров в течение $t = 8760$ ч. при эксплуатации в цехе АД и сравнить полученный результат с нормируемой ГОСТ 12.1.004-91 величиной $Q_0(8760) = 1 \cdot 10^{-6}$.

Решение.

Используя исходные данные примера, находим $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ и μ_1, μ_2, μ_3 .

$$\lambda_1 = \frac{1}{7340} = 1.36 \cdot 10^{-4} \quad 1/\text{ч.}$$

$$\lambda_1 = \frac{10^5}{5.6} \quad 1/\text{ч.}$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{15440} = 6.49 \cdot 10^{-5} \quad 1/\text{ч.}$$

$$\mu_2 = \frac{1}{2160 - 15400 \cdot (1 - e^{-\frac{2160}{15400}})} = 6.9 \cdot 10^{-3} \quad 1/\text{ч.}$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{520} = 1.92 \cdot 10^{-3} \quad 1/\text{ч.}$$

$$\mu_3 = \frac{1}{180 - 520 \cdot (1 - e^{-\frac{180}{520}})} = 3.6 \cdot 10^{-2} \quad 1/\text{ч.}$$

Подставляя полученные данные в системы уравнений для нахождения среднего времени до первого пожара $\bar{\tau}_1$ и дисперсии времени до первого пожара δ_1^2 , определим среднее время до первого пожара $\bar{\tau}_1$ и дисперсию времени δ_1^2 . Получили, что $\tau_1 = \delta_1 = 1,56 \cdot 10^7$ ч. Тогда вероятность пожара в цехе от эксплуатации АД определяем по приближенной формуле:

$$Q(8760) = 5,619 \cdot 10^{-4}.$$

Используя систему линейных дифференциальных уравнений, с помощью ЭВМ находим $P_8(8760) = Q(8760) = 4,42 \cdot 10^{-4}$. Сравнение полученного результата с нормируемой величиной $Q_0(8760) = 1 \cdot 10^{-6}$ показало, что в данном случае пожарная цеха при эксплуатации не обеспечивается.

Подставляя полученные данные в системы уравнений для нахождения среднего времени до первого пожара $\bar{\tau}_1$ и дисперсии времени до первого пожара δ_1^2 , определим среднее время до первого пожара $\bar{\tau}_1$ и дисперсию времени δ_1^2 . Получили, что $\tau_1 = \delta_1 = 1,56 \cdot 10^7$ ч. Тогда вероятность пожара в цехе от эксплуатации АД определяем по приближенной формуле:

$$Q(8760) = 5,619 \cdot 10^{-4}.$$

Используя систему линейных дифференциальных уравнений, с помощью ЭВМ находим $P_8(8760) = Q(8760) = 4,42 \cdot 10^{-4}$. Сравнение полученного результата с нормируемой величиной $Q_0(8760) = 1 \cdot 10^{-6}$ показало, что в данном случае пожарная цеха при эксплуатации не обеспечивается.

Пример 2. Используя исходные данные примера 1, определить, через какое время d_j необходимо проверять наличие горючего материала (пыли) на корпусах АД, чтобы вероятность пожаров от их эксплуатации была на уровне ГОСТ 12.1.004-91, т.е. $Q_0(8760) = 1 \cdot 10^{-6}$.

Используя систему линейных дифференциальных уравнений и формулу:

$$\mu_j = \frac{1}{d_j - \frac{1}{\lambda_j} [1 - \exp(-\lambda_j \cdot d_j)]}$$

находим $d_j = 6,95$ ч.

Следовательно, если проверять наличие горючего материала (пыли) на корпусах АД через каждые 7 часов, то нормируемый уровень пожаробезопасности при эксплуатации АД будет обеспечен.

4.3 Расчет количества модуля порошкового пожаротушения

Для тушения электрооборудования принимается порошковое пожаротушение – способ тушения пожара с помощью огнетушащего вещества в виде мелкозернистой порошковой смеси. Химически огнетушащие порошки представляют собой соли металлов с различными специальными добавками.

Расчеты сил и средств выполняют в следующих случаях:

1. при определении требуемого количества сил и средств на тушение пожара;
2. при оперативно-тактическом изучении объекта;
3. при разработке планов пожаротушения;
4. при подготовке пожарно-тактических занятий;
5. при проведении экспериментальных работ по определению эффективности средств тушения;
6. при процессе исследования пожара для оценки действий РТП подразделений.

Площадь тушения имеет постоянное значение у пожаров прямоугольной формы с односторонним или многосторонним развитием. В этом случае возможен только один из вариантов тушения пожара. Т.е. фактическое значение расходов огнетушащего вещества поддерживается в течение всего времени тушения постоянным, так как в противном случае будет нарушено условие локализации пожара.

Определяем $R_{\text{пок}}$ площади огнетушащего порошком при известном ей площади $S = 25 \text{ м}^2$ по выражению:

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

где, S - площадь порошка из одного модуля, $\pi = 3,14$.

Подставляем численность значение, получим:

$$R = \sqrt{\frac{30}{3.14}} = 2.82$$

Порошковые огнетушащие составы, которые эффективно тушат пожары классов: А (ТГМ), В (жидкостей), и т.д.

Требуемый расход порошка:

$$Q_{\text{тр}} = S_n \cdot I_{\text{тр}}$$

где, $I_{\text{тр}}$ - расход порошка $0,3 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с})$.

$Q_{\text{тр}} = 9 \text{ кг}/\text{с}$.

Количество порошка для тушения пожара:

$$W = S_n \cdot I_{mp} \cdot \tau_p = 30 \cdot 0.3 \cdot 30 = 225 \text{ кг.}$$

При расстановке модулей надо исключить непокрытые порошком участки. Для этого следует найти размер диагонали между модулями, которая должна быть меньше $2R$ ($l < 2R$).

Схема расчета расстояния приведена на рисунке 4.1

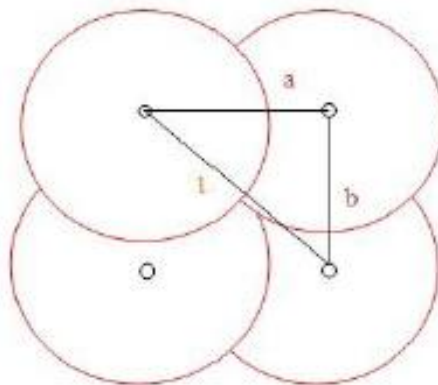


Рисунок 4.1 - Зона распыления порошка

$$l = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{15^2 + 2.82^2} = 3.2 \text{ м.}$$

$3.2 < 2 \cdot 2.82$ - условие выполняется

Общее количество МПП составляет 24 штуки. В каждом ряду по 12 штук.

Вывод по разделу БЖД. Для эффективной и надежной работы установок локализации и тушения УЛТВ, смонтированных в выработках, которые оборудованы ленточными конвейерами, необходимо провести работы, которые позволили бы стабилизировать рабочее давление воды в пожарноросительном трубопроводе на уровне значений, полученных в результате теплофизических и гидравлических расчетов режимов работы АУПП.

В случае возникновения пожара в противопожарных секциях, расположенных на стыках конвейеров, которые оборудованы установками УВПК-Б1 и УЛТВ, пожарноросительный трубопровод на этих участках должен иметь возможность увеличить подачу воды до $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ при рабочем давлении $0,6 \dots 1,5 \text{ МПа}$.

В выработках, оборудованных ленточными конвейерами и защищаемых автоматическими установками локализации и тушения пожаров УЛТВ (в сдвоенном варианте), для охлаждения до безопасных температур потоков газообразных продуктов горения с расходом более $200 \text{ м}^3/\text{мин}$ необходимо обеспечить повышенный расход воды на нужды пожаротушения. Согласно расчетам, в этих выработках пожарноросительная сеть в точках отбора

воды установками должна обеспечить расход воды более $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ при рабочих давлениях в пределах $0,6 \dots 1,5 \text{ МПа}$. Если система противопожарного водоснабжения не может обеспечить требуемые по расчету расход и давление воды, необходимо, чтобы система проветривания вышеуказанных выработок снижала расход воздуха по аварийным выработкам до $18 \text{ м}^3/\text{с}$ ($1080 \text{ м}^3/\text{мин}$).

Таким образом, согласование технических возможностей АУП на примере установок УВПК-Б1 и УЛТВ с расчетными параметрами пожаротушения в конвейерных выработках, полученными по методикам ППБ прил. 12 [2] и НИИГД «Респиратор», позволит существенно повысить эффективность применяемых АУП, что приведет к повышению пожаробезопасности выработок, оборудованных ленточными конвейерами.

5 Экономическая часть

5.1 Капитальные затраты на разработку электроприводов для двухмоторных двухобмоточных конвейеров

Капитальные затраты - это средства, используемые для улучшения существующих видов основных средств и создания новых. Капитальные затраты рассчитываются исходя из стоимости покупки оборудования и инструментов, транспортных расходов и затрат на установку. Основой для сметы является: спецификация установки, прайс-лист, стоимость установки.

Расходы на создание системы автоматизации можно перечислить следующим образом:

- а) заработная плата производителей (на социальные нужды);
- б) расходы на приобретение средств автоматизации;
- в) стоимость установки;
- г) расходы на приобретение средств автоматизации и инструментов.

Электротехнические устройства (тахогенераторы, амперметры, сигнальные лампы), одиночный электродвигатель постоянного тока, кабельная продукция, автономный преобразователь напряжения, инструменты (клапаны, конденсаторы и т. д.). Для модернизации системы управления электроприводом.

Капитальные расходы на установку.

Таблица 5.1 – Цена деталей

Наименование установки	Мера измерения	Кол-во	Цена, ТГ	
			Одиночная	Общая
Преобразователь частоты	Ватт	3	105000	315000
Электротехнические установки	Ватт	2	7200	14400
Силовой кабель	Метр	25	135	3375
Монтажный кабель	Метр	10	75	750
Итого: 333525тг.				
Затраты на авто составляют 8 % от стоимости установок		$333525 \cdot 8/100$		26682
Монтажные работы составляют 11% от стоимости установок		$333525 \cdot 11/100$		36688
Стоимость перевозок составляют 22% от стоимости установок		$333525 \cdot 22/100$		73376
Планируемое накопление 9% от монтажных работ и стоимости перевозки		$(36688+73376) \cdot 9/100$		9906

Продолжение таблицы 5.1

Расходы, которые уходят на установку	26682 + 36688 + 73376 + 9906	+146652
Всего: 480177 тенге		

Расходы, которые уходят на установку:

Стоимость монтажных работ составляет 26% от стоимости капитала:

$$K_{\text{монт}} = K_{\text{уст}} \cdot 0.26 = 480177 \cdot 0.26 = 124846 \quad (5.1)$$

Общие капитальные затраты на производство и внедрение систем автоматизации:

$$K_{\text{вн}} = K_{\text{уст}} + K_{\text{монт}} = 480177 + 124846 = 605023 \quad (5.2)$$

5.1.1 Эксплуатационные расходы

Операционные расходы начисляются в связи с изменениями статей затрат; амортизационные отчисления, расходы на содержание лабораторий технической автоматизации, расходы на электроэнергию, расходы на заработную плату.

5.1.2 Амортизационные выплаты

$$A_{\text{год}} = \frac{K_{\text{уст}} \cdot H}{100\%} \quad (5.3)$$

где, К-капитальные расходы;
Н-норма амортизационных отчислений (Н=15%).

$$A_{\text{год}} = \frac{480177 \cdot 15}{100\%} = 72026$$

5.1.3 Текущие расходы на ремонт и обслуживание

$$K_{\text{тек}} = \frac{K \cdot H_{\text{год}}}{100\%} \quad (5.4)$$

где, Н_{год} - норма на оплату при эксплуатации и на текущий ремонт;
Н_{год} - составляет 7% от стоимости установки (Н_р=7%).

$$K_{\text{тех}} = \frac{480177 \cdot 7}{100\%} = 33612$$

5.1.4 Зарплата обслуживающего персонала

Режим работы персонала – одна смена. Для работы обслуживания двигателя, требуется следующий персонал:

- Инженер-электронщик;
- Инженер по эксплуатации (инженер КИПиА).

Примерное расчетное время работы одного сотрудника предоставлен на таблице 5.2

Таблица 5.2 – Годовой баланс рабочего времени

Данные по статье	Беспрерывная работа
1. Календарное время, T_k	365
2. Рабочие дни, кроме этого:	110
- праздничные дни;	15
- выходные дни.	95
3. Номинальный резерв рабочего времени, T_n	255
4. Причины неявки на работу,	31
из них: регулярный или дополнительный отдых;	19
причина болезни;	10
гос. долг;	1
отдых студентам.	1
5. Эффективный фонд рабочего времени T_T .	224
6. Номинальное использование времени $(T_T/T_n) \cdot 100$	87,84
7. Продолжительность рабочего времени, ч	8
8. Резерв рабочего времени, ч	1792

Таблица 5.3 – Список информации о персонале

Название специальности	Разряд	Оклад	Совокупность
Инженер - электронщик	6	80000	1
Инженер по эксплуатации	12	70000	1

Годовой фонд оплаты труда - это сумма денег, потраченная на заработную плату производственных рабочих.

5.1.5 Расчет годового фонда оплаты труда инженеров и техников

Заработная плата инженера - электронщика составляет 80000 тенге. Годовая заработная плата (12 месяцев):

$$Г = \text{зар.плата} \cdot 12 \text{ тенге} \quad (5.5)$$

$$\Gamma = 80000 \cdot 12 = 960000 \text{ тенге.}$$

Оплата за вредные выбросы:

$$\Gamma_{\text{в}} = \frac{Ж \cdot \text{Э}}{100\%} \text{ тенге.} \quad (5.6)$$

где, Э – Процент за оплату вредных выбросов - 15%.

$$\Gamma_{\text{в}} = \frac{960000 \cdot 15}{100\%} = 144000 \text{ тенге.} \quad (5.7)$$

Всего:

$$\begin{aligned} \Gamma_{\text{всего}} &= \Gamma + \Gamma_{\text{в}} \text{ тенге.} \\ \Gamma_{\text{всего}} &= 960000 + 144000 = 1104000 \text{ тенге.} \end{aligned} \quad (5.8)$$

Аналогично проведем расчет для годовой заработной платы инженера – электронщика:

$$\begin{aligned} \Gamma &= 70000 \cdot 12 = 840000 \text{ тенге.} \\ \Gamma_{\text{в}} &= \frac{840000 \cdot 15}{100\%} = 126000 \text{ тенге.} \\ \Gamma_{\text{всего}} &= 840000 + 126000 = 966000 \text{ тенге.} \end{aligned}$$

Общая заработная плата двух рабочих за год:

$$\begin{aligned} ТЗФ_{\text{общ}} &= 960000 + 1104000 = 2070000 \text{ тенге.} \\ T_{\text{з.к}} &= \frac{10 \cdot 2070000}{100\%} = 207000 \text{ тенге.} \\ T_{\text{а.с}} &= \frac{(2070000 - 207000) \cdot 9.5}{100\%} = 176985 \text{ тенге.} \end{aligned}$$

5.2 Расходы электроэнергии

Составляющие расходов электроэнергии:

$$P_{\text{эл}} = \sum w \cdot t \cdot k \cdot n \cdot m \quad (5.9)$$

где: ΣW – общая мощность, используемая электрооборудованием и компьютерами. Он определяется по документам и равен 4,5 кВт/ч;
t – продолжительность одного рабочего дня – 8 часов;

k – коэффициент использования мощности – 0,85;
 n – количество контрольных комплексов – 1;
 m – количество рабочих дней за год – 180;

$$P_{эл} = 4.5 \cdot 8 \cdot 0.85 \cdot 1 \cdot 180 = 5508 \frac{\text{кВт}}{\text{ч}}$$

Стоимость электроэнергии составляет $C_{эл} = 13,75$ тенге/кВт, поэтому годовое потребление электроэнергии составляет:

$$C_{эл.г} = P_{эл} \cdot 13.75 \quad (5.10)$$

$$C_{эл.г} = 5508 \cdot 13.75 = 75735 \text{ тенге.}$$

Однако из-за использования импульсного регулятора, который может сэкономить до 30-70% энергии, потребляемая мощность равна:

$$C_{эл.г2} = \frac{75735 \cdot 50}{100\%} = 38868 \text{ тенге.}$$

Таким образом, сумма эксплуатационных расходов составляет:

$$\mathcal{E}P = TЗФ_{общ} + T_{з.к} + T_{a.c} + C_{эл.г} + A_{год} \quad (5.11)$$

$$\mathcal{E}P = 2070000 + 207000 + 176985 + 75735 + 33612 = 2563332 \text{ тенге.}$$

5.3 Экономическая эффективность

Экономическая эффективность установки преобразователя частоты состоит из нескольких компонентов:

- энергосбережение от 30% до 70%;
- увеличение cosφ до 0,9-0,95;
- увеличение эффективности до 97%;
- увеличение срока службы механических частей двигателя;
- совместное управление несколькими электроприводами.

Экономическая эффективность рассчитывается по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_в = (C_{эл.г} - C_{эл.г2}) + E_n \cdot K_{дон}$$

где, $E_n = 0,34$;

$\mathcal{E}_{п.о}$ - стоимость второго комплекта агрегата с отдельным управлением электроприводами;

$K_{мон2}$ - стоимость установки второго комплекта.

$K_{мон2} = K_{монт}$; $K_{мон2} = 124846$ тенге.

$$\mathcal{E}_{\text{энерг.сб}} = C_{\text{эл.э}} - C_{\text{эл.э2}} \quad (5.12)$$

$$\mathcal{E}_{\text{энерг.сб}} = 75735 - 38868 = 38868 \text{ тенге.}$$

$$\mathcal{E} = 38868 + 124846 + 480177 = 643891 \text{ тенге.}$$

Годовая экономическая выгода определяется по этой формуле:

$$\mathcal{E}_2 = \mathcal{E} - E_n \cdot K_{\text{уст}} \quad (5.13)$$

где, \mathcal{E} – экономия полученная в результате реализации, тенге;

E_n – нормативный коэффициент эффективности;

$K_{\text{доп}}$ – дополнительные капитальные затраты на модернизацию, тенге.

$$\mathcal{E}_2 = 643891 - 0.34 \cdot 480177 = 480630 \text{ тенге.}$$

Срок окупаемости определяется по следующей формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{кон}}}{\mathcal{E}_2} \quad (5.14)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{720946}{480630} = 1.5 \text{ года.}$$

Отсюда следует, что срок окупаемости ниже нормы, что доказывает эффективность проекта.

Заключение

В дипломной работе приведены общие сведения о назначениях, типах и конструкциях конвейеров. Рассмотрены условия и режимы их работы и анализированы системы электроприводов, применяемых в конвейерах.

Проведен тяговый расчет привода подвешенного конвейера, по результатам которого выбран асинхронный двигатель соответствующей мощности. Построены естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики электродвигателя. Был выбран преобразователь частоты и произведен расчет его параметров, также было выбрано дополнительное оборудование. Приведена схема подключения преобразователя частоты к асинхронному двигателю и электрической сети. Произведен расчет энергетических показателей электродвигателя.

Составлена структурная схема замкнутой системы автоматизированного электропривода и определены передаточные функции основных силовых элементов. Создана виртуальная модель электропривода в пакете прикладных программ Matlab и изучены переходные характеристики асинхронного двигателя.

В разделе безопасности жизнедеятельности был произведен анализ пожарной опасности конвейерной ленты, расчет количества модуля порошкового пожаротушения и рассчитана вероятность пожаров в течение определенного времени.

В экономическом разделе были определены капитальные затраты на разработку электроприводов для двухмоторных двухобмоточных конвейеров, расходы электроэнергии и рассчитана экономическая эффективность их применения.

Список литературы

- 1 Системы автоматизированного управления электроприводом: Усеб. Пособие / Г.И Гульков, Ю.Н. Петренко, Е.П. Раткевич, О.Л. Симоненкова; Под общ. Ред. Ю.Н. Петренко. – Мн.: Новое знание, 2004. -384 с.: ил.
- 2 Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебн. пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
- 3 Шеховцев П.В. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов / М.:ФОРУМ, 2010.-352с.
- 4 Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – М: Издательский центр “Академия”, 2004. – 576 с.
- 5 Белов М.П., Новиков А.Д., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов - 236 с
- 6 Системы автоматизированного управления электроприводом: Усеб. Пособие / Г.И Гульков, Ю.Н. Петренко, Е.П. Раткевич, О.Л. Симоненкова; Под общ. Ред. Ю.Н. Петренко. – Мн.: Новое знание, 2004. -384 с.: ил.
- 7 Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование: Учебник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М. 2004. – 407 с.: ил. – (Профессиональное образование).
- 8 Конвейеры: Справочник/Р. А. Волков, А. Н. Гнутов, В. К. Дьячков и др. Под общ. ред. Ю. А. Пертена. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. 367 с., с ил.
- 9 Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / [М. П. Белов, О. И. Зементов, А. Е. Козярук и др.]; под ред. В. А. Новикова, Л. М. Чернигова. – М. : Издательский центра “Академия”, 2006. – 368 с.
- 10 Баскаков В.И. Пожары на конвейерном транспорте / В.И. Баскаков, Г.К. Герасимов, В.С. Лудзиш // Безопасность труда в промышленности. – 2000. – № 1. – С. 41-43.
- 11 Пожаробезопасность ленточных конвейеров и нормы безопасности на шахтные конвейерные ленты / А.И. Субботин, Л.А. Беляк, Л.А. Чубаров, Ю.И. Григорьев // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 5. – С. 18-23.