

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Главный электропривод дисковой пилорамы

УДК 62-83-621.933.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Сибатаев Салим Ануарбекович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А.Ю.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Код результата	Результат обучения
P1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные, и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
P2	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P3	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
P4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники
P6	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей.
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельности .
P8	Использовать навыки устной, письменной речи в том числе на иностранном языке.
P9	Эффективно работать в качестве члена команды.
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной деятельности.
P11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
P12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Сибатаев Салим Ануарбекович

Тема работы:

Главный электропривод дисковой пилорамы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности</i></p>	<p>Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация</p> <p style="text-align: center;">Объект исследования – частотно-регулируемый электропривод дисковой пилорамы Режим работы – непрерывный.</p> <p style="text-align: center;">Цель работы: разработка системы скалярного управления асинхронным двигателем электропривода дисковой пилорамы.</p>
---	---

<i>эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор дисковой пилорамы. 2. Расчет мощности двигателя и выбор силовой части электропривода. 3. Расчет параметров электродвигателя и элементов структурной схемы системы электропривода. 4. Оптимизация контуров тока, потокосцепления и скорости системы векторного управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. 5. Исследование линеаризованной и нелинейной систем асинхронного электропривода со скалярным управлением. 6. Выводы по выпускной квалификационной работе. 7. Заключение.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Функциональная и структурная схемы. 2. Имитационная модель. 3. Результаты исследований.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2019
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А.Ю.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Сибатаев Салим Ануарбекович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Уровень образования бакалавриат

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	<i>Основная часть</i>	60
15.05.2019	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	20
17.05.2019	<i>Социальная ответственность</i>	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А.Ю.	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 102 страниц, 43 рисунка, 21 источник, 20 таблиц.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, электропривод дисковой пилорамы, скалярная система, частотно-регулируемый асинхронный электропривод.

Объектом исследования является частотно-регулируемый асинхронный электропривод дисковой пилорамы со скалярной системой управления.

Цель работы – Исследование механизма дисковой пилорамы с электроприводом переменного тока на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и преобразователем частоты.

В процессе работы была реализована система скалярного управления координатами асинхронного частотно-регулируемого электропривода дисковой пилорамы, система автоматического управления, получены соответствующие характеристики и проведены оптимизация контуров и их исследования, имитационное моделирование. Достигнуты заданные технические показатели: точность и надежность работы, диапазон регулирования.

Экономическая эффективность/значимость работы – переход от устаревшего регулируемого электропривода постоянного тока на современный, более надежный, частотно-регулируемый электропривод переменного тока с меньшим энергопотреблением.

Работа выполнена с использованием следующих программ для ПК: MathCAD 14, Microsoft Word 2010, Microsoft PowerPoint, Matlab 10b, Microsoft Office Visio 2010

Содержание

Введение.....	9
1. Объект автоматизации.....	10
1.1. Механизм. Технологический процесс.....	10
1.2. -Технологический процесс.....	11
1.3. Общая характеристика лесопильных рам.....	22
1.4. Значение комплексной переработки древесины.....	28
2. Выбор двигателя.....	30
2.1. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя....	30
2.2. Расчет статических характеристик асинхронного двигателя	35
2.3. Расчет и моделирование переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки.....	41
2.4. Выбор преобразователя частоты	44
2.5. Обоснование выбора функциональной схемы электропривода переменного тока со скалярным регулированием скорости	45
2.6. Расчет статических характеристик без <i>IR</i> - компенсации.....	49
2.7. Разработка схемы имитационной модели электропривода при скалярном частотном регулировании скорости.....	52
2.8. Разработка структурной схемы асинхронного двигателя при скалярном частотном регулировании скорости с компенсацией момента	54
2.9. Расчёт и построение механических и электромеханических характеристик АД для закона регулирования.....	55
2.10. Разработка схемы имитационной модели электропривода с компенсацией момента	59
2.11. Имитационное моделирование переходных режимов электропривода при частотном скалярном управлении с компенсацией момента	61
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	65
3. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	66
Введение.....	66
3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. 66	
3.2. Производственная безопасность	70

ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [19] и СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [21].	71
ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности» [22].	71
3.2.1. Шум	71
3.2.2 Вибрация	73
3.2.3 Недостаток естественного света	74
3.2.4 Микроклимат	75
3.4. Анализ опасных и вредных производственных факторов	76
3.5. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов	77
3.6. Экологическая безопасность	78
3.7. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	78
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	Ошибка!
Закладка не определена.	
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	82
4.1. SWOT-анализ по разработке проекта электропривода пилорамы	82
4.2. Организация работ технического проекта	85
4.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования	85
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ ТП	88
4.2.3. Порядок составления этапов подготовки производства и распределение исполнителей	88
4.2.4. Разработка графика проведения технического проекта	90
4.3. Составление сметы затрат на разработку ТП	92
4.3.1. Расчет полной заработной платы исполнителей темы	92
4.3.2. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	94
4.3.3. Накладные расходы	94
4.3.4. Формирование сметы затрат технического проекта	94
4.3.5. Определение ресурсоэффективности проекта	95
Заключение	98
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	101

Введение

Пилорамы - традиционный и наиболее распространенный в России тип оборудования. Круглопильные станки (дисковые пилорамы) проходного типа предназначены для брусочки, распиливают бревно на подгорбыльные доски двухкантный брус, и горбыли. Станки данного типа имеют высокую производительность, хорошо встраиваются в потоки, можно организовать автоматическое брусоотделение и подачу материалов на станки второго ряда. Преимуществом дисковой пилорамы является то, что при распиловке бревна его кантование и перезакрепление не требуется. Это позволяет значительно снизить трудоемкость и повысить производительность процесса деревообработки [1].

Пилорамы комплектуются электромоторами асинхронного типа, которые имеют короткозамкнутый ротор, простое и надежное устройство, стационарные клеммы. Одним из таких электродвигателей является двигателя серии RA132MA2.

В состав современного частотно-регулируемого электропривода переменного тока входит электродвигатель, управляемый электрический преобразователь и программируемый микроконтроллер. Структура такого привода для широкого применения представляет собой следующее: сеть – неуправляемый выпрямитель – шины постоянного тока с конденсатором – инвертор напряжения на транзисторных модулях с широтно-импульсной модуляцией, управляемый процессором, – короткозамкнутый асинхронный электродвигатель. Малая масса преобразователя, совершенная защита, возможность полного диагностирования состояния привода, управление от цифровых и аналоговых сигналов, простое и удобное программирование работы, возможность синхронизации совместной работы электроприводов.

Целью данной выпускной квалификационной работы является расчет и исследованию систем Преобразователь частоты – асинхронный двигатель для дисковой пилорамы и компенсацией момента.

1. Объект автоматизации

1.1. Механизм. Технологический процесс

Для распиловки бревен применяют дисковые пилорамы марок: «Кедр», «Tiger», «Алтай» и др. [3]. Пильный механизм дисковой пилорамы опускается и поднимается электромеханическим путем, тем самым способствует продлению срока работы, более того повышению точности и сокращению времени пиления на пилораме.

Дисковая пилорама позволяет получить высокую точность продукции благодаря тому, что пильные диски находятся на шпиндельном узле, который не имеет хода в вертикальной плоскости. Дисковая пилорама в отличие от ленточной способствует отсутствию волнообразного эффекта. Одни из отличительных характеристик ленточных пилорам: малая толщина пропила, применение различных полотен, простота в обслуживании, мобильность, распил бревен большого диаметра, низкое энергопотребление.

На рисунке 1 изображается общий вид деревообрабатывающих станков.



Рисунок 1 – Деревообрабатывающие станки, предназначенные для распила бревен и досок: а – однодисковая установка для распиловки бревен; б – ленточная пилорама.

Для деревообрабатывающих станков обычно используют асинхронные короткозамкнутые электрические двигатели, мощность которых 7,5 и 11 кВт.

Для достижения цели регулирования скорости вращения, в состав электропривода добавляют многоступенчатые ременные передачи, редукторы, а также применяют асинхронный электропривод.

При выборе методов технической обработки, типов станков и инструментов, при расчете мощностей и усилий нужно учитывать основные свойства древесины: пластичность, прочность и делимость. В процессе резания действуют силы, которые вызывают внедрение резца в древесину, отделение стружки, а также силы трения (рис. 2).

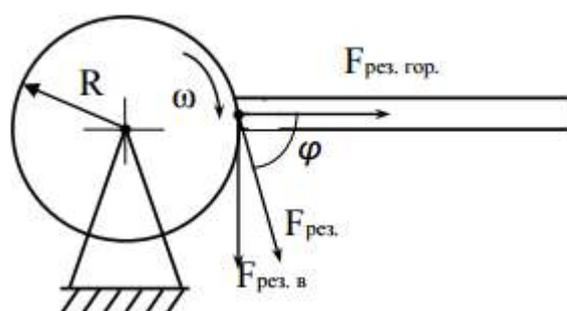


Рисунок 2 – Схема подачи и направления усилий в момент распиловки бревен

Режим работы двигателя зависит от способа подачи: если брус поступает за брусом непрерывно, то режим работы длительный, в противном случае – перемежающийся. Деревообработка считается одной из самых перспективных и успешно развивающихся отраслей экономики России. Использование современных деревообрабатывающих станков и оборудования является одним из основных направлений роста агропромышленного комплекса северных территорий страны.

1.2. Технологический процесс.

При организации процесса выработки пиленной продукции стремятся к рациональному использованию, как оборудования, так и труда рабочих. Это осуществляется соответствующим построением производственного процесса.

Производственным процессом - называют совокупность операций, выполняемых в определенной последовательности средствами труда над

предметом труда для получения продукции готовой к использованию. Строится производственный процесс из основных и вспомогательных операций.

Вспомогательные операции направляются на обеспечение нормального протекания основных операций при получении готовой продукции. К вспомогательным можно отнести операции транспортирования, укладки, учета и контроля за деталями.

Совокупность основных операций, в конце которых предмет труда претерпевает размерные и качественные изменения, обозначается технологическим процессом. Технологическая операция – часть технологического процесса, которая выполняется на рабочей позиции до перехода к обработке следующей детали. К технологическим операциям относятся распиловка бревен на брус и доски, обрезка и торцовка досок, сортировка и раскладка досок по сечениям и сортам, переработка отходов на технологическое сырье.

Подготовка сырья. Сырьем для лесопромышленного производства являются бревна и кряжи разных древесных пород.

Бревна и кряжи - круглые лесоматериалы, которые получают из древесных хлыстов с помощью поперечного деления последних. Эта операция называется раскряжевкой. Раскряжевка может осуществляться на лесосеке или на лесозаготовительных складах и на лесопильном заводе, если сырье поставляется на завод в хлыстах.

Большое множество пиловочных бревен хвойных пород, поступающих на наши лесопильные заводы, имеет длину 5,5; 6 и 6,5 м. Длина кряжей лиственных пород обычно несколько меньше, а именно от 4 - 4,5 м.

Для получения качественной пило продукции и достижения наибольшей производительности пиловочное сырье, при подачи его в лесопильный цех, предварительно сортируют.

Следует отметить, что широко распространена сортировка на воде (рейды и бассейны). Для механизации сортировки на суше создают

сортировочные площадки на базе конвейера. На складах при сухопутной доставке сырья выполняются следующие работы: выгрузку сырья, сортировку его на сорт размерные группы и подачу в лесопильные цех (бревна следует сортировать по породам, диаметрам, длинам и качеству).

Окорка пиловочного сырья. Отходы, получаемые в лесопильном цехе в форме реек, обрезков, опилок могут быть использованы как технологическое сырье для производства ДВП и ДСП. Ценность этих отходов увеличивается после снятия коры. Окоренные бревна позволяют сокращать трудовые затраты во время их распиловки, так как повышается износостойчивость режущих инструментов. Для окорки используют станки ОК 66 М, ОК 66 - 1, ОП 80 - 1, ОК 100 - 1.

Раскрой пиловочного сырья.

Раскрой пиловочного сырья является основной и важнейшей операцией технологического процесса для лесопильного производства. От правильности раскроя зависит не только количество, но и качество полученных пиломатериалов.

Под распиловкой бревен следует понимать продольное деление бревен одной или несколькими пилами на пиломатериалы. По количеству одновременно работающих пил в станке различают индивидуальный и групповой виды распиловки бревен.

При индивидуальной распиловке каждое бревно отдельно распиливается последовательно одной пилой, причем каждый последующий пропил назначается с учетом особенностей распиливаемого бревна. Индивидуальная распиловка бревен осуществима и при одновременной работе двух пил, если они являются передвижными и имеют взаимное расположение по задаваемой программе.

При групповой распиловке бревна распиливаются поставом (набором) пил без учета особенностей каждого отдельного бревна. Групповая распиловка бревен является более производительной, так она имеет широкое применение.

По направлению продольной оси бревна в лесопильной раме различают распиловку параллельно оси бревна и параллельно образующей. В подавляющем большинстве случаев распиловка производится параллельно оси бревна, так как групповая распиловка бревен параллельно образующей сильно перерезает годовые слои древесины на одной половине бревна, что может ухудшать качество досок и способствовать переходу сердцевинной трубки с одной пластины доски на другую или выходу ее в две центральные доски. Возможна ориентированная распиловка (радиальная или тангентальная).

Для выработки пиломатериалов массовых спецификаций, которые не требуют ориентации пластей относительно годичных слоев древесины, широко используется два основных способа распиловки: вразвал и с брусковкой.

При распиливании бревен вразвал направления плоскостей всех пропилов в бревне параллельны между собой (рис.3). Из бревна выпиливаются несколько не обрезных досок и два горбыля. Этим способом распиливается почти полностью пиловочное сырье лиственных пород и часть сырья хвойных пород, в основном тонкомерные бревна диаметром 14 и 16 см.

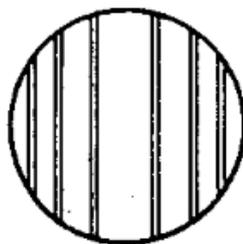


Рисунок 3 – Распиловка бревен вразвал

При распиловке бревен с брусковкой (рис.7 и 8) сначала получают двухкантный брус и не обрезные доски (первый проход) (рис.4-1); брус затем распиливают в продольном направлении перпендикулярно его пластям на обрезные и не обрезные доски (второй проход) (рис.4-2).

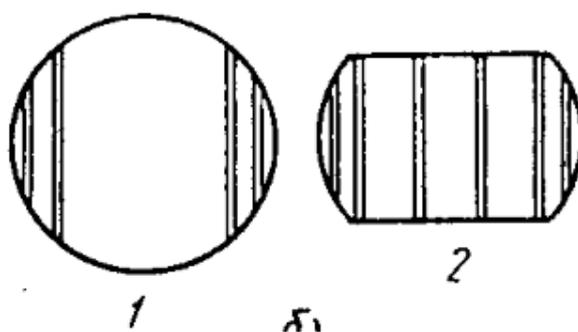


Рисунок 4 – Распиловка бревен с брусковкой.

При распиловке толстомерных бревен (диаметром примерно от 40 сантиметров и выше) из средней части бревна возможно выпиливать два или три бруса (рис.5-1) с последующей их распиловкой на обрезные и не обрезные доски (рис.5-2). Количество горбылей получаемых из бревна зависит от количества выпиливаемых брусьев: при одном брусе – 4 горбыля, при двух- 6 и при трех – 8 горбылей. Распиловкой с брусковкой перерабатывается до 60% всего пиловочного сырья, чаще всего это хвойное сырье диаметром 18 и более см.

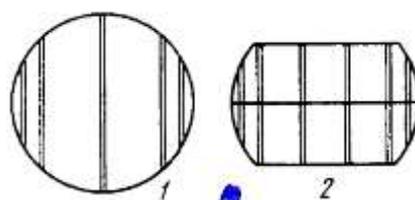


Рисунок 5 – Распиловка бревен с брусковкой.

Присутствуют и другие способы распиловки: секторный (рис. 6), развально-сегментный (рис.7), брусово-сегментный (рис.8) и круговой (рис.9).

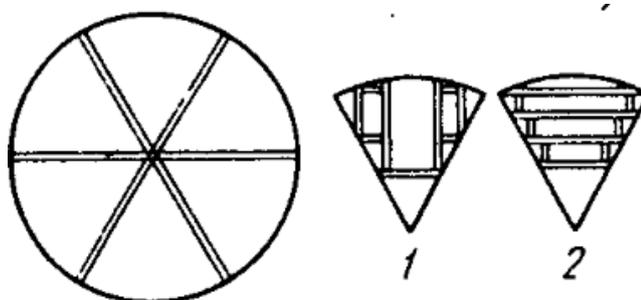


Рисунок 6 – Секторный способ распиловки.

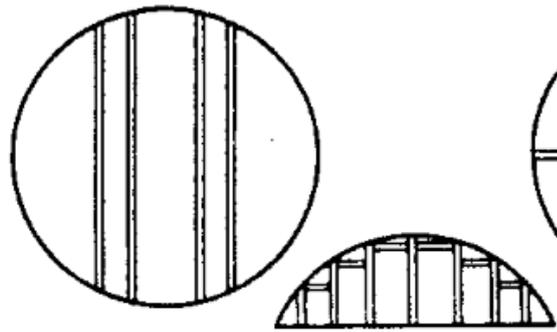


Рисунок 7 – Развально-сегментный способ распиловки.

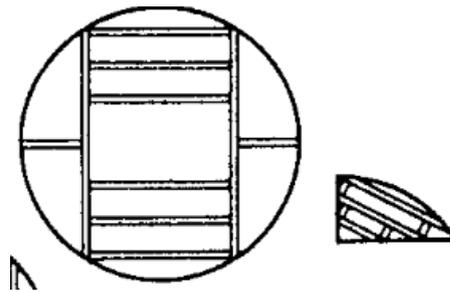


Рисунок 8 – Брусово-сегментный способ распиловки.

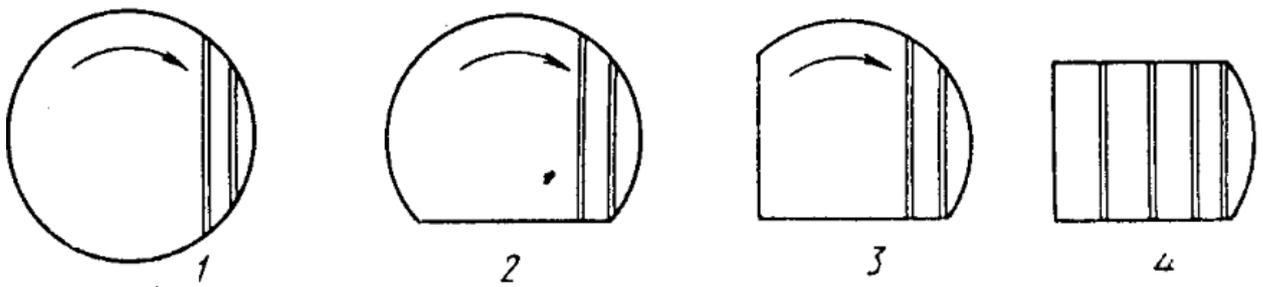


Рисунок 9 – Круговой способ распиловки.

Их применяют тогда, когда необходимо получить пиломатериалы, отвечающие специальным требованиям в отношении расположения пластей к направлению годичных слоев древесины (пиломатериалы тангентальной и радиальной распиловки).

Постав – это схема (план) раскряя отдельного бревна или группы бревен на пиломатериалы требуемых размеров, показывающая порядок и место пропилов, толщину, а иногда и ширину получаемых пиломатериалов (рис. 10).



Рисунок 10 – Принципиальная технологическая схема цеха лесопиления приведена

Ценность отходов может повышаться, если они не имеют коры. Поэтому бревна перед распиловкой следует окорять. При окорке вместе с корой удаляются песок, ил, а также различные включения, попадающие в кору при заготовке и сплаве сырья. Поэтому при распиловке окоренных бревен повышается стойкость пил, а в связи с этим уменьшаются и расход инструмента, и мощность на пиление: Распиловка получается более чистой, в следствии, способствует улучшению качества пиломатериалов. В результате уменьшения скольжения бревен на подающих вальцах увеличивается производительность лесопильных рам.

При централизованной окорке сырья на предприятиях получают увеличенные объемы коры, вследствие чего создаются условия для лучшего ее использования.

Окорку пиловочных бревен можно осуществлять различными способами:

- Фрикционные станки удаляют кору благодаря силе трения инструмента о поверхность бревна или посредством взаимного трения бревен.
- Режущие станки снимают кору режущими инструментами.
- Струйные удаляют кору с помощью струи воды или воздуха под большим давлением.
- При физико-химическом используют электрические, химические, вакуумные и др. физические явления для отрыва коры от древесины.

В зависимости от назначения, объемов окорки лесоматериалов, условий и места ее проведения внедряют окорочное оборудование различных конструктивных исполнений. Проводят поштучную и групповую окорку бревен. При поштучной применяют станки окаривающие лесоматериалы методом строгания, фрезерования и скобления: групповую окорку ведут методом трения, соударения.

Строгание-бревно или кряж движется поэтапно по отношению к ножам, каждый нож срезает одну полосу коры.

Фрезерование - окорочные ножи вращаются, прикасаясь бревна сбоку, а бревно имеет либо только поступательное, либо поступательно-вращательное движение.

Скобление - тупые коросниматели вращаются вместе с ротором, в то время как кряж совершает поступательно-продольное движение. Скобление в этом случае совершается поперечно-винтовое.

Трение – окорка, осуществляемая благодаря ударам и трению бревен, поленьев и сучьев между друг другом и об элементы окорочной машины.

Существует также другие способы окорки как точение и гидравлический.

Гидравлический – окорка происходит при помощи струи воды, которая подает на бревно или кряж под впечатляющим давлением.

Точением – бревно проходит сквозь вращающийся ротор, поэтому такие станки имеют название роторные.

Фрикционные окорочные машины имеют высокую производительность. Однако при окорке, в этих-машинах может повреждаться заболонь древесины, а поверхность приобретать шероховатый, ворсистый вид, что ограничивает применение их для окорки пиловочных бревен. Гидравлические окорочные машины почти не применяются в мировой практике.

Роторные станки получили наибольшее распространение среди окорочных станков. В таких станках короснимающим механизмом является ротор, который переносит на себе тупые коросниматели и вращается вокруг бревна. Коросниматели не режут кору, при этом вдавливаются и разрывают ее. Кулачок короснимателя прессует на впереди лежащий слой коры, прижимает его, в результате этого кора отделяется от древесины по камбиальному или лубеному слою. Сами коросниматели прижимаются к бревну благодаря резиновым кольцам или пружинам. Качество окорки на роторных станках зависит от влажности и температуры коры и наружных слоев древесины. Бревна с влажной корой окараются лучше, а сухие или мерзлые почти не поддаются окорке. Роторные окорочные станки обычно выпускаются различных размеров и назначений. Окорочные станки ОК-35М, ОК-35К, ОК-40М, ОК-66М, ОК-40-1, ОК-63М, ОК-63-1, 2ОК-63, ОК-80-1, ОК-100-1, имеют диаметр просвета ротора соответствующий цифре, стоящей за маркой, т.е. 35,40,60 см и тд.

На этих станках можно окаривать как тонкомерные, так и крупномерные лесоматериалы диаметром от 60 до 90 см. Конструкцию станков постоянно совершенствуют, тем самым улучшают качество окариваемой поверхности.

Станки моделей ОК-35М, ОК-40М, ОК-40-1 применяют для окорки балансов и рудничной стойки диаметром от 6 до 35см и длиной не менее 1,5см. Станок ОК-40М помимо короснимателей снабжен ножами для зачистки

сучьев и предназначен для окорки балансов поставляемых на экспорт. Станки ОК-63-1, ОК-80-1, ОК-63М, ОК-66М, ОК-100-1 используют для окорки бревен и круглых сортиментов. У всех окорочных станков по типу ОК перед ротором устанавливаются подающие, а за ротором –приемные транспортеры. Подающие служат для перемещения и предварительной центровки бревен во время подачи в вальцы и ротор станка. Для изменения скорости подачи бревна при окорке, станки оборудованы механизмами перемены скоростей. Мощность приводов станков, зависящая от марки, находится в пределах от 21 до 90 кВт.

Производительность роторных станков (м³/смена) определяется по формуле:

$$P_{см} = \frac{T_{см} \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot v \cdot g}{L},$$

где:

$T_{см}$ – время смены;

φ_1 – коэффициент использования рабочего времени (0,75-0,8);

φ_2 – коэффициент загрузки оборудования (0,78-0,8);

v – скорость;

g – объем среднего кряжа;

L – средняя длина кряжа.

Количество роторных станков определяется по формуле:

$$N = \frac{Q}{252 \cdot A},$$

где Q – производительность цеха пиления;

A – сменная производительность пильной рамы;

252 – рабочих дня в году.

Для подачи бревен к станку и удаления их после окорки окорочные роторные станки снаряжаются роликовыми конвейерами. Выпускаются окорочные роторные станки следующих моделей: ОК40-1, ОК63-1, ОЦМ и

ОК1 00-1, диаметр просвета ротора у которых соответственно равен 400, 630, 800 и 1000 мм.

На станке ОК40-1 способны обрабатываться бревна диаметром от 60 до 350 мм, а на станке ОК63-1—от 100 до, 580 мм. Станки ОК80-1 и, ОК1 00-1 предназначены для окорки крупномерных пиловочных бревен хвойных и мягких лиственных, пород.

Станки указанных моделей имеют шесть короснимателей. Производительность их при этом разная. У станка ОК63 (рис.11), к примеру, скорость вращения ротора 135 и 180 об/мин. Механизм, подачи имеет шесть скоростей средняя производительность станка в смену 300 м³. Станки обслуживает один оператор. Станки, предназначены для окорки свежесрубленной, сплавной и мерзлой древесины.



Рисунок 11 – Окорочный станок ОК63.

Бревна в производственном процессе лесопиления можно окорять перед укладкой в штабеля на хранение, перед подачей в бассейн, после бассейна, перед отправкой в лесопильный цех на распиловку или в самом цехе перед бревнопильным станком. Место окорки выбирается с учетом конкретных условий предприятия. На базе строящихся или реконструируемых предприятиях требующих организации окорки в потоках лесопильного цеха.

Кроме роторных окорочных станков, иногда для чистой окорки применяют станки ОД – дисковые. Они предназначены для окорки балансовых кряжей и рудостойки длиной от 1м до 3,5м. Рабочим органом

станка является вращающийся диск с ножами – их обычно 12. Диск и подающий механизм на металлической станине, представляющий собой четырехугольную раму со стойками. Бревно с одновременным вращением подается балансирной рамой с изменяемыми рамками. Вращение диска и балансирной рамы происходит от электродвигателя через ременную передачу и вертикальный вал. Станок способен окоривать бревна диаметром от 10 до 25см.

Так же для окорки существуют корообдирочные барабаны (КБ-3; КБ-6) окорка происходит за счет трения и ударов поленьев друг от друга, о стенки, о ножи барабана, которые вращаются с частотой 10 об/мин. Эти барабаны составляют поточные линии УПЩ-3А, УПЩ-6А.

1.3. Общая характеристика лесопильных рам.

В горизонтальной лесопильной раме тонкое пильное полотно вытянуто горизонтально и осуществляет поступательно-возвратное движение в горизонтальном направлении. Эти рамы применяют главным образом для распиловки кряжей твердых ценных пород древесины (дуба, бука, ореха).

В вертикальной лесопильной раме рамные пилы натянуты в вертикальных плоскостях с тем или иным уклоном и совершают поступательно-возвратное движение в вертикальном направлении. Одновременно, в раму устанавливается несколько пил (постав) и осуществляется групповая распиловка сырья.

Вертикальные лесопильные рамы следует классифицировать по нескольким признакам. По способу установки рамы подразделяются на стационарные и передвижные. Стационарные рамы предназначались для постоянно действующих предприятий, устанавливаются на прочных бетонных фундаментах. Передвижные рамы устанавливают на колесном ходу, транспортируют без демонтажа транспортируются автомашинами.

По высоте различают рамы двухэтажные, полтораэтажные и двухэтажные. По числу шатунов рамы бывают одношатунные и

двухшатунные. Двухэтажные рамы строятся одношатунными, одно и полутораэтажные-двухшатунными. Выпускают рамы с непрерывной, однотолчковой и двухтолчковой подачей бревна в раму, а по количеству подающих валцов различают четырех и восьмивальцовые рамы. Первые распиливают бревна длиной от 3 м более, вторые от 1 м и более.

Продольная распиловка лесоматериалов производится с помощью лесопильных рам, ленточнопильных и круглопильных станков, а также фрезерно-пильных агрегатов. Ленточнопильные станки в России так и не получили широкого распространения. Относительно новыми считаются фрезерно-пильные агрегаты, масштабы применения которых также невелики. Ни те, ни другие станки в лесозаготовительных предприятиях не применяются. Круглопильные станки получили широкое распространение в шпалопилении. Практически все объемы лесопиления в лесозаготовительных предприятиях выполняются с помощью лесопильных рам. Наибольшее распространение в отечественной лесопильно-деревообрабатывающей промышленности на механизированных, лесопильных, заводах имеют вертикальные; двухэтажные одношатунные лесопильные рамы с непрерывной подачей 2Р75-1, 2Р75-2 2Р63-1, 2Р63-2, 2Р 100-1, 2РЦ-2.

Наряду с этими типами станками используется дисковые пилорамы. Дисковая пилорама углового пиления предназначена для распиловки твердой и мягкой древесины хвойных и лиственных пород по ГОСТ 9463-88 и ГОСТ 9462-88 на обрезные доски или брус различного сечения по ГОСТ 8486-86 и ГОСТ 26002-83. Пильный узел пилорамы представляет собой подвижную каретку с дисковыми пилами, которые расположены под углом 90°, вдоль неподвижно закреплённого на станине станка бревна (рис. 12).

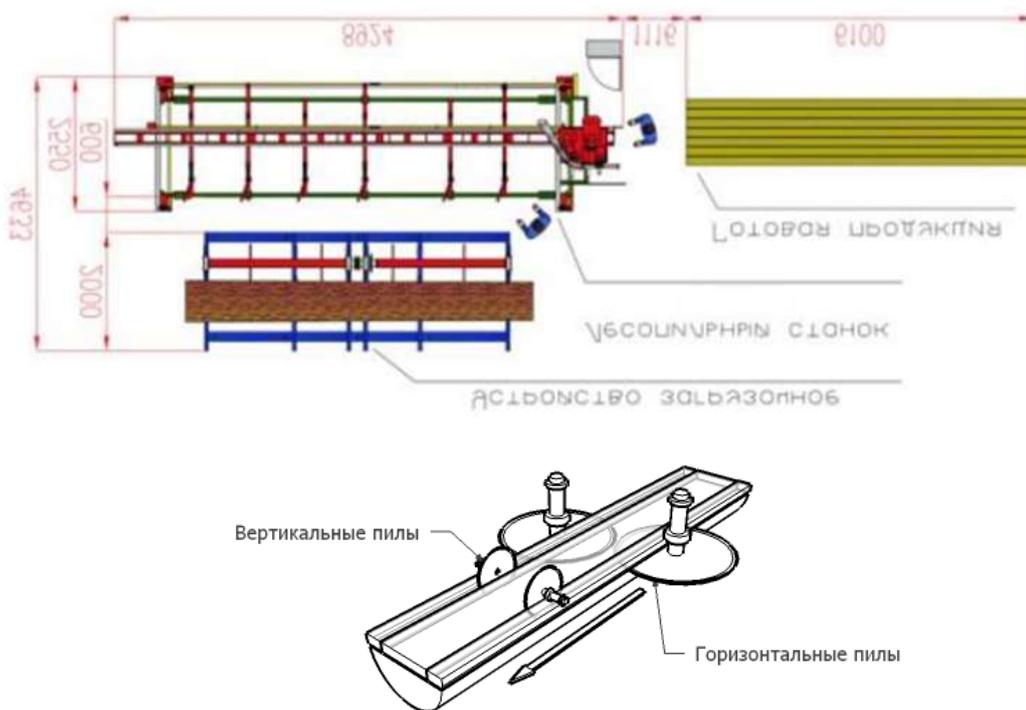


Рисунок 12 – Схема установки дисковой пилорамы.

Также он оснащен механизмом возврата пиломатериала. Высокое качество поверхности получаемых пиломатериалов достигается благодаря применению высококачественных импортных пил с твердосплавными или стеллитовыми напайками. Благодаря схеме установки на пилораме дисковых пил под углом 90° и индивидуальному раскрою бревна, присутствует возможность пиления как тангентальных, так и радиальных распилов, получая при этом общий выход обрезного пиломатериала до 70 %.

Лесопильные рамы характеризуются несколькими основными параметрами. Прежде всего это просвет пильной рамки. Просветом называется внутреннее расстояние B между вертикальными стойками пильной рамки. Просвет определяет наибольший диаметр бревен, которые можно распиливать на раме. Зависимость между величиной просвета рамы и наибольшим диаметром распиливаемого бревна присущ следующий вид:

$$B = d + S \cdot l + 2k,$$

где d – верхний диаметр наиболее толстого бревна, которое можно пропустить через данную раму, см;

s - величина сбегания, которую можно принимать равной 1 см на каждый метр длины бревна;

l - длина бревна, м;

k - запасное расстояние между стойками и комлем бревна, см. (расстояние k обычно принимается равным 5 см).

По ширине просвета лесопильные рамы подразделяются на широкопросветные ($B = 80$ см и более), среднепросветные ($B = 60 \dots 75$ см) и узкопросветные ($B = 55$ см и менее).

Второй конструктивной и технологической характеристикой лесопильной рамы является ход пильной рамки, т. е. полная высота H , на которую рамка опускается за половину оборота кривошипного механизма:

$H = 2R$, где R – радиус кривошипа.

От хода рамки зависят условия работы зубьев пил, в том числе возможность выноса опилок, а также производительность рам, так как при одной и той же подаче на зуб производительность рамы прямо пропорциональна величине хода. В этом состоит технологическое значение хода пильной рамки. Конструктивное значение хода заключается, в частности, в том, что от него зависит выбор длины пил L :

$$L = H + d + Sl + kl,$$

где kl – запас ($kl = 0,2 \dots 0,35$ м).

В зависимости от класса выпускаемых промышленностью лесопильных рам и их назначения пильные рамки имеют ход от 220 до 700 мм.

Быстроходность лесопильной рамы характеризуется скоростью вращения главного вала. За время одного оборота вала пильная рамка совершает рабочий ход вниз и холостой ход вверх, т. е. один двойной ход. От числа оборотов n , так же как и от величины хода пильной рамки H , зависит производительность лесопильных рам. Наиболее распространены лесопильные рамы, скорость вращения которых вала 290 ... 360 об/мин.

Подача, т. е. расстояние, мм, на которое бревно или брус надвигается на пилы за один оборот главного вала, может быть непрерывной, однотолкавой

и двухтолчковой. При непрерывной подаче бревно продвигается в раму непрерывно во время холостого и рабочего хода пильной рамки; при одностолчковой подаче – только за рабочий или только за холостой ход; при двухтолчковой один толчок происходит за рабочий, другой – за холостой ход пильной рамки. Подачу применительно к лесопильным рамам называют обычно посылкой.

Лесопильные рамы подразделяются на две большие группы:

- двухэтажные
- одноэтажные.

Двухэтажные лесопильные рамы типа РД унифицированы, в них целый ряд одних и тех же по конструкции узлов и деталей. Базовой моделью унифицированного ряда является среднепросветная рама РД75-6, на которой вырабатывается основная часть получаемых в стране пиломатериалов. Эту раму устанавливают первой в лесопильном потоке (рама первого ряда). Она распиливает бревна на брусья, необрезные доски и горбыли при распиловке «с брусом» или на необрезные доски и горбыли при распиловке «вразвал».

Лесопильная рама РД75-7 устанавливается второй в лесопильном потоке (рама второго ряда) вслед за рамой РД75-6. Она предназначена, следовательно, для распиловки не бревен, а брусьев, которые выпиливаются на первой раме. Поэтому потребная высота пропила у рамы РД75-7 меньше, т.е. она составляет 38 см вместо 65 см у рамы РД75-6; уменьшен соответственно габарит рамы по высоте и длине; снижена масса. Поскольку рама второго ряда распиливает брус на доски, в ней устанавливается большее количество пил по сравнению с первой рамой. По этой причине рама РД75-7 оснащена более мощным двигателем, чем рама РД75-6.

Рама РД50-3 является узкопросветной. От базовой модели — рамы РД75-6 она различается величиной просвета, повышенной быстроходностью, большей мощностью привода механизма резания и повышенной подачей.

Широкопросветная рама РД110-2М устанавливается на лесопильных предприятиях, перерабатывающих толстомерные лесоматериалы—в районах

Восточной Сибири, Дальнего Востока и Кавказа. Она тоже унифицирована с рамой РД75-6, но отличается от нее рядом конструктивных узлов и некоторыми техническими характеристиками, что связано с необходимостью переработки крупномерного сырья.

Для лесопильной промышленности разработана унифицированная гамма одноэтажных лесопильных рам типа 2Р: 2Р50-1 и 2Р50-2; 2Р63-1 и 2Р63-2; 2Р80-1 и 2Р80-2; 2Р100-1 и 2Р100-2. Цифры после буквы Р обозначают ширину просвета, цифра 1 показывает, что рама устанавливается первой в лесопильном потоке (рама первого ряда), цифра 2 — рама второго ряда.

Сменная производительность лесопильной рамы вычисляется по формуле:

$$П_{см} = \frac{l \cdot n \cdot T \cdot k \cdot K_1 \cdot g}{1000L},$$

где:

l — фактическая подача (22-60 мм);

n — частота вращения вала (360об/мин);

T — продолжительность смены (480мин);

k — коэффициент использования оборудования (0,75-0,85);

K_1 — коэффициент использования сменного времени (0,75-0,8);

g — средний объем бревна ($м^3$);

L — длина бревна (м).

Количество лесопильных рам определяют по формуле:

$$N = \frac{Q}{255 \cdot A},$$

где:

Q — производительность цеха пиления;

A — сменная производительность пильной рамы;

255 — рабочих дня в году.

Процесс распиловки бревен на лесопильной раме протекает следующим образом. Включенная рама работает сначала в холостую. Затем вершинную

часть бревна укладывают на нижний валец (рябуху), опускают верхние вальцы и зажимают бревно. После включения на подачу бревно проходит через пилы и зажимается второй парой вальцов. Подачу устанавливают в зависимости от диаметра бревна, ее можно регулировать и в процессе распиловки. Тележку отсоединяют от бревна еще до окончания его распиловки, с таким расчетом, чтобы к моменту, когда предыдущее бревно будет распилено, к пилам было подано следующее. Работа в лесопильных цехах строится по принципу поточности, по этому же принципу устанавливается оборудование. Бревна в цех подают транспортером и укладывают на площадку, создавая при этом необходимый запас. Затем бревна поступают в раму. Полученные после распиловки доски по роликовому столу направляют к обрезающему станку. Часть досок, требующая оторцовку, поступает к торцовочному станку. Готовые доски на вагонетках поступают к местам складирования. Горбыли рейки и опилки транспортируют в цехи переработки отходов.

1.4. Значение комплексной переработки древесины

Основными потребителями древесного сырья являются лесопиление, целлюлозно-бумажные, плитные и фанерные предприятия, а также горно-рудная и строительная отрасли страны. При переработке древесины образуется большое количество отходов; при торцовке хлыстов – откомлевки, которые достигают в среднем 2,5 %; при распиловке древесного сырья – горбыли, рейки, торцовые отрезки и вырезки досок, опилки (свыше 40 % отходов); отходы при производстве шпал (их выход составляет 50 % сырья); отходы тарного производства (от 55 до 80 %); при раскряжевке хлыстов – некондиционная (дровяная) древесина (15.. 25 %); сучья и ветви (от 6 до 18 % стволовой древесины), кора (8... 12 %).

Задача состоит в комплексной переработке древесины, получение из перечисленных видов отходов, что сохранит ежегодно, десятки тысяч гектаров растущего леса.

Известны три способа переработки древесины и древесных отходов: механический, химико-механический и химический.

Механическая обработка заключается в изменении форм круглых лесоматериалов пилением, строганием, фрезерованием, точением, лущением, сверлением, раскалыванием и др. В результате механической обработки изделия из древесины сохраняют исходные физико-механические свойства, макро- и микроструктуру.

При химико-механическом способе переработки получают промежуточный продукт из древесины, однородный по составу и размерам, специально резаную стружку, дробленку, шпон. Промежуточный продукт, получаемый механическим способом, покрывают синтетическим связующим веществом. Под действием температуры и давления происходит реакция (полимеризация связующего) в результате чего промежуточный древесный продукт прочно склеивают. В качестве связующего вещества может быть использован цемент и другие минеральные вяжущие вещества. При химико-механической переработке получают фанеру, столярные, древесно-стружечные и цементно-стружечные плиты, арболит и фибролит. Химико-механический способ используют при получении волокнистых полуфабрикатов в целлюлозно-бумажной промышленности. Одно из направлений химико-механической переработки состоит в получении модифицированной древесины (прессование).

Химическая переработка осуществляется термическим разложением при воздействии на нее растворителей, щелочей, кислот, кислых солей сернистой кислоты. Термическое разложение, или пиролиз, древесины осуществляется нагреванием древесины при высокой температуре без доступа воздуха. При пиролизе получают твердые (древесный уголь), жидкие и газообразные продукты. При помощи растворителей из древесины, предварительно измельченной в щепу, извлекают различные экстрактивные вещества. В соответствии с производственной лесопильной рамы выбираем

электродвигатель RA132MA2 для дисковой пилораммы с мощностью $P_H = 9$ кВт.

2. Выбор двигателя

Электродвигатель общепромышленного назначения серии RA132MA2 выбран взамен электродвигателя серии 4А той же мощности нерегулируемого электропривода. В таблице 1 представлены паспортные данные двигателя RA132MA2.

Таблица 1 – Паспортные данные двигателя RA132MA2

Заданные величины	Условные обозначения	Единицы измерения	Численное значение
Номинальная мощность двигателя	P_H	кВт	9
Номинальное Линейное напряжение	$U_{фн}$	В	380
Номинальное Фазное напряжение	$U_{н1}$	В	220
Коэффициент мощности	$\cos \varphi$	о. е	0,88
Кратность пускового тока	k_i	о. е	7,5
Кратность пускового момента	$k_{п}$	о. е	2,7
Кратность максимального момента	k_{max}	о. е	3,5

2.1. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя

Для расчета переходных процессов и электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя необходимо знать его параметры, которые в общем случае используются в различных схемах

замещения. Наиболее простой и удобной для расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 13. Расчет параметров схемы замещения производится по методике, изложенной [4].

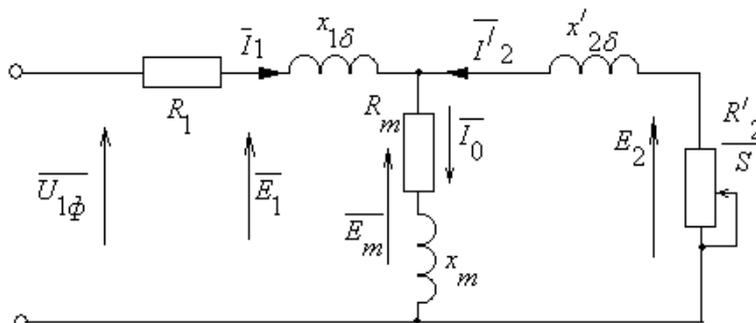


Рисунок 13 – Схема замещения асинхронного двигателя

Для расчета параметров схемы замещения АД необходимо знать паспортные данные двигателя, приведенные в таблице 2.

Параметры схемы замещения:

R_1 – активное сопротивление обмотки статора;

$X_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

I_2' – приведенный ток обмотки ротора к обмотке статора;

R_2' – приведенное активное сопротивление цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;

$X_{2\sigma}'$ – приведенное индуктивное сопротивление рассеяния цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;

I_0 – ток холостого хода (намагничивания);

X_m – индуктивное сопротивление контура намагничивания.

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя RA132MA2 со следующими каталожными данными.

Таблица 2 – Паспортные данные двигателя RA132MA2

Заданные величины	Условные обозначения	Единицы измерения	Численное значение
Номинальное Фазное напряжение	U_{H1}	В	220
Номинальное Линейное напряжение	$U_{\Phi H}$	В	380
Номинальная частота вращения	n_H	об/мин	2900
Номинальная мощность двигателя	P_H	кВт	9
КПД в режиме номинальной мощности	η_H	о. е	0,89
Коэффициент мощности	$\cos \varphi$	о. е	0,88
Кратность пускового тока	k_i	о. е	7,5
Кратность пускового момента	k_{Π}	о. е	2,7
Кратность максимального момента	k_{max}	о. е	3,5
Коэффициент загрузки двигателя	$p_{ж}$	о. е	0,75
Число пар полюсов	p	-	1
Момент инерции	J	-	0,0195

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие Т-образной схеме:

$$\begin{cases} \bar{U}_{1\Phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 = 0 \\ \bar{E}_m + j \cdot X_2' \cdot \bar{I}_2' + R_2' \cdot \bar{I}_2' / s = 0 \\ \bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 = 0 \end{cases}$$

Найдем синхронную частоту вращения и номинальное скольжение:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{3000 - 2900}{3000} = 0,033 \text{ о.е.}$$

Найдем ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p_{жс} \cdot I_{1H} \cdot \frac{1-S_H}{1-p_{жс} \cdot S_H}\right)^2}{1 - \left(p_{жс} \cdot \frac{1-S_H}{1-p_{жс} \cdot S_H}\right)^2}},$$

где $I_{11} = \frac{P_{жс} \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \phi_{P_{жс}} \cdot \eta_{нржс}} = \frac{0,75 \cdot 9 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,852 \cdot 0,89} = 13,485 \text{ А}$ – ток статора двигателя

при частичной нагрузке,

где:

$$\eta_{нржс} = \eta_n = 0,89 \text{ – КПД при частичной нагрузке,}$$

$$\cos \phi_{P_{жс}} = \cos \phi \cdot \text{fun}\left(\frac{P_H}{1000}\right) = 0,852 \text{ о.е.} \text{ – коэффициент мощности при}$$

частичной нагрузке.

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3U_{1H} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_n} = \frac{9000}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,89} = 17,411 \text{ А} \text{ – номинальный ток статора}$$

двигателя

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

$$= \sqrt{\frac{13,485^2 - \left[0,75 \cdot 17,411 \cdot \frac{(1-0,033)}{(1-0,75 \cdot 0,033)}\right]^2}{1 - \left[0,75 \cdot \frac{(1-0,033)}{(1-0,75 \cdot 0,033)}\right]^2}} = 5,637 \text{ А;}$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения. В первом приближении принимаем $\beta = 1$:

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

$$= 0,033 \cdot \frac{3,5 + \sqrt{3,5^2 - [1 - 2 \cdot 0,033 \cdot 1 \cdot (3,5 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,033 \cdot 1 \cdot (3,5 - 1)} = 0,272 \text{ о.е.}$$

Найдем значения коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{5,637}{2 \cdot 7,5 \cdot 17,411} = 1,022 ;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - S_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,033)}{2 \cdot 1,022 \cdot 3,5 \cdot 9 \cdot 10^3} = 2,182$$

Теперь можно определить активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/S_{KP}) \cdot C_1} = \frac{2,182}{\left(1 + \frac{1}{0,272}\right) \cdot 1,022} = 0,456 \text{ Ом};$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,022 \cdot 0,456 \cdot 1 = 0,466 \text{ Ом};$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $x_{кн}$:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{KP}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,272} - 1^2} = 3,54;$$

Найдем значение индуктивного сопротивления короткого замыкания:

$$X_k = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 3,54 \cdot 1,022 \cdot 0,456 = 1,651 \text{ Ом};$$

Найдем индуктивное сопротивление статорной обмотки:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_k = 0,42 \cdot 1,651 = 0,693 \text{ Ом};$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L_{1н} = \frac{X_{1н}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{0,693}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 2,206 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано:

$$X_2' = 0,58 \cdot \frac{X_k}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{1,651}{1,022} = 0,937 \text{ Ом};$$

Индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L_{2\sigma}' = \frac{X_{2\sigma}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{0,937}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 2,983 \cdot 10^{-3}, \text{ Гн}.$$

По найденным значениям C_1, R_2' и $x_{кн}$ определим критическое скольжение:

$$S_{к1} = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + x_{кн}^2}} = \frac{1,022 \cdot 0,456}{\sqrt{0,466^2 + 1,651^2}} = 0,272 \text{ о.е.}$$

Рассчитанные значения $S_{к1}$ и $S_{к}$ равны.

Для того чтобы найти ЭДС ветви намагничивания E_1 найдем $\sin \varphi$:

$$\sin \varphi = \sin(\arccos(\cos \varphi)) = \sin \arccos(0,495) = 0,475$$

Найдем ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенную потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1н} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1н})^2 + (U_{1н} \cdot \sin \varphi - x_{1н} \cdot I_{1н})^2} = \\ = \sqrt{(220 \cdot 0,88 - 0,466 \cdot 17,411)^2 + (220 \cdot 0,475 - 0,693 \cdot 17,411)^2} = 219,068 \text{ В}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{\mu H} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{219,068}{5,637} = 38,861 \text{ Ом}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{38,861}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,124 \text{ Гн.}$$

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1н}$, Ом	$L_{1н}$, Гн	R'_2 , Ом	$X'_{2н}$, Ом	$L'_{2н}$, Гн	X_{μ} , Ом	$X_{кн}$, Ом	L_{μ} , Гн
0,466	0,693	0,002206	0,456	0,937	0,003251	38,861	1,651	0,124

2.2. Расчет статических характеристик асинхронного двигателя

Под статическими характеристиками чаще всего подразумеваются электромеханическая и механическая характеристика.

Электромеханическая характеристика — это зависимость угловой скорости вращения вала ω от тока I .

Механическая характеристика — это зависимость угловой скорости вращения вала от электромагнитного момента M (или от момента сопротивления M_c).

Под естественной механической характеристикой асинхронного двигателя понимается зависимость момента двигателя M от его скольжения s при номинальной схеме включения двигателя, номинальных параметрах питающей сети и отсутствии добавочных сопротивлений в цепях двигателя. Все остальные характеристики называются искусственными. С помощью искусственных характеристик асинхронного двигателя регулируют его скорость в соответствии с требованиями технологического процесса.

Найдем синхронную угловую скорость:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Рассчитаем и построим естественную электромеханическую характеристику:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \phi_2},$$

$$\sin \phi_2 = \frac{x_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega - \omega_0}\right)^2 + x_{KH}^2}}$$

где

$I_2'(\omega)$ – значение приведенного тока ротора от скольжения;

$$I_2' = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega - \omega_0}\right)^2 + (x_{1H} + x'_{2H})^2}}$$

По вышеприведенным формулам рассчитывается естественная электромеханическая характеристика, приведенная на рисунке 14:

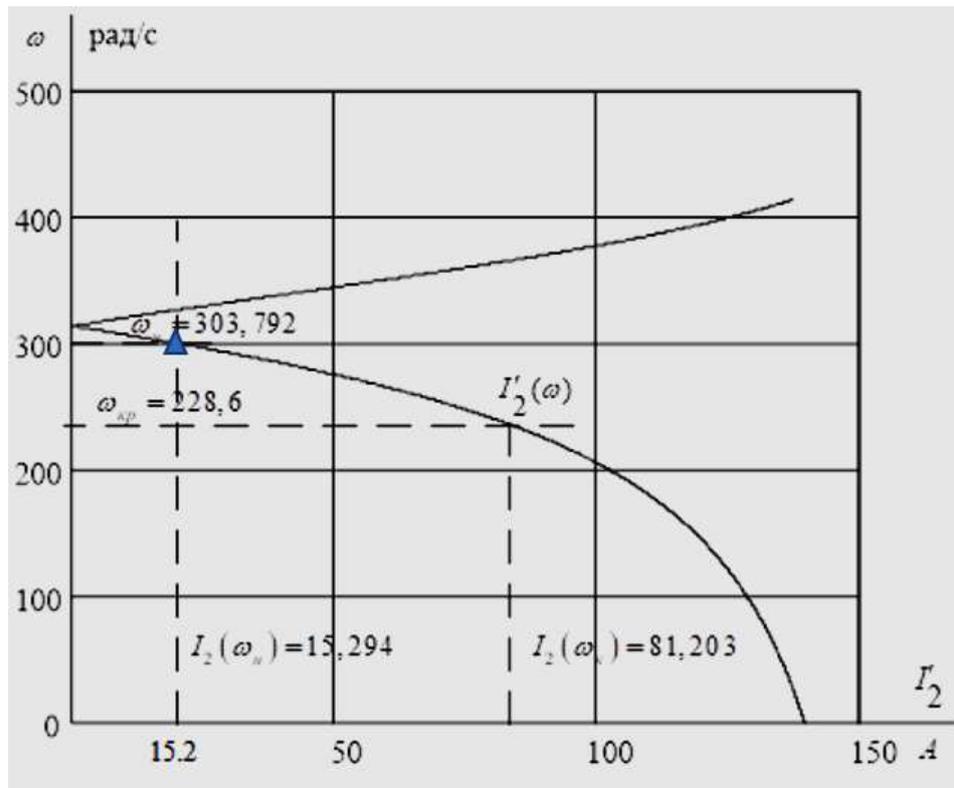


Рисунок 14 – Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя, ток ротора

Номинальный ток ротора двигателя при номинальном скольжении

$$I'_{2н}(s) = \frac{U_{1фн}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_n}\right)^2 + X_{кн}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_n \cdot X_\mu}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\sqrt{\left(0,342 + \frac{0,331}{0,033}\right)^2 + 1,759^2 + \left(\frac{0,342 \cdot 0,331}{0,033 \cdot 19,866}\right)^2}} = 15,294 \text{ A}$$

Синус угла между вектором фазного напряжения $\overline{U_{1н}}$ и сопряженным вектором тока ротора $\overline{-I_2'}$

$$\sin \varphi_{2H}(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu}\right)^2}} =$$

$$= \frac{1,651}{\sqrt{\left(0,466 + \frac{0,456}{0,033}\right)^2 + 1,651^2 + \left(\frac{0,466 \cdot 0,456}{0,033 \cdot 19,866}\right)^2}} = 0,115 \text{ A}$$

Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

$I_1 = f(\omega)$ (рис. 15).

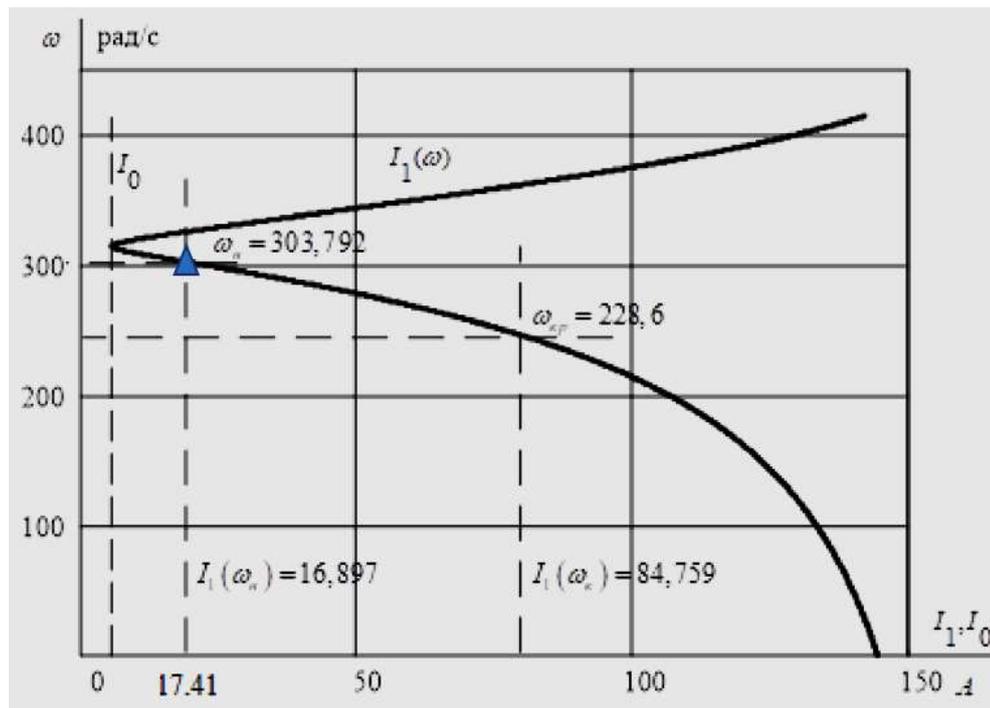


Рисунок 15 – Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя, ток статора

Определим номинальный ток статора асинхронного двигателя I_{1H} при номинальном скольжении $s_H = 0,033$ в соответствии с электромеханической характеристикой.

Номинальный ток статора двигателя

$$I_1(\omega_H) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega_H)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega_H) \cdot \sin \varphi_{2H}(s_H)} =$$

$$= \sqrt{5,637^2 + 15,294^2 + 2 \cdot 5,637 \cdot 15,294 \cdot 0,115} = 16,897 \text{ A}$$

Проанализировав значения контрольных точек, полученных аналитическим и графическим путем, можно сделать вывод, что критических

различий не наблюдается. Значение номинального тока статора асинхронного двигателя, определенное по его электромеханической характеристике, близкое со значением, рассчитанным по каталожным данным $I_{1н} = 16,897 \text{ A}$. Из этого следует, что расчеты параметров схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным выполнены верно.

Рассчитаем и построим естественную механическую характеристику (рис.16) по следующей формуле:

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1н}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}} \right)^2 + x_{кн}^2 \right]}$$

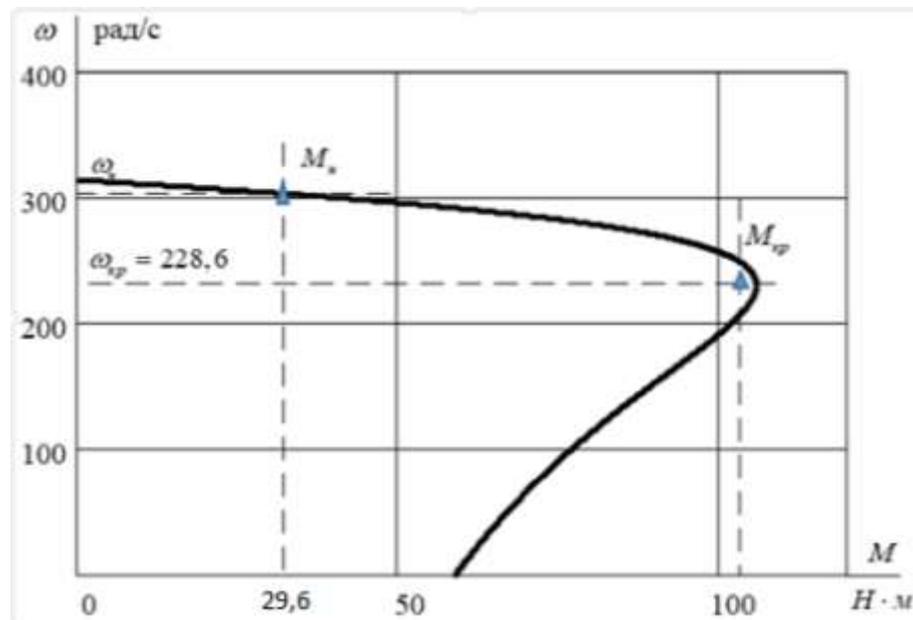


Рисунок 16 – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

Рассчитаем контрольные точки механической характеристики по паспортным данным:

Номинальная скорость:

$$\omega_n = \omega_0 \cdot (1 - S_n) = 314,159 \cdot (1 - 0,033) = 303,792 \text{ рад/с ;}$$

Критическая скорость:

$$\omega_k = \omega_0 \cdot (1 - S_k) = 314,159 \cdot (1 - 0,272) = 228,6 \text{ рад/с}$$

$$\text{Момент номинальный: } M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{9000}{303,159} = 29,626 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$\text{Момент критический: } M_{кр} = M_{ном} \cdot k_{макс} = 29,626 \cdot 3,5 = 103,689 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$\text{Момент пусковой: } M_{п} = M_{ном} \cdot k_{п} = 29,626 \cdot 2,7 = 79,99 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Найденные координаты точек с номинальным, максимальным и минимальным моментом нанесены на рассчитанный график (рис. 14) и (рис. 15) естественной механической характеристики асинхронного двигателя.

Формула для расчета естественной механической характеристики:

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1\phi н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{\omega_0 - \omega} \cdot X_{\mu} \right)^2 \right]}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{9000}{303,159} = 29,626 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Критический момент:

$$M(\omega_{кр}) = \frac{3 \cdot U_{1\phi н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{кр} \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{кр}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{кр}} \cdot X_{\mu} \right)^2 \right]} = 103,689 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Из графика механической характеристики определяем:

1. $\omega_0 = 314,159 \text{ рад/с}$ синхронная скорость;
2. $\omega_n = 303,792 \text{ рад/с}$ номинальная скорость;
3. $M_{ном} = 29,626 \text{ Н} \cdot \text{м}$ номинальный момент;
4. $s_{к1} = 0,272 \text{ о.е.}$ критическое скольжение;
5. $M(\omega_{кр}) = 105,682 \text{ Н} \cdot \text{м}$ электромагнитный критический момент;
6. $M_{п} = M_{ном} \cdot k_{п} = 89,99 \text{ Н} \cdot \text{м}$ пусковой момент;

Эти же точки рассчитаем аналитически по паспортным данным:

7. $\omega_0 = 314,159 \text{ рад/с}$ синхронная скорость;
8. $\omega_n = 303,792 \text{ рад/с}$ номинальная скорость;
9. $M_{ном} = 29,626 \text{ Н}\cdot\text{м}$ номинальный момент;
10. $S_{к1} = 0,272 \text{ о.е.}$ критическое скольжение;
11. $M(\omega_{кр}) = 103,689 \text{ Н}\cdot\text{м}$ критический момент на валу АД;
12. $M_{п} = M_{ном} \cdot k_{п} = 59,99 \text{ Н}\cdot\text{м}$ пусковой момент;

Анализ расчетов показывает, что контрольные точки, найденные в соответствии с каталожными данными двигателя, хорошо совпадают с рассчитанным графиком механической характеристики асинхронного двигателя, тем самым подтверждая правильность расчетов.

2.3. Расчет и моделирование переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки

Моделирование асинхронного двигателя осуществим с помощью программы *MATLAB Simulink*.

Для создания имитационной модели необходимо знать следующие параметры двигателя.

Индуктивность фазы обмотки статора:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,693}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 2,207 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивность фазы обмотки ротора:

$$L_{2\sigma} = \frac{X'_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,937}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 2,983 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивность цепи намагничивания:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{38,861}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,124 \text{ Гн.}$$

Имитационная модель изображена на рис.17.

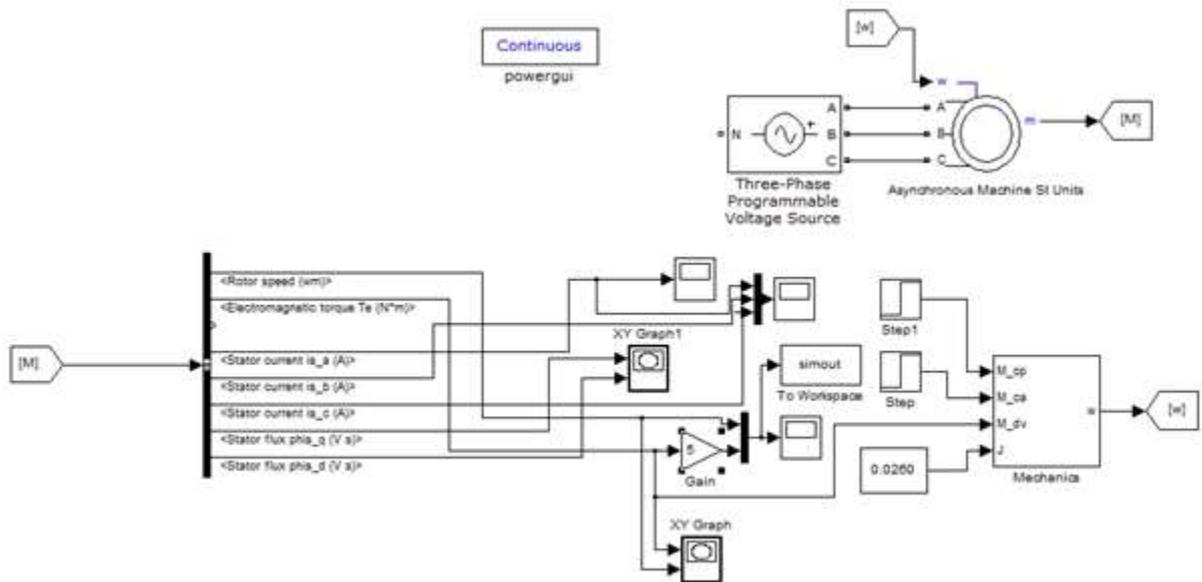


Рисунок 17 – Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя

Ниже представлены переходные характеристики скорости, момента и тока при прямом пуске АД без нагрузки и при набросе нагрузки (рис. 18-20).

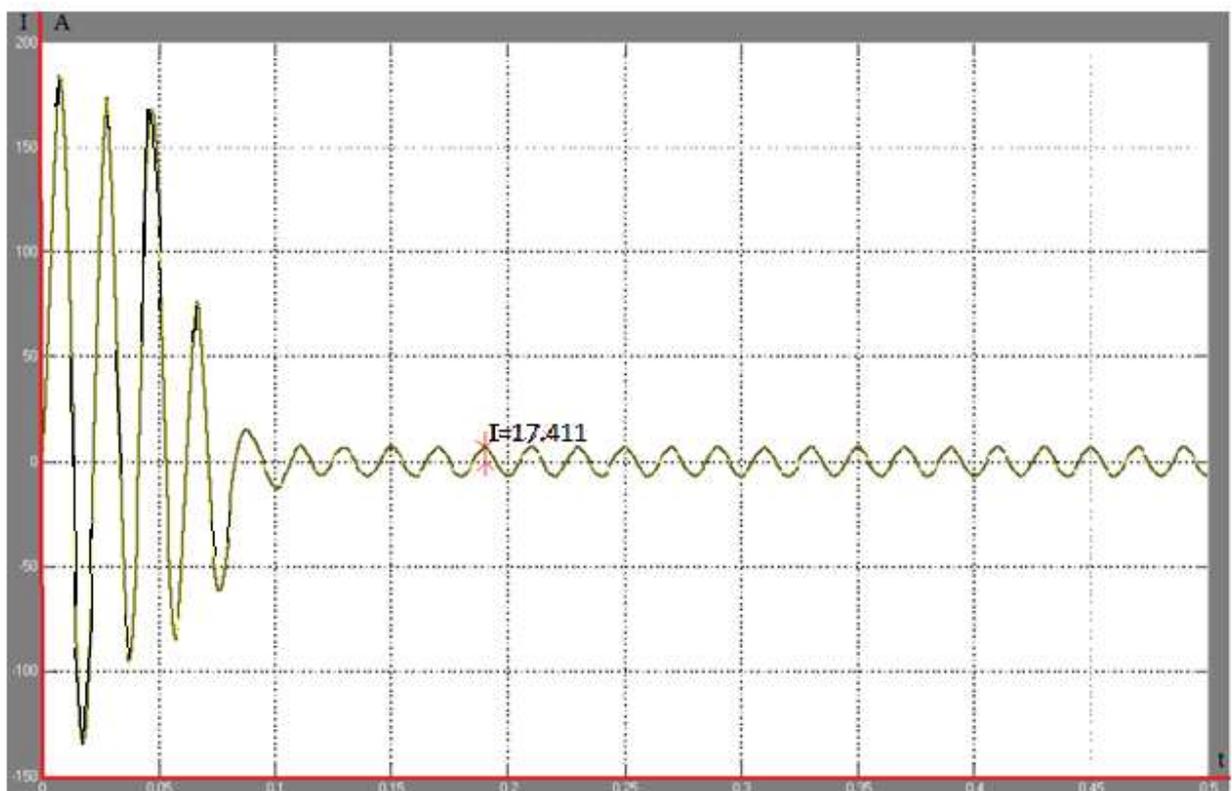


Рисунок 18 – Переходная характеристика тока АД при прямом пуске

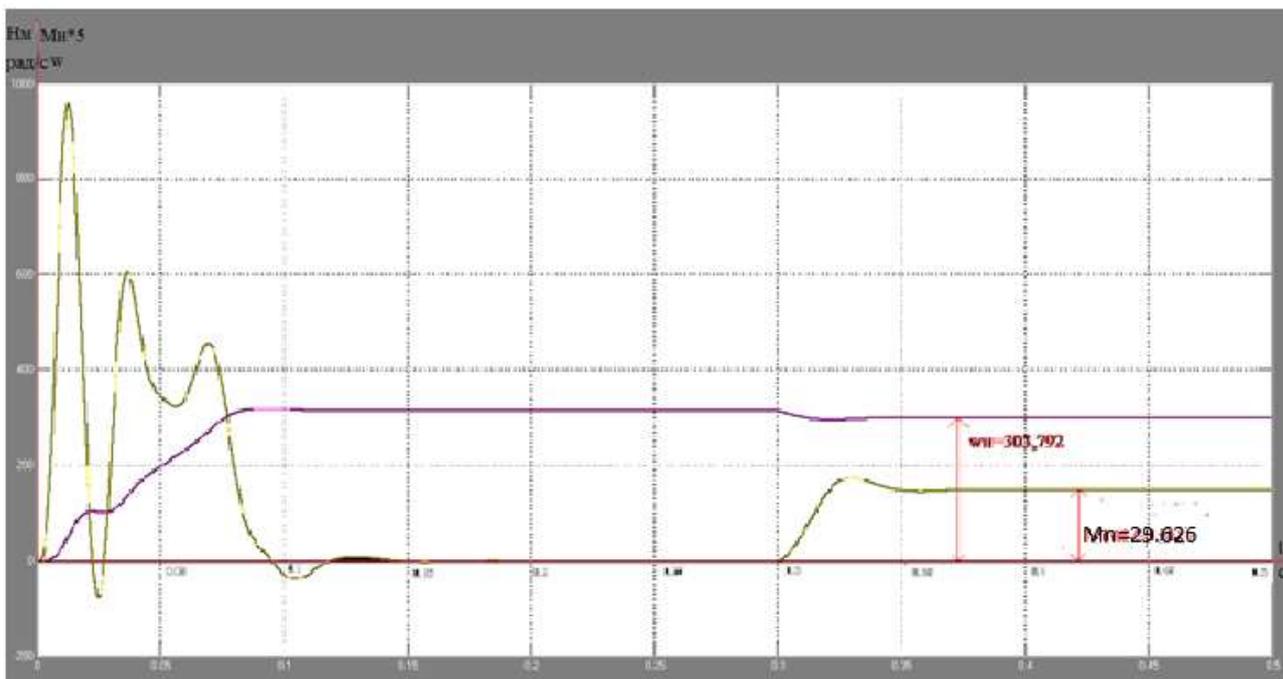


Рисунок 19 – Переходная характеристика скорости и момента АД при прямом пуске с набросом нагрузкой

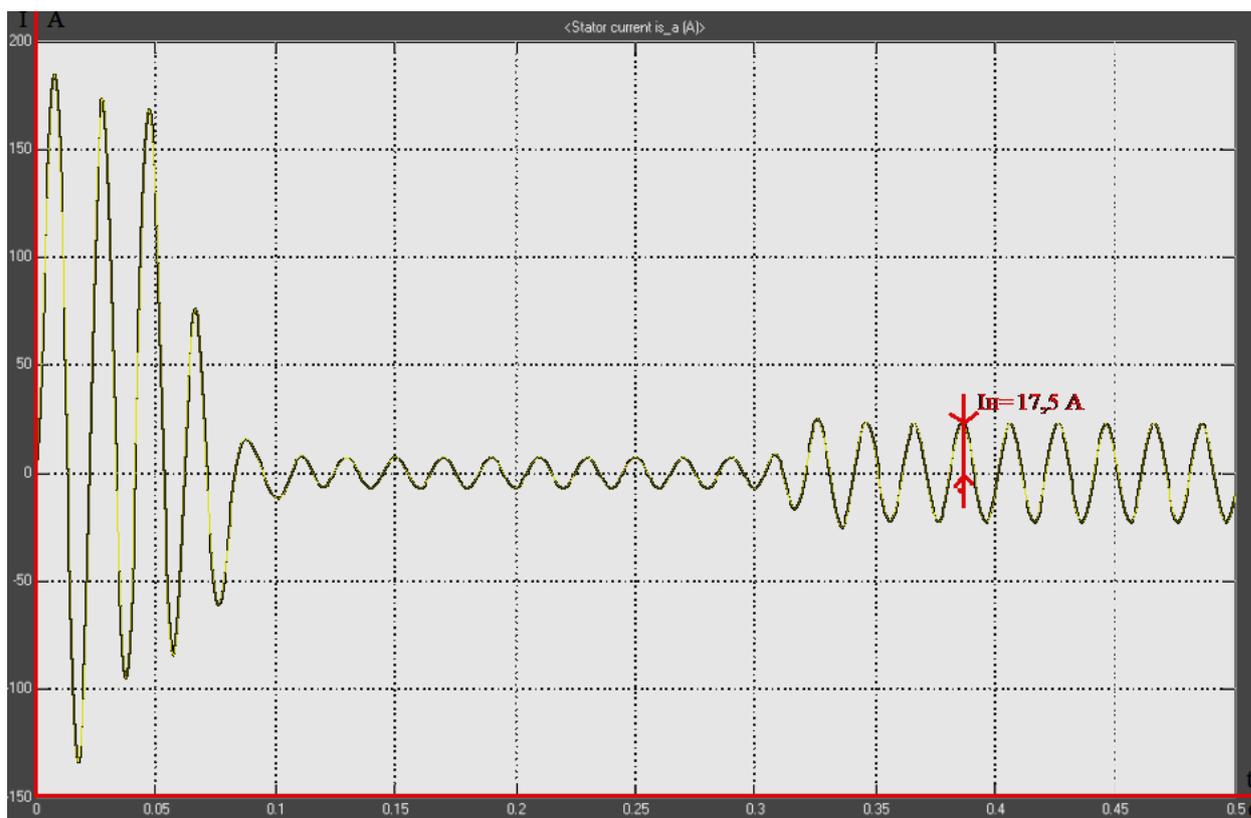


Рисунок 20 – Переходная характеристика тока АД при прямом пуске с набросом нагрузки

Приведенные выше характеристики показывают адекватность работы модели двигателя. В табл. 4 сведены расчетные параметры и параметры, полученные с имитационной модели по скорости и моменту двигателя.

Таблица 4 – Расчетные и смоделированные параметры двигателя

Параметр	Расчетная модель	Имитационная модель
ω_n , рад/с	303,792	305
M_n , Н·м	29,626	30
I_n , А	17,411	17,5

Значения скорости идеального холостого хода и номинальной скорости при номинальной нагрузке совпадают с расчетными. В качестве нагрузки было принято номинальное значение.

2.4. Выбор преобразователя частоты

Выбираем преобразователь частоты фирмы SIEMENS (рис. 21), серии MIDIMASTER ECO по максимальной мощности электродвигателя.

Таблица 5 – Технические параметры ПЧ ECO1-5500/3

Модель	Типо размер	Число фаз	Напряжение питания, В	Мощность двигателя, кВт	Номинальный ток, А	Степень защиты
ECO1-5500/3	7	3	380-500	55	102	IP56



Рисунок 21 – Преобразователь частоты фирмы SIEMENS

2.5. Обоснование выбора функциональной схемы электропривода переменного тока со скалярным регулированием скорости

Обобщенная функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением приведена на (рис. 22). На схеме символом * обозначены сигналы задания и управления и приняты следующие обозначения:

$\Delta f_{1к}^*, \Delta U_{1к}^*$ – компенсационные сигналы управления соответственно в канале регулирования частоты и напряжения;

ω – фактическое значение угловой скорости вращения электродвигателя (ротора);

ЗИС – задатчик интенсивности скорости с линейной или S-образной характеристикой;

РС – регулятор скорости;

ФНУ1 – формирователь напряжений управления двухфазным асинхронным двигателем

$$U_{\alpha}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \sin 2\pi f_1, \quad U_{\beta}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \cos 2\pi f_1;$$

ФНУ2 – преобразователь напряжений управления двухфазным двигателем в напряжения управления трехфазным двигателем.

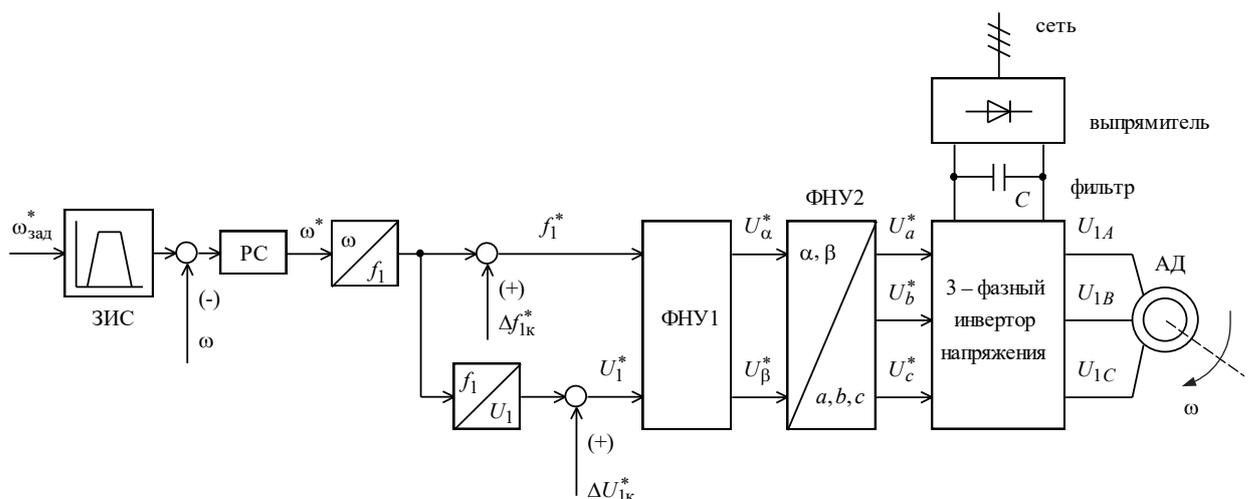


Рисунок 22 – Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

На рис. 23 приведены функциональные схемы систем управления электроприводов со скалярным управлением фирмы *Siemens*.

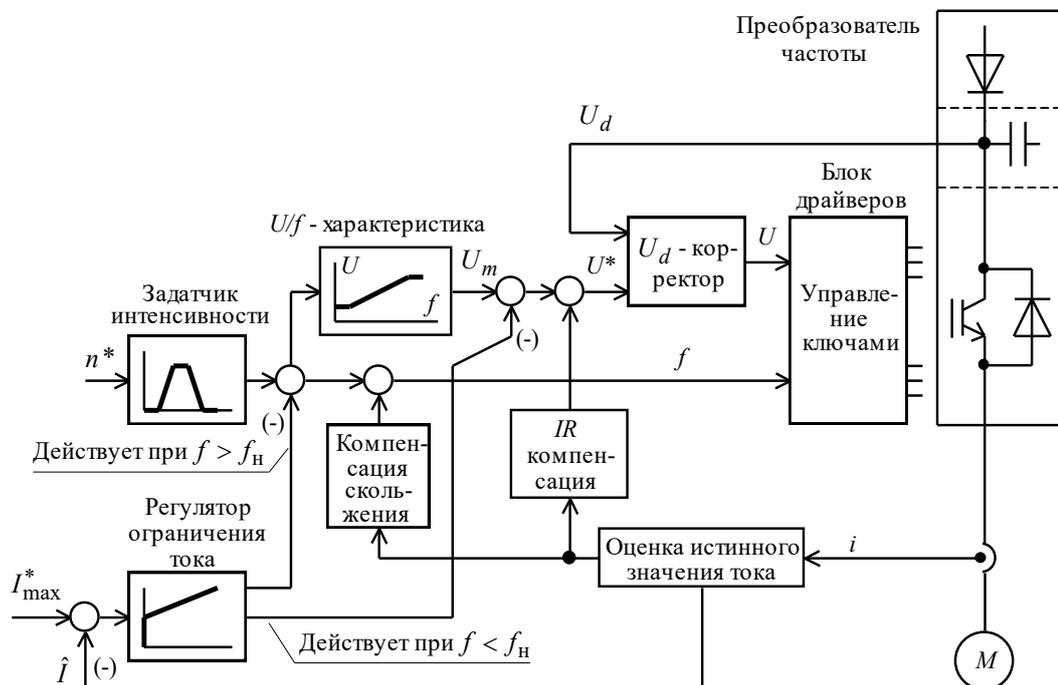


Рисунок 23 – Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением без датчика скорости

Закон частотного регулирования U/f при скалярном управлении выбирается в зависимости от характера нагрузки производственного механизма. Закон управления с линейной зависимостью между напряжением и частотой ($U_1/f_1 = const$) реализуется в преобразователях частоты для приводов производственных механизмов с постоянным моментом нагрузки. Поддержание постоянства отношения $U_1/f_1 = const$ обеспечивает постоянство потокосцепления и критического момента двигателя во всем диапазоне регулирования скорости изменением частоты. Однако это справедливо лишь при пренебрежимо малом активном сопротивлении обмотки статора, практически же при уменьшении частоты уменьшается и максимальный момент двигателя. В простейшем случае для повышения момента двигателя на малых скоростях вращения в преобразователях

предусмотрена функция повышения начального значения выходного напряжения (начального напряжения вольт-частотной характеристики), применяются модули U_d -коррекции и IR -компенсации (рис. 24). В результате достигается компенсация уменьшения момента двигателя для нагрузок с постоянным моментом сопротивления (например, конвейеры, поршневые компрессоры и насосы) или достигается увеличение пускового момента двигателя для нагрузок с высоким моментом трогания (например, экструдеры).

Для регулируемых электроприводов металлообрабатывающих станков используется зависимость напряжения от частоты ($U_1/\sqrt{f_1} = const$).

Для регулируемых электроприводов центробежных насосов и вентиляторов используется квадратичная зависимость напряжения от частоты ($U_1/f_1^2 = const$). За счёт большего снижения напряжения двигателя при уменьшении частоты достигается уменьшение потребляемой электроприводом энергии.

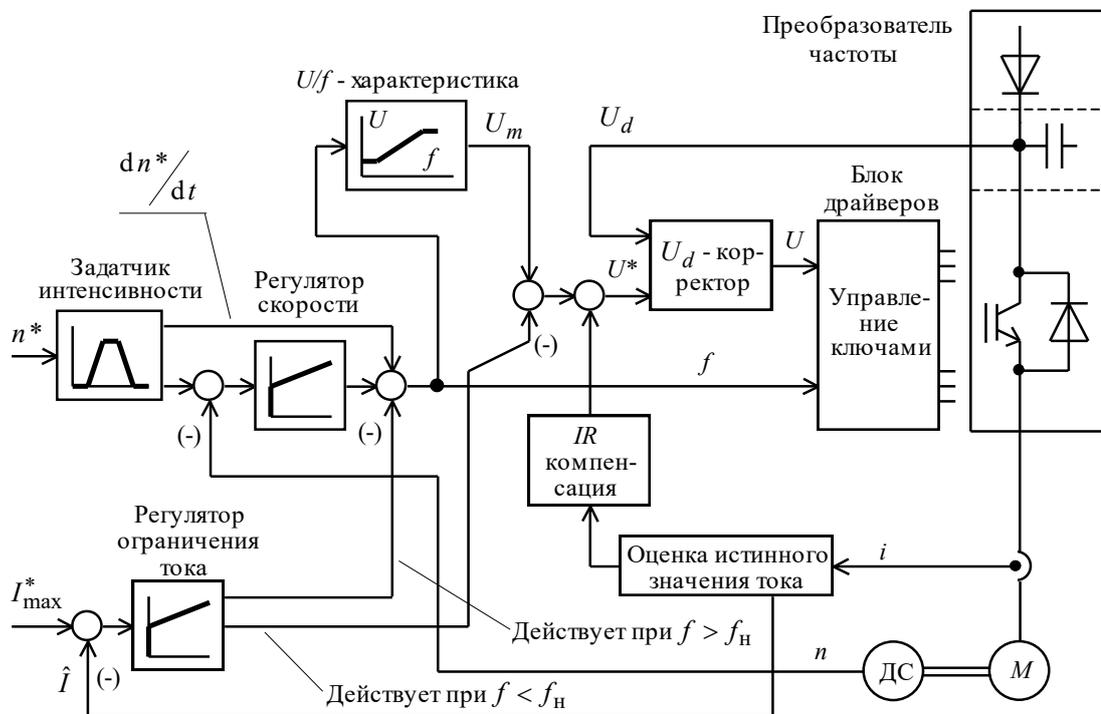


Рисунок 24 – Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением с датчиком скорости

Из-за ограниченной жесткости рабочей части механических характеристик асинхронных двигателей диапазон регулирования скорости в разомкнутых системах частотно-регулируемого асинхронного электропривода не может быть более 1:10. Для расширения диапазона регулирования до 20 применяют компенсационные сигналы по скорости (скольжению) – модуль компенсации скольжения КС (рис. 22), до 100 – замкнутый контур регулирования с регулятором скорости РС и обратной связью по скорости с датчиком и регулятором скорости (рис. 23).

Для ограничения момента двигателя в пуско-тормозных режимах электропривода механизмов, у которых по технологии невозможны механические перегрузки, применяется задатчик интенсивности (ЗИС) с линейной или S-образной характеристикой, который устанавливается на входе электропривода в канале задания скорости. В электроприводах механизмов, для которых большие кратковременные перегрузки и стопорение двигателя являются рабочими режимами, дополнительно предусматривается система ограничения максимального допустимого тока электропривода с датчиком тока и регулятором тока. Выходной сигнал регулятора тока должен так воздействовать на напряжение и частоту статора, чтобы одновременно с ограничением тока происходило и ограничение момента двигателя на допустимом уровне.

Частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением может быть и двухзонным, когда при частоте (скорости вращения) выше номинальной напряжение двигателя остаётся постоянным, равным номинальному напряжению. Длительно допустимый и кратковременно допустимый моменты двигателя в этом случае должны быть уменьшены на верхних скоростях.

Преобразователи частоты со скалярным управлением могут использоваться в многодвигательных электроприводах (без обратной связи по скорости) для управления параллельно включенными двигателями. Однако в

этом случае необходимо будет решить проблемы распределения нагрузок механически взаимосвязанных двигателей и предотвращения перегрузки отдельных не связанных между собой двигателей.

Системы IR -компенсации и компенсации скольжения представляют собой нелинейные положительные обратные связи и их применение необходимо только в области малых скоростей двигателя. Ограничение тока двигателя с помощью датчика и регулятора тока необходимо в системах электроприводов, в которых возможны кратковременные перегрузки. Это исключит аварийное отключение привода средствами защитной аппаратуры. Применение систем управления с датчиками и регуляторами скорости в электроприводах со скалярным управлением представляется нецелесообразным вообще, а тем более для двигателей с самовентиляцией.

Можно рекомендовать в приводах длительного режима работы с постоянной скоростью и диапазоном регулирования скорости не больше 1:10 и без особых требований к динамике применение простейших структур и законов частотного управления:

– при постоянной нагрузке разомкнутые структуры с линейным законом управления $\frac{U}{f} = const$ с корректировкой вольт-частотной характеристики и возможно IR -компенсации в области малых частот.

Для систем регулируемых электроприводов при диапазоне регулирования скорости более 1:10 или с жесткими требованиями к динамике более целесообразно применять системы векторного управления без датчиков скорости [5].

2.6. Расчет статических характеристик без IR - компенсации

В соответствии с представленными частотами питающего напряжения произведем расчет значений скорости идеального холостого хода:

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1H1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,15 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1H2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 25}{1} = 157,08 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1H3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10}{1} = 62,832 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1H4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5}{1} = 31,416 \text{ рад/с}.$$

Строим электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ для выбранных частот по выражениям (рис. 25):

$$I_2'(s, f) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f) + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}\right)^2}}$$

где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1-s)$.

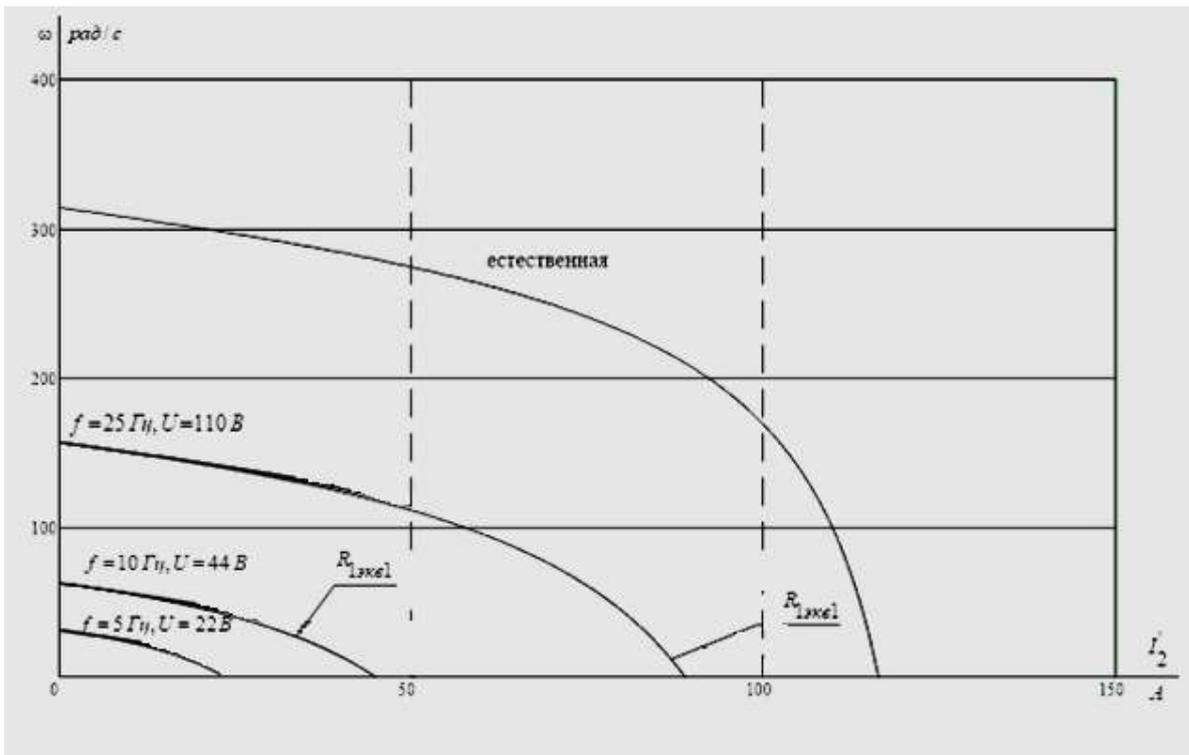


Рисунок 25 – Искусственные электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ для

закона регулирования $\frac{U_1}{f_1} = const$ без IR - компенсации

Строим механические характеристики асинхронного двигателя $M(\omega)$ (рис.26) рассчитываем для выбранных по выражениям:

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R'_2}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{\text{эл}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\text{мг}} \cdot f_{1*}(f)} \right)^2 \right]}$$

где, $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1-s)$.

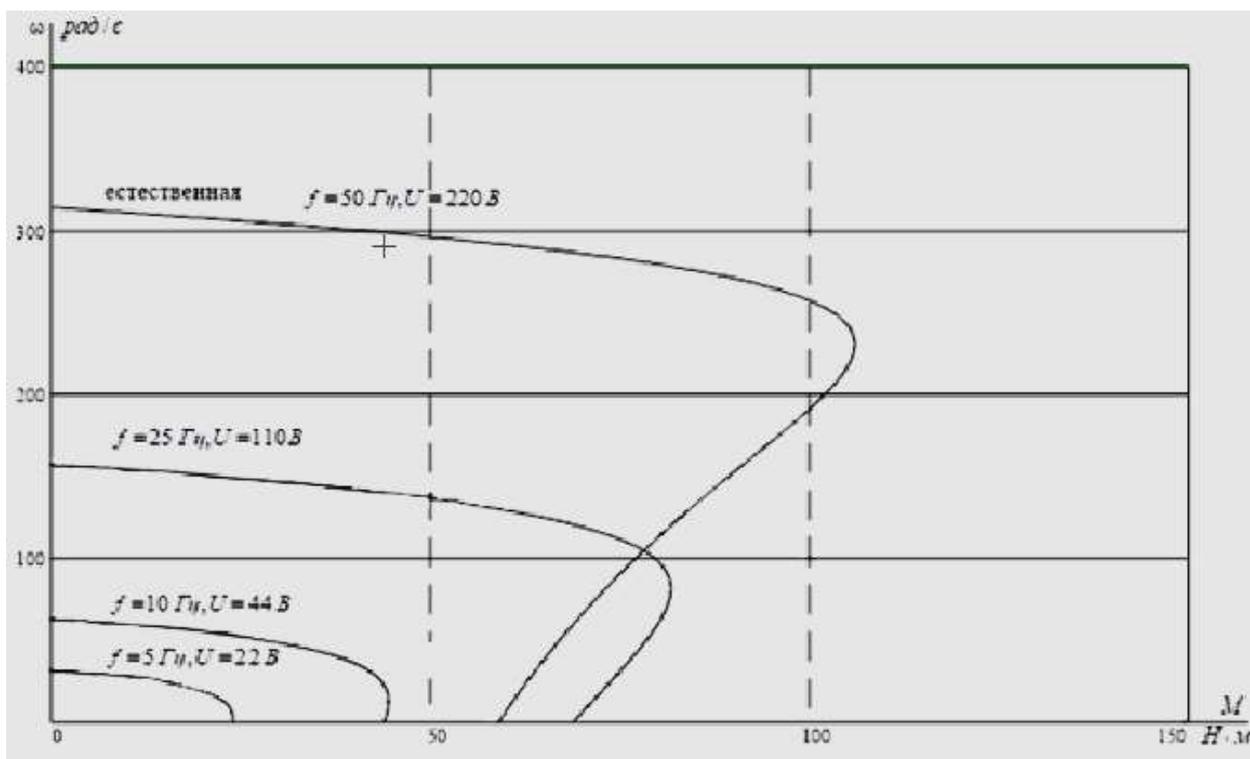


Рисунок 26 – Искусственные механические характеристики $M(\omega) \frac{U_1}{f_1} = const$

без IR компенсации

Вывод

Анализ графиков статических механических характеристик показывает, что электромагнитный момент на нижнем пределе регулирования скоростей меньше статического момента производственного механизма пилорамы.

Для его увеличения введем в электропривод ‘преобразователь частоты асинхронный двигатель’ положительную обратную связь по току в канал регулирования напряжение, или компенсацию момента.

2.7. Разработка схемы имитационной модели электропривода при скалярном частотном регулировании скорости

На рис. 27 представлена имитационная модель системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель», разработанная в среде *MATLAB Simulink*

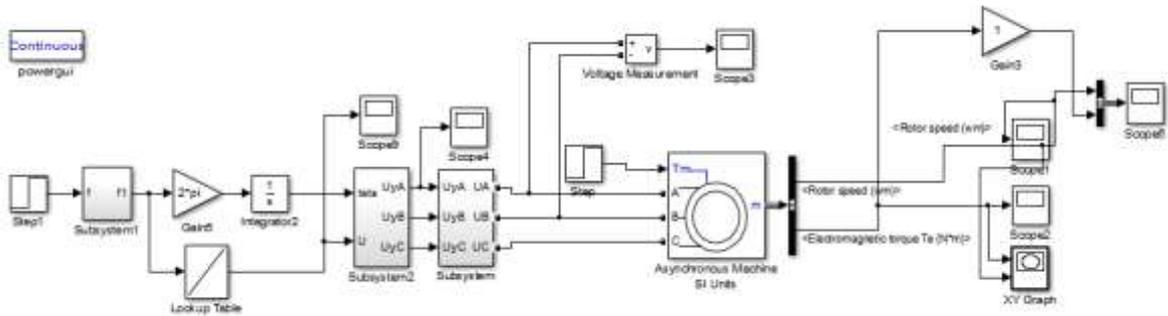


Рисунок 27 Имитационная модель системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»

На (рис. 28) представлены математически рассчитанная и аппроксимированная ломаными линиями кривые зависимости $U_{1j}/\sqrt{f_{1j}} = const$.

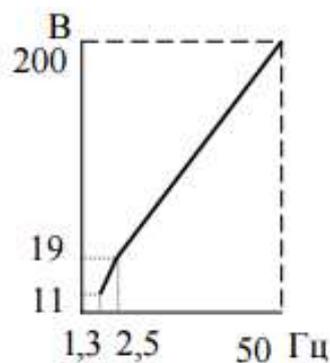


Рисунок 28 – Кривая зависимости $U(f)$

Кривая задается в блоке ПЧН тремя точками:

1. $f = 1,3 \text{ Гц}$, $U = 11 \text{ В}$.
2. $f = 2,5 \text{ Гц}$, $U = 19 \text{ В}$.
3. $f = 50 \text{ Гц}$, $U = 200 \text{ В}$.

Инвертор напряжения представим аperiодическим звеном. Его передаточная функция:

$$W_{ин}(p) = \frac{k_{ин}}{T_{ин} \cdot p + 1} = \frac{1}{0,0001 \cdot p + 1},$$

где $k_{ин} = 1$ – коэффициент передачи инвертора;

$$T_{ин} = \frac{1}{f_{нч}} = \frac{1}{10000} = 0,00001 \text{ – постоянная времени запаздывания}$$

автономного инвертора напряжения,

где $f_{нч} = 10000 \text{ Гц}$ – несущая частота инвертора.

Положительная обратная связь по току представляется апериодическим звеном:

$$W_{от}(p) = \frac{k_{км}}{T_{км} \cdot p + 1} = \frac{0,1}{0,001 \cdot p + 1},$$

где $k_{км}$ – коэффициент положительной обратной связи по току, примем $k_{км} = 0,1$;

$T_{км}$ – постоянная времени задержки контура тока, время достаточное для определения мгновенного значения тока статора асинхронного двигателя с современными контроллерами составляет $T_{км} = 0,001$.

Переходная характеристика имитационной модели приведена на рисунке 29.

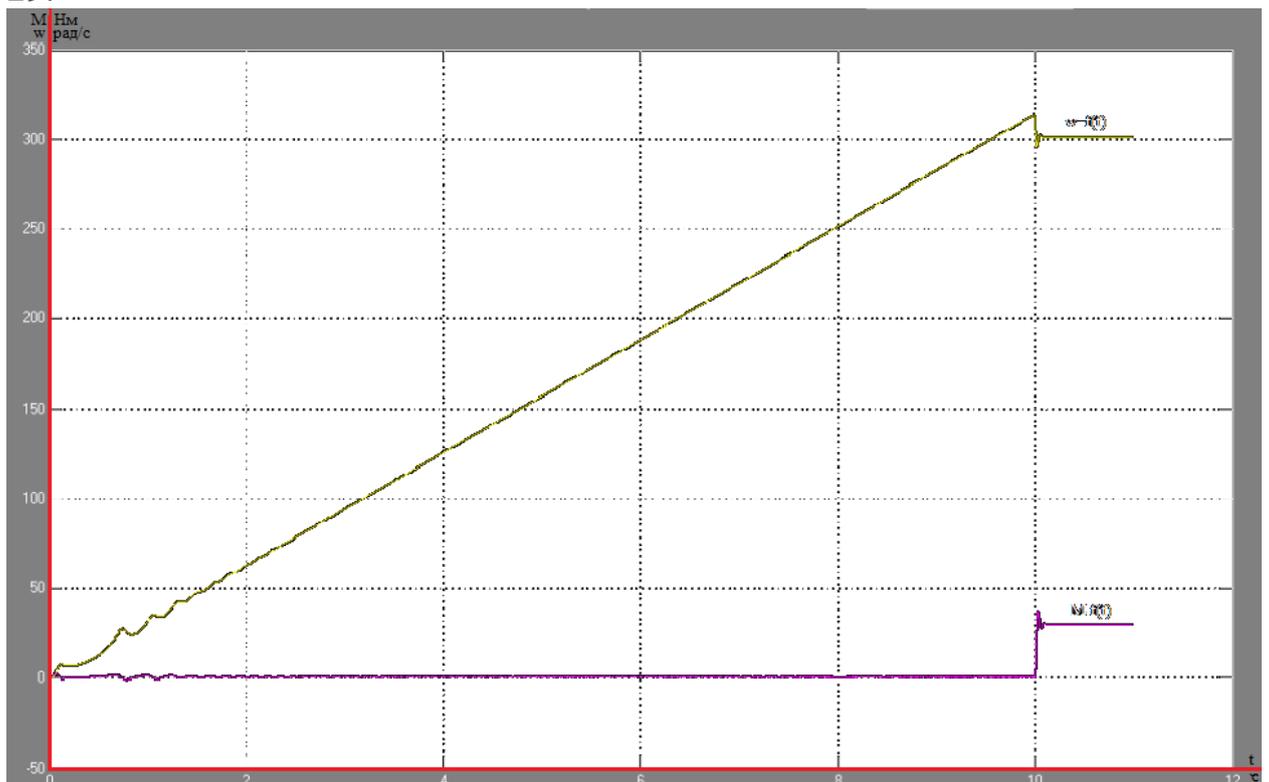


Рисунок 29 – Переходная характеристика имитационной модели по скорости и электромагнитному моменту

2.8. Разработка структурной схемы асинхронного двигателя при скалярном частотном регулировании скорости с компенсацией момента

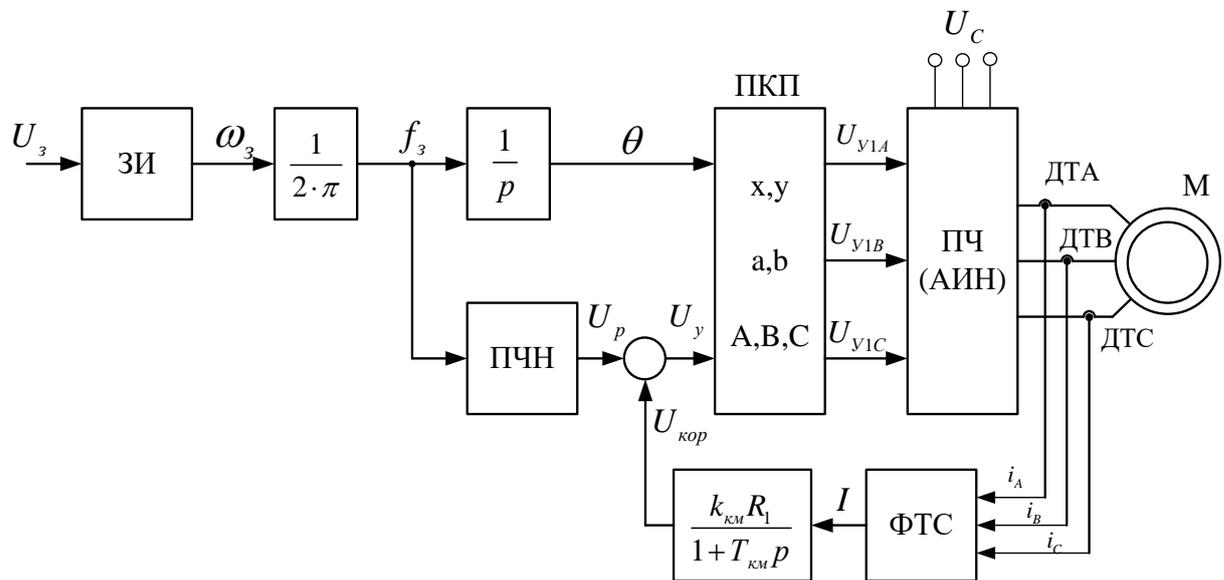


Рисунок 30 – Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR -компенсацией

Задатчик интенсивности формирует кривую и темп разгона двигателя. При дистанционном управлении электроприводом сигналом задания скорости является задающее напряжение U_3 . (рис.31). Ему соответствует задающая частота f_3 местного управления, в этом случае управление пуском и остановом двигателем производится с панели преобразователя. Блок “преобразователь частота-напряжение” ПЧН формирует требуемую зависимость скалярного управления между частотой и напряжением преобразователя, чем и устанавливается принятый закон частотного регулирования $E_{1j}/f_{1j}=\text{const}$.

При скалярной IR -компенсации сигнал управления U_y является суммой сигналов регулирования U_p и положительной обратной связи по току $U_{кор}$:

$$U_y = U_p + U_{кор} = U_p + k_{км} \cdot R_1 \cdot I ,$$

где $k_{км}$ – коэффициент положительной обратной связи по току;

R_1 – активное сопротивление фазы обмотки статора АД;

I – сигнал пропорциональный действующим значениям токов i_a, i_b, i_c обмоток статора АД.

Сигнал управления является входным для прямого координатного преобразователя (ПКП), на выходе которого формируется три синусоидальных напряжения управления $U_{1yA}, U_{1yB}, U_{1yC}$ сдвинутые относительно друг друга на угол $\pm 2\pi/3$, с амплитудами пропорциональными напряжению управления. Сигналы $U_{1yA}, U_{1yB}, U_{1yC}$ формируют фазные напряжения на выходе автономного инвертора напряжения (АИН) [1].

2.9. Расчёт и построение механических и электромеханических характеристик АД для закона регулирования

Расчет характеристик производим для частот $f_1=50; 25; 10; 5$ Гц. Коэффициенты IR -компенсации: $K_{KM1}=0,25$ $K_{KM2}=0,5$ $K_{KM3}=0,75$

При законе регулирования: $Z_p = \frac{U_{1H}}{f} = \frac{220}{50} = 4,4$.

Найдем относительные значения частот питающего напряжения:

$$\text{при } f_{1H1}=50 \text{ Гц} \quad f_{1*1} = \frac{f_{1H}}{f_{1H}} = \frac{50}{50} = 1$$

$$\text{при } f_{1H2}=25 \text{ Гц} \quad f_{1*2} = \frac{f_{2H}}{f_{1H}} = \frac{25}{50} = 0,5$$

$$\text{при } f_{1H3}=10 \text{ Гц} \quad f_{1*3} = \frac{f_{3H}}{f_{1H}} = \frac{10}{50} = 0,2$$

$$\text{при } f_{1H4}=5 \text{ Гц} \quad f_{1*4} = \frac{f_{4H}}{f_{1H}} = \frac{5}{50} = 0,1$$

Найдем фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя:

$$U_{1H1} = Z_p \cdot f_{1H1} = 4,4 \cdot 50 = 220 \text{ В};$$

$$U_{1H2} = Z_p \cdot f_{1H2} = 4,4 \cdot 25 = 110 \text{ В};$$

$$U_{1H3} = Z_p \cdot f_{1H3} = 4,4 \cdot 10 = 44 \text{ В};$$

$$U_{1H4} = Z_p \cdot f_{1H4} = 4,4 \cdot 5 = 22 \text{ В}.$$

В соответствии с представленными частотами питающего напряжения произведем расчет значений скорости идеального холостого хода:

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1H1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,15 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1H2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 25}{1} = 157,08 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1H3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10}{1} = 62,832 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1H4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5}{1} = 31,416 \text{ рад/с}.$$

Найдем эквивалентное сопротивление ротора с учетом IR – компенсации:

$$R_{1экв1} = R_1 = 0,466 \text{ Ом};$$

$$R_{1экв2} = R_1(1 - K_{км1}) = 0,466(1 - 0,25) = 0,35 \text{ Ом};$$

$$R_{1экв3} = R_1(1 - K_{км2}) = 0,466(1 - 0,5) = 0,233 \text{ Ом};$$

$$R_{1экв3} = R_1(1 - K_{км3}) = 0,466(1 - 0,75) = 0,117 \text{ Ом}.$$

Строим электромеханические характеристики $\Gamma 2(\omega)$ для выбранных частот по выражениям (рис. 31):

$$I_2'(s, f) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2(f) + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}\right)^2}}$$

где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$.

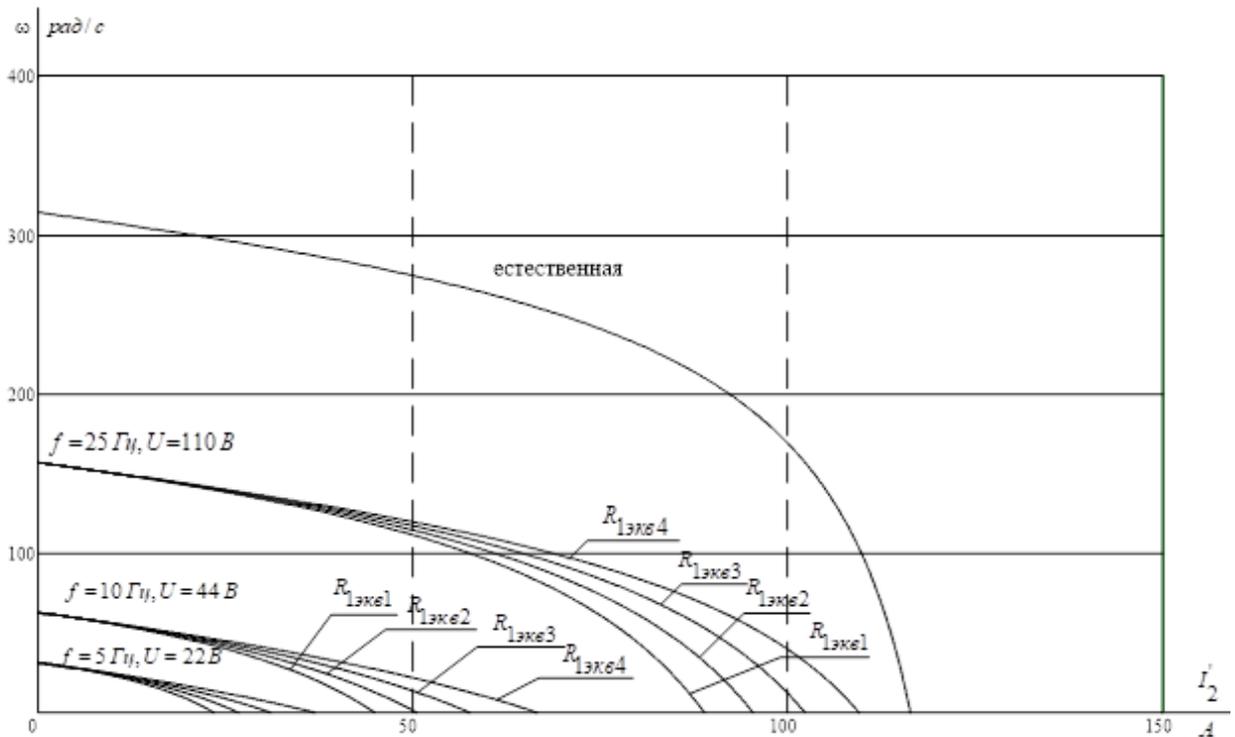


Рисунок 31 – Искусственные электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ для

$$\text{закона регулирования } \frac{U_1}{f_1} = const$$

Также строим электромеханические характеристики $\Pi(\omega)$ для выбранных частот по выражениям (рис.32):

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

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1 - s),$$

$$\sin \varphi_2(s, f) = \frac{X_{KH} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f)}}$$

где $I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}$ – ток холостого хода асинхронного двигателя

в зависимости от частоты.

Определим ток холостого хода при данных частотах регулирования:

$$I_{01} = \frac{U_{1н1}}{X_{\mu H}} = \frac{220}{38,861} = 5,661 \text{ А};$$

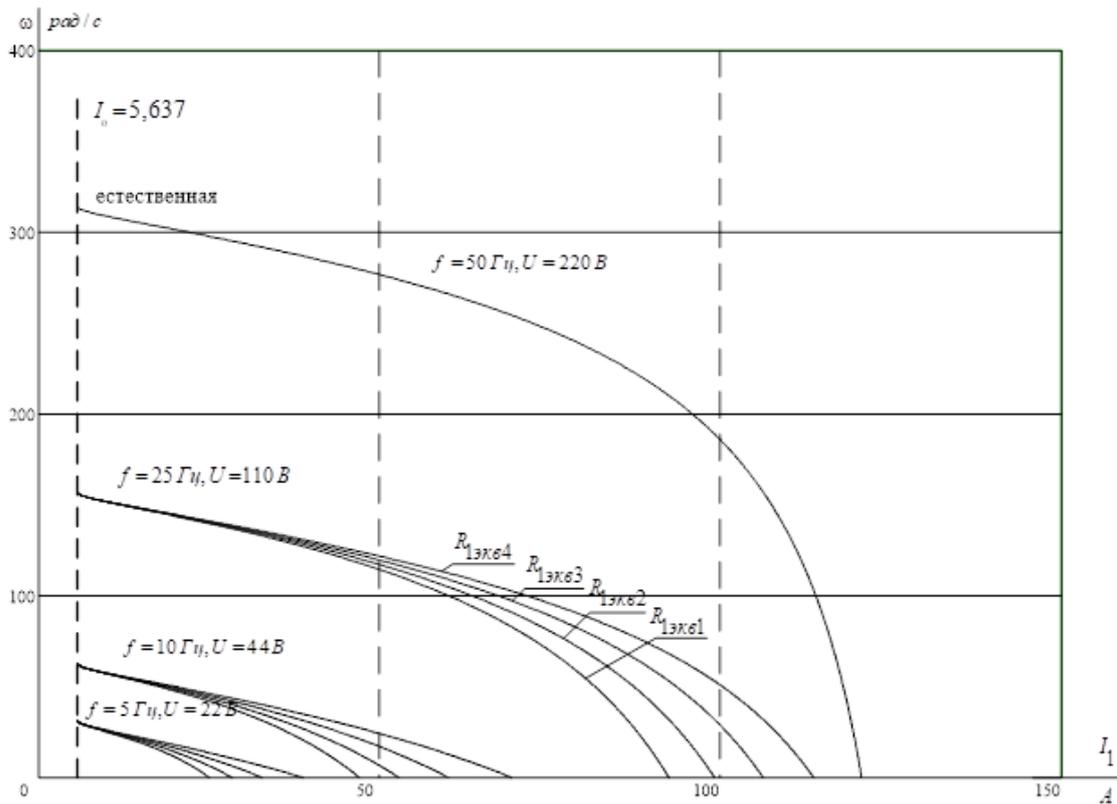


Рисунок 32 – Искусственные электромеханические характеристики $\Pi(\omega)$ для

закона управления $\frac{U_1}{f_1} = const$

Механические характеристики асинхронного двигателя $M(\omega)$ (рис.33) рассчитываем для выбранных по выражениям:

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R_2'}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{\text{вн}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{вн}} \cdot f_{1*}(f)} \right)^2 \right]},$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1 - s).$$

Критические момент и скольжение можно определить по выражениям

$$M_{\text{к}}(f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2}{2 \cdot \omega_0(f) \cdot \left[R_1 + \sqrt{\left(R_1^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 \right)} \cdot \left(1 + \frac{R_1^2}{X_{\text{вн}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2} \right) \right]},$$

$$s_k(f) = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu H}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}}{R_1^2 + X_{\mu H}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}},$$

$$\omega_k(f) = \omega(s_k(f), f)$$

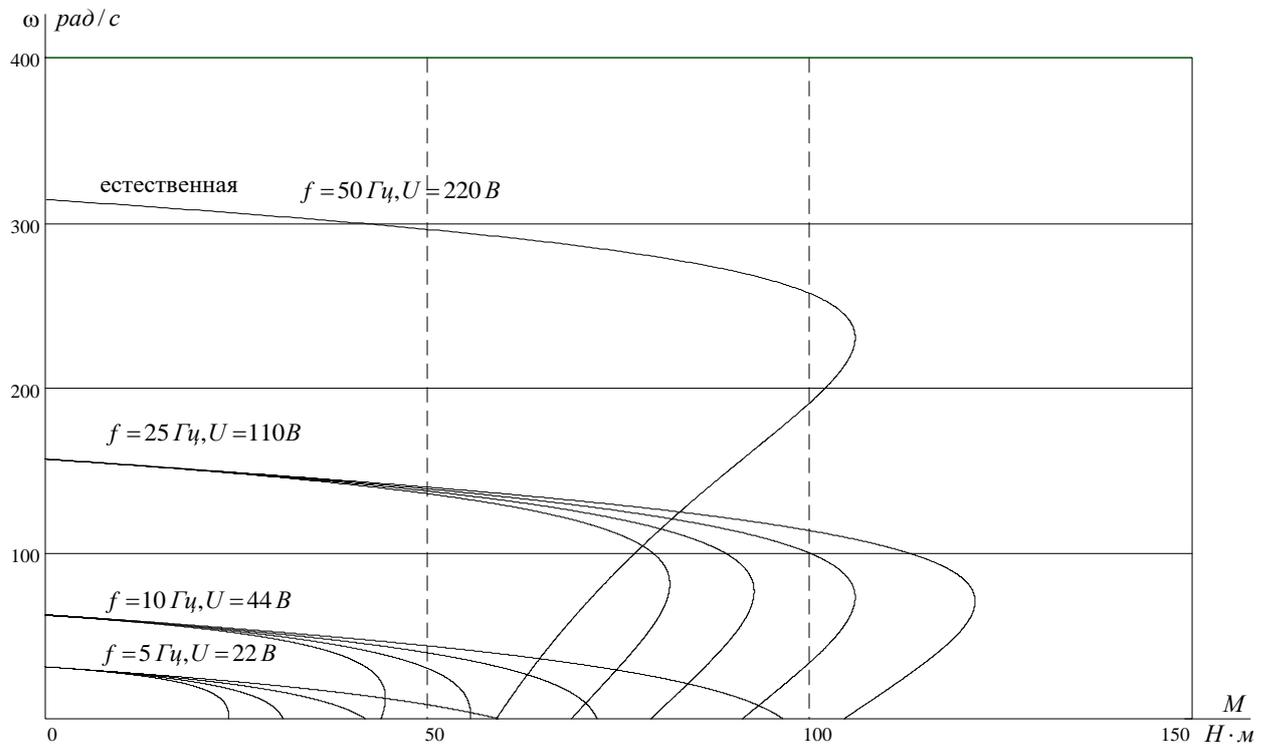


Рисунок 33 – Искусственные механические характеристики $M(\omega) \frac{U_1}{f_1} = const$

2.10. Разработка схемы имитационной модели электропривода с компенсацией момента

В среде *MATLAB Simulink* была разработана имитационная модель асинхронного электропривода с компенсацией момента. Вид имитационной модели представлен на рис.34.

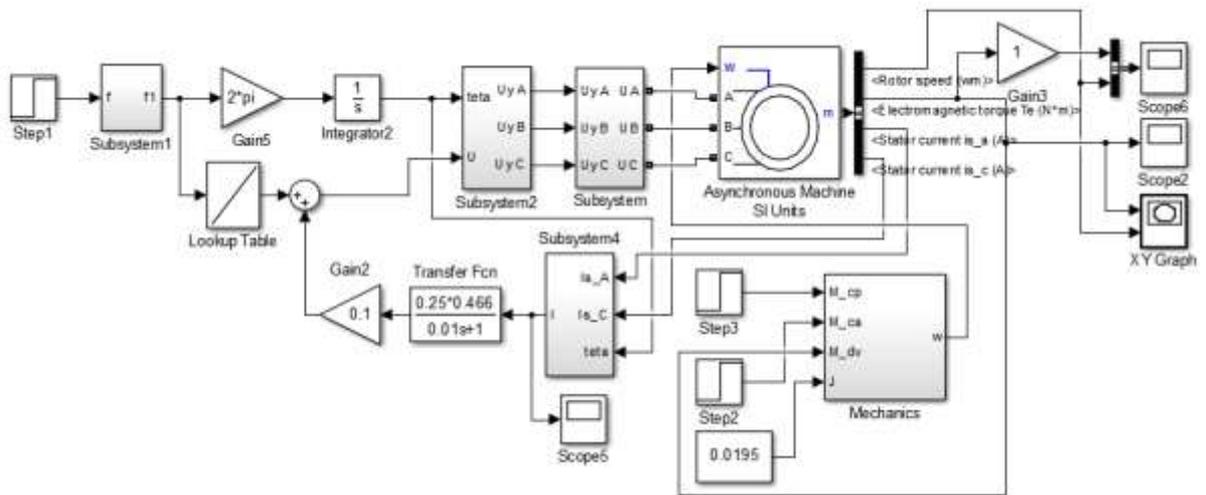


Рисунок 34 – Имитационная модель системы частотного управления со скалярной IR -компенсацией

На рис. 35 представлена модель прямого координатного преобразователя (подсистема *Subsystem2*).

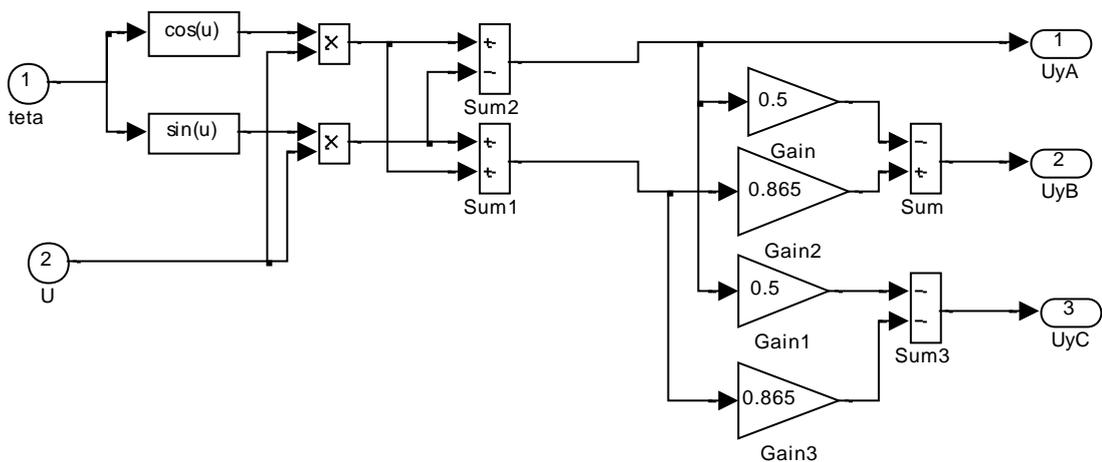


Рисунок 35 – Имитационная модель прямого координатного преобразователя

На рис. 36 представлена модель преобразователя частоты (подсистема *Subsystem*).

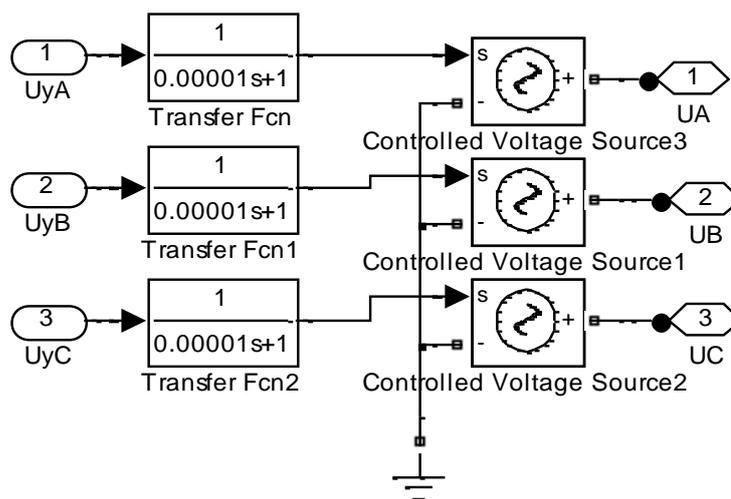


Рисунок 36 – Имитационная модель преобразователя частоты

На рис. 37 представлена модель обратного координатного преобразователя (подсистема *Subsystem4*).

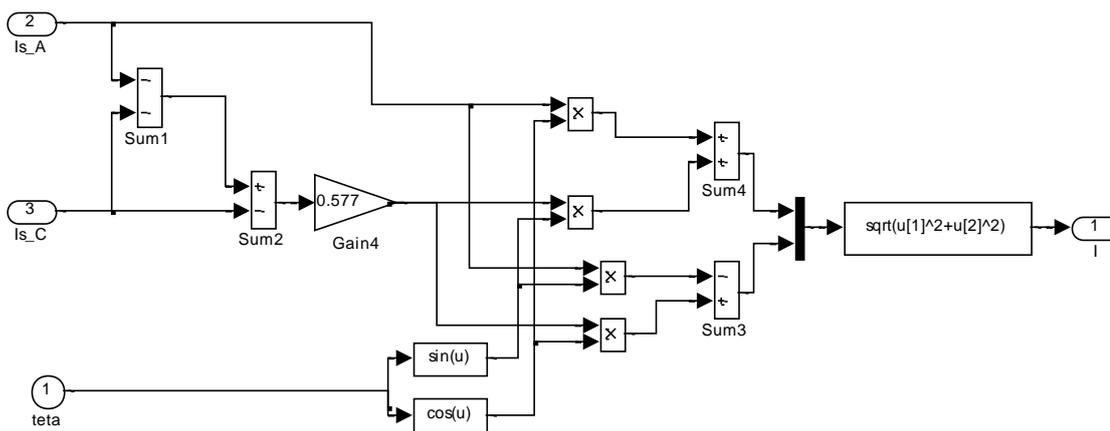


Рисунок 37 – Имитационная модель обратного координатного преобразователя

2.11. Имитационное моделирование переходных режимов электропривода при частотном скалярном управлении с компенсацией момента

В процессе работы было проделано 3 опыта с различными значениями коэффициентов компенсации, величины которых равны

$$K_{KM1} = 0,25; K_{KM2} = 0,5; K_{KM3} = 0,75.$$

На рис. 38–40 представлены графики переходных процессов по скорости и по электромагнитному моменту двигателя при различных коэффициентах компенсации и при набросе нагрузки. В момент времени $t=6$ с. происходит наброс нагрузки $M_{ном} = 30$ Н·м.

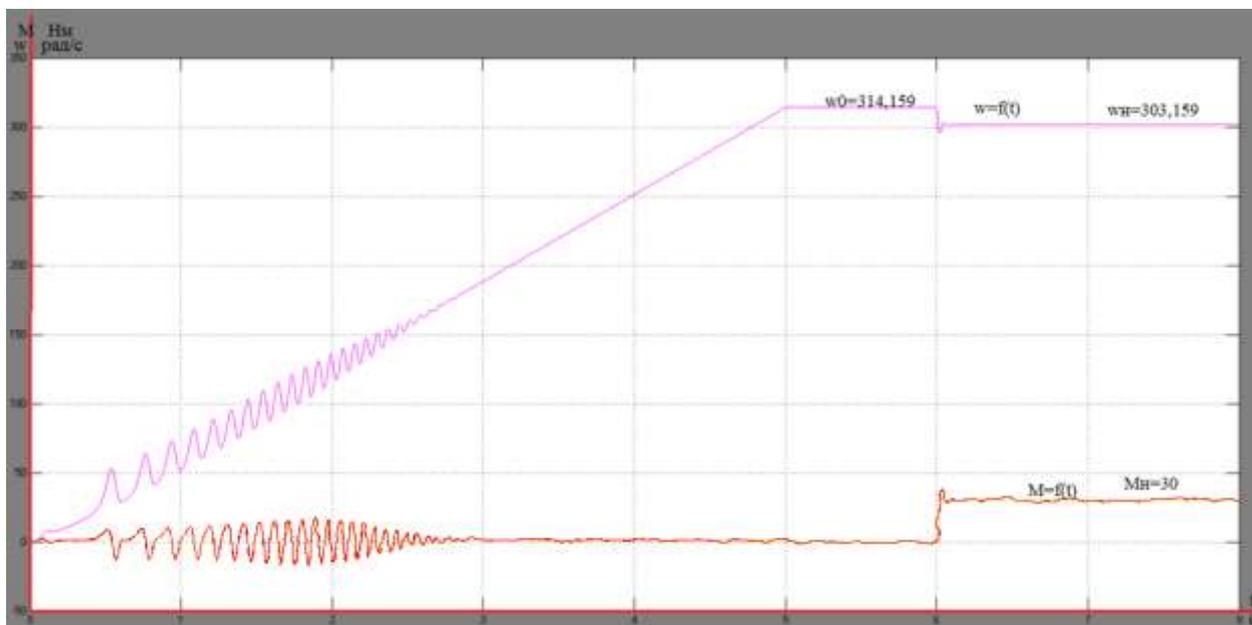


Рисунок 38 – Переходные процессы по скорости и моменту при $K_{KM1} = 0,25$

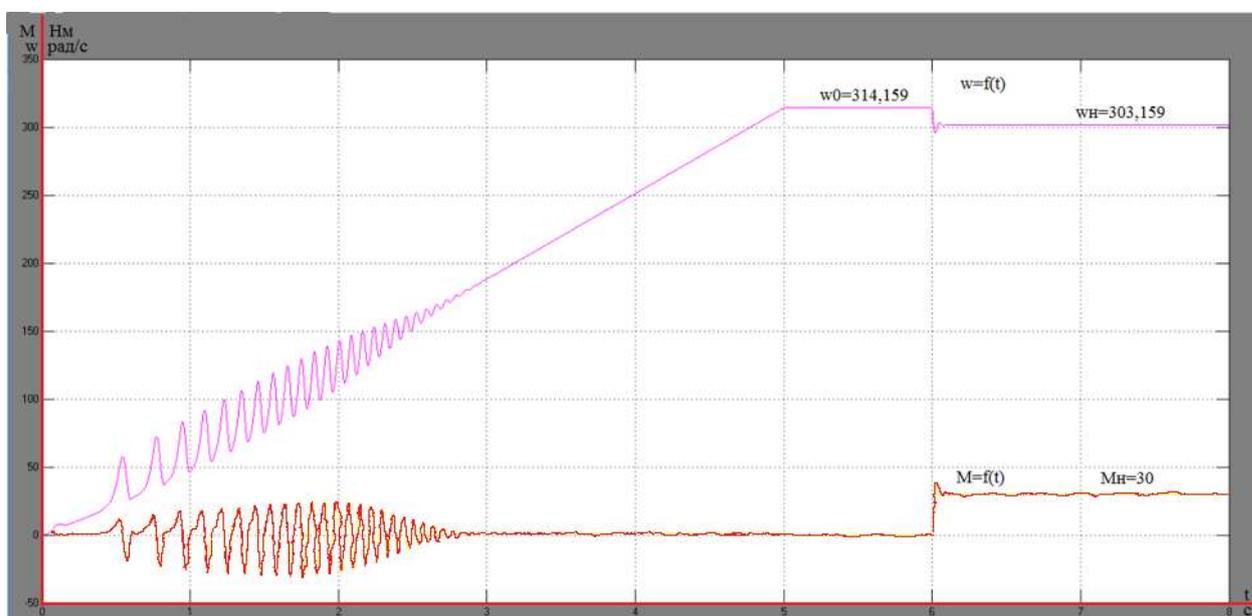


Рисунок 39 – Переходные процессы по скорости и моменту при $K_{KM2} = 0,5$

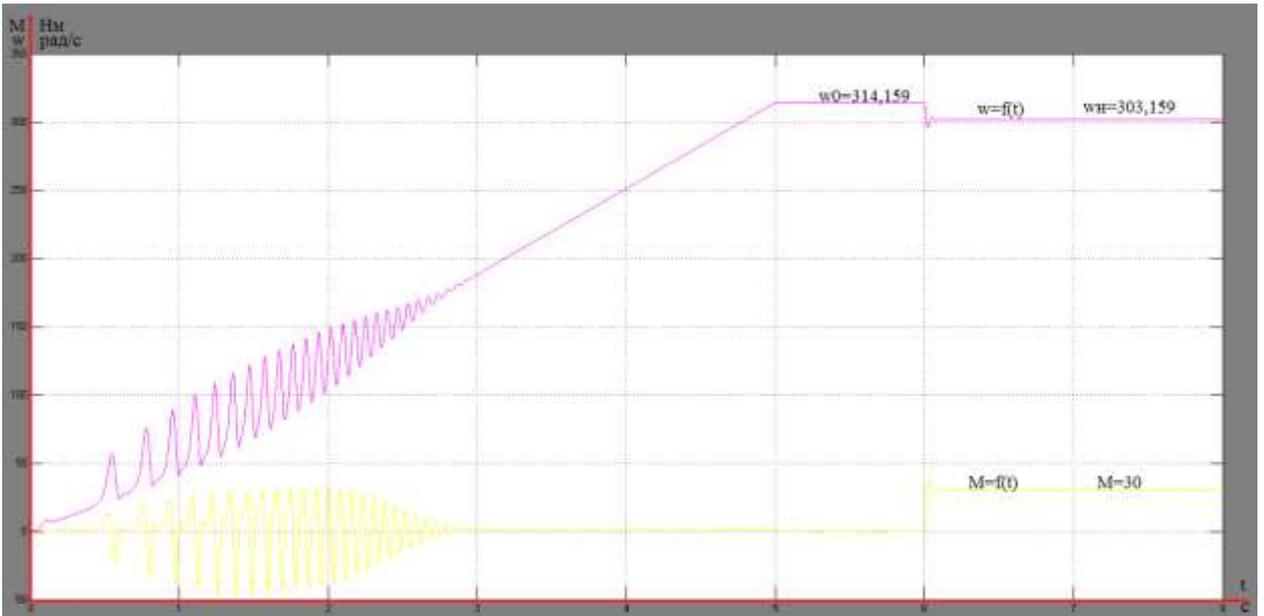


Рисунок 40 Переходные процессы по скорости и моменту при $K_{KM3} = 0,75$

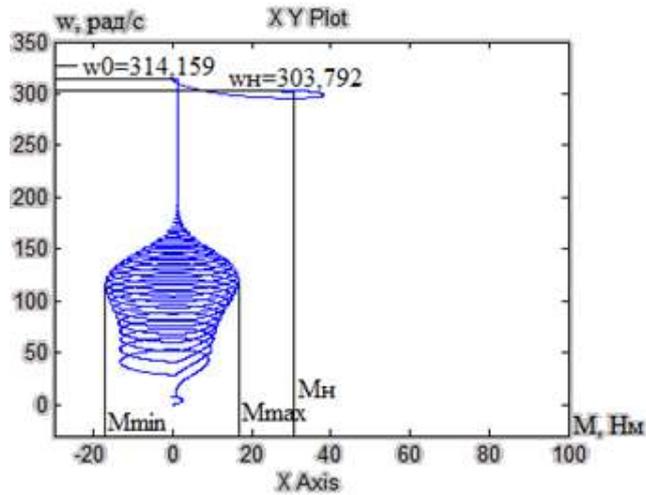


Рисунок 41 – Динамическая характеристика двигателя при $K_{KM1} = 0,25$

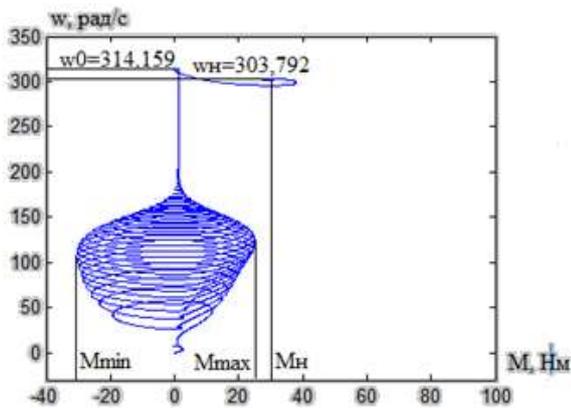


Рисунок 42 – Динамическая характеристика двигателя при $K_{KM2} = 0,50$

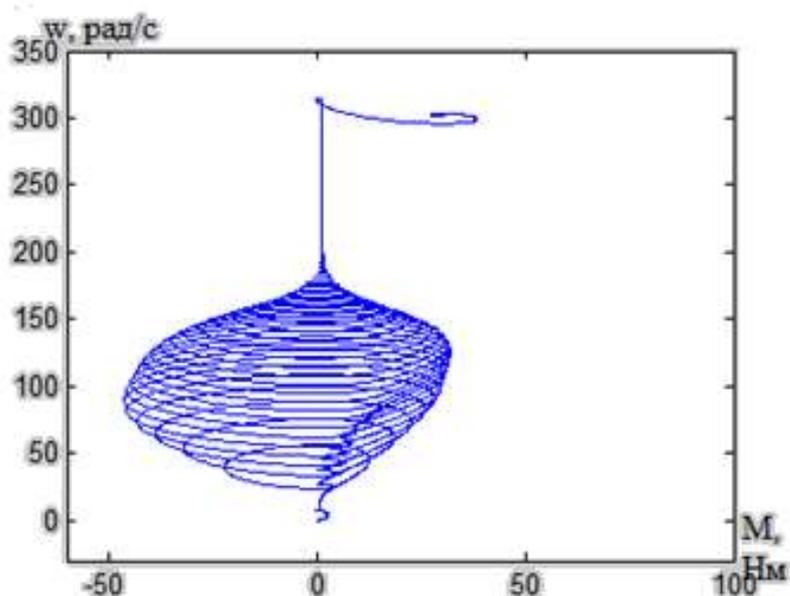


Рисунок 43 – Динамическая характеристика двигателя при $K_{KM3} = 0,75$

Из динамических характеристик (рис.47–49) видно, что с увеличением коэффициента компенсации K_{KM} диапазон разброса электромагнитных моментов во время разгона двигателя увеличивается, таким образом:

- с учетом *IR*-компенсации $K_{KM1} = 0,25$: $M_{min} = -18 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
 $M_{max} = 17 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- с учетом *IR*-компенсации $K_{KM2} = 0,5$: $M_{min} = -32 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_{max} = 25 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- с учетом *IR*-компенсации $K_{KM3} = 0,75$: $M_{min} = -49 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_{max} = 28 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Анализ полученных результатов показывает, что полученные расчетные характеристики полностью соответствуют техническому заданию.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Сибатаев Салим Ануарбекович

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Главный электропривод дисковой пилорамы с асинхронным двигателем со скалярной системой управления
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p>	<p>1. Недостаток естественного света</p> <p>2. Повышенный уровень шума</p> <p>3. Повышенный уровень вибрации</p> <p>4. Отклонение параметров микроклимата</p> <p>1. Движущиеся машины и механизмы</p> <p>2. Поражение электрическим током</p> <p>3. Падение с высоты</p>
<p>2. Экологическая безопасность</p>	<p>Загрязнение окружающей среды смазочными материалами.</p> <p>Проведение мероприятий по утилизации.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</p>	<p>1. Аварии, связанные с поломкой крана</p> <p>2. Пожар</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p>	<p>Право на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены.</p> <p>Использование оборудования и мебели согласно антропометрическим факторам.</p> <p>Социальное страхование работника.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Сибатаев Салим Ануарбекович		

3. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально - экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

В данной дипломной работе рассмотрим безопасность и экологичность исследование биоматериалов. Безопасность включает в себя влияние опасных и вредных факторов, их анализ и меры их профилактики.

В настоящем разделе рассматриваются вопросы охраны труда и техники безопасности, связанные с работой в лаборатории, а так же разрабатываются мероприятия по предотвращению воздействия на здоровье работников лаборатории опасных и вредных факторов, создание безопасных условий труда для обслуживающего персонала.

3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Нормирование ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [14] устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при нормальном режиме работы электроустановок производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц, Правила устройства электроустановок [15] и Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н “Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок” (вступил в силу 4 августа 2014 года) [16].

1. Для работы с электроустановками выше 1000 В применяются:

а) Основные защитные средства:

–изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, устройства и приспособления для ремонтных работ;

–изолирующие устройства и приспособления для работ на ВЛ с непосредственным прикосновением электромонтера к токоведущим частям (изолирующие лестницы, площадки, изолирующие тяги, канаты, корзины телескопических вышек, кабины для работы у провода и др.).

б) Дополнительные защитные средства:

–диэлектрические перчатки;

–диэлектрические боты;

–диэлектрические ковры;

–индивидуальные экранирующие комплекты;

–изолирующие подставки и накладки;

–диэлектрические колпаки;

–переносные заземления;

–оградительные устройства;

–плакаты и знаки безопасности.

2. Для работы с электроустановками ниже 1000 В применяются

а) Основные защитные средства:

–изолирующие и электроизмерительные клещи;

–указатели напряжения;

–диэлектрические перчатки;

–слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками.

б) Дополнительные защитные средства:

–диэлектрические боты;

–диэлектрические ковры;

- переносные заземления;
- изолирующие подставки и накладки;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

На подстанции имеется комплект предупредительных плакатов.

На рабочем месте дежурного персонала находится полный комплект рабочих инструкций и инструкций по технике безопасности:

1. Должностная инструкция дежурного данного района обслуживания.
2. Инструкция по производству оперативных переключений на подстанции данного района.
3. Инструкция действий оперативного персонала в случае аварии.
4. Инструкция по отысканию однофазных замыканий на землю в данном районе подстанций.
5. Инструкция дежурного персонала по технике безопасности.
6. Оперативный журнал.
7. Журнал производства работ.
8. Журнал телефонограмм.
9. Журнал закороток.

На подстанции имеется список лиц административно – технического персонала утвержденный главным энергетиком предприятия, имеющих право единоличного осмотра подстанций.

Основными мерами защиты на объекте от поражения током являются

- обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением от случайного прикосновения;
- электрическое разделение сети;
- устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрического оборудования, что достигается применением малых напряжений, использованием двойной изоляции, выравниванием потенциала, защитным заземлением, занулением, защитным отключением и д.р.;

–применение специальных защитных средств переносных приборов и приспособлений;

–организация безопасной эксплуатации электроустановок;

–применение индивидуальных средств защиты: изолирующие электрозащитные средства, ограждающие средства защиты, предназначенные для временного

ограждения токоведущих частей, для временного заземления, предохранительные средства защиты, предназначенные для индивидуальной защиты от световых, тепловых и механических повреждений.

К основным техническим средствам защиты от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок согласно Межотраслевым правилам по охране труда относятся:

–отключение электроустановки и электрическая изоляция токоведущих частей;

–ограждение и вывешивание запрещающих, указательных, предупреждающих и предписывающих плакатов;

–сигнализация и блокировка;

–использование малых напряжений;

–электрическое разделение сети;

–зануление, защитное заземление;

–выравнивание потенциалов;

–защитное отключение;

–средства индивидуальной защиты и защитные средства: штанги изолирующие, диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие подставки, слесарно-монтажный инструмент с изолированными рукоятками, переносные заземления, предупредительные плакаты, предохранительные пояса.

К основным организационным мероприятиям, обеспечивающим безопасность работ в электроустановках согласно Межотраслевым правилам по охране труда относятся:

- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончание работы.

Механические травмы:

Безопасные условия работы обеспечиваются правильной организацией работ, постоянным надзором за работающими со стороны производителя работ и соблюдением рабочими техники безопасности и регламентируются «Межотраслевыми правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок» ПОТРМ-016-2001; РД 153 -34,0-03,150-00 [16].

3.2. Производственная безопасность

Производственная безопасность – это система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов.

Таблица 6 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра ботка	Изгот овлен	Экспл уатац	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [19] и СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [21].
2. Превышение уровня шума		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности» [22].
3.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[24].
4.Повышенное Виброакустические вредные факторы	+	+	+	ГОСТ 12.1.012–2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» [20], Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [18]

3.2.1. Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом — это работа пилорамы, вентиляторов и др. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная

функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Предельно допустимые уровни

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся. Принцип действия СИЗ – защитить наиболее чувствительный канал воздействия шума на организм человека – ухо. Применение СИЗ позволяет предупредить расстройство не только органов слуха, но и нервной системы от действия чрезмерного раздражителя. Наиболее эффективны СИЗ, как правило, в области высоких частот. СИЗ включают в себя противозумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

3.2.2 Вибрация

Одним из наиболее опасных для человеческого организма производственных факторов является вибрация. Под вибрацией понимается колебание твёрдых тел.

Большое негативное воздействие этот фактор оказывает на отделы центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта и вестибулярного аппарата человека. Длительное воздействие вибрации на организм приводит к развитию профессиональных заболеваний, основным из которых является – виброболезнь, сопровождающаяся головокружением, онемением нижних конечностей и потерей ориентации в пространстве.

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6-9 Гц, так как эти частоты наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека (табл.8). Совпадение частоты вибрации и внутреннего органа приведёт к резонансному явлению, в результате чего начнётся процесс разрушения.

Таблица 8 – Сангигиенические нормы вибрации

Вид вибрации	Среднеквадратичная частота, Гц									
	Логарифмический уровень виброскорости									
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500
Цех	-	103	100	101	106	112	118	-	-	-

Для виброзащиты применяются средства индивидуальной защиты для рук, ног и тела оператора. В качестве средства защиты для рук применяются рукавицы и перчатки, вкладыши и прокладки по ГОСТ 12.4.002 "Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний".

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием, ГОСТ 12.1.012–2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность (табл.8). Общие требования» [20], Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96

«Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [18].

Таблица 9 – Гигиенические нормы вибрации

Вид вибрации	Допустимый уровень вибростойкости, дБ, в активных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц					
	2	4	8	16	32,5	63
Технологическая	108	99	93	92	92	92

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, в конструкции низа которых используется упруго-демпфирующий материал (ГОСТ 12.4.024 "Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования").

3.2.3 Недостаток естественного света

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам, предусмотренным СП.52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [24]. Для безопасного продолжения работы, или выхода людей из помещений при внезапном отключении должно быть предусмотрено аварийное освещение. Длительное снижение напряжения у наиболее удаленной лампы не должно быть более 5%. Питание аварийного освещения должно быть надежным и от независимого источника. Для аварийного освещения должны применяться светильники, отличающиеся от светильников рабочего освещения типом или размером, или на них должны быть нанесены специальные знаки.

На объекте предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное. При этом аварийное освещение представляет около 10% от общего освещения.

Вдоль всех главных коридоров, лестничным клеткам и над пожарным краном, предусмотрены эвакуационные светильники показывающие выход. Данные светильники оборудованы аккумуляторными батареями и приборами

автоматики, так что при исчезновении напряжения в сети, автоматически включаются с помощью собственного источника питания.

Ремонтное освещение предусматривается в технических помещениях, и осуществлено переносными светильниками напряжением питания 36 В. Светильники подключаются с помощью штепсельной розетки, которая размещена в отдельном корпусе вместе с трансформатором 220/36В.

3.2.4 Микроклимат

Помещение цеха характеризуется (табл. 10):

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Таблица 10 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(21), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;

- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 9.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(21) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла выделяемого в помещении и периода года.

3.4. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Опасным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме, острому отравлению или другому внезапному резкому ухудшению здоровья, или смерти. Вредный производственный фактор - производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях может привести к заболеванию, снижению работоспособности и (или) отрицательному влиянию на здоровье потомства. В зависимости от количественной характеристики (уровня, концентрации и др.) и продолжительности воздействия вредный производственный фактор может стать опасным.

При выполнении своих профессиональных обязанностей персонал цеха может столкнуться со следующими опасными производственными факторами:

1. Опасные факторы:

- механические травмы;
- поражения электрическим током.

2. Вредные факторы:

- низкая освещенность;
- шум;
- вибрации;
- отклонение параметров микроклимата.

3.5. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

1. Для обеспечения бесперебойной работы в случае ЧС предусмотрено питание от двух источников электроэнергии, удаленных на такое расстояние, чтобы исключить возможность разрушения их в военное время одним ядерным ударом, а в мирное время – стихийным бедствием или аварией, а также имеются резервные источники питания.

2. В целях снижения опасности взрыва применяют вентиляционные установки, автоматическая сигнализация, систематически контролируется температура узлов электрооборудования. На каждом этаже предприятия установлена радиоточка для оповещения людей о пожаре или другой ЧС.

3. От прямых ударов молнии установлена молниезащита. Молниеприемниками служат неизолированные стержневые молниеотводы. В качестве токоотводов используют наружные вертикальные стальные конструкции (пожарные лестницы). По каждому этажу проложены стальные пояса из полосовой стали, к которым присоединяются токоотводы, все металлические конструкции и оборудование. Каждый токоотвод такого устройства присоединен к замкнутому контуру, уложенному по периметру здания.

3.6. Экологическая безопасность.

Работа в закрытом и иногда открытом помещении сопряжена с образованием газов и твердых отходов.

Мероприятия по охране природы регламентируются ГОСТ 17.0.001-86 (Основные положения) [28], ГОСТ 17.2.1.01-86 (Атмосфера) [29] и ГОСТ 17.11.02-86 (Гидросфера) [30].

Твердые отходы, к которым относятся первичная упаковка сырья, отработавшие фильтры, и т.д. сжигаются в собственных устройствах. Остальные отходы вывозятся на объекты размещения отходов. Твердые отходы, которые представляет вторичная упаковка, можно сортировать и отправлять на переработку на картонажно-бумажные фабрики.

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость такого вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

3.7. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия. Стихийные бедствия – явления природы, возникающие внезапно. Они носят чрезвычайный характер и

приводят к нарушению нормальной жизни, гибели людей и уничтожению материальных ценностей. К стихийным бедствиям обычно относят землетрясения, наводнения, селевые потоки, оползни, снежные заносы и др.

Большинство из перечисленных чрезвычайных ситуаций могут случиться на рассматриваемом предприятии. Для повышения устойчивости к ним предусмотрены различные меры:

1. Для обеспечения бесперебойной работы в случае ЧС предусмотрено питание от двух источников электроэнергии, удаленных на такое расстояние, чтобы исключить возможность разрушения их в военное время одним ядерным ударом, а в мирное время – стихийным бедствием или аварией, а также имеются резервные источники питания.

2. В целях снижения опасности взрыва применяют вентиляционные установки, автоматическая сигнализация, систематически контролируется температура узлов электрооборудования. На каждом этаже предприятия установлена радиоточка для оповещения людей о пожаре или другой ЧС.

3. От прямых ударов молнии установлена молниезащита. Молниеприемниками служат неизолированные стержневые молниеотводы. В качестве токоотводов используют наружные вертикальные стальные конструкции (пожарные лестницы). По каждому этажу проложены стальные пояса из полосовой стали, к которым присоединяются токоотводы, все металлические конструкции и оборудование. Каждый токоотвод такого устройства присоединен к замкнутому контуру, уложенному по периметру здания.

4. В качестве профилактики от сезонных вспышек вируса гриппа регулярно проводится вакцинация работающих.

5. Для снижения вероятности пожара предусмотрена автоматическая пожарная сигнализация. На случай возникновения пожара предусмотрены первичные средства пожаротушения.

Ликвидация последствий стихийных бедствий организуется, как правило, под руководством специально создаваемых чрезвычайных комиссий.

Для непосредственного осуществления мероприятий гражданской обороны (ГО) и проведения спасательных и неотложных

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Сибатаев Салим Ануарбекович

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП)	1. Для проекта необходимо два человека (научный руководитель, дипломник) Зарплата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. Продолжительность выполнения ТП	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирование графика работ по реализации ТП	Для составления графика по проектированию главного электропривода дисковой пилорамы - оценить технический проект выявляя при этом сильные и слабые, а также возможности и угрозы - определить трудоёмкость работ для каждого исполнителя. По полученным данным построить диаграмму Ганта, которая позволяет спланировать процесс реализации технического проекта
2. Формирование сметы ТП	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат: - материальные затраты - полная заработная плата исполнителей - отчисления во внебюджетные фонды - накладные расходы
3. Ресурсоэффективность ТП	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта
2. Матрица SWOT
3. Оценка ресурсной эффективности ТП

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Сибатаев Салим Ануарбекович		

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта, отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения цели в данном разделе рассмотрены следующие задачи:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- расчет затрат на проектные работы электропривода пилорамы;
- определение ресурсной эффективности проекта.

4.1. SWOT-анализ по разработке проекта электропривода пилорамы

SWOT – представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, которые помогают оценить возможности, угрозы сильных и слабых сторон.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны проведем SWOT–анализ. Он проводится в несколько этапов .

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде [21].

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 11

Таблица 11 – Составление предварительной матрицы SWOT

	Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
	С1: Снижение цен на ремонт электропривода С2: Высокий диапазон регулирования частоты С3: Высокая энергоэффективность С4: Низкие потери на вихревые токи С5: Высокая надежность	Сл1: Дороговизна оборудования Сл2: Низкий уровень шумоизоляции Сл3: Доступность токоведущих частей
Возможности		
В1: Снижение цен на компоненты системы В2: Повышение износостойкости элементов деталей электропривода В3: Прокладка кабелей в эстакадах В4: Экономия электроэнергии за счет использования ПЧ	В1С1; В2С1; С5; В3С3; С4; С5; В4С2; С3; С5;	В1Сл1; В2Сл2; В3Сл2; Сл3; В4Сл1; Сл3;
Угрозы		
У1: Повышение стоимости элементов схемы У2: Снижение стоимости конкурентных разработок У3: Усовершенствования конкурентных технических решений У4: Снижение спроса на технологии производства	У1С1; У2С1; У3С3; С5; У4С1;	У1Сл1; У2Сл3; У3Сл1; У4Сл2;

Следующий этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должно помочь выяснить степень необходимости проведения необходимых изменений. При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие). Результаты второго этапа SWOT анализа представлены в табл. 12 и табл. 13.

Таблица 12 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	-	-	-	-
B2	+	-	-	-	+
B3	-	-	+	+	+
B4	-	+	+	-	+
Возможности	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3		
B1	+	-	-		
B2	-	+	-		
B3	-	+	+		
B4	+	-	+		

Таблица 13 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
У1	+	-	-	-	-
У2	+	-	-	-	-
У3	-	-	+	-	+
У4	+	-	-	-	-
Угрозы	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3		
У1	+	-	-		
У2	-	-	+		
У3	+	-	-		
У4	-	+	-		

После проведения SWOT-анализа и на основании его результатов следует вывод:

- Прокладка кабелей в эстакадах – это значительное техническое решение проекта, т.к. оно взаимосвязано с большинством сильных сторон;
- Сильные стороны электропривода требующие особого внимания на схемы, такие как энергоэффективность, надёжность и диапазон регулирования частоты;
- Вероятность снижения спроса на технологии производства – одна из основных угроз проекта;

– С помощью усовершенствования схемы путем прокладки кабелей в эстакадах, можно устранить такие слабости, как доступность токоведущих частей и низкий уровень шумоизоляции.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что данный проект будет наиболее эффективен за счет прокладки кабелей в эстакадах и использования Преобразователя частоты. Кроме того, снижение потребляемой электрической энергии за счет преобразователя частоты и высокая надежность, показывают перспективность проекта в целом.

4.2 Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования системы электроснабжения электропривода дисковой пилорамы.

4.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования

Планирование работ является важным аспектом при проектировании. Он позволяет выполнять проект точно в срок, а также позволяет довольно точно рассчитать заработную плату работников занимающихся проектированием. Над данным проектом работает команда из двух человек – научный руководитель и дипломник. Каждый из них выполняет свои обязанности, но некоторую часть работы они выполняют вместе.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 14:

№ 1 – составление и утверждение технического задания – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Подбор направления технического проекта – выбор и составление направления проекта;

№ 4 – Календарное планирование по теме – планирования технического проекта, распределение обязанностей между исполнителями проекта;

№ 5 – Расчет параметров электродвигателя – составление схем замещения, расчет параметров схем замещения;

№ 6 – Выбор электродвигателя и ПЧ – выбор оборудования, электродвигателя и преобразователь частоты;

№ 7 – Расчет параметров схемы замещения – Наладка и расчет схем замещения с учетом предыдущих решений, составление схем замещения, а также расчет их параметров;

№ 8 – Моделирование – создать имитационную модель главного электропривода дисковой пилорамы в программной среде Matlab Simulink и проверить активный и реактивный мощности с нагрузки и без нагрузки;

№ 9 – Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя – промежуточная проверка проекта и консультирование у руководителя;

№ 10 – Разработка силовой схемы регулируемого электропривода и выбор аппаратуры управления и защиты –выбор и составления схем дополнительного оборудования;

№ 11 – Оценка эффективности полученных результатов – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов;

№ 12 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником.

№ 13 – Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации и доклада, перед аттестационной государственной комиссией.

Этапы работ представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка и утверждение технического задания	1	Разработка технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования и изучение материалов по теме	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
	3	Подбор направления технического проекта	Дипломник, научный руководитель
	4	Календарное планирование по теме	Дипломник, научный руководитель
Расчеты и проектирование системы электроснабжения дисковой пилорамы	5	Расчет параметров электродвигателя	Дипломник
	6	Выбор электродвигателя и ПЧ	Дипломник
	7	Расчет параметров схемы замещения	Дипломник
	8	Моделирование	Дипломник
	9	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Дипломник, научный руководитель
	10	Разработка силовой схемы регулируемого электропривода и выбор аппаратуры управления и защиты	Дипломник
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка результатов	Дипломник, Научный руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	12	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	13	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Дипломник, Научный руководитель

В ходе данного раздела работы был составлен перечень работ, необходимый для успешной реализации проекта. Как можно заметить, технический проект будет содержать 13 основных этапов работ, разделенных между двумя исполнителями – дипломником и научным руководителем.

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ ТП

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула [21]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств);

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств).

4.2.3. Порядок составления этапов подготовки производства и распределение исполнителей.

В таблице 15 представлены порядок перечень этапов, временные показатели проведения работ и распределение обязанностей между исполнителями проекта.

Таблица 15 – Расчет продолжительности выполнения работ, раб. дн.

Название работы	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость (t_{\min})	Максимально возможная трудоемкость (t_{\max})	Ожидаемая трудоемкость ($t_{ож}$)
-----------------	-------------	--	---	-------------------------------------

Разработка технического задания	Научный руководитель	1	1	1
Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	5	7	6
Подбор направления технического проекта	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	4	6	5
Календарное планирование по теме	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	2	7	4
Расчет параметров электродвигателя	Дипломник	13	15	14
Выбор электродвигателя и ПЧ	Дипломник	5	7	6
Расчет параметров схемы замещения	Дипломник	15	17	16
Моделирование	Дипломник	12	14	13
Контроль качества проекта и консул-ние исполнителя	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	3	8	5
Разработка силовой схемы регулируемого электропривода	Дипломник	18	20	19
Оценка результатов	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	3	5	4

Окончание таблицы 15

Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель	1	1	1
--	----------------------	---	---	---

Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Научный руководитель	1	3	2
	Дипломник	2	4	3
Примечание: минимальное t_{\min} и максимальное время t_{\max} получены на основе экспертных оценок.				

4.2.4. Разработка графика проведения технического проекта

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

В данном пункте был рассчитан и построен календарный график выполнения работ. Судя по графику, следует вывод, что проектирование нужно начать 12 февраля и закончить 10 июня 2019 года. График строится с разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования. Всего вышло 12 декад, которое в сумме составляет 118 календарных дней, куда входит 17 выходных и 4 праздника.

Общая продолжительность выполнения расчетов составила 97 рабочих дней. Из них:

95 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

8 дней – продолжительность выполнения работ научный руководителя;

На основе таблицы 14 строим план-график проведения работ (таблица15)

Таблица 16 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исполнители	Т _{р_i} , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Разработка технического задания	Науч. Рук-тель	1	-													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	6	—													
3	Подбор направления технического проекта	Науч. Рук-тель	1														
		Дипломник	5		—												
4	Календарное планирование по теме	Науч. Рук-тель	1														
		Дипломник	4			—											
5	Расчет параметров электродвигателя	Дипломник	14			—											
6	Выбор электродвигателя и ПЧ	Дипломник	6				—										
7	Расчет параметров схемы замещения	Дипломник	16					—									
8	Моделирование	Дипломник	13						—								
9	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Науч. Рук-тель	1										—				
		Дипломник	5											—			
10	Разработка силовой схемы регулируемого электропривода и выбор аппаратуры управления и защиты	Дипломник	19										—				
11	Оценка результатов	Науч. Рук-тель	1													—	
		Дипломник	4													—	
12	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Науч. Рук-тель	1													—	
13	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Науч. Рук-тель	2														—
		Дипломник	3														—

4.3. Составление сметы затрат на разработку ТП

Для того, чтобы запланировать смет ТП необходимо рассмотреть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. При формировании сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям:

- 1) Полная заработная плата исполнителей технического проекта;
- 2) Отчисления во внебюджетные фонды;
- 3) Накладные расходы.

4.3.1. Расчет полной заработной платы исполнителей темы

В смету проекта включаются затраты на финансирование деятельности исполнителей: заработная плата исполнителя, отчисления во внебюджетные фонды, а также накладные расходы. Для расчета сметы затрат необходимо найти полную заработную плату.

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{полн}}$ – полная заработная плата;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата;

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.

T_p – суммарная продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{р.к.}}}{D},$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.

$Z_{p.k.}$ – районная доплата, руб., районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

D – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе) раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 17.

Таблица 17 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Заработная плата по тарифной ставке ($Z_{мс}$), тыс.руб.	Районная доплата ($Z_{p.k.}$), тыс.руб.	Месячная заработная плата (Z_m), тыс.руб.	Среднедневная заработная плата ($Z_{дн}$), тыс.руб.	Продолжительность работ, выполняемых работником (T_p), раб.дн.	Основная заработная плата ($Z_{осн}$), тыс.руб.
Научный руководитель	33,664	10,09	43,763	1,683	8	13,46
Дипломник	12,300	6,528	15,99	0,615	95	58,42
Итого $Z_{осн}$, тыс.руб.						71,88

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы ($k_{доп}$)	Основная заработная плата ($Z_{осн}$), тыс.руб.	Дополнительная заработная плата ($Z_{доп}$), тыс.руб.	Полная заработная плата ($Z_{полн}$), тыс.руб.
Научный руководитель	0,15	13,46	2,019	15,5
Дипломник	0,12	58,42	7,01	65,4
Итого		71,88	9,029	80,9

4.3.2. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной разделе расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп})$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 80,9 = 24,5 \text{ тыс.руб.}$$

4.3.3. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: амортизация активам, расходы, связанные с рекламой и т.д. Их величина составляет 16% от общей суммы затрат проектирование.

4.3.4. Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования сметы затрат проекта, который при заключении договора с

заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Смета затрат технического проекта

Наименование разделы	Сумма, тыс. руб.	Структур затрат, %
1. Затраты по полной заработной плате исполнителей ТП	80,9	64,5
2. Отчисления во внебюджетные фонды	24,5	19,5
3. Накладные расходы	20,1	16,0
4. Итого	125,5	100,0

При выполнении данного раздела была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 95 раб. дней для дипломника и 8 раб. дней для научного руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 125,5 тыс. руб., из которых более половины (64,5 %) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

4.3.5. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [21]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. Экономичность: оптимизация затрат на электрическую часть предприятия на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств;
2. Гибкость: возможность частых перестроек технологии производства и развития предприятия.
3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии: качество электроэнергии, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13109-97;
5. Надежность: бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды;
6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам электрооборудования на предприятии;
7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в зданиях либо при технологических процессах на производстве.

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Экономичность	0,15	5
2. Гибкость	0,14	4
3. Безопасность	0,14	4

Окончание таблицы 20

4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии	0,18	5
5. Надежность	0,15	4
6. Простота и удобство в эксплуатации	0,09	4
7. Энергоэффективность	0,15	5
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_p = 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,14 + 4 \cdot 0,14 + 5 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,09 + 5 \cdot 0,15 = 4,63$$

Величина показателя ресурсоэффективности проекта получилась достаточно высоким, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был рассмотрен электропривод переменного тока со скалярным регулированием скорости. В ходе работы были рассчитаны параметры схемы замещения асинхронного двигателя и построены естественные механическая и электромеханические характеристики. В результате имитационного моделирования были сняты переходные характеристики двигателя при прямом пуске и выяснено, что двигатель является устойчивым звеном, и параметры схемы замещения вычислены правильно. Расчет статических характеристик замкнутой системы с IR -компенсацией показал, что IR -компенсация оказывает существенное влияние только при малых частотах, где потери на активном сопротивлении статора увеличиваются. Переходные характеристики показали, что разработанная система автоматического регулирования асинхронного электропривода со скалярным управлением удовлетворяет технологическому процессу пиления бревен и может быть принята в эксплуатацию.

Построены электромеханические характеристики для токов ротора и статора, и механическая характеристика при различных напряжениях и частотах питающей сети.

При изменении напряжения питания происходит изменение критического момента, он начинает увеличиваться (зависит от квадрата напряжения). При уменьшении частоты изменяется скорость идеального холостого хода пропорционально частоте ($\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}$).

Так же характеристики построены в зависимости от эквивалентного сопротивления статора с учетом IR -компенсации. На графиках электромеханических характеристик видно, что при изменении эквивалентного сопротивления (уменьшения) происходит увеличение токов статора и токов ротора. На механической характеристике видно, что при IR -компенсации происходит увеличение критического момента двигателя. Это связано с тем, что момент зависит обратно пропорционально от

сопротивления статора. Так же при изменении активного сопротивления статора происходит уменьшение критического скольжения на механических характеристиках, которое вычисляется по формуле $s_{к1} = \frac{C_1 \cdot R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}}$. При *IR*-компенсации происходит увеличение критического момента на искусственных характеристиках.

В части «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выпускной работы произведено обоснование проекта, составлен календарный план работ, определена продолжительность этой работы и сметная стоимость всего проекта. Определена основная заработная плата разработчиков проекта, установлено, что цена разработки проекта составила 125,5 тыс.руб. Кроме того, в выпускной работе приведен раздел «социальная ответственность», где рассмотрены: охрана окружающей среды, техника безопасности, защита в чрезвычайных ситуациях.

Conclusion

In this final qualifying work, an AC electric drive with scalar speed control was considered. In the course of the work, the parameters of the replacement circuit of the asynchronous motor were calculated and the natural mechanical and electromechanical characteristics were built. As a result, the transient characteristics of the engine were developed, provided that the engine is a stable link, and the parameters of the calculation scheme are calculated correctly. The calculation of the static characteristics of a closed-loop system with IR compensation showed that IR compensation has a significant effect only at low frequencies, where losses with active stator resistance increase. It is shown that the developed system of automatic control of an asynchronous electric drive with scalar control satisfies the technological process and can be taken into operation.

Electromechanical characteristics for current and static, as well as mechanical characteristics at various voltages and frequencies of the supply network are built.

When the supply voltage changes, a change in the critical moment occurs. When reducing the frequency of change in the speed of an ideal idling is proportional to the frequency ($\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}$).

Statistics with IR compensation. The graphs of electromechanical characteristics show that with equivalent resistance, an increase in static and current energy occurs. It is seen that with the IR transmission, an increase in the engine's critical moment occurs. This is due to the fact that the moment depends on the resistance of the stator. Reduced critical slip on mechanical characteristics. When infrared processing increases the critical moment for artificial characteristics.

In the part "Financial management, resource efficiency and resource saving" of graduation work, reasonable design, scheduling of work, a certain duration of this work and the total cost of the entire project were made. The cost of developing the project is 125.5 thousand rubles. In addition, in the section "Social responsibility", where are considered: environmental protection, safety engineering, protection in emergency situations.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристики электроприводов переменного тока. Часть 1. Асинхронный двигатель. Учебное пособие./Томский политехнический университет. – Томск: Издательство ТПУ, 2005.–136 с.
2. Чернышев А.Ю. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.
3. <http://xreferat.com/94/222-1-lesopilenie-pilorama-s-brusovkoiy-okorka.html>
4. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристик электроприводов переменного тока. Ч. 1. Асинхронный электродвигатель: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 136с.
5. Основы кабельной техники. / под ред. Привезенцева В.А. –М.: Машиностроение, 1975
6. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с
7. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов. – Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 476с.
8. Ключев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. М. Энергия, 1980 г.
9. ГОСТ 12.1.009-76. Электробезопасность. Термины и определения.
10. НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
11. ГОСТ 12.1.003-83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
12. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ Помещения. Общие требования.

13. Долин А.П. Справочник по технике безопасности.-М.: Энергоатомиздат, 1979. - 427 с.
14. Инструкция по проведению ПНР. ТНХК 1999-47 с.
15. ГОСТ 12.2.085—82 ССБТ. Сосуды, работающие под давлением.
16. Князевский Б.А. Охрана труда в электроустановках. - М.: Энергоатомиздат, 1983.-340 с.
17. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания по разработке раздела ВКР «Производственная и экологическая безопасность» / Сост. М.Э. Гусельников, В.Н. Извеков, Н.В. Крепша, В.Ф. Панин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 42 с.
18. НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
19. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
20. СНиП 23-05-95 Освещенность. Общие требования
21. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение / Под ред. Гавриковой Н.А., Серикова Г.Н., Видяева И.Г. Томск, ТПУ, 2014.