

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод механизма передвижения крана КМ 20/5

УДК 62-83-523:621.873

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Саттаров Амир Раисович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Г. И.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

_____ Ю.Н. Дементьев
(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
З-5ГЗА1	Саттаров Амир Раисович

Тема работы:

Асинхронный электропривод механизма передвижения крана КМ 20/5

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2018г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; Выбор мощности двигателя, расчет параметров элементов и характеристик силовой цепи, расчет и построение механических и электромеханических характеристик системы ПЧ-АД, оптимизация контуров регулирования, тока, потокосцепления и скорости, разработка нелинейной модели САУ РЭП переменного тока с векторным управлением в среде Matlab, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.

Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> - схема кинематическая механизма передвижения; - схема электрическая функциональная; - схема структурная короткозамкнутого асинхронного двигателя в неподвижной системе координат; - схема структурная динамической модели короткозамкнутого асинхронного двигателя во вращающейся системе координат; - схема имитационной модели короткозамкнутого асинхронного двигателя во вращающейся системе координат; - технико-экономические показатели;
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:
Заключение

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2018г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Г. И.	к.т.н.		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Саттаров Амир Раисович		05.04.2018г.

РЕФЕРАТ

Мостовой кран, асинхронный частотно – регулируемый электропривод, преобразователь частоты, система автоматического управления, статические и динамические характеристики.

Объектом модернизации является электропривод мостового крана грузоподъемностью 20 тонн.

Цель работы - разработка частотно регулируемого электропривода в соответствии с требованиями технического задания и исследование его работы методом моделирования на ЭВМ.

В ходе работы был разработан электропривод, удовлетворяющий условиям технического задания.

ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010, статическом редакторе Microsoft Excel 2010, графическом редакторе Visio 2010 SP1. Расчёты производились с помощью пакета прикладных программ MathCAD 2010 Professional Rus. Имитационное моделирование электропривода выполнено с помощью пакета программ MatLab 10.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработать регулируемый электропривод для механизма подъема крана, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и условиям:

1 Грузоподъемность – 20/5 т, максимальная высота подъема – 28 м, максимальная скорость подъема – 7,5 м/с.

2 Режим работы – повторно–кратковременный, нагрузка переменная, активная по характеру.

3 Электропривод реверсивный, диапазон регулирования скорости не менее 20.

4 Погрешность поддержания скорости на нижней характеристики не более 10 %.

5 Плавность переходных процессов припуске и торможении, время пуска и торможения (1-2)с.

6 Приводной двигатель МКТФ-312-6, мощностью 15кВт

7 Преобразователь частоты 2UZ SINAMICS G120 POWER MODULE PM240, 18,5KW, $I_{ном}=40A$ с управляющим модулем SINAMICS G120 CONTROL UNIT CU240S, производства SIEMENS.

8 Параметры механизма: $V_{макс}=0,13$ м/с, $i_{ред}=50$, $i_{пол}=3$, $R_б=0,2$ м, $J_{мех прив макс}=0,078$ кг · м², $J_{мех прив мин}=0,06$ кг · м², $M_{Гр прив макс}=130$ н · м, $M_{Гр прив мин}=1$ н · м, $\Delta M_{с прив}=16$ н · м.

9 Максимальная скорость электродвигателя:

$$\omega_{макс}=V_{макс} \frac{i_{пол} \cdot i_{ред}}{R_б} = 0,13 \frac{50 \cdot 3}{0,2} = 97,5 \text{ рад/с}$$

10 Питающая сеть – трёхфазная, 380В, 50Гц.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	8
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	11
1.1 ОПИСАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	11
1.2. АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	17
2 ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРО ПРИВОДА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ	17
2.1 ФОРМУЛИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ЭЛЕКТРОПРИВОДУ И СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ	19
2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	21
3 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ	23
3.1 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ	23
3.1.1 РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	25
3.1.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ	26
3.1.3 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	31
3.1.4. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА	35
3.2 МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМА	38
3.2.1 ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИВОДА	38
3.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАННОЙ ОБЛАСТИ РАБОТЫ	39
3.4 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ	40
3.4.1 ПАРАМЕТРЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ	41

4 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	43
4.1 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	43
4.2 ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КРАН СО СКАЛЯРНОМ УПРАВЛЕНИЕМ	50
4.2.1 ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	50
4.2.2 ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОСТОВОГО КРАНА	50
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	57
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	58
5.1 РАЗРАБОТКА ГРАФИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА	62
5.2 СОСТАВЛЕНИЕ СМЕТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА	64
5.3 ФОРМИРОВАНИЕ СМЕТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА	68
5.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА	69
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	72
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.	74
6.1. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	74
6.2. АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ, КОТОРЫЕ МОГУТ ВОЗНИКНУТЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ	78
6.3. БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.	80
6.4. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	84
CONCLUSION	85
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	86

ВВЕДЕНИЕ

Крановое оборудование является одним из основных средств комплексной механизации всех отраслей народного хозяйства. Расширение отрасли машиностроения, занимающейся производством грузоподъемных машин, является важным направлением развития народного хозяйства для решения задачи всемерного сокращения и ликвидации тяжелого ручного труда.

В настоящее время грузоподъемные машины выпускаются большим числом заводов во многих отраслях народного хозяйства и эти машины используются практически во всех сферах народного хозяйства: при добыче полезных ископаемых, в металлургии, машиностроении, строительстве, на транспорте и др. Подавляющее большинство грузоподъемных машин, изготавливаемых отечественной промышленностью, имеет электрический привод основных рабочих механизмов и поэтому эффективность действия этих машин в значительной степени зависит от качественных показателей используемого кранового электрооборудования.

Электропривод большинства грузоподъемных машин характеризуется повторно-кратковременным режимом работы при большой частоте включений, широком диапазоне регулирования скорости и постоянно возникающих значительных перегрузках при разгоне и торможении механизмов. Особые условия использования электропривода в грузоподъемных машинах явились основой для создания специальных серий электрических двигателей и аппаратов кранового исполнения. В настоящее время крановое электрооборудование имеет в своем составе серии крановых электродвигателей переменного и постоянного тока, серии силовых и магнитных контроллеров, командоаппаратов, кнопочных постов, конечных выключателей, тормозных электромагнитов и электрогидравлических

толкателей, пускотормозных резисторов и ряд других аппаратов, комплектующих различные крановые электроприводы.

В крановом электроприводе начали довольно широко применяться различные системы тиристорного регулирования и дистанционного управления по радиоканалу или одному проводу.

Для обеспечения механизированной транспортировки ферромагнитных материалов промышленностью изготавливается две серии грузоподъемных электромагнитов. Производство кранового электрооборудования стало одной из важнейших отраслей электротехнической промышленности.

Для проведения практических инженерных расчетов в настоящее время созданы и внедрены в практику новые прогрессивные и доступные для широкого круга работников методы проектирования большинства крановых электроприводов, отражающие современные направления оптимизации систем и их технико-экономического обоснования.

Среди направлений повышения эффективности использования кранового оборудования можно выделить два основных: снижение энергопотребления и повышение надежности. Использование частотно-регулируемого электропривода на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором позволяет решить обе задачи достаточно невысокими затратами и является на сегодняшний день наиболее эффективным способом модернизации кранового оборудования. Преимуществами применения частотно-регулируемого электропривода по сравнению с другими схемами управления двигателями являются:

- повышение качества и значительная рационализация системы управления;
- автоматическое передвижение груза по заданной программе, т.е. введение крана в систему АСУ ТП;
- возможность согласованного действия нескольких кранов по заданной

программе, например при монтажно-сборочных работах;

- увеличение надежности и срока службы как самого привода, так и всех его механизмов;

- упрощение процесса обслуживания;

- экономия электроэнергии;

- создание предпосылок для дальнейшего совершенствования как самих кранов, так и систем управления: введение дистанционного управления, ликвидация приборов контроля грузоподъемности, снижение передаточного отношения редуктора, ликвидация полиспастов и т.д.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и исследование электропривода механизма передвижения крана

грузоподъемностью 20 т.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 ОПИСАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ И АНАЛИЗ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Мостовой кран - кран мостового типа, мост которого опирается на надземный рельсовый крановый путь, а грузозахватный орган подвешен к грузовой тележке или электротали, перемещающейся по мосту. Мостовые краны общего назначения изготавливают грузоподъемностью до 320т, специального назначения - до 630 т, пролёты - 60 м, высота подъёма - 50 м.

Краны общего назначения используют при монтаже оборудования, производстве ремонтных работ, для технологических работ в цехах основного производства, на складах, при перегрузочных работах.

Металлоконструкция мостового крана состоит из двух основных частей: моста и тележки. Мост перекрывает рабочий пролёт производственного помещения или склада. Он состоит из двух главных и двух концевых балок. Через ходовые колёса механизма передвижения мост опирается на надземные крановые рельсы. Последние закреплены на подкрановых балках, смонтированных на консолях колонн здания или крановой эстакады. Колёса приводятся через передаточный механизм одним или двумя электродвигателями. Ходовые колёса кранов выполняют двухребордными либо безребордными с горизонтальными направляющими роликами. На главных балках закреплены рельсы, по которым перемещается тележка с помощью своего привода. На её раме размещены один или два механизма подъёма груза, каждый из которых состоит из крюковой подвески, канатного полиспаста, барабана, передаточного механизма, тормоза и электродвигателя. Механизмами крана управляют из кабины, подвешенной к металлоконструкции моста, что позволяет иметь наилучший обзор и безопасность работы, а при необходимости - на тележке (имеет возможность автономно перемещаться вдоль пролёта крана).

При работе крана направления движения крана, тележки и крюка постоянно чередуются. Работа механизма подъёма состоит из периодов подъёма и опускания груза и периодов подъёма и опускания пустого крюка. Для увеличения производительности крана используют совмещение операций, например одновременное передвижение крана и тележки. Во время навешивания груза на крюк и освобождения крюка двигатель отключён и механизм подъёма не работает.

По назначению разнообразные грузоподъемные машины можно объединить в три группы:

- Универсальные грузоподъемные машины - краны, лебедки, тали, служащие для подъема и перемещения различных грузов при помощи крюкового подвеса на грузовом тросе;

- Грузоподъемные машины для выполнения определенных технологических операций в промышленности, на транспорте и в строительстве;

- Краны для выполнения строительных, монтажных и ремонтных работ, связанных с перемещением машинного оборудования.

В свою очередь, по условиям работы грузоподъемные машины могут быть условно разделены на следующие группы:

- машины универсального назначения, используемые для работы в помещениях при повторно-кратковременном режиме и средней продолжительности работы до 16 ч в сутки;

- машины универсального назначения, используемые для работы в помещениях при повторно-кратковременном режиме и средней продолжительности работы от 8 до 24 ч в сутки;

- машины для выполнения определенных технологических операций, используемые как в помещениях, так и на открытом воздухе при повторно-кратковременном режиме и продолжительностью работы до 24 ч в сутки;

машины для выполнения разовых и эпизодических грузоподъемных операций, используемые в кратковременных и в повторно-кратковременных режимах с общим годовым числом часов работы не более 500.

Универсальные грузоподъемные машины изготавливаются с учетом различных условий использования по нагрузке и времени работы, интенсивности проведения операций, степени ответственности операций и в связи с этим могут быть дополнительно отнесены к нескольким усредненным категориям использования.

Механизмы для выполнения определенных технологических операций, а также механизмы для эпизодической работы имеют вполне определенные условия использования соответственно их назначению. С целью систематизации всего многообразия режимов работы грузоподъемных машин Госгортехнадзор установил следующие категории режимов работы механизмов с машинным приводом: легкий - Л; средний - С; тяжелый - Т; весьма тяжелый - ВТ.

Ряд кранов, предназначенных для технологических комплексов, в последнее время проектируется для использования при более сложных режимах работы электропривода по сравнению с режимом ВТ, определяемым действующей классификацией Госгортехнадзора. Этот режим характеризуется продолжительностью включения до ПВ=100% при числе включений в час 600 и выше. Для этих случаев вводится новая категория режима: особо тяжелый - ОТ. В настоящее время существует стандарт, предусматривающий пять категорий режимов, включая режим ОТ.

Скорости перемещения грузов определяют производительность и мощность механизмов и выбираются с учетом эффективности выполнения грузоподъемных операций, т.е. получения необходимого времени операции при наименьшей первоначальной стоимости механизмов крана. Выбор оптимальной скорости является важной задачей, необходимое решение которой может быть найдено только на основе учета факторов

производительности, затрат энергии, возможности и эффективности регулирования скорости, а также технико-экономической оценки системы регулирования.

За последние годы были проведены исследования, связанные с оптимизацией скоростных параметров быстроходных грузоподъемных машин. В результате этих исследований установлено, что при повышении скоростей до определенных пределов производительность машин растет вместе со скоростью, однако при дальнейшем повышении скоростей может произойти снижение производительности за счет увеличения времени разгона и торможения механизмов крана.

Анализ скоростных параметров показывает, что для каждого вида механизмов (подъема, поворота и горизонтального перемещения) имеются пределы скоростей, превосходить которые нецелесообразно.

Скорости грузоподъемных механизмов выбираются исходя из следующих предпосылок:

номинальная скорость определяется условиями технологического процесса, т.е. временем выполнения цикла;

номинальная скорость ограничивается мощностью питающей сети или возможностью установки приводного двигателя определенных размеров;

номинальная скорость является функцией диапазона регулирования при заданной минимальной скорости механизма.

номинальная скорость должна обеспечить наибольшую производительность при наименьших затратах энергии.

Для всех перечисленных случаев, кроме первого, предельное значение скорости не должно превышать установленных значений, а для четвертого случая это значение и является искомым. Для первого случая скорость может иметь любое необходимое значение, но при этом следует иметь в виду, что при превышении определенных значений скоростей время операции сокращаться

не будет, если не будут применены системы со специальными параметрами регулирования.

При выборе номинальной скорости иногда решающее значение имеют минимальные скорости, определяемые технологией переработки разнообразных грузов. В настоящее время для большинства технологических процессов переработки грузов получены оптимальные значения минимальных скоростей для точной установки грузов.

Выбор промежуточных фиксированных скоростей, прежде всего, зависит от способностей человека воспринять разницу скоростей соседних фиксированных положений и на основе восприятия этой разницы осуществлять последующие операции управления. Регулирование скорости механизмов горизонтального перемещения в промежутке между максимальной и минимальной скоростями часто осуществляется путем изменения интенсивности разгона или торможения с учетом необходимых ускорений.

Производительность и число включений в час грузоподъемных машин неразрывно связаны со скоростными параметрами. Производительность машин соответствует времени завершения операции по переработке груза. Сокращение времени одной операции при определенной траектории движения груза определяет повышение производительности машины. Каждая машина может иметь фактический или условный цикл проведения грузоподъемной операции.

Под полным циклом грузоподъемной операции следует иметь в виду застроповку груза, выбор слабины каната, подъем груза и его перемещение в необходимую точку, спуск и установку груза, расстроповку и обратное перемещение для начала новой операции. При этом механизмы грузоподъемного устройства имеют минимально необходимое обязательное число включений. Однако по разным причинам в течение цикла оператор производит еще ряд дополнительных включений, связанных с

несовершенством системы регулирования, колебаниями груза на гибкой подвеске, недостаточным опытом управления и т.п. Количество таких дополнительных включений может в 2-4 раза превысить число необходимых включений.

Важной задачей разработки высокоэффективных грузоподъемных машин является приближение фактического числа включений к минимально необходимому. В настоящее время наиболее качественные системы регулирования позволяют обеспечить выполнение операций со средним числом включений лишь в 1,5 раза большим минимально необходимого, в то время как наиболее массовые системы параметрического регулирования требуют до 20-30 включений на один цикл перемещения груза, что в 5-6 раз превышает минимально необходимое число включений. Число включений в час у различных механизмов может составлять от 40-60 при режиме Л; до 500-600 - для режима ВТ. При создании и освоении производства систем управления, обеспечивающих устойчивые скорости с широким диапазоном их изменения, происходит общая тенденция снижения числа включений механизмов при одновременном повышении производительности перегрузочных работ.

В данной работе рассмотрен электропривод механизма перемещения мостового крана.

1.2. АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

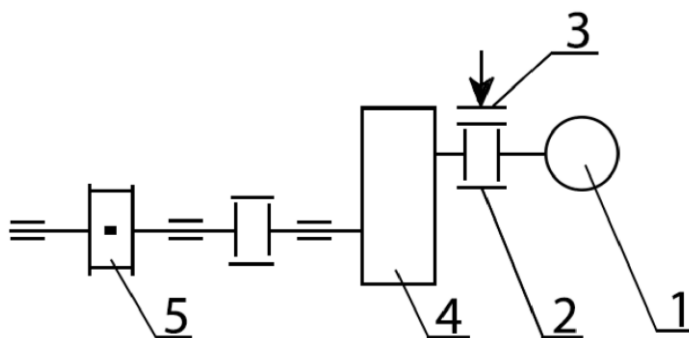


Рисунок 1 - Кинематическая схема механизма передвижения;

1 – электродвигатель, 2 – муфта, 3 – тормоз, 4 – редуктор, 5 – ходовое колесо

2 ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРО ПРИВОДА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ

Значительная роль в осуществлении комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, ликвидации ручных погрузочно-разгрузочных работ принадлежит подъемно-транспортному машиностроению. Существенное сокращение тяжелого труда при перегрузочных работах осуществляется главным образом путем автоматизации грузозахватных операций, точной установки грузов, а также автоматизации процессов управления грузоподъемными машинами. Поскольку эти задачи решаются с помощью электропривода, то значение совершенствования и внедрения современных электроприводов постоянно возрастает.

В крановом электроприводе в настоящее время широко применяют как полностью тиристорные системы регулирования, так и различные

неуправляемые и управляемые полупроводниковые выпрямители, а также отдельные силовые полупроводниковые приборы, что позволяет при сравнительно невысоких затратах получать системы с достаточно значительным регулированием скорости перемещения механизмов. Для сокращения эксплуатационного персонала применяют системы управления грузоподъемными машинами, в частности кранами, по радиоканалу (дистанционно). В этих системах максимальный эффект достигается также при обеспечении устойчивого регулирования скорости.

Основное внимание уделяется новым методам выбора электрооборудования для кранов с учетом уже введенной новой классификации нагружения механизмов и электрооборудования, а также новым системам управления, включая управление по радиоканалу, и различным системам регулирования скорости.

Подавляющее большинство грузоподъемных машин, изготавливаемых отечественной промышленностью, имеет электрический привод механизмов, и поэтому эффективность действия и производительность этих машин в значительной степени зависят от качественных показателей используемого кранового электрооборудования. Для наиболее массовых кранов общего назначения начинают широко применяться электроприводы на основе короткозамкнутых двигателей, значительная часть кранов изготавливается с управлением с пола, а быстроходные краны для тяжелых режимов работы комплектуются различными тиристорными системами, обеспечивающими глубокое регулирование скорости, плавность пуска и торможения при постоянно повышающихся требованиях к экономии энергоресурсов.

Большинство грузоподъемных кранов характеризуется постоянно меняющимися условиями использования при переработке грузов, и поэтому механизмы кранов, имеющие в своем составе электроприводы, должны быть в максимальной степени приспособлены к постоянно видоизменяющейся

работе с грузами, разнообразными по массе, размерам, форме, и в условиях производственных помещений или на открытых грузовых площадках.

Чрезвычайно широкий диапазон изменения нагрузок практически любого из крановых электроприводов является одним из главных факторов, требующих особого подхода к выбору расчетных параметров приводных электродвигателей, аппаратуры управления и защиты.

2.1 ФОРМУЛИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ЭЛЕКТРОПРИВОДУ И СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ

При выборе структуры электропривода следует учитывать особенности технологического процесса, требования надежности, гибкости в управлении, удобства наладки. К электроприводам механизмов подъема мостовых кранов, которые в большинстве случаев управляются оператором, предъявляются жесткие требования к простоте их эксплуатации и надежности при обеспечении необходимого диапазона регулирования скорости. Диапазон регулирования при подъеме и опускании номинального груза определяется минимальной скоростью при посадке грузов. Величина этого диапазона зависит от технологического процесса и номинальной грузоподъемности крана. Так, для кранов грузоподъемностью более 20 тонн среднего режима работы диапазон регулирования $D_{20}:1$, 1,5-2 раза больше, чем скорость при подъеме номинального груза. Важным требованием для электроприводов указанного класса является плавное изменение скорости в переходном процессе, что резко снижает рывок и, следовательно, уменьшает амплитуду раскачивания груза.

Для выполнения отмеченных требований система управления электроприводом должна быть полу - или полностью автоматической, особенно при работе в переходных режимах.

Основные требования к системе электропривода мостового крана можно сформулировать так:

На первых положениях контроллера подъема двигатель должен развивать такой пусковой момент, чтобы исключалась возможность спуска номинального груза при напряжении питающей сети 90% номинального и в то же время желательная минимальная скорость составляла при наименьшей нагрузке не более 30% номинального значения.

При перемещении рукоятки командоконтроллера в направлении снижения скорости последняя не должна повышаться даже кратковременно. Это в первую очередь относится к переключению с первого положения в нулевое, когда запаздывание механического торможения не должно приводить к повышению малой скорости спуска.

Система электрического торможения должна иметь необходимый запас, обеспечивающий надежное замедление груза, равного 125% номинального, при напряжении питающей сети 90% номинального.

Движение груза должно происходить только в направлении, устанавливаемом командоаппаратом, да же при неисправностях в схеме. В последнем случае груз может оставаться неподвижным.

Выбор системы электропривода для крановых механизмов осуществляется на основе анализа сравнительных показателей.

Экономическая оценка систем электропривода должна базироваться на принципе минимальных расходов, связанных с первоначальными затратами, эксплуатационными затратами на ремонт, а также затратами энергии, потребляемой из сети на разгон и торможение крановых механизмов за период эксплуатации до капитального ремонта (10 лет).

Экономическая оценка может быть осуществлена расчетом по определённой методике. Выбирается система, обладающая наилучшими экономическими показателями. Если экономические показатели сравниваемых систем близки (расхождение не превышает 15%), то

производится дополнительная оценка по массогабаритным показателям и условиям размещения электрооборудования. Существенным требованием к электроприводу механизма подъема является обеспечение надежного торможения при действии активного момента нагрузки. При этом, в целях энергосбережения, целесообразно применять рекуперативное торможение, особенно при мощностях двигателей более 30 кВт.

2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Для регулируемых крановых электроприводов с диапазоном регулирования скорости более 20: 1 наиболее применимы следующие системы электропривода:

1. Система с тиристорным преобразователем напряжения (система ТП-Д);
2. Система с тиристорным регулятором напряжения (ТРН-АД);
3. Система с преобразователем частоты (система ПЧ-АД);
4. Система с асинхронным двигателем и импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока без рекуперации энергии скольжения (система АД-ИР);
5. Система с асинхронным двигателем и импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока с рекуперацией энергии скольжения в сеть (система АД-ИР-И).

В этой работе выполнен сравнительный анализ энергетических и экономических показателей названных систем крановых электроприводов, причем более эффективной считается та система электропривода, которая потребляет меньше электроэнергии при выполнении единицы механической работы технологического цикла.

В цикл работы крана входят этапы подъёма груза, перемещения его на необходимое расстояние, опускания груза и пауза для строповки. Задана стандартная продолжительность включения ПВ=40%, причем в цикле работы имеются участки движения с пониженной скоростью.

При определении рациональных границ применения системы электропривода следует оценивать не только энергетические показатели сравниваемых систем, но и годовые приведенные затраты.

Исходя из того, что рассматриваемый нами кран, который осуществляет подъём и перемещение грузов в ремонтно-механических и сборочных цехах, относится к среднему режиму работы с грузоподъёмностью до 20 тонн с мощностью двигателя механизма подъёма более 55 кВт и диапазоном регулирования D20:1, то на основании изложенного можно обоснованно принять в качестве рациональной системы электропривода подъёма мостового крана систему ПЧ-АД.

Кроме того, следует учесть, что система ПЧ-АД лучше приспособлена для реализации дистанционного телемеханического управления, чем другие системы электропривода.

3 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ

3.1 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ

Особенности конструкции крановых двигателей определяются условиями эксплуатации и требованиями к их характеристикам. Двигатели работают в повторно-кратковременных или кратковременных режимах с частыми пусками в условиях повышенной тряски и вибраций. Они должны допускать широкое регулирование частоты вращения и иметь высокие пусковые и максимальные моменты.

Используется крановый асинхронный электродвигатель серии МТКФ 312-6.

- Структура условного обозначения:
- МТ – обозначение серии;
- К – короткозамкнутый ротор;
- F – класс нагревостойкости изоляции;
- 3 – условная величина наружного пакета статора;
- 1 – порядковый номер серии;
- 2 – условная длина пакета сердечника статора;
- 6 – число полюсов.

Асинхронные крановые двигатели серии МТКФ с короткозамкнутым ротором предназначены для привода крановых и других механизмов, работа которых характеризуется кратковременным и повторно-кратковременным режимами и большими кратностями перегрузок.

Двигатели с короткозамкнутым ротором серии МТКФ имеют повышенное скольжение и рассчитаны на прямой пуск от сети при номинальном напряжении. Краново-металлургические двигатели

характеризуются повышенной перегрузочной способностью (от 2,3 до 3,5), большими пусковыми моментами при сравнительно небольших значениях пусковых токов, а также малым временем разгона.

Мощность электродвигателя выбирается в соответствии с зависимостями длительно допустимого и кратковременно допустимого тока и момента или мощности двигателя в функции скорости.

Технические данные электродвигателя МТКФ 312-6 приведены в таблице 1.

Таблица № 1

Типоразмер двигателя	Мощность P_2 , кВт	Синхронная частота вращения n_0 , об/мин	При номинальной нагрузке		
			частота вращения n_n , об/мин	КПД η_n , %	$\cos \varphi_n$
МТКФ 312-6	15	1000	930	81	0.78
M_{\max}/M_n	$M_{\text{пуск}}$	$I_{\text{пуск}}$	$J_{\text{дв.}}$	Степень защиты	
3.824	3.759	205	0.3	IP44	

Примечания:

1. Технические характеристики приведены для основного режима работы S3 (ПВ = 40 %).

2. Диапазон изменения частоты питания – от 5 до 50 Гц.

3.1.1 РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 1000}{30} = 104.72 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальное скольжение двигателя

$$s_n = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_0} = \frac{1000 - 930}{1000} = 0.07$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$\omega_{\text{двн}} = (1 - s_n) \cdot \omega_0 = (1 - 0.07) \cdot 104.72 = 97.389 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{двн}} = \frac{P_n \cdot 1000}{\omega_{\text{дв.}}} = \frac{15000}{97.389} = 154.021 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим кратность максимального и пускового момента двигателя

$$m_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{двн}}} = 1.0$$

$$m_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{двн}}} = 3.759$$

и кратность пускового тока

$$k_{\text{пуск}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{1н}} = 5.694$$

3.1.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ

Параметры схемы замещения асинхронного двигателя, приведенной на рисунке 2, определим по методике, изложенной в и сведем их в таблицу № 2

Таблица № 2

$R_1,$	$X_{1\sigma},$	$L_{1\sigma},$	$R_2',$	$X_{2\sigma}',$	$L_{2\sigma}',$	$X_\mu,$	X
М		Гн	Ом	Ом	Гн	Ом	Ом
0,513	0,142	$4.509 \cdot 10^{-4}$	0,472	0,187	$5.96 \cdot 10^{-4}$	11.083	0,3

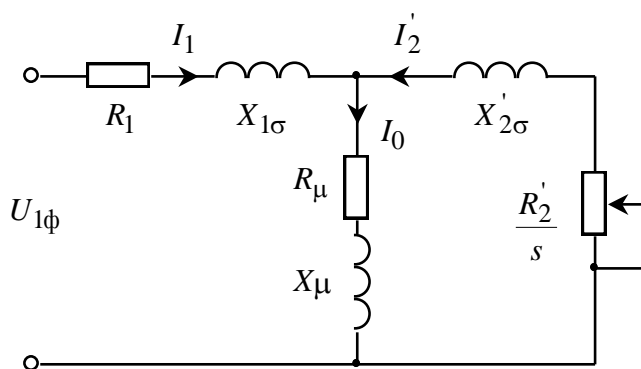


Рисунок 2 – Схема замещения асинхронного двигателя

Номинальный ток статора

$$I_{1н} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{15000}{3 \cdot 220 \cdot 0,78 \cdot 0,81} = 35,972 \text{ A}$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке

$$I_{1п} = \frac{P_n \cdot p^*}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{15000 \cdot 0,75}{3 \cdot 220 \cdot 0,72 \cdot 0,81} = 29,227 \text{ A}$$

где:

p^* – коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p^*=0.75$;

η_{p^*} – КПД при частичной нагрузке, принимаем $\eta_{p^*} = \eta_H$.

Коэффициент мощности при частичной нагрузке $\cos \varphi_{p^*} = 0.72$.

Ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p^* \cdot I_{1H} \cdot \frac{1 - s_H}{1 - p^* \cdot s_H} \right)^2}{1 - \left(p^* \cdot \frac{1 - s_H}{1 - p^* \cdot s_H} \right)^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{29.227^2 - \left(0,75 \cdot 35.972 \cdot \frac{1 - 0,07}{1 - 0,75 \cdot 0,07} \right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1 - 0,07}{1 - 0,75 \cdot 0,07} \right)^2}} = 18.276 \text{ A}$$

Критическое скольжение

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_M + \sqrt{k_M^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_M - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_M - 1)} =$$

$$= 0,07 \cdot \frac{3.824 + \sqrt{3.824^2 - (1 - 2 \cdot 0,07 \cdot (3.824 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,07 \cdot (3.824 - 1)} = 0,803$$

где: β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6–2,5,

принимаем $\beta = 1$

Определим коэффициенты

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{18.276}{2 \cdot 5.694 \cdot 35.972} = 1,045 ;$$

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{3 \cdot I_{1H}^2 (1 - s_H)}{2m_k \cdot P_H \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 (1 - 0.07)}{2 \cdot 3.824 \cdot 15000 \cdot 1.045 \cdot \left(1 + \frac{1}{0.803} \right)} = 0.472$$

Ом.

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1.045 \cdot 0.472 \cdot 1 = 0,513 \text{ Ом}$$

Определим параметр γ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_k

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k^2} \right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,803^2} \right) - 1^2} = 0.684$$

тогда

$$X_k = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 0.684 \cdot 1.045 \cdot 0.472 = 0,337 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_k = 0,42 \cdot 0.337 = 0.142 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0.142}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 4.509 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

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

$$X_{2\sigma}' = \frac{0,58 \cdot X_k}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0.337}{1,045} = 0,187 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0.187}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 5.96 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

Согласно векторной диаграмме ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1H} \cdot R_1)^2 + (U_{1H} \cdot \sqrt{1 - \cos \varphi_H} - I_{1H} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,78 - 35.972 \cdot 0,054)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,78} - 35.972 \cdot 0,142)^2} = 202.561 \text{ В} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{202.561}{18.276} = 11.083 \text{ Ом}$$

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

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2\pi \cdot f_{1H}} = \frac{11.083}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0,035 \text{ Гн}$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$\begin{aligned} M_{эм.н}^* &= \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}, = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.472}{104.72 \cdot 0.07 \cdot \left[0,337^2 + \left(0,513 + \frac{0.472}{0.07} \right)^2 + \left(\frac{0.513 \cdot 0.472}{0.07 \cdot 11.083} \right)^2 \right]} = 176.83 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

$$M_{эм.н}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L'_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2н} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1н}^2 - I_0^2}, H \cdot м$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot \frac{0,03528}{(0,03528 + 0,000596)} \cdot 0,912 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{35,972^2 - 18,276^2} = 176,809 H \cdot м$$

где:

$$\Psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 18,276 \cdot 0,03528 = 0,912, Вб.$$

Должны выполняться условия:

$$M_{дв.н} < M_{эм.н}^* \leq 1,1 \cdot M_{дв.н} = 154,021 < 176,83 \leq 169,423,$$

$$M_{эм.н}^{**} \approx M_{эм.н}^*, 176,809 \approx 176,83$$

Рассчитанные параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 3.

Таблица № 3

$R_1,$	$X_{1\sigma},$	$L_{1\sigma},$	$R_2',$	$X_{2\sigma}',$	$L_{2\sigma}',$	$X_\mu,$	X
Ом	Ом	Гн	Ом	Ом	Гн	Ом	Ом
0,513	0,142	$4,509 \cdot 10^{-4}$	0,472	0,187	$5,96 \cdot 10^{-4}$	11,083	0,3

3.1.3 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя рассчитывается по выражениям:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot \left[U_{1\Phi\Phi}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 \right]^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left(\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right)} =$$

$$= \frac{3 \cdot \left[220^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 \right] \cdot 1,912}{104,72 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot s \cdot \left(\left(0,337 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(0,513 + \frac{0,472}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,513 \cdot 0,472}{s \cdot 11,083 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right)}$$

$$\omega(s, f) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1 - s).$$

Критический момент и критическое скольжение двигателя на естественной характеристике

$$M_k = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R_2'}{s_k \cdot \omega_0 \cdot \left(X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_k} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_k \cdot X_\mu} \right)^2 \right)} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,472}{0,77 \cdot 104,72 \cdot \left(0,337^2 + \left(0,513 + \frac{0,472}{0,77} \right)^2 + \left(\frac{0,513 \cdot 0,472}{0,77 \cdot 11,083} \right)^2 \right)} = 614,909 \text{ H} \cdot \text{м};$$

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1^2}{X_{\mu}^2} + 1}{R_1^2 + X_{кн}^2}} = 0,472 \sqrt{\frac{\frac{0,513^2}{11,083^2} + 1}{0,513^2 + 0,337^2}} = 0,77$$

Естественная механическая характеристика двигателя $\omega = f(M)$ при $f_1 = f_{1H} = 50$ Гц приведена на рисунке 3.

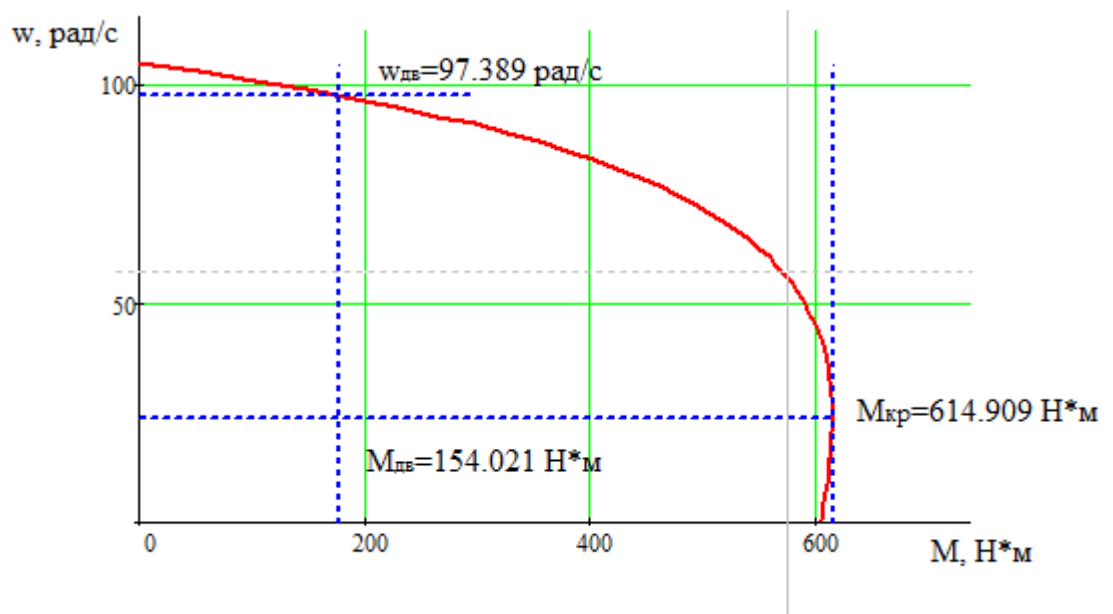


Рисунок 3 – Естественная механическая характеристика АД

Момент от силы трения на валу электродвигателя

$$M_c = M_{эм} - M_{дв.н} = 176,83 - 154,021 = 22,809 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

По полученным результатам определяем:

– кратность пускового момента

$$m_{п} = \frac{M_{эм п}}{M_{эм н}} = 3,759$$

– кратность максимального (критического) момента

$$m_k = \frac{M_{эмк}}{M_{эмн}} = 3.824$$

– критическое скольжение

$$s_k = \frac{\omega_0 - \omega_k}{\omega_0} = \frac{104.72 - 24.086}{104.72} = 0,77$$

Естественные электромеханические характеристики двигателя $I_1(s, f_1)$

и $I_2'(s, f_1)$ рассчитываются по выражениям:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin \varphi_2(s, f_1)} ;$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_k \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(0.513 + \frac{0,472}{s}\right)^2 + \left(0,337 \cdot \frac{f_1}{50}\right)^2 + \left(\frac{0,513 \cdot 0,472}{s \cdot 11,083 \cdot \frac{f_1}{50}}\right)^2}} ;$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}}\right)^2}} = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0,513^2 + (0,142 + 11,083)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}}\right)^2}} ;$$

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{\frac{f_1}{f_{1н}} \cdot X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_k \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}\right)^2}} = \frac{\frac{f_1}{f_{1н}} \cdot 0,52}{\sqrt{\left(0,513 + \frac{0,472}{s}\right)^2 + \left(0,337 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}\right)^2}} ;$$

$$\omega(S, f) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1 - S).$$

По результатам расчета на рисунке 4 построены естественные электромеханические характеристики $\omega(I_1)$, $\omega(I_2)$ при $f_1 = f_{1H} = 50$ Гц.

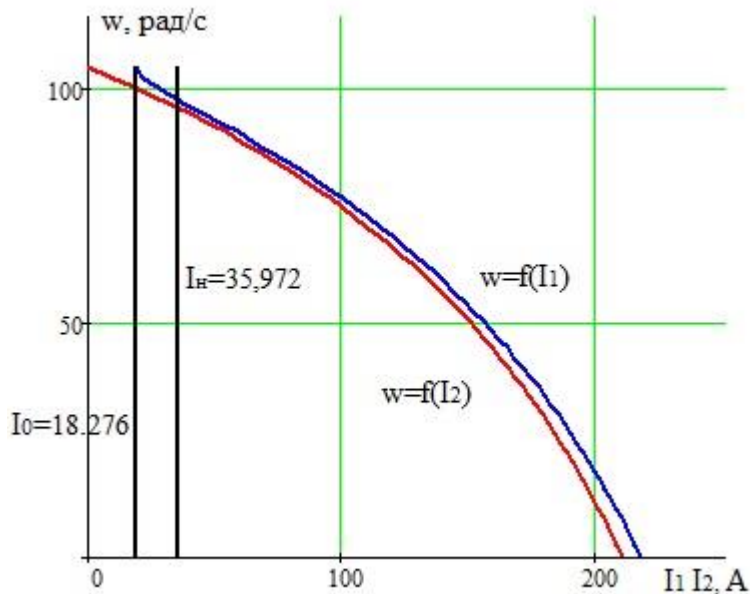


Рисунок 4 – Естественные электромеханические характеристики АД $\omega(I_1)$, $\omega(I_2)$

По результатам расчета электромеханической характеристики $\omega(I_1)$ найдены значения тока холостого хода (намагничивания) $I_0 = 18.276$ А, номинального тока $I_n = 35.972$ А и пускового тока двигателя $I_\pi = 251.804$.

По полученным результатам определяем кратность пускового тока

$$k_i = \frac{I_\pi}{I_n} = 7$$

Параметры расчетных механической и электромеханической характеристик двигателя оказались близки к приведённым в таблице 2 справочным параметрам двигателя.

3.1.4. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется следующим выражением

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu\text{н}} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot f_{1*}^2 \cdot 0,031}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[0,337^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(0,513 + \frac{0,472}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,513 \cdot 0,472}{s \cdot 11,083 \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]},$$

где:

U_{1j} – фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

ω_{0j} – синхронная частота вращения двигателя;

$f_{1*} = f_{1j} / f_{1\text{н}}$ – относительное значение частоты питающего напряжения.

Механические характеристики двигателя при частотном управлении приведены на рисунке 5

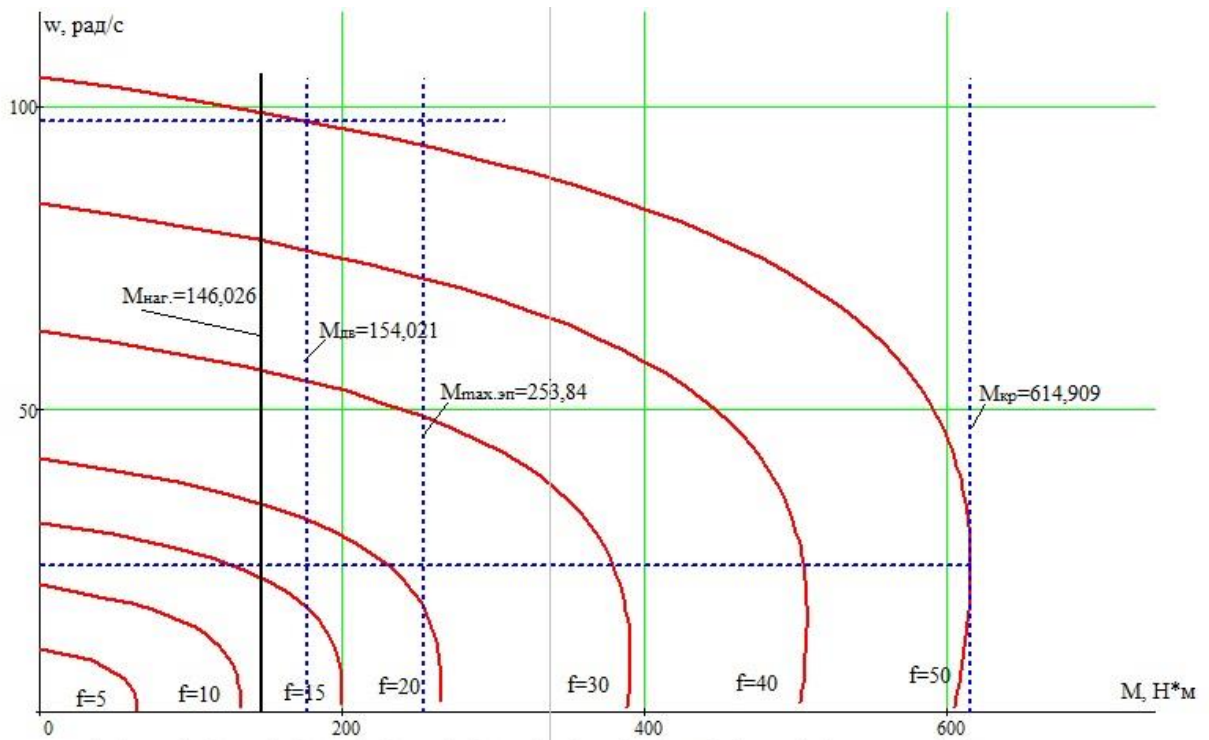


Рисунок 5 – Механические характеристики разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный двигатель.

Выражение для расчета электромеханических характеристик, определяющих зависимость приведенного тока ротора от скольжения s при законе управления $U/f = \text{const}$,

$$I_2'(s) = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{мн}} \cdot f_{1*}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220 \cdot f_{1*}}{\pm \sqrt{\left(0,513 + \frac{0,472}{s}\right)^2 + 0,337^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{0,513 \cdot 0,472}{s \cdot 11,083 \cdot f_{1*}}\right)^2}}.$$

Расчетное выражение для электромеханических характеристик $I_1 = f(s)$, отражающих зависимость тока статора I_1 от скольжения

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

$$= \sqrt{18.276^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot 18.276 \cdot I_2' \cdot \sin \phi_2(s)},$$

где:

$$\sin \phi_2 = \frac{x_{KH} \cdot f_{1*}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + x_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2}} = \frac{f_{1*}}{\sqrt{(0.513 + \frac{0.472}{s})^2 + 0.337^2 \cdot f_{1*}^2}}$$

;

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (x_{1H} + x_{\mu H})^2 \cdot f_{1*}^2}}$$

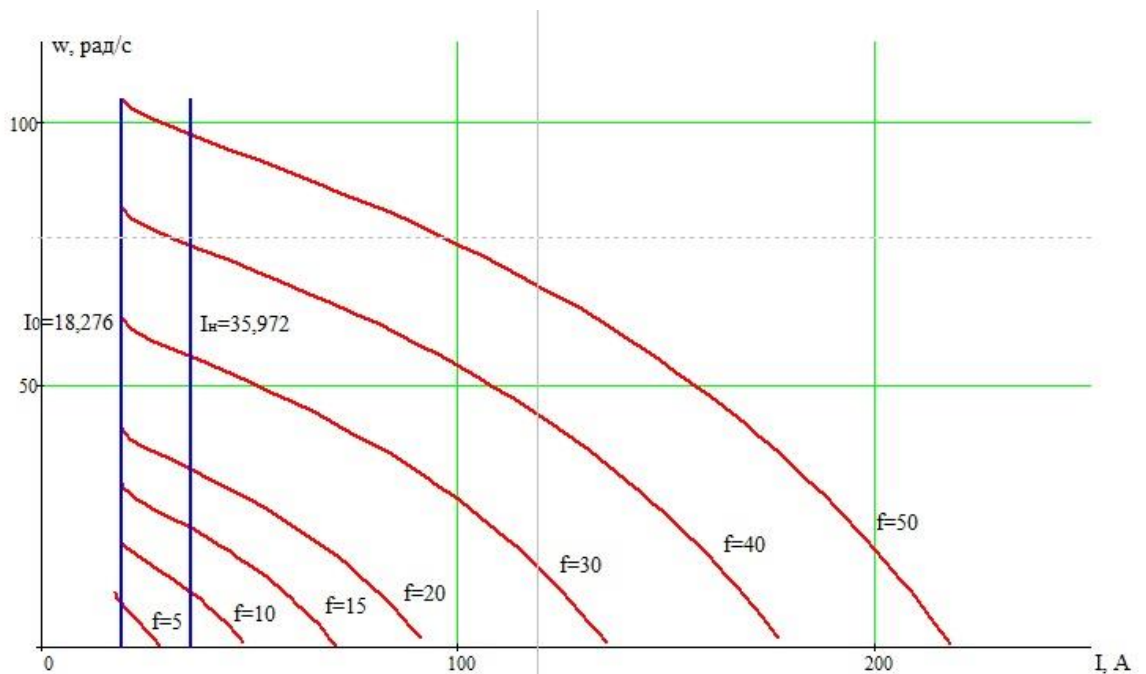


Рисунок 6 – Электромеханические характеристики разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный двигатель.

3.2 МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМА

3.2.1 ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИВОДА

Расчетная схема замещения механической системы электропривода может быть представлена в виде одномассовой системы

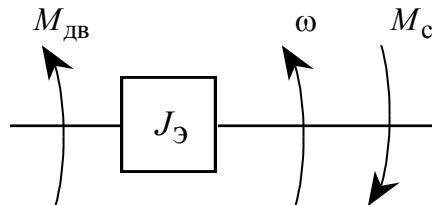


Рисунок 7 - Расчетная схема механической системы привода

На рисунке 7 приняты следующие обозначения:

$M_{дв}$ – вращающий момент, развиваемый на валу электродвигателя, $H \cdot м$;

M_c – момент нагрузки с учетом потерь в механизме, приведенный к валу двигателя, $H \cdot м$;

ω – угловая скорость, $рад/с$;

$J_э$ – эквивалентный момент инерции привода, приведенный к валу двигателя, $кг \cdot м^2$.

Коэффициент передачи

$$K_{пер} = \frac{V_n}{\omega_{двн}} = 10,268 \cdot 10^{-3}$$

Эквивалентный минимальный момент крана

$$J_{эмин} = J_{дв} + 0,2J_{дв} + J_{тел1} = 0,3 + 0,2 \cdot 0,3 + 2,53 = 2,9 H \cdot м$$

Приведенный момент инерции тележки

$$J_{тел1} = 0,5(m_{мост} + m_{тел}) \cdot K_{пер}^2 = 0,5(43 + 5) \cdot 10^3 \cdot 0,010268^2 = 2,53 H \cdot м^2$$

Эквивалентный момент инерции максимальный

$$J_{\text{эмакс}} = J_{\text{дв}} + 0,2 \cdot J_{\text{дв}} \cdot J_{\text{мел2}} = 0,3 + 0,2 \cdot 0,3 + 3,32 = 3,68 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

Эквивалентный момент инерции крана с грузом

$$J_{\text{мел2}} = 0,5(m_{\text{м}} + m_{\text{м}} + m_{\text{гр}}) \cdot K_{\text{пер}}^2 = 0,5(43 + 5 + 20) \cdot 0,010268^2 = 3,32 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

где: $m_{\text{м}} = 5000 \text{ кг}$ – масса тележки;

$m_{\text{гр}} = 20000 \text{ кг}$ – масса груза максимальная;

$m_{\text{мост}} = 5000 \text{ кг}$ – масса моста.

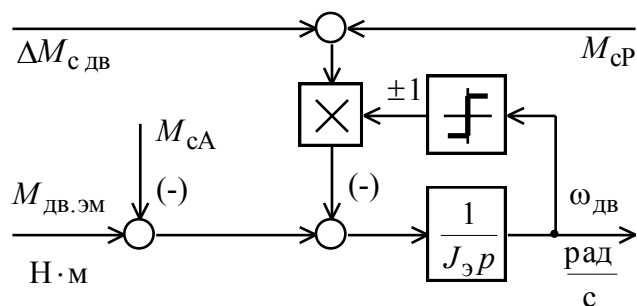


Рисунок 8 – Структурная схема одномассовой механической системы регулируемого электропривода

3.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАННОЙ ОБЛАСТИ РАБОТЫ

Момент сопротивления на валу двигателя

$$M_{\text{с.дв.}} = M_{\text{эм}} - M_{\text{дв.н.}} = 176,83 - 154,021 = 22,809 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Статические моменты:

– при передвижении с минимальным грузом

$$M_{\text{смин}} = 0,6 \cdot M_{\text{дв}} = 0,6 \cdot 154,021 = 92,413 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– при передвижении максимальным грузом

$$M_{\text{смакс}} = 0,8 \cdot M_{\text{дв}} = 0,8 \cdot 154,021 = 123,217 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– при изменении момента нагрузки

$$\Delta M_{\text{с}} = M_{\text{смакс}} - M_{\text{смин}} = 123,217 - 92,413 = 30,804 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

3.4 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Для кранового частотно-регулируемого электропривода требуются преобразователи частоты, специально адаптированные к применению в грузоподъемных кранах и обладающие необходимыми функциональными возможностями:

1) функция управления тормозом предназначена для выдачи сигнала на открытие тормоза при достижении двигателем необходимого момента и сигнала на наложение тормоза при снижении скорости до минимального уровня. Для корректировки снятия тормоза может использоваться функция весоизмерения.

2) функция передвижения с повышенной скоростью. Максимальная скорость передвижения определяется автоматически в зависимости от массы груза.

3) функция ограничения момента электродвигателя с формированием желаемой механической характеристики в двигательном и генераторном режимах.

4) функция формирования заданного темпа разгона и торможения.

функция торможения электропривода с использованием тормозного резистора или блока рекуперации. Экономический эффект от внедрения модулей рекуперации увеличивается: с увеличением мощности электроприводов, при резких торможениях инерционных механизмов. Учитывая сложившееся мнение о низкой эффективности рекуперации для систем с током потребления до 100 А, а также относительно высокую стоимость модулей рекуперации и сложность внедрения, принято решение использовать тормозной резистор.

3.4.1 ПАРАМЕТРЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

С учетом перечисленных выше требований выбираем преобразователь частоты G120 PM240

“Siemens” Параметры преобразователя частоты приведены в таблице № 4

Таблица 4

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение U_H , В	Выходная частота f_H , Гц	Выходной ток		Ошибки мощности P_2 , кВт
	$U_{1Л}$, В	f_c , Гц			$I_{VLT.н}$, А	$I_{VLT.макс}$, А	
G120 PM240 “Siemens”	3×380...400	50	380	(0-600)	18	26,4	5,5



Рисунок 9 - Преобразователи частоты G120 PM240 “Siemens”

Преобразователи частоты G120 PM240 “Siemens” имеет разнообразные законы управления двигателем и многочисленные функциональные возможности, отвечают самым строгим требованиям применений.

Отличительные особенности:

- как универсальный привод во всех промышленных и коммерческих задачах

- для всеобъемлющих задач, например, в конвейерных системах
- Модульность обеспечивает гибкость расширенной концепции привода
 - Замена модулей во время работы системы (hot swap)
 - Сменные клеммы
 - Простая замена модулей, что обеспечивает очень удобное техобслуживание системы.
- Функции безопасности упрощают интеграцию привода в станки или оборудование, ориентированное на безопасность
- Возможность коммуникации по PROFIBUS с профилем PROFIdrive 4.0
 - Меньшее количество интерфейсов
 - Интегрированный инжиниринг
 - Простое использование
- Инновационная концепция охлаждения и лакировка электронных модулей повышает прочность и срок службы
- Простая замена устройств и быстрое копирование параметров с помощью панели оператора или опционной плате памяти MMC
- Бесшумная работа двигателя в результате высокоимпульсной частоты
- Компактная, не занимающая много места конструкция
- Переключатель 50/60 Гц для быстрой адаптации к задачам 50 Гц или 60 Гц
- Проектирование и пуско-наладка с помощью программ проектирования , таких как SIZER, STARTER и Drive ES: ускоряет проектирование и упрощает пуско-наладку – Drive ES обеспечивает интеграции в среду автоматизации SIMATIC.

Условия проверки правильности выбора преобразователя частоты

$$I_n < I_{\text{имакс}} = 13,834 < 18$$

Анализ электропривода, характеристик преобразователя частоты и нагрузки показывает, что условие выполняется, следовательно, преобразователь выбран правильно.

4 Разработка и исследование электроприводов со скалярным управлением

4.1 Разработка имитационных моделей электропривода со скалярным управлением

Функциональная схема реализации асинхронного частотно-регулируемого электропривода со скалярным управлением без датчика скорости., основными функциональными элементами регулируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением являются :

- преобразователь частоты;
- блок управления преобразователем, включающий в себя формирователь 3-фазной системы управляющих напряжений u_{1a} , u_{1b} и u_{1c} , формирователь 6-канального ШИМ-сигнала и блок драйверов;
- формирователь $\frac{U}{f}$ - характеристики;
- датчики в общем случае линейного тока двигателя;
- блок расчета фактического значения действующего фазного тока двигателя;
- элемент сравнения допустимого максимального и фактического значения действующего фазного тока двигателя и регулятор ограничения тока ;
- блок компенсации скольжения;
- блок коррекции управления напряжением инвертора в функции фактического значения напряжения звена постоянного тока U_d преобразователя.

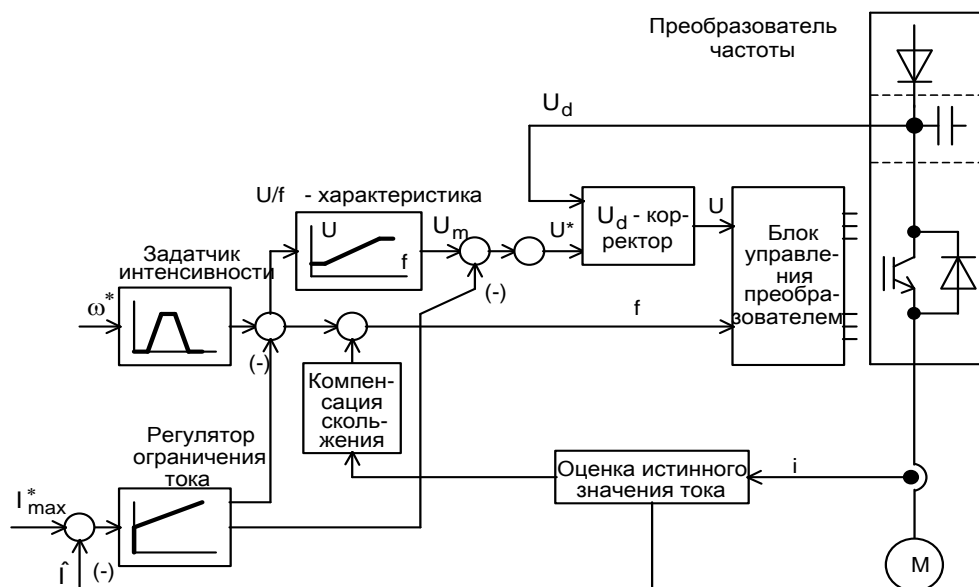


Рисунок 10 – Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением без датчика скорости

В функциональной схеме асинхронного электропривода со скалярным управлением используются следующие варианты реализации моделей:

- Имитационная модель датчика скорости с S – образной характеристикой: временная характеристика рисунок 11, имитационная модель рисунок 12.

- Имитационная модель электрической части силового канала электропривода системы преобразователя частоты синхронного электродвигателя рисунок 13.

- Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователя частоты рисунок 14;

- Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат рисунок 15;

- имитационная модель блока одномассовой механической системы рисунок 16;

- модель задание на силовой канал системы преобразователя частоты асинхронного электродвигателя рисунок 17.

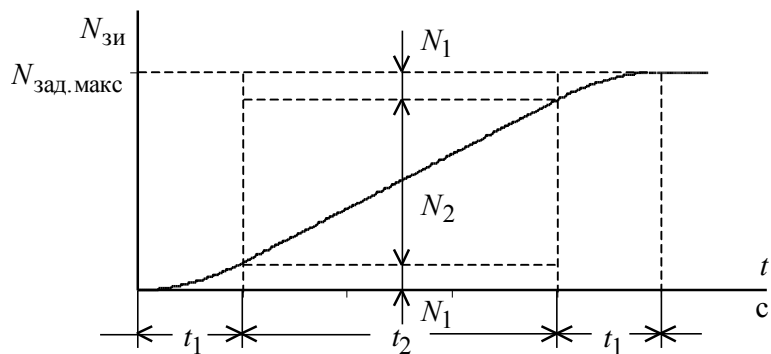


Рисунок 11 - Задатчик скорости с S – образной характеристикой, временная характеристика

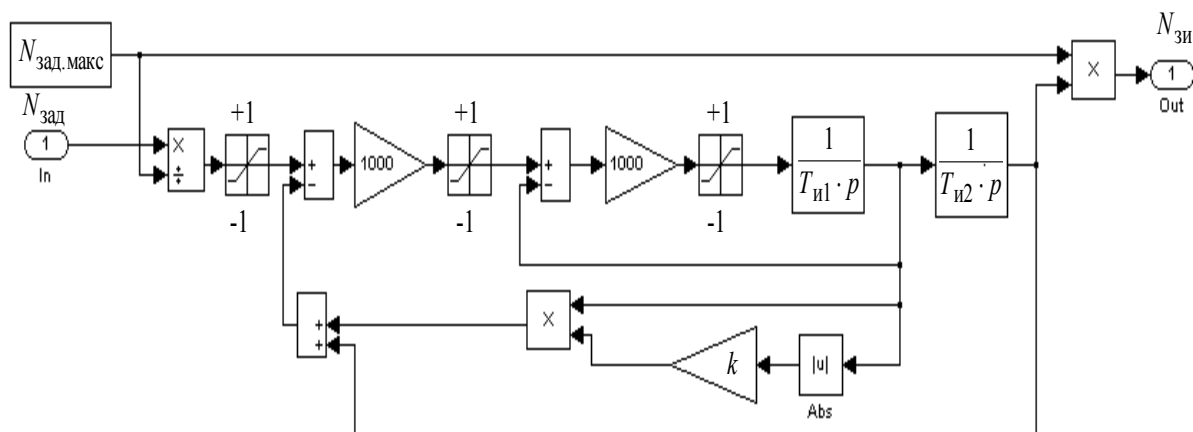


Рисунок 12 - Имитационная модель задатчика скорости с S – образной характеристикой

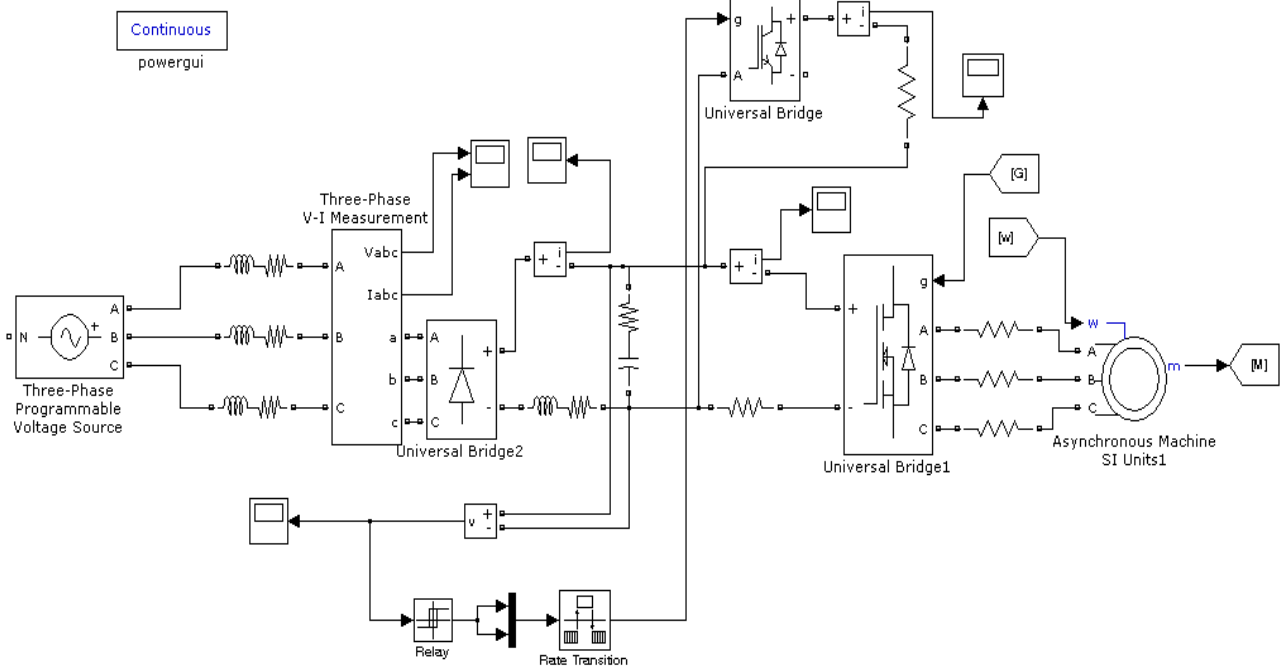


Рисунок 13 – Имитационная модель электрической части силового канала электропривода

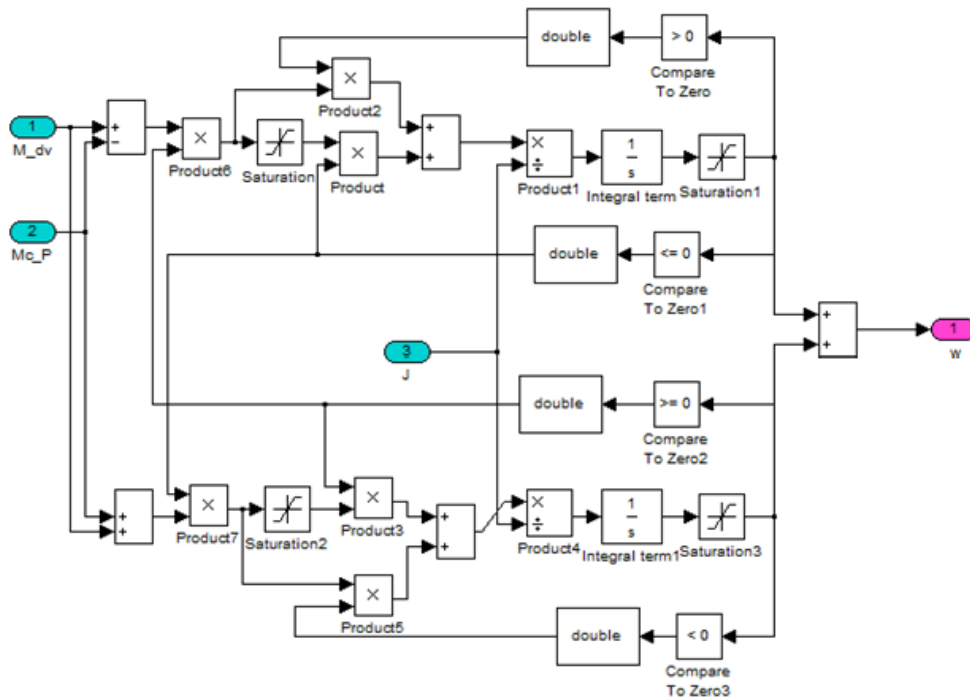


Рисунок 14 – Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с нагрузкой.

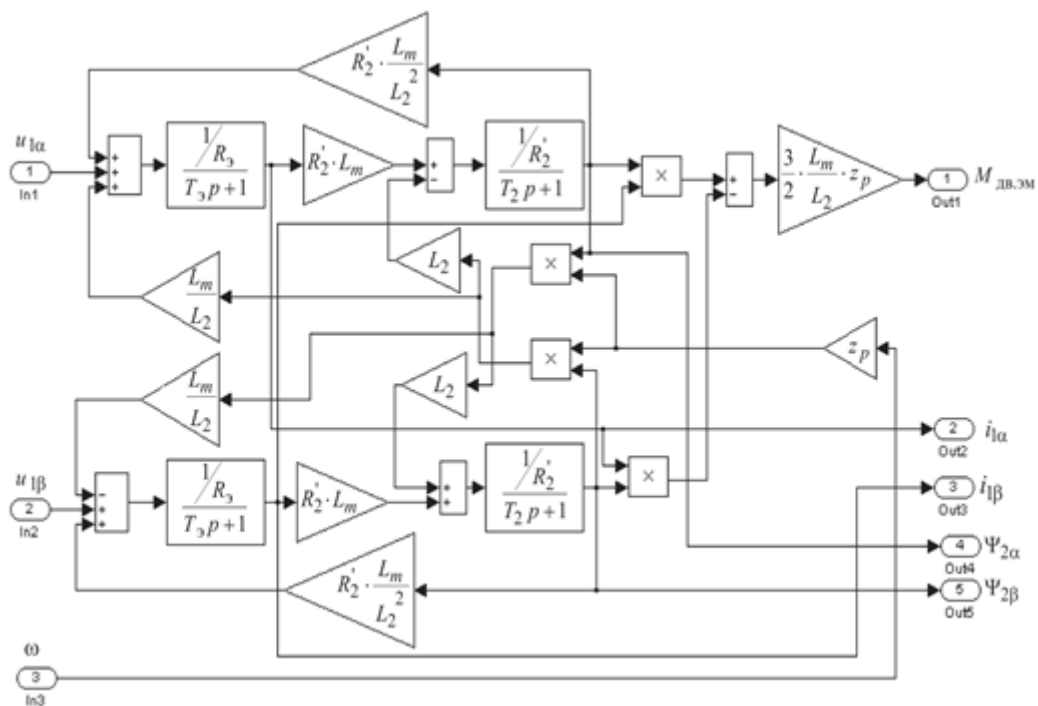


Рисунок 15 – Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат

Одномассовая механическая система.

Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера, используемая при моделировании систем электропривода, представлена на рисунок 16.

На схеме рисунка 16 приняты следующие дополнительные обозначения :

$M_{эм}$ – электромагнитный момент двигателя, $H \cdot м$;

$M_{ср}$ – приведенный к валу двигателя статический момент реактивного характера, $H \cdot м$;

$J_э$ – приведенный к валу двигателя эквивалентный момент инерции движущихся масс, $кг \cdot м^2$;

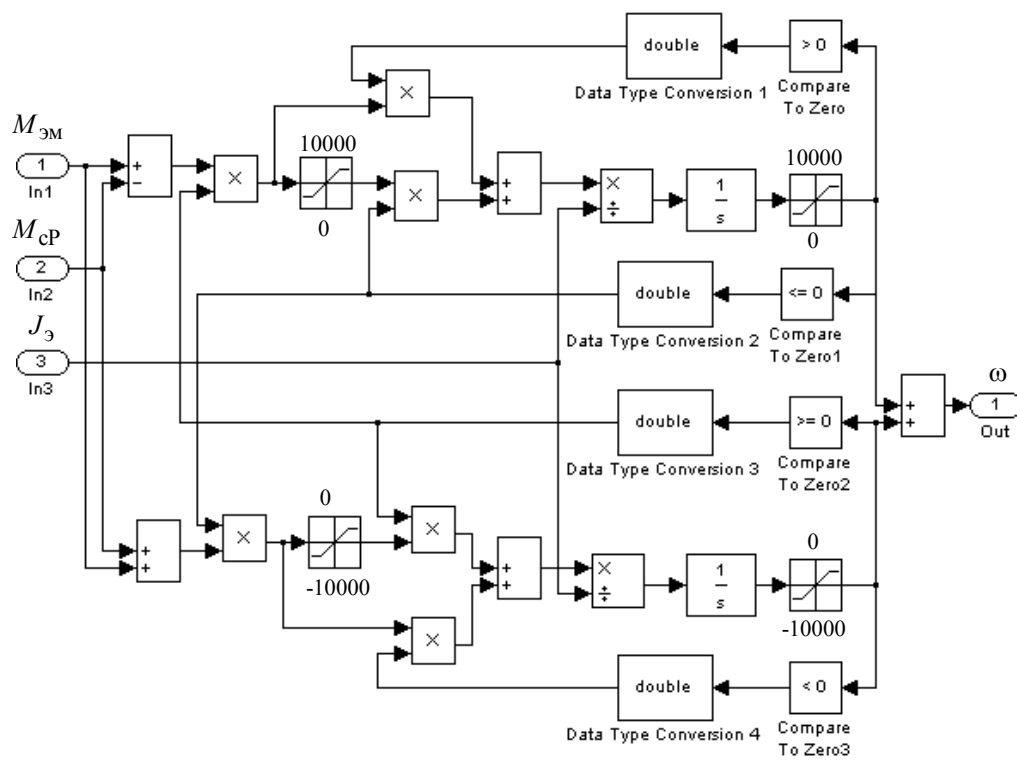


Рисунок 16 – Имитационная модель блока одномассовой механической системы

4.2 ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КРАНА СО СКАЛЯРНОМ УПРАВЛЕНИЕМ

4.2.1 ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Работа электропривода крана исследуется в режиме:

Плавный пуск – разгон до частоты 10Гц – выход(разгон) на максимальную скорость – снижение частоты до 10Гц - торможение и останов.

Модели частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана при скалярном управлении.

В данной работе рассматривается модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана со скалярным управлением с коррекцией вольт-частотной характеристики;

Библиотека моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана при скалярном управлении.

REP_AD_KranKI_scal.mdl – модель асинхронного электропривода крана с частотным скалярным управлением на базе модели электрической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель из пакета Simulink системы MATLAB, с датчиками токов i_{1a}

, i_{1b} , коррекцией вольт-частотной характеристики $\frac{U_1}{f_1} = const$

Схемы набора имитационных моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана при скалярном управлении приведены в приложении.

4.2.2 ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОСТОВОГО КРАНА

Параметры двигателя, принятые при расчете:

$$\eta_{0.75} = 0.81 \quad , \quad \cos \phi_{0.75} = 0.72 \quad ; \quad \beta = 1.$$

Расчетные параметры асинхронного электродвигателя:

$$R_1 = 0,513 \text{ Ом},$$

$$L_{1\sigma} = 4.509 \cdot 10^{-4} \text{ Гн},$$

$$R_2' = 0,472 \text{ Ом},$$

$$L_{2\sigma}' = 5.96 \cdot 10^{-4} \text{ Гн},$$

$$L_m = 0,03528 \text{ Гн},$$

$$z_p = 3,$$

$$\omega_H = 97.389 \text{ рад/с},$$

$$I_H = 35.972 \text{ А},$$

$$M_H = 154.021 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Параметры элементов силового канала электропривода

Выбираем параметры сетевого трансформатора или реактора в соответствии с таблицей № 5 для расчетного значения номинального тока обмотки фазы

$$I_{\text{рфн}} = I_{1\text{фн}} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{фн}}}{U_c} = 35.972 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 220}{420} = 32.032 \text{ А}.$$

Таблица № 5

$I_{\text{рфн}}$, А	1	2	4	8	1	2	4	6	8
L_p , мГн	3	2	1	0	0	0	0	0	0
R_p , мОм	4	2	1	0	1	7	3	2	1
$I_{\text{дн}}$, А	1	2	4	8	2	3	4	8	1
	5	5	0	00	00	20	00	00	

Принимаем: $R_p = 0,3 \text{ Ом}$, $L_p = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$.

Принимаем: $C = 200 \cdot 5 \cdot 10^{-6}$ из условия

$C \approx (100 \div 300) \cdot P_n$, мкФ, где P_n – номинальная мощность двигателя, кВт.

Параметры механической системы электропривода мостового крана :

Коэффициент передачи

$$K_{пер} = 10,268 \cdot 10^{-3}$$

Эквивалентный минимальный момент индукции

$$J_{эмин} = 2,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Эквивалентный момент инерции максимальный

$$J_{эмакс} = 3,68 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

Момент сопротивления на валу двигателя

$$M_{с.дв.} = M_{эм} - M_{дв.н.} = 22,809 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Статические моменты:

– при передвижении с минимальным грузом

$$M_{смин} = 92,413 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– при передвижении с максимальным грузом

$$M_{смакс} = 123,217 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– при изменении момента нгрузки

$$\Delta M_c = 30,804 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Коэффициент изменения момента инерции

$$K_j = \frac{J_{эмакс} - J_{эмин}}{\Delta M_c} = \frac{3,68 - 2,9}{30,804} = 0,025$$

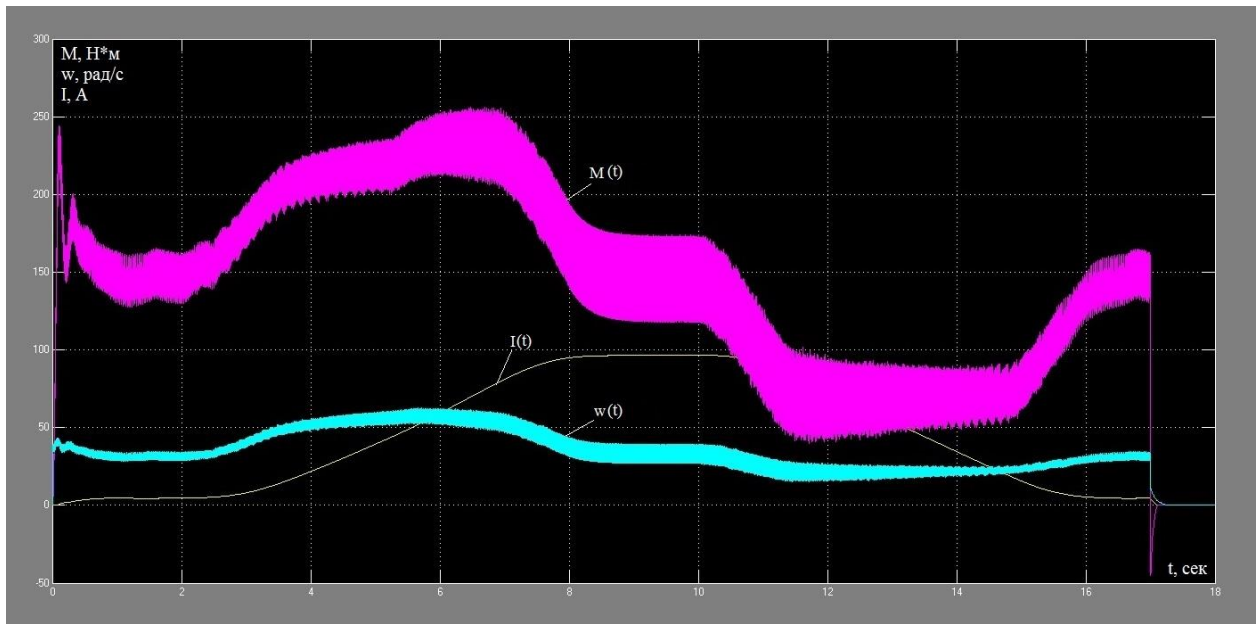


Рисунок 18 – Переходные процессы в электроприводе со скалярным управлением при передвижение тележкой массой 20 тонн, $N_{зад}=(50-5)*1$

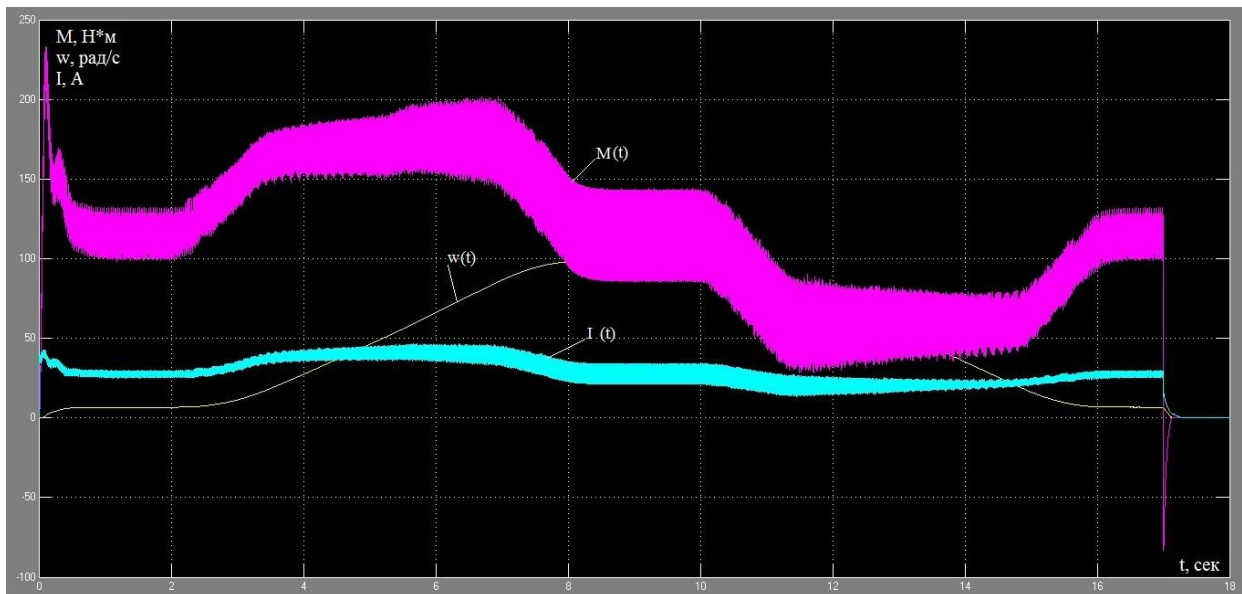


Рисунок 19 – Переходные процессы в электроприводе со скалярным управлением при работе крана без тележки, $N_{зад}=(50-5)*1$

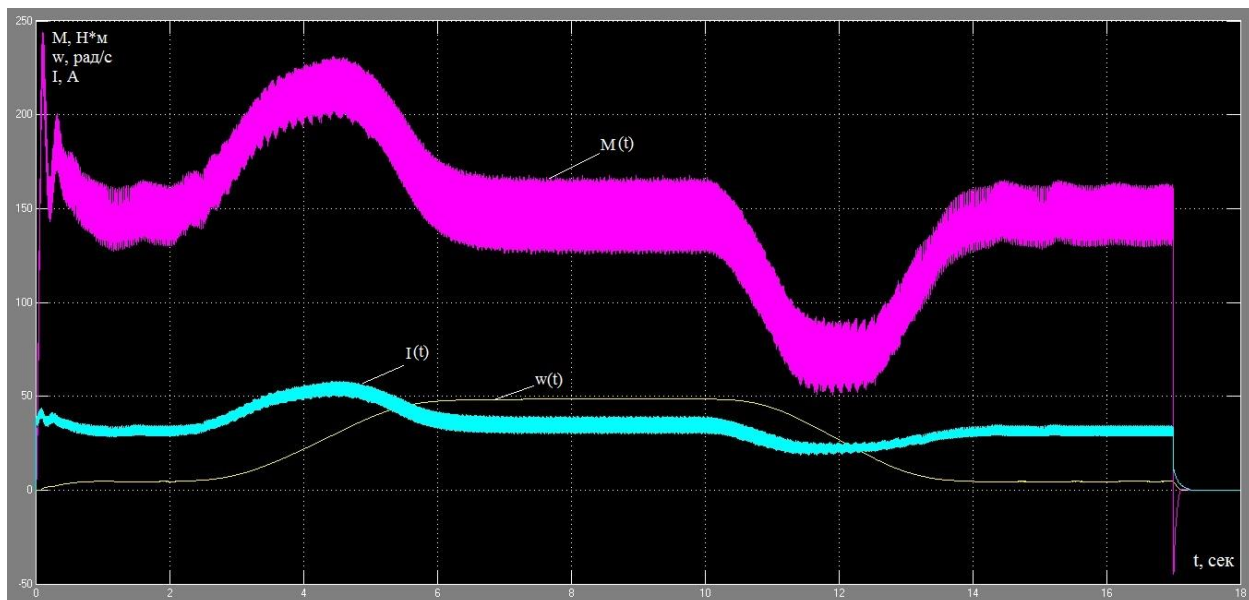


Рисунок 20 – Переходные процессы в электроприводе со скалярным управлением при передвижение тележкой массой 20 тонн, $N_{зад}=(50-5)*0.5$

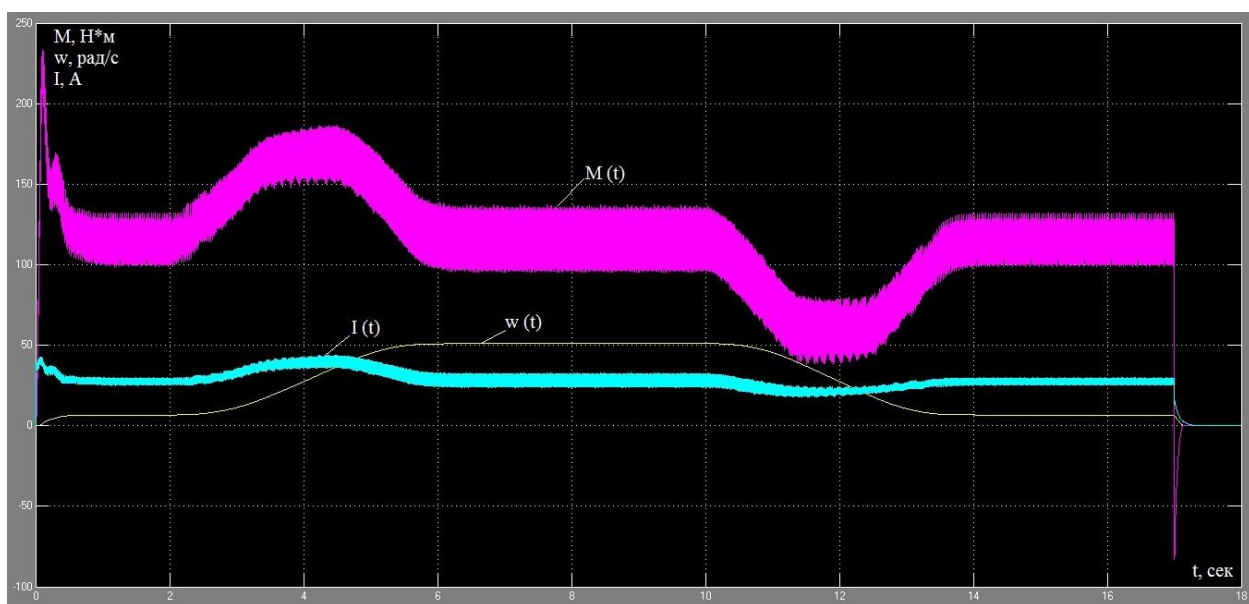


Рисунок 21 – Переходные процессы в электроприводе со скалярным управлением при работе крана без тележки, $N_{зад}=(50-5)*0.5$

По результатам исследования были получены характеристики:

Если электроприводу подать задание на отработку определенного цикла технологического процесса, то это значит, что в пуско- тормозных режимах электропривода будет ограничивать значения динамического момента и тока двигателя, а при *S*-образной выходной характеристики задатчика – дополнительно и скорость их наименьшая. Однако, фактическое значение момента на валу двигателя и тока двигателя будут зависеть еще и от величины статического момента и характера нагрузки, а также от конкретного вида пуска- тормозного режима.

В рассмотренном электроприводе механизмов, для которых кратковременные большие перегрузки и стопорения двигателя являются рабочими режимами необходимо не только ограничивать величину тока и момента, но и поддерживать допустимые значения момента на валу двигателя в течении всего времени перегрузки. Большие кратковременные перегрузки вызывают провал скорости двигателя и затем восстановление её после исчезновения перегрузки. Процессы торможения и разгона двигателя в этом случае уже не управляются от задатчика скорости и могут сопровождаться большими бросками тока и момента двигателя, если их величину не ограничивать.

Вывод к разделу:

Скалярное управление одно из простейших вариантов реализации частотного – регулируемого асинхронного электропривода, имеющие не высокие качественные показатели: небольшой диапазон регулирования скорости, большая погрешности скорости и малое быстродействие, что обусловлено необходимостью применения задатчика интенсивности скорости.

Приведенные простейшие электроприводы со скалярным управлением во многих случаях полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к электроприводу производственного механизма. Они широко применяются для решения задач регулирования скорости механизмов во вновь проектируемом технологическом оборудовании скорость механизмов во вновь проектируемом технологическом оборудовании, а так же в качестве замены нерегулируемого электропривода переменного тока и регулируемого электропривода постоянного тока с обратными связями по напряжению и ЭДС двигателя. Сильные пульсации в момент пуска и момент торможения и на средней частоте вращения предотвратить практически не возможно даже благодаря скалярному управлению.

На рисунках 18-21 можно заметить значительные пульсации тока, момента и особенно скорости, что не позволяет говорить о плавных характеристиках процесса.

По этому для крана оставляем скалярное управление.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А1	Саттаров Амир Раисович

Институт	Ишэ	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчисления.
2. Стоимость оборудования
3. Затраты на реализацию технического проекта

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности реализации ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
2. Планирование и формирование графика работ по реализации ТП;
3. Формирование сметы ТП;

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. График выполнения работ исполнителями ТП (диаграмма Ганта)
2. Матрица SWOT - анализа

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Саттаров Амир Раисович		

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является обоснование целесообразности использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- планирование и формирование графика работ на реализацию технического проекта;
- определение сметы инженерного проекта;
- определение ресурсосберегающей эффективности технического проекта.

оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта определяем с помощью SWOT-анализа;

- планирование технико-конструкторских работ;
- планирование пуско-наладочных работ;
- определение ресурсосбережения проекта.

SWOT-анализ технического проекта

SWOT -анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Применительно к проекту по разработке главный электропривода мостового крана, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

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. На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах. Сторонами проекта являются надежность крана, обеспечение бесперебойной работы и повышение безопасности производства, крана мостового может повлечь за собой нарушение сложного технологического процесса. Кроме того, большая экономия потребляемой электроэнергии и дополнительное резервное мостового крана установки показывают перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 5.1 - Матрица SWOT

<p>Возможности:</p> <p>В1. Экономия производительности энергоблоков.</p> <p>В2. Уменьшение себестоимости путем внедрения новых технологий.</p> <p>В3. Дополнительное резервное питание.</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных систем.</p>	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Надежность обеспечения бесперебойной работы.</p> <p>С2. Большая экономия потребляемой эл.энергии.</p> <p>С3. Квалифицированный персонал.</p> <p>С4. Повышение безопасности производства</p> <p>С5. Небольшие затраты на ремонт оборудования</p> <p>В1 - С1,С2,С3,С4;</p> <p>В2 - С1,С2,С4,С5;</p> <p>В3 - С1,С4,С5;</p> <p>В4 - С1,С2,С5;</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Значительный уровень шума и вибрация при работе.</p> <p>Сл2. Высокая стоимость оборудования.</p> <p>Сл3. Большой срок поставки оборудования и комплектующих.</p> <p>В1 - Сл2;</p> <p>В2 - Сл1;</p> <p>В4 - Сл2;</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Исчезновение питания мостового крана.</p> <p>У2. Негативные изменения в отношениях с поставщиками.</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p> <p>У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства</p>	<p>У1 - С1,С3;</p> <p>У2 - С5;</p> <p>У3 - С1;</p> <p>У4 - С3;</p>	<p>У1 - Сл3;</p> <p>У2 - Сл2;</p> <p>У4 - Сл2;</p>

Таблица 5.2– Интерактивная матрица возможностей

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

Таблица 5.3– Интерактивная матрица угроз

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

5.1 РАЗРАБОТКА ГРАФИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА

Важной частью данного проекта является составление графика проведения работ технического проекта, который предназначен для распределения обязанностей по выполнению работ и определения временных рамок производимой работы.

Весь комплекс работ разбивается на этапы. Для его осуществления формируется группа из 4-х человек в следующем составе:

1. Научный руководитель;
2. Бакалавр - проектировщик;
3. Инженер - электроник;
4. Инженер - электромонтер.

Чтобы осуществить следующие технические работы мостового крана.

№ 1 – составление технического задания (ТЗ) – включает изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – сбор исходных данных – мостового крана;

№ 4 – подготовка данных, ввод нагрузок в спец. программу ЭВМ

№ 5 – расчет на ЭВМ нагрузка крана(Math Cad, Matlab Simulink);

№ 6 – выбор оборудования – выбор элементов электропривода;

№ 7 – расчет элементов электропривода, построение механических и электромеханических характеристик;

№ 8 – проверка правильности выбора оборудования;

№ 9 – настройка совместной работы оборудования и программного обеспечения, подготовительные работы;

9.1 – Наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний технологического оборудования;

9.2 – Наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования;

9.3 – Комплексное опробование;

№ 10 – оформление пояснительной записки и сдача проекта- включает в себя окончательную проверку руководителем устранение недочетов дипломником подготовка, оформление доклада и слайдов.

№ 11 – защита проекта.

Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$

где используется следующая формула:

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

- минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;
- максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -

ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Результаты приведены в таблице

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта.

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

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 11 декад, начиная с последней декады февраля и заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Продолжительность выполнения технического проекта составит 92 рабочих дня. Из них:

30 дней - продолжительность ПНР

91 день – продолжительность выполнения работ дипломником;

5 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

По результатам расчетов строится диаграмма Ганта, приведенная в таблице

5.2 СОСТАВЛЕНИЕ СМЕТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА

При планировании сметы технического проекта должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы проекта используется группировка затрат по следующим статьям:

- затраты на спец.оборудование ;
- полная заработная плата исполнителей разработки проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Материальные затраты (соединительные провода, шлейфы и т.д.)

в данном техническом проекте не рассчитываются, так как они укомплектованы вместе с оборудованием.

Стоимость спец. оборудование для запуска глубинного насоса приведена в таблице 5.4

Таблица 5.4. Стоимость оборудования технических средств

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, тыс.руб.
Электродвигатель МКTF-112-6	1	228
Микроконтроллер SIMATIC	1	478
Комплектующие		25
Датчики (тока, напряжения, ЭДС)	1	5
Итого		736

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{OB} = C \cdot k_{Tr}$$

где: C_{OB} - первоначальная стоимость оборудования

C - цена оборудование

k_{Tr} - коэффициент учитывавшее транспортные расходы Принимаем $k = 1,2$

$$C_{OB} = 736 \cdot 1,2 = 880 \text{ тыс. руб.}$$

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) рассчитывается по следующей формуле:

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

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; $Z_{\text{дн}}$

– среднедневная заработная плата работника, руб.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{допл}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}},$$

где

$Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по окладу, руб.;

$Z_{\text{допл}}$ – доплаты и надбавки (коэффициент премии), руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб.;

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 Расчёт основной заработной платы исполнителей

Работники	Оклад руб.	Доплаты и надбавки, руб.	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная , руб	Средняя - дневная заработ ная плата руб.	Продолжи - тельность работ, раб. дн.	Основна я заработн а я плата, руб.
Руководител ь	23264	2200	7639	33103	1273	5	6360
Инженер – электронщи к	20000	10000	9000	39000	1772	30	53160
Инженер- электромонт ер	17800	8900	8010	34710	1577	30	47310
Дипломник	7864	–	2359	10223	393	91	35760

Итого $Z_{осн}$, руб.								141320
---------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--------

Расчет дополнительной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы

Расчет полной заработной платы приведен в таблице

Таблица 5.6 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительно й заработной платы	Основная заработная плата, руб.	Дополнительн ая заработная плата, руб.	Полная заработной плата, руб.
Руководитель	0,15	5090	760	7300
Инженер - электронщик	0,12	53160	6340	59500
Инженер - электромонтер	0,12	47310	5690	53000
Дипломник	0,12	35760	4240	40000
Итого		141320	17000	159800

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье 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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (z_{\text{осн}} + z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

$k_{\text{внеб}} = 30,2\%$ в условиях ТПУ.

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование, амортизация оборудования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, и т.д.

Величину накладных расходов принимаем в размере 16% от общей суммы затрат.

5.3 ФОРМИРОВАНИЕ СМЕТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА

Рассчитанная выше величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 5.7

Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Спец. оборудование	880,0	68,0
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	146,6	12,0
3. Отчисления во внебюджетные фонды	44,6	4,0
4. Накладные расходы	204,2	16,0
Итого	1275,4	100,0

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 1275,4 тыс.руб.

5.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i –

весовой коэффициент разработки;

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

Сравнительная оценка характеристик ресурсоэффективности проекта приведена в таблице

Помехоустойчивость линии — способность линии уменьшать уровень помех, создаваемых во внешней среде и на внутренних проводниках. Эта способность целиком и полностью зависит от характеристик используемой физической среды

Удобство мостового крана - это возможностей для лёгкого управления влево в право для поднятия тяжелых грузов.

Таблица 5.8 – Результаты сравнительной оценки ресурсоэффективности

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Надежность	0,25	5
2. Энергосбережение	0,25	5
3. Материалоемкость	0,15	4
4. Помехоустойчивость	0,10	5
5. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4
6. Способствует росту	0,10	5

производительности труда пользователя		
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,10 = 4,7$$

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

В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие выводы:

- произведен SWOT анализ, который показывает о перспективности проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.
- составлена ленточная диаграмма, позволяющий оптимально скоординировать работу исполнителей.
- рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которые составили 1275,0 тыс.руб.

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию электропривода передвижение тележки мостового крана рекомендуется мной рассмотреть следующие критерии:

Надежность - Мостовой кран в целом представляет собой систему, которая состоит из невосстанавливаемых и восстанавливаемых элементов. Первые, в случае отказа, не могут быть восстановлены в процессе эксплуатации (например, подшипник качения), вторые — после отказа могут быть восстановлены и вновь введены в эксплуатацию (например, тормозные колодки, зубчатые полумуфты). Теория надежности устанавливает четыре состояния, в котором может находиться кран: неисправное, исправное, работоспособное и неработоспособное. В исправном состоянии кран выполняет свои рабочие функции, а также вспомогательные функции

(например, обеспечивается удобство ремонта), имеет хороший внешний вид. В работоспособном состоянии кран может выполнять только свои

рабочие функции и иметь незначительные повреждения (обшивки кабины, лакокрасочного покрытия).

Энергосбережение - это экономия электрической энергии.

Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей. Материалоёмкость один из основных показателей экономической эффективности общественного производства. характеризует удельный (приходящийся на единицу продукции) расход материальных ресурсов (основных и вспомогательных материалов, топлива, энергии, амортизации основных фондов) на изготовление продукции. может измеряться в стоимостном и натуральном выражении. Показатель используется при анализе производственно-хозяйственной деятельности промышленных предприятий, в частности себестоимости продукции, при сравнительном анализе удельных затрат в различных отраслях промышленности, а также при укрупнённых методах планирования материально-технических ресурсов, установления оптовых цен на новую продукцию и тому подобному.

Производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, осуществляется в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Саттарову Амиру Раисовичу

Институт	Ишэ	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Электропривод механизма передвижения тележки крана КМ20/5, применяемого для выполнения крановщиком погрузочно-разгрузочных работ, монтажа, демонтажа и ремонта оборудования, перемещения грузов.</p>
---	---

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 в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Аномальные микроклиматические параметры 2. Повышенный уровень вибрации 3. Повышенный уровень шума 4. Недостаток необходимого освещения <ul style="list-style-type: none"> 1. Движущиеся машины и механизмы 2. Поражение электрическим током 3. Падение с высоты 4. Пожароопасность
--	---

<ul style="list-style-type: none"> – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Загрязнение окружающей среды смазочными материалами. По истечению срока службы проведение мероприятий по утилизации.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>1. Аварии, связанные с поломкой крана 2. Пожар</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Возрастное ограничение, требования к образованию. Специальные нормы, предусмотренные спецификой выполняемых работ. Эргономика кабины крана и ее оснащение.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Саттаров Амир Раисович		

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.

Введение.

Ранее в предыдущем разделе ВКР был произведен расчет электропривод механизма передвижения тележки крана КМ20/5.

Данный раздел ВКР посвящен выполнению анализа и разработке мер по обеспечению благоприятных условий труда при ее выполнении. Произведен анализ вредных факторов таких как: шумообразование в кабине крановщика; монотонность трудового процесса, зрительное напряжение, нервно-эмоциональные перегрузки, механические опасности, такие как вращающиеся детали, работа на большой высоте.

6.1. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

1.1. Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования

Аномальные микроклиматические параметры

Рабочее место крановщика – кабина крана, являющаяся ограниченным рабочим пространством. При проведении работ происходит выделение диоксида углерода, паров влаги и тепла от работника. Также следует учесть условия солнечной инсоляции, которые в летнее время года приводят к избыточному теплу, особенно в летнее время года, а при проведении работ в зимнее время, напротив, возможен недостаток тепла.

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в кабине управления должны соответствовать для категорий работ средней тяжести Па и Пб значениям, указанным в табл.1.[ГОСТ 12.2.130-91]

Таблица 1

Сезон года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Теплый период	Не выше +31	25-75	0,2-0,7
Холодный и переходный периоды	От +15 до +23	25-75	0,3-0,4

Примечание. Вертикальный и горизонтальный перепад температур не должен превышать 4 °С.

В районах с повышенной относительной влажностью наружного воздуха допускается для теплого периода года относительная влажность в кабине на 10% выше установленной в табл.1. Температура металлических поверхностей стен внутри кабины на высоте не более 0,5 м не должна превышать 35 °С.

Отклонение условий микроклимата может привести к резкому снижению работоспособности и даже к профессиональным заболеваниям.

Перегрев. При температуре воздуха более 30 °С и значительном тепловом излучении от нагретых поверхностей наступает нарушение терморегуляции организма, что может привести к перегреву организма, особенно если потеря пота в смену приближается к 5 л. Наблюдается нарастающая слабость, головная боль, шум в ушах, искажение цветного восприятия, тошнота, рвота, повышается температура тела. Дыхание и пульс учащаются, артериальное давление вначале возрастает, затем падает. В тяжелых случаях наступает тепловой, а при работе на открытом воздухе — солнечный удар. Возможна судорожная болезнь, являющаяся следствием нарушения водно-солевого баланса и характеризующаяся слабостью, головной болью, резкими судорогами.

Охлаждение. Длительное и сильное воздействие низких температур может вызвать различные неблагоприятные изменения в организме человека. Местное и общее охлаждение организма является причиной многих заболеваний: миозитов, невритов, радикулитов и др., а также простудных заболеваний. В особо тяжелых случаях воздействие низких температур может привести к обморожениям и даже смерти.

Повышенная влажность воздуха (более 75...85%) в сочетании с низкими температурами оказывает значительное охлаждающее действие, а в сочетании с высокими — способствует перегреванию организма. Относительная влажность менее 25% также неблагоприятна для человека, так как приводит к высыханию слизистых оболочек и снижению защитной деятельности мерцательного эпителия верхних дыхательных путей.

Для обеспечения допустимых параметров микроклимата необходимо использование вентиляции и отопления. Вентиляция в кабине крановщика применяется, как правило, приточно - вытяжная с использованием осевого вентилятора. Отопление осуществляется с помощью электрических нагревательных приборов. В новейших разработках получила применение система кондиционирования воздуха.

Повышенный уровень вибрации

Источником вибрации при работе кранов является электропривод кранового механизма и передаточные устройства.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека: повышение утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений, что ведет к снижению работоспособности и производительности труда, соответственно, а также происходит развитие нервных заболеваний, нарушение функций сердечно-сосудистой системы,

нарушение функций опорно-двигательного аппарата, поражение мышечных тканей и суставов,

нарушение функций органов внутренней секреции, что влечет за собой возникновение вибрационной болезни.

Допустимые скорректированные значения виброускорения не должны превышать значений, приведенных в табл.2 [ГОСТ 12.1.012].

Таблица 2

Вид вибрации	Допустимые скорректированные значения виброускорения, м/с
Общая категория: на сиденье машиниста в направлении*	0,27
Локальная: на рукоятках управления в направлении движения руки	2,0

* Технически достижимая вибрационная характеристика должна быть не более 0,54 м/с .

К мероприятиям по защите от вредного воздействия вибрации относят установку демпфированных подвесок кабин управления или кресла крановщика.

Повышенный уровень шума

В кабине крановщика преобладает шум механического происхождения, возникающий в результате работы механизма крана, а так же бульдозерами и тягачами, которые используются при проведении погрузочно-разгрузочных, монтажных и прочих работ.

Воздействие шума является причиной повышенной утомляемости, потери слуха, снижения производительности труда.

Уровень звука, излучаемый экскаватором в окружающую среду в контрольной точке и на рабочем месте, не должен превышать 80 дБА по ГОСТ 12.1.003.

Недостаток необходимого освещения

Недостаточная освещенность рабочей зоны может вызвать ослепленность или привести к быстрому утомлению и снижению работоспособности и существенному повышению риска травматизма.

Освещенность в люках на постоянном рабочем месте и поверхности забоя при всех включенных осветительных приборах должна соответствовать следующим значениям [ГОСТ 12.2.130-91]:

пульт управления при работе экскаватора	20
стол для записей (для шагающих экскаваторов)	150
зона объекта различения	75
зона под стрелой в крайней точке черпания	10

Для соблюдения требуемых норм освещенности целесообразно применение дополнительных источников освещения.

6.2. АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ, КОТОРЫЕ МОГУТ ВОЗНИКНУТЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Движущиеся машины и механизмы

Основными видами опасности, воздействующими на крановщика, являются:

-Механические виды опасности, связанные с подъемными операциями грузоподъемными кранами и машинами, грузозахватными приспособлениями, тарой и люльками;

-Опасность, вызванная поступательным движением машины, грузовых тележек: движение во время запуска двигателя; движение при отсутствии машиниста на своем месте; движение при отсутствии надежного закрепления всех составных частей, деталей; чрезмерно высокая скорость крана, машины, грузовой тележки, управляемых с пола; слишком высокие колебания крана

(груза) при движении; недостаточная способность крана или машины к замедлению, выключению, остановке и удержанию.

Для защиты персонала необходимо, чтобы движущиеся части были закрыты кожухами, а так же исправное состояние тормозов и правильная регулировка подвижных механизмов, обеспечением которых выступает соблюдение графиков ТО и своевременное проведение ремонтных работ механизмов.

Поражение электрическим током

Применяемое в производственном процессе электрооборудование напрямую влечет за собой возможность поражения электрическим током, последствия которого могут быть в виде ожогов участков кожи тела, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон, электролиза крови, и как следствие, нарушения нормального функционирования организма, а также опасного возбуждения клеток и тканей организма, в результате чего они могут погибнуть.

Крановщик должен быть обеспечен защитными средствами: изоляционными перчатками, изоляционными галошами и ковриками, а также строго следовать инструкции электробезопасности.

Падение с высоты

Возможность возникновения несчастных случаев, связанных с падением с высоты при проведении ремонтных работ, обслуживающих мероприятий крана напрямую связана с нарушением техники безопасности, инструктажей работником.

Так техническое обслуживание, осмотр, регулировка и ремонт частей крана, расположенных на высоте более 4,0 м, разрешается выполнять только при наличии у крановщика предохранительного пояса или при условии, что он находится внутри металлоконструкций и опирается на лестницу.

Пожароопасность

Подробно рассмотрено в п. 3.

2. Экологическая безопасность.

В процессе эксплуатации крана возможно загрязнение окружающей среды смазочными материалами.

Для того чтобы исключить или минимизировать требуется, во-первых, проводить своевременные регламентные работы по техническому обслуживанию и ремонту кранов.

Во-вторых, оперативно, квалифицированно и своевременно ликвидировать источники загрязнения при их возникновении.

Что касается электроприводов, то они рассчитаны на длительный срок службы, по истечении которого должны быть утилизированы.

Утилизируемые электроприводы демонтируются, разбираются и сортируются по различным материалам: отходы электронных деталей, черные и цветные металлы, смазочные материалы.

При утилизации должны соблюдаться следующие правила:

-отсортированные материалы устраниются через упорядоченную систему утилизации, с соблюдением местных правил;

-при утилизации должны быть выдержаны нормы охраны окружающей среды;

-смазочные материалы представляют опасность загрязнения водных ресурсов, поэтому не должны попасть в окружающую среду.

6.3. БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.

При эксплуатации крана возможны различные аварийные ситуации, связанные с поломкой и выходом из строя: спадания канатов с барабана или блоков, образовании на канатах петель или обнаружения повреждения канатов, неисправности приборов и устройств безопасности. В случае их возникновения крановщик обязан прекратить работу и сообщить ремонтной службе.

Наиболее опасной для жизни и здоровья работника является ЧС в виде пожара. Причинами тому может стать халатное отношение работника к технике пожарной безопасности, использование недопустимого оборудования, не соблюдение графика проведения ремонтных и обслуживающих транспортное средство работ, наличие работающего электрооборудования, которое также необходимо обслуживать и эксплуатировать в исправном состоянии.

При возникновении на кране пожара, крановщик должен немедленно отключить рубильник в кабине, через наземных рабочих вызвать пожарную охрану и приступить к тушению пожара имеющимися на кране противопожарными средствами (порошковым огнетушителем, песком). После ликвидации пожара запрещается включать кран до проверки и разрешения ремонтного персонала.

6.4. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.

4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства.

До работ на кране допускаются только обученные и аттестованные крановщики не моложе 18 лет, имеющие образование не ниже 8 классов, годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования.

В соответствии со ст. 104 ТК РФ допускается введение суммированного учета рабочего времени с учетным периодом три месяца. В случае, если по причинам сезонного и (или) технологического характера, установленная продолжительность рабочего времени не может быть соблюдена в течение учетного периода продолжительностью три месяца, отраслевым (межотраслевым) соглашением и коллективным договором может быть предусмотрено увеличение учетного периода для учета рабочего времени таких работников, но не более чем до одного года. При этом

продолжительность рабочего времени за учетный период не может превышать нормального числа рабочих часов.

При проведении работ в зимнее, то согласно ст 109 ТК РФ крановщик имеет право на перерывы на обогрев, которые входят в рабочее время.

Согласно ст.117 ТК РФ крановщику предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в силу условий труда, минимальная продолжительность которого составляет 7 календарных дней.

Согласно ст. 329 ТК РФ работникам, труд которых непосредственно связан с управлением транспортными средствами или управлением движением транспортных средств, не разрешается работа по совместительству, непосредственно связанная с управлением транспортными средствами или управлением движением транспортных средств.

4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Для подъема на рабочее место машиниста на экскаваторе должна быть установлена безопасная лестница с высотой перил от поверхности ступени 850-950 мм.

Дверной проем должен иметь высоту не менее 1900 мм, ширину не менее 650 мм (для исполнения ХЛ - не менее 750 мм) с учетом уплотнения. Запорное устройство и уплотнение должны обеспечивать герметичность и безотказное открывание и закрывание двери.

Кресло должно создавать условия для поддержания корпуса человека в физиологически рациональном положении, в том числе за счет профилирования спинки и сиденья, а также обеспечивать условия для отдыха.

Кресло должно иметь следующие основные размеры, мм:

ширина поверхности сиденья, не менее	400
глубина поверхности сиденья	400-420
высота спинки, не менее	500

ширина опорной поверхности спинки, не менее	400
регулируемая высота поверхности сиденья от уровня установки ног	360-450
горизонтальное (продольное) регулирование, не менее	100
высота подлокотников, мм	200-240
ширина подлокотников, не менее, мм	50
длина подлокотников, мм	250-300

Кроме того кабина крановщика должна быть оборудована средствами или устройствами:

1) для предотвращения запотевания и обмерзания стекол при температуре наружного воздуха до минус 40 °С, по требованию заказчика для исполнения ХЛ по ГОСТ 15150 - до минус 55 °С;

2) для защиты глаз машиниста от прямых солнечных лучей (солнцезащитные козырьки, тонированные стекла и др.);

3) для очистки наружной поверхности лобового стекла от загрязнения и атмосферных осадков, обеспечивающими рациональные зоны очистки;

4) для установления, регулирования и поддержания комфортных микроклиматических условий;

5) для аварийного покидания кабины.

Остекление кабины должно быть устойчивым к механическому воздействию по ГОСТ 5727. Окна должны иметь форточки или частично открываться. Стекла по периметру должны иметь вибродемпфирующую прокладку.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был рассмотрен и рассчитан частотно–регулируемый электропривод механизма передвижения крана КМ20/5. На основе анализа требований, предъявляемых к электроприводу, выбран крановый электродвигатель, предназначенный для частотного регулирования, и преобразователь частоты, обеспечивающий требуемый набор функций управления. В качестве способа управления выбрано скалярное управление. В ходе работы рассчитаны и построены электромеханические и механические характеристики электропривода и нагрузки, на основании которых была проведена проверка правильности выбора двигателя и преобразователя.

Путем имитационного моделирования исследованы все основные режимы работы: пуск на минимальную и максимальную скорость, сброс и наброс нагрузки, останов. Также было произведено исследование работы электропривода с ограничением тока. Оно показало, что электропривод работоспособен при перегрузках. Таким образом, на основании полученных результатов проектирования можно сделать вывод, что спроектированный электропривод полностью отвечает условиям технического задания.

CONCLUSION

In this paper, the frequency-controlled electric drive of the movement mechanism for the crane KM20 / 5 was considered and calculated. Based on the analysis of the requirements for the electric drive, a crane motor intended for frequency regulation has been selected and a frequency converter providing the required set of control functions. As a control method, scalar control is chosen. In the course of work, the electromechanical and mechanical characteristics of the electric drive and the load were calculated and constructed, on the basis of which the correctness of the choice of the motor and the converter was checked.

By simulation all the main operating modes are investigated: start-up to minimum and maximum speed, reset and load draft, stop. A study was also made of the operation of an electric drive with current limitation. It showed that the electric drive is functional at overloads. Thus, based on the obtained design results, it can be concluded that the designed electric drive fully meets the conditions of the technical assignment.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ласточкин В.М., Машин А. Е. Реализация энергосберегающих технологий в крановых электроприводах // Поъемно-транспортное оборудование.
- 2 Макаров А. А. Двигатели новой серии для частотно–регулируемого электропривода кранов // Электричество. – 2005. – №5.
- 3 Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристик электроприводов переменного тока. Ч. 1. Асинхронный электродвигатель: Учебное пособие. – Томск: Изд–во ТПУ, 2005. – 136 с.
- 4 Удут Л.О, Мальцева О.П. Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч 6. Механическая система электропривода. – издание 2–е переработанное и дополненное – Томск: Изд–во ТПУ, 2007. – 148 с
- 5 Удут Л.О, Мальцева О.П. Кояин Н.В. Системы управления электроприводов: Учебное пособие. – Томск: Изд–во ТПУ, 2007. – 152 с.
- 6 Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 4 Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 164 с.
- 7 Системы управления электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152 с.
- 8 Ласточкин В.М., Шамрай Ф.А. Методика по силовому расчету частотно–регулируемых электроприводов крановых механизмов. – техническая коллекция Schneider Electric, 2007 г., 19 с.

9. Алиев И. И. Электротехнический справочник. – М.: ИП РадиоСофт, 2000. – 384 с.
10. ГОСТ 12.2.130-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Экскаваторы одноковшовые. Общие требования безопасности и эргономики к рабочему месту машиниста и методы их контроля
11. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
12. ГОСТ 21753-76 Система "человек-машина". Рычаги управления. Общие эргономические требования (с Изменением N 1)
13. ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования
14. ГОСТ 5727-88 Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3)
15. ГОСТ 12.1.005-88 ОБЩИЕ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУХУ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ
16. ГОСТ 12.1.003-83 ШУМ. Общие требования безопасности
17. ГОСТ 12.1.012-90 ВИБРАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. Общие требования
18. ГОСТ 12.1.046-85 СТРОИТЕЛЬСТВО. НОРМЫ ОСВЕЩЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК