

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод переменного тока механизма передвижения крана

УДК 621.873.2/.3-83

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Джураев Сарвар Сабиралиевич		

Руководитель

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

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук И.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. зав. кафедрой- руководителя
ОЭЭ ИШЭ

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студент:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Джураеву Сарвару Сабиралиевичу

Тема работы:

Электропривод переменного тока механизма передвижения крана	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№58-27/с от 27.02.2020г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик; безопасность и экологичность проекта; экономическая часть; заключение.
Перечень графического материала	Функциональная схема и имитационная модель электропривода Динамические характеристики электропривода

	Статические характеристики электродвигателя и электропривода Технико-экономические показатели
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
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	20.03.2020г..
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	к.т.н.		20.03.2020г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Джураев Сарвар Сабиралиевич		20.03.2020г.

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.05.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
18.05.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 99 с., 21 рисунка, 29 таблиц, одно приложение, 17 используемых источников.

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 имитационного моделирования.

процессе деятельность был разработан электропривод, удовлетворяющий требованиям 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 передвижения 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.....	11
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	14
1.1 ОПИСАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	14
1.2. АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	21
2 ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРО ПРИВОДА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ	21
2.1 ФОРМУЛИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ЭЛЕКТРОПРИВОДУ И СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ	23
2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	25
3 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ.....	27
3.1 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ	27
3.1.1 РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	29
3.1.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ	30
3.1.3 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ И	35
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	35
3.1.4. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	39
3.2 МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМА	41
3.2.1 ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИВОДА	42
3.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАННОЙ ОБЛАСТИ РАБОТЫ	43
3.4 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ.....	43
3.4.1 ПАРАМЕТРЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ	44

4 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	46
4.1 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	47
4.2 ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КРАН СО СКАЛЯРНОМ УПРАВЛЕНИЕМ	54
4.2.1 ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	54
4.2.2 ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОСТОВОГО КРАНА.....	54
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	61
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	62
5.1 АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	63
5.2 SWOT-АНАЛИЗ.....	64
5.3 ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ	66
5.3.1 СТРУКТУРА РАБОТ В РАМКАХ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	66
5.3.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ	67
5.3.3 РАЗРАБОТКА ГРАФИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	68
5.3.4 ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ПРОЕКТА.....	71
5.3.5 БЮДЖЕТ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ	71
5.3.6 РАСЧЕТ АМОРТИЗАЦИИ.....	72
5.3.7 СЫРЬЕ, МАТЕРИАЛЫ, ПОКУПНЫЕ ИЗДЕЛИЯ И ПОЛУФАБРИКАТЫ (ЗА ВЫЧЕТОМ ОТХОДОВ)	73
5.3.8 СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ) РАБОТ	74
5.3.9 ОСНОВНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА.....	75
5.3.10 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА	76
5.3.11 ОТЧИСЛЕНИЯ ВО ВНЕБЮДЖЕТНЫЕ ФОНДЫ (СТРАХОВЫЕ ОТЧИСЛЕНИЯ) ...	76
5.3.12 НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ	77

5.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	78
5.4.1 ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ФИНАНСОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ	78
5.4.2 ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ	79
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	82
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	83
6.1 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	84
6.1.1 СПЕЦИАЛЬНЫЕ (ХАРАКТЕРНЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРУЕМОЙ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ) ПРАВОВЫЕ НОРМЫ ТРУДОВОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА	84
6.1.2 ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ КОМПОНОВКЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ	85
6.2 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	86
6.2.1 АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ	88
6.3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	92
6.4 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	96
CONCLUSION	97
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	98

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

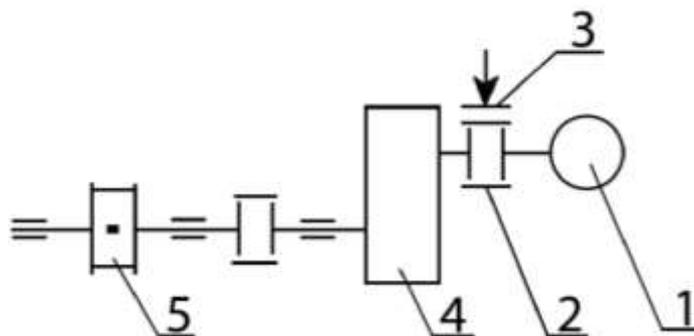


Рисунок 1 - Кинематическая схема механизма передвижения;

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 $D_{20} \text{ SKIPIF } 1 < 0$: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 подъёма 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 подъема 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 $D20:1$ $SKIPIF 1 < 0$, 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_H , об/мин	КПД η_H , %	$\cos\varphi_H$
МТКФ 312-6	15	1000	930	81	0.78
M_{\max}/M_n	$M_{\text{пуск}}/M_n$	$I_{\text{пуск}}$	$J_{\text{дв.}}$ кг·м ²	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

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

Номинальная частота вращения двигателя

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

Номинальный момент двигателя

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

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

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

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 , Ом	$X_{1\sigma}$, м	$L_{1\sigma}$, Гн	R_2' , Ом	$X_{2\sigma}'$, Ом	$L_{2\sigma}'$, Гн	X_{μ} , Ом	X_k , Ом	L_{μ} , Гн
0,51	0,14	$4.509 \cdot 10^{-4}$	0,47	0,18	$5.96 \cdot 10^{-4}$	11.08	0,33	0,0352
3	2	-4	2	7	-4	3	7	8

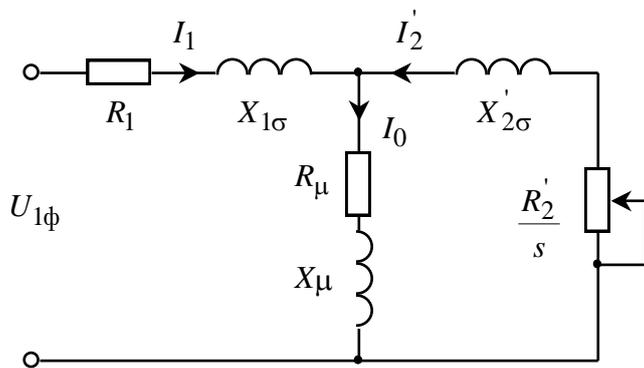


Рисунок 2 – Схема замещения асинхронного двигателя

Номинальный ток статора

$$I_{1н} = \frac{P_{н}}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_{н} \cdot \eta_{н}} = \frac{15000}{3 \cdot 220 \cdot 0,78 \cdot 0,81} = 35,972 \text{ A}$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке

$$I_{11} = \frac{P_{н} \cdot p^*}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{15000 \cdot 0,75}{3 \cdot 220 \cdot 0,72 \cdot 0,81} = 29,227 \text{ A}$$

где:

p^* – коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p^* = 0,75$;

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

Коэффициент мощности при частичной нагрузке $\cos \varphi_{p^*} = 0,72$.

Ток холостого хода асинхронного двигателя

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

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

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 QUOTE β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6–2,5, принимаем $\beta = 1$

Определим коэффициенты

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

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{3 \cdot I_{1H}^2 (1 - s_H)}{2 m_k \cdot P_n \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 (1 - 0,07)}{2 \cdot 3.824 \cdot 15000 \cdot 1.045 \cdot \left(1 + \frac{1}{0.803} \right)} = 0.472 \text{ Ом.}$$

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

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

$$L_{2\sigma}' = \frac{X_{2\sigma}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{0,187}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 5,96 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

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

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1н} \cdot \cos \varphi_n - I_{1н} \cdot R_1)^2 + (U_{1н} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n} - I_{1н} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,78 - 35,972 \cdot 0,054)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,78^2} - 35,972 \cdot 0,142)^2} = 202,561 \text{ В} \end{aligned}$$

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)

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

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{1\phi н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_n \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}, =$$

$$\frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.472}{104.72 \cdot 0.07 \cdot \left[0,337^2 + \left(0,513 + \frac{0.472}{0.07} \right)^2 + \left(\frac{0.513 \cdot 0.472}{0.07 \cdot 11.083} \right)^2 \right]} = 176.83 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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

$$= \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot \frac{0.03528}{(0.03528 + 0,000596)} \cdot 0,912 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{35.972^2 - 18.276^2} = 176.809 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где:

$$\Psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 18.276 \cdot 0,03528 = 0,912, \text{ Вб.}$$

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1.1 \cdot M_{\text{дв.н}} = 154.021 < 176.83 \leq 169.423;$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} \approx M_{\text{эм.н}}^*, 176.809 \approx 176.83$$

Рассчитанные параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 3.

Рассчитанные параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 3.

Таблица № 3

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, Гн	R_2' , Ом	$X_{2\sigma}'$, Ом	$L_{2\sigma}'$, Гн	X_μ , Ом	X_k , Ом	L_μ , Гн
0,51 3	0,14 2	$4.509 \cdot 10^{-4}$	0,47 2	0,18 7	$5.96 \cdot 10^{-4}$	11.08 3	0,33 7	0,0352 8

3.1.3 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя рассчитывается по выражениям:

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

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

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

Критический момент и критическое скольжение двигателя на естественной характеристике

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.472}{0.77 \cdot 104.72 \cdot \left(0.337^2 + \left(0.513 + \frac{0.472}{0.77} \right)^2 + \left(\frac{0.513 \cdot 0.472}{0.77 \cdot 11.083} \right)^2 \right)} = 614.909 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1^2}{X_\mu^2} + 1}{R_1^2 + X_{KH}^2}} = 0.472 \sqrt{\frac{\frac{0.513^2}{11.083^2} + 1}{0.513^2 + 0.337^2}} = 0.77$$

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

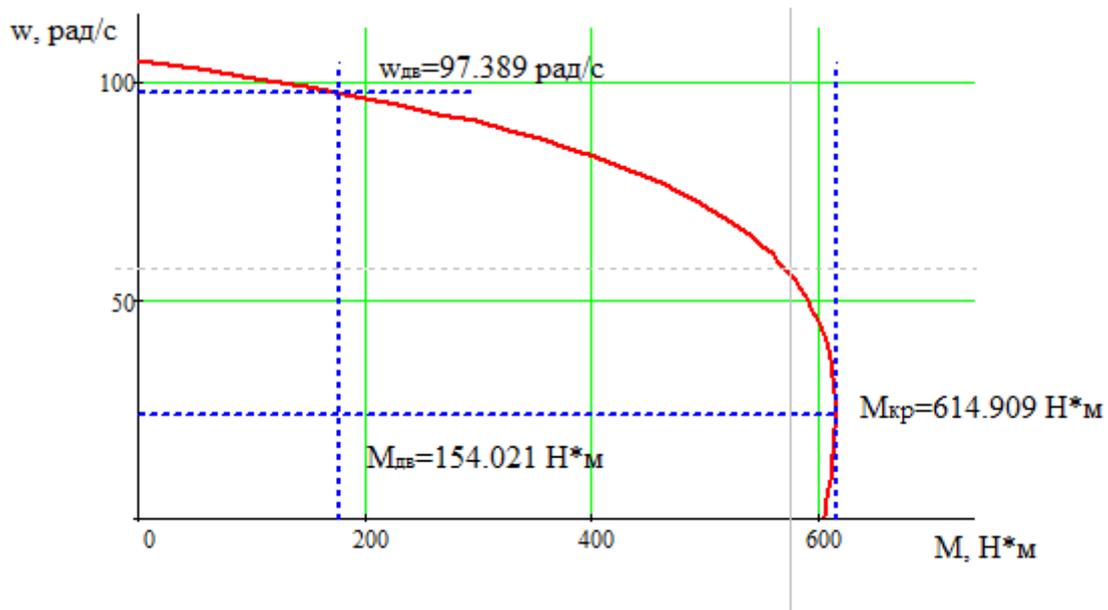


Рисунок 3 – Естественная механическая характеристика АД

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

$$m_k = \frac{M_{эм к}}{M_{эм н}} = 3.824$$

– критическое скольжение

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

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

$I_1(s, f_1)$ и $I_2'(S, f_1)$ $I_2(s, f_1)$ рассчитываются по выражениям:

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

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

$$= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{\left(0.513 + \frac{0,472}{s} \right)^2 + \left(0.337 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(\frac{0.513 \cdot 0,472}{s \cdot 11.083 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2}} ;$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0.513^2 + (0.142 + 11.083)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}};$$

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

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

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

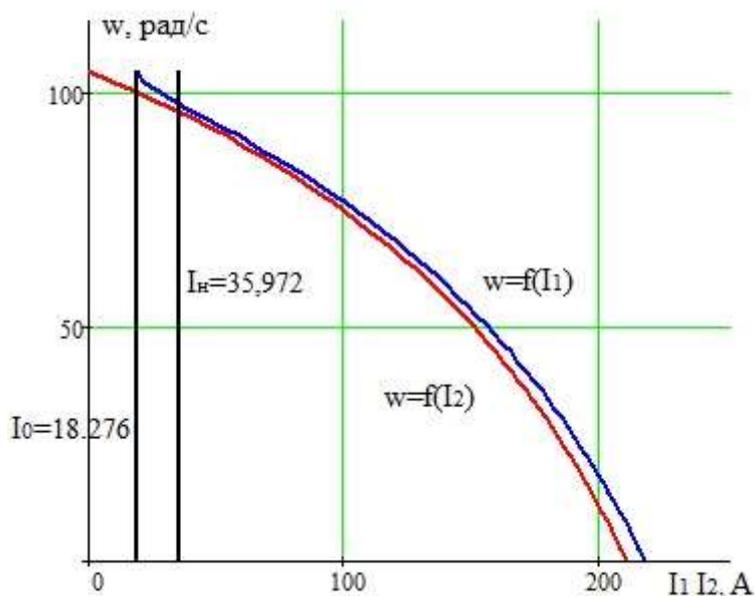


Рисунок 4 – Естественные электромеханические характеристики АД QUOTE $\omega=f(I_1)$, $\omega=f(I_2)$ $\omega(I_1)$, $\omega(I_2)$

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 $I_n = 251.804$.

По полученным результатам определяем кратность пускового тока

$$k_i = \frac{I_{\Pi}}{I_{\text{H}}} = 7$$

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

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

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

где:

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

ω_{0j} – синхронная частота вращения двигателя;

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

Механические характеристики двигателя при частотном управлении приведены на рисунке 5

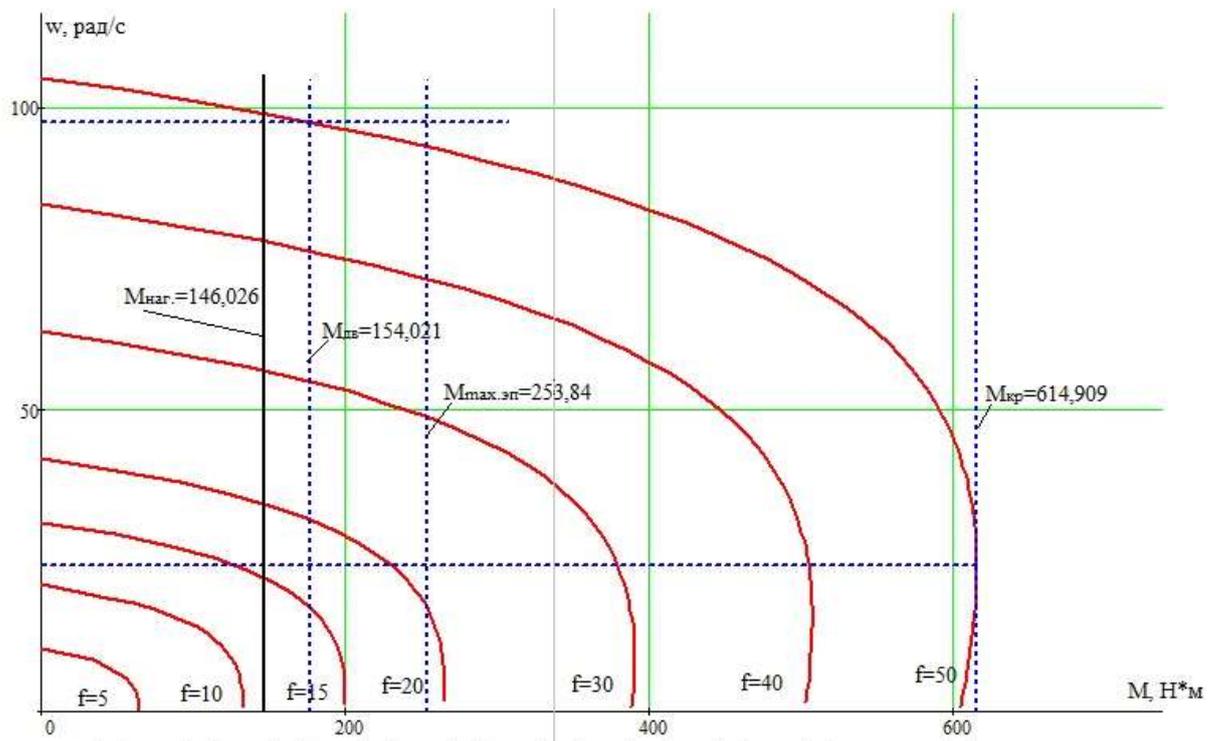


Рисунок 5 – Механические характеристики разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный двигатель.

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

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

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

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:

$$\sin \phi_2 = \frac{x_{KH} \cdot f_{1*}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + x_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2}} = \frac{\cdot f_{1*}}{\sqrt{(0.513 + \frac{0,472}{s})^2 + 0,337^2 \cdot f_{1*}^2}};$$

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

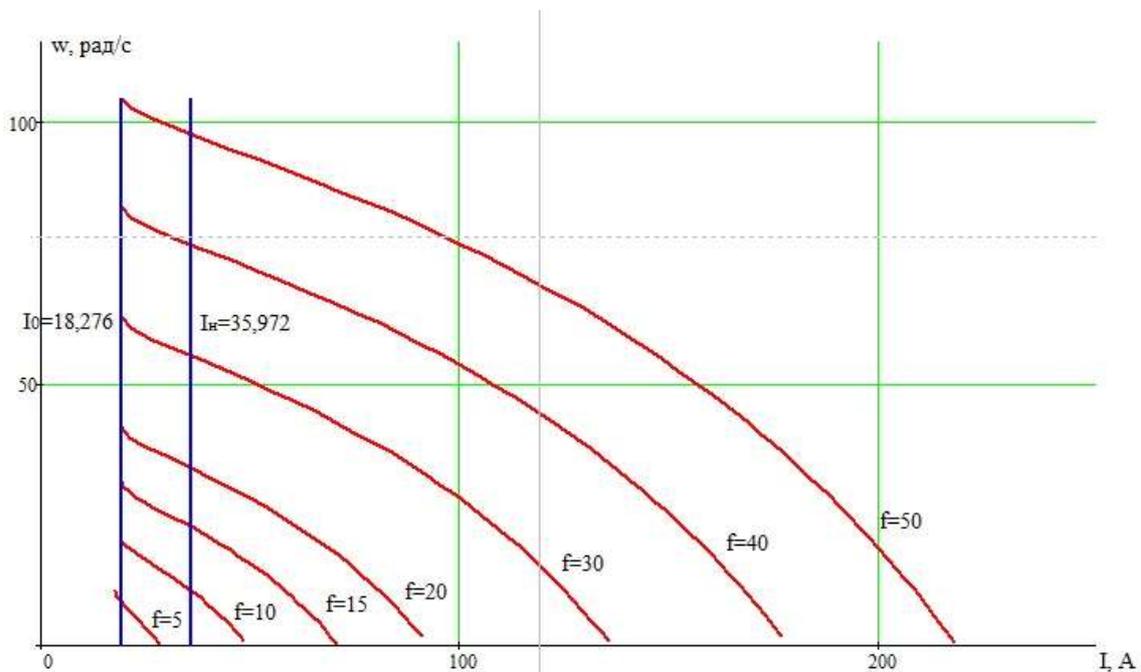


Рисунок 6 – Электромеханические характеристики разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный двигатель.

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

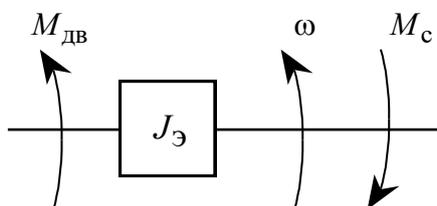


Рисунок 7 - Расчетная схема механической системы привода

На рисунке 7 приняты следующие обозначения:

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

$M_с$ – 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

$$J_{эмакс} = J_{дв} + 0,2 \cdot J_{дв} \cdot J_{тел2} = 0,3 + 0,2 \cdot 0,3 + 3,32 = 3,68 H \cdot м^2$$

Эквивалентный момент инерции крана с грузом

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

где: $J_T = 0,15 \cdot 1,02 = 0,153 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – $m_m = 5000 \text{ кг}$ – масса тележки;

$J_{\text{пер}} = 0,1 \cdot 1,102 = 0,102 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – $m_{\text{гр}} = 20000 \text{ кг}$ – масса груза

максимальная;

$J_T = 0,15 \cdot 1,02 = 0,153 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – $m_{\text{мост}} = 5000 \text{ кг}$ – масса моста.

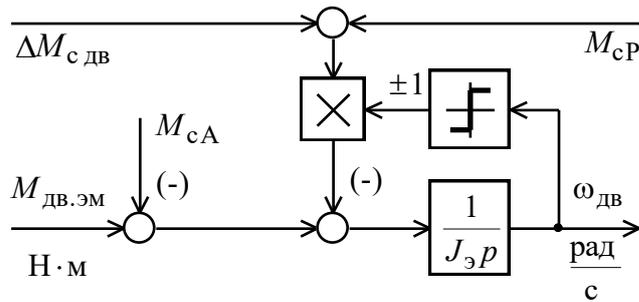


Рисунок 8 – Структурная схема одномассовой механической системы регулируемого электропривода

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

$$\Delta M_c = M_{\text{смакс}} - M_{\text{смин}} = 123.217 - 92.413 = 30.804 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

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:

- 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.

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

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

- 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		Рекомендуемая мощность P_2 , кВт
	$U_{1Л}$, В	f_c , Гц			$I_{VLT.н}$, А	$I_{VLT.макс}$, А	
G120 PM240 “Siemens”	3×380 ...408	50	380	(0-650)	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

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

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

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.

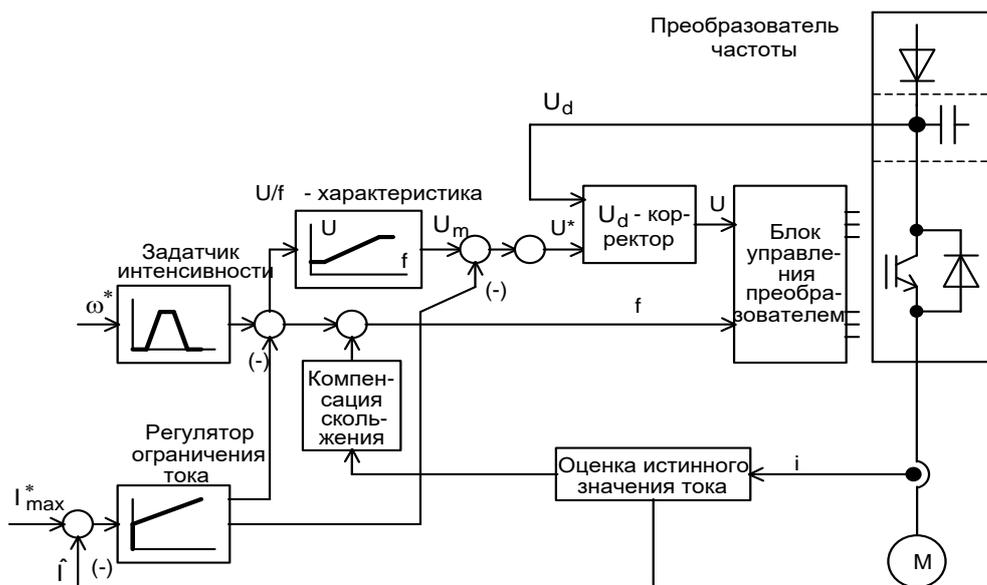


Рисунок 10 – Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением без датчика скорости

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.

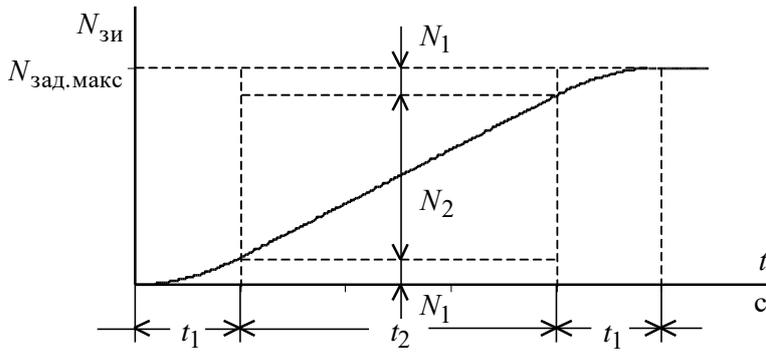


Рисунок 11 - Задатчик скорости с S – образной характеристикой, временная характеристика

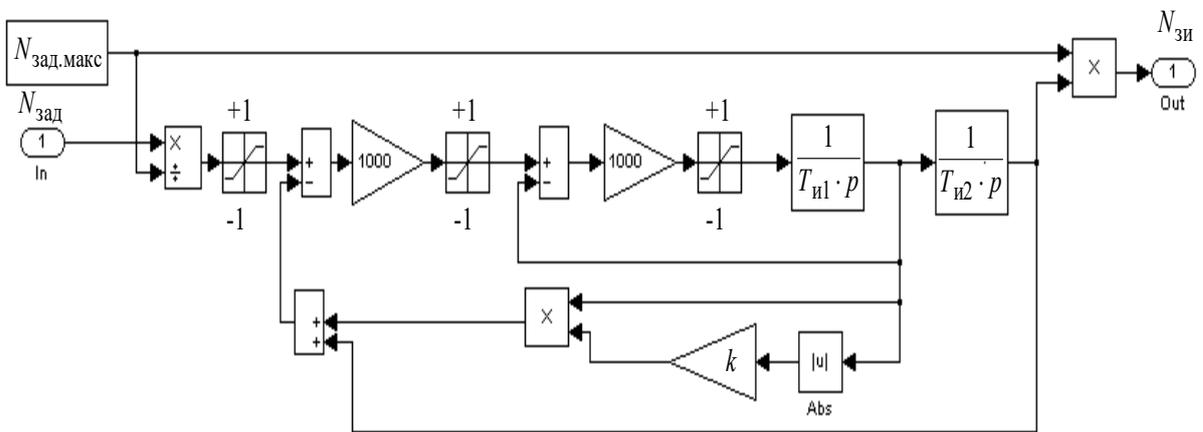


Рисунок 12 - Имитационная модель задатчика скорости с S – образной характеристикой

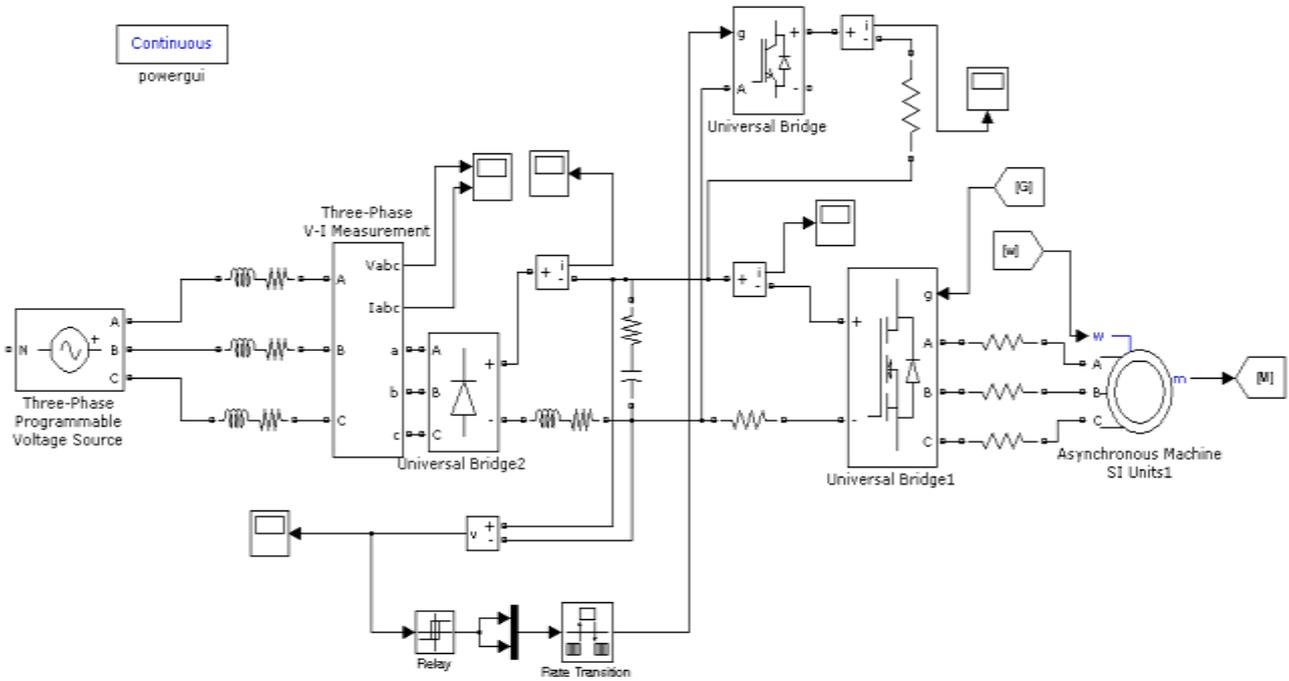


Рисунок 13 Имитационная модель электрической части силового канала электропривода

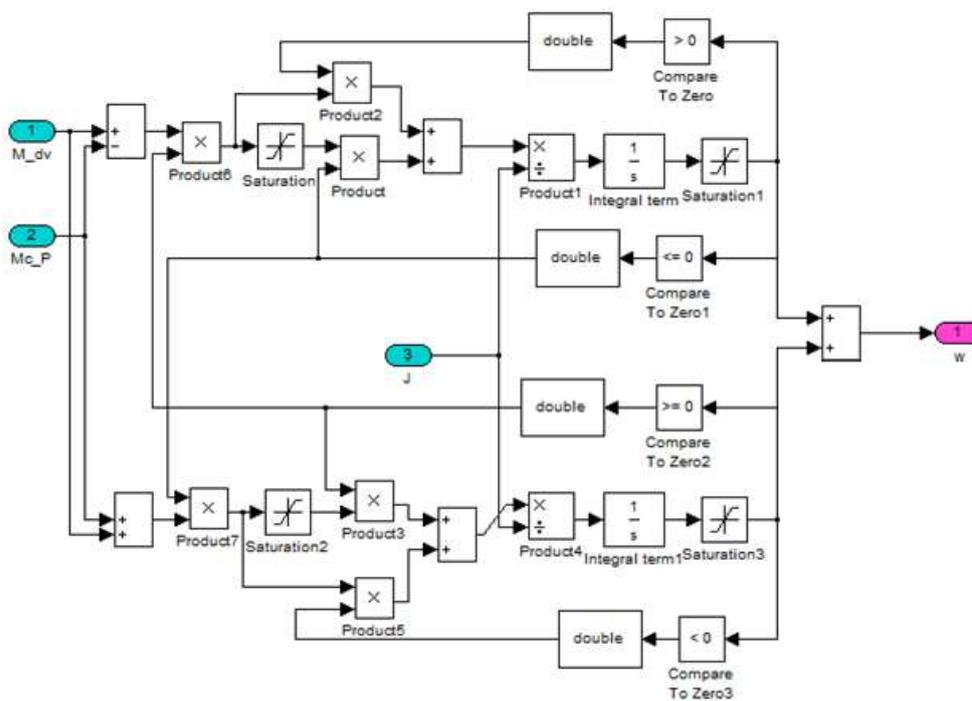


Рисунок 14 – Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с нагрузкой.

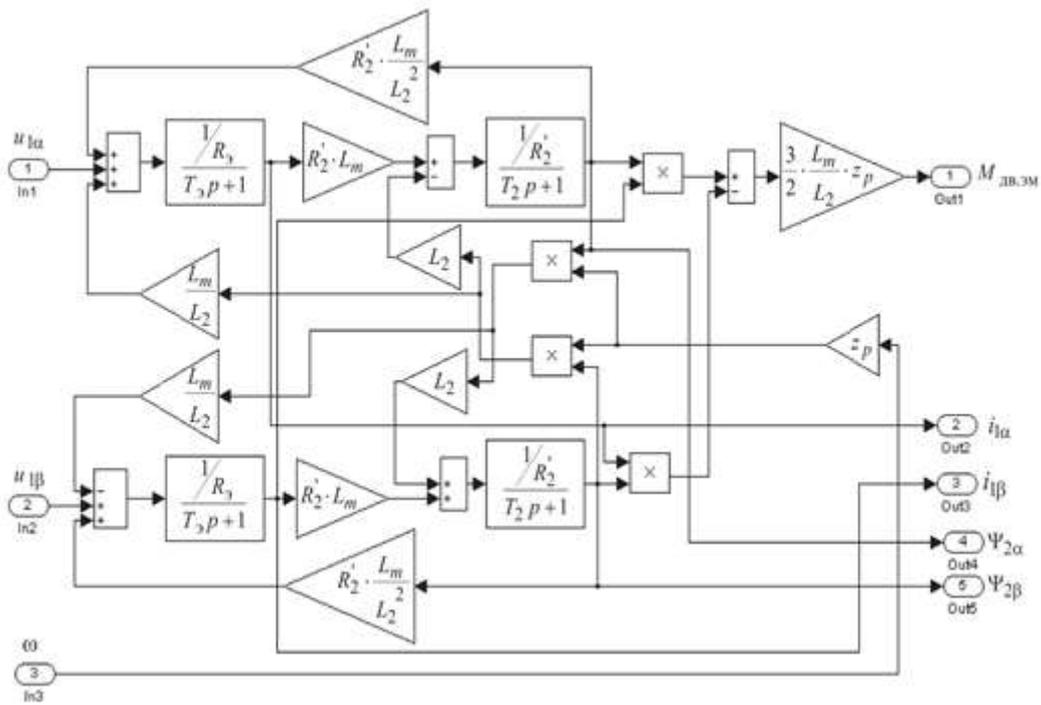


Рисунок 15 Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат

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, $H \cdot м$;

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

$J_э$ – приведенный к валу двигателя эквивалентный момент инерции движущихся масс,;

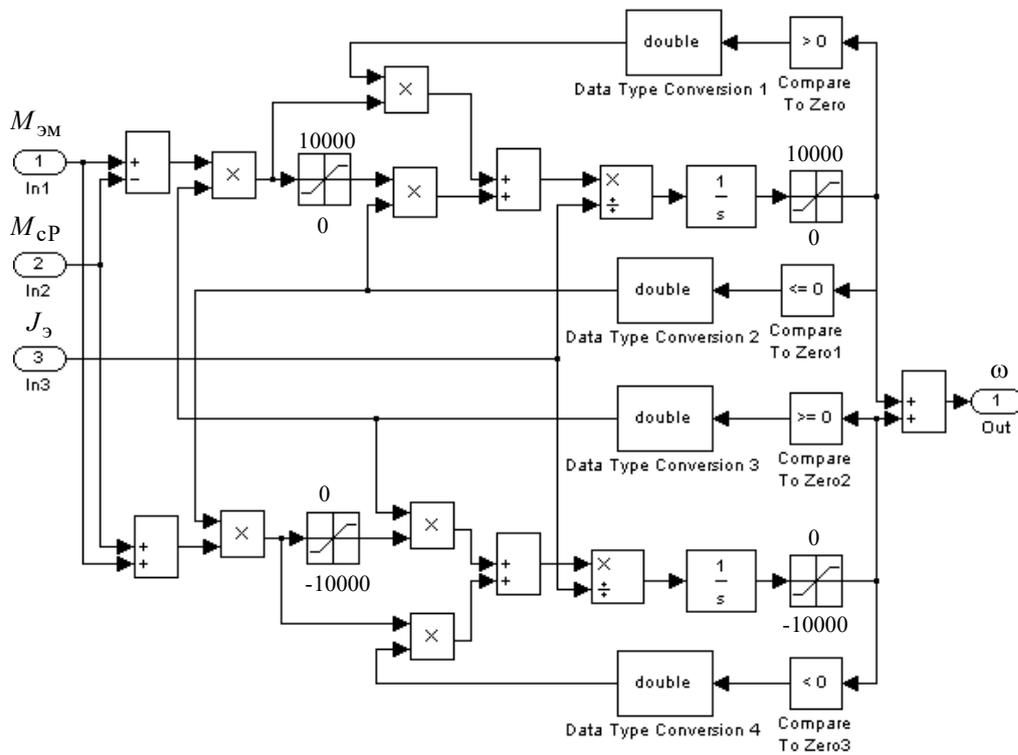


Рисунок 16 Имитационная модель блока одномассовой механической системы

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:

$$R_1 = 0,513 \quad \text{Ом},$$

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

$$R_2' = 0,472 \text{ Ом},$$

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

$$L_m = 0,03528 \text{ Гн},$$

$$z_p = 3,$$

$$\omega_H = 97.389 \text{ рад/с},$$

$$I_H = 35.972 \text{ А},$$

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

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	12.3	20.5	41	82	165	265	410	660	820
$L_p,$ мГн	3	2	1	0.5	0.25	0.156	0.1	0.064	0.05
$R_p,$ МОм	450	265	100	37	13	7.2	3.8	2.1	1.4
$I_{\text{дн}},$ А	15	25	50	100	200	320	500	800	1000

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

$C \approx (100 \div 300) \cdot P_H, \text{ мкФ},$ где P_H – 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

$$K_j = \frac{J_{эмакс} - J_{эмин}}{\Delta M_c} = \frac{3.68 - 2.9}{30.804} = 0.025$$

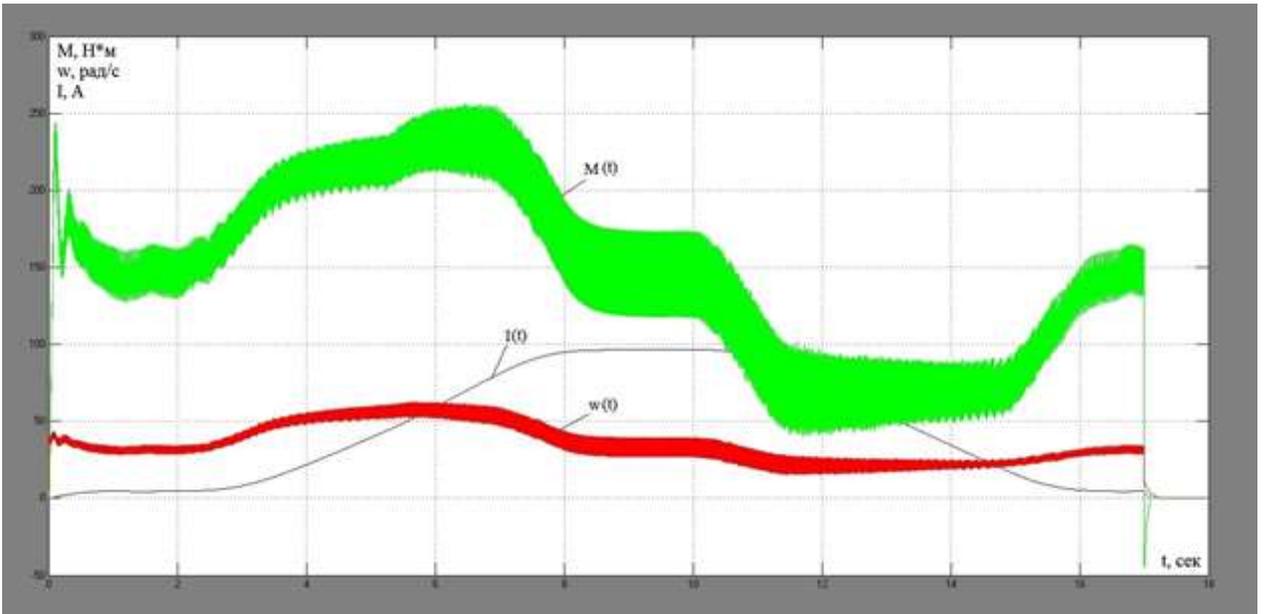


Рисунок 18 – Переходные процессы в электроприводе со скалярным управлением при передвижении тележкой массой 20 тонн, $N_{зад}=(50-5)*1$

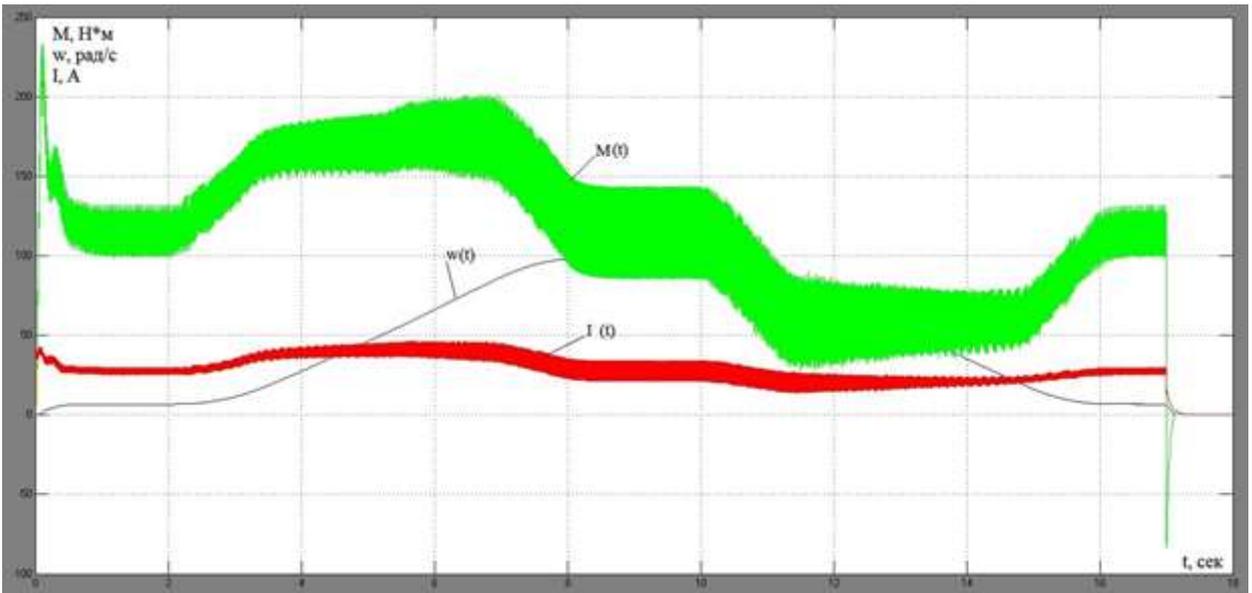


Рисунок 19 – Переходные процессы в электроприводе со скалярным управлением при работе крана без тележки, $N_{зад}=(50-5)*1$

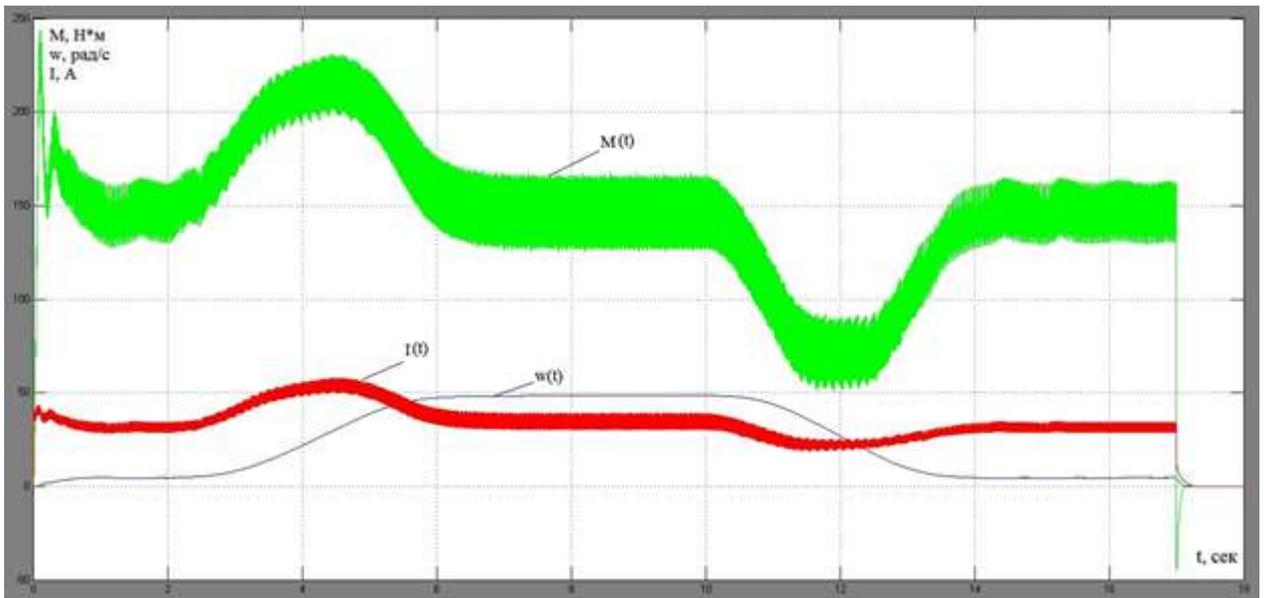


Рисунок 20 – Переходные процессы в электроприводе со скалярным управлением при передвижении тележкой массой 20 тонн, $N_{зад}=(50-5)*0.5$

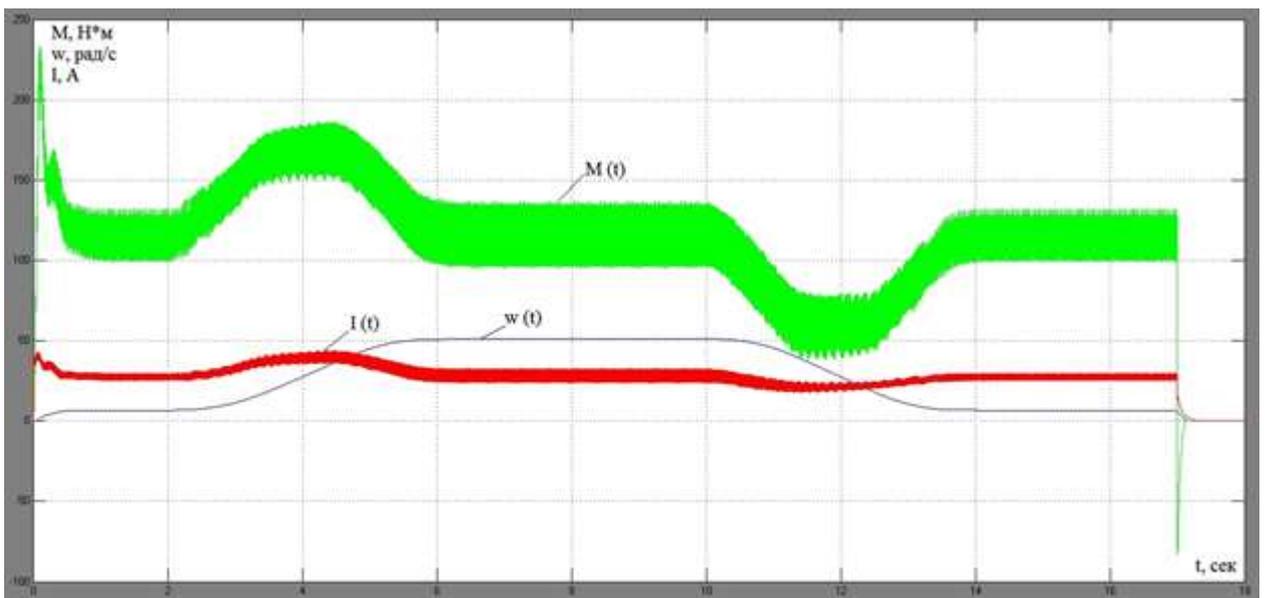


Рисунок 21 – Переходные процессы в электроприводе со скалярным управлением при работе крана без тележки, $N_{зад}=(50-5)*0.5$

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 случаи уже не управляется 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		
3-5Г5А1	Джураев Сарвар Сабиралиевич		
Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов исследовательской работы (ИР): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (ИР)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (ИР)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования.</i>
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИР)</i>	<i>Расчет: Расчет бюджетной стоимости ИР по разработке электропривода механизма передвижения тележки крана КМ20/5</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности (ИР)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. <i>Оценка конкурентоспособности ИР</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Диаграмма Ганта</i>
4. <i>. Бюджет ИР</i>
5. <i>Основные показатели эффективности ИР</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук Ирина Вадимовна	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Джураев Сарвар Сабиралиевич		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В данном разделе необходимо произвести оценку перспективности разработки и распланировать коммерческую ценность разрабатываемого электропривода. Оценить стоимость электропривода механизма передвижения тележки крана КМ20/5 можно исходя из различных параметров, рассмотренных в данной исследовательской работе. В данной работе также оценивается конкурентоспособность электропривода механизма передвижения тележки крана КМ20/5. На основании известных сильных и слабых сторон электропривода механизма передвижения тележки крана КМ20/5 составляется SWOT анализ.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной эффективности исследования.

Целью работы является исследование электропривода механизма передвижения тележки 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.

В качестве основного метода исследования принято имитационное моделирование на ПК с последующим анализом полученных результатов.

5.1 АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

В процессе работы рассматривались три варианта реализации данного устройства:

Вариант 1 – Электрический привод механизма передвижения тележки крана КМ20/5;

Вариант 2 – Дизель-электрический привод механизма передвижения тележки крана КМ20/5

Вариант 3 – Дизельный привод механизма передвижения тележки крана КМ20/5

Конкурентоспособность рассчитывается следующим образом

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); Б_i – балл показателя.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Возможность внедрения устройства в единую систему автоматики	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
Удобство в эксплуатации	0,09	4	3	2	0,36	0,27	0,18
Стабильность срабатывания	0,06	5	2	4	0,3	0,12	0,24
Контроль времени задержки коммутации без подключения дополнительного оборудования	0,2	3	4	5	0,6	0,8	1
Простота конструкции и ремонтпригодность	0,2	4	3	2	0,8	0,6	0,4

Компактность	0,09	4	3	3	0,36	0,27	0,27
Безопасность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,09	4	3	2	0,36	0,27	0,18
Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	3	2	0,25	0,15	0,1
Затраты на ремонт	0,02	3	4	3	0,06	0,08	0,06
Итого	1	40	35	31	3,89	3,56	3,23

На основании проведенного анализа конкурентных технических решений можно сделать вывод, что вариант №1 более предпочтительный и является более выгодным и эффективным типом исполнения готового электропривода.

5.2 SWOT-АНАЛИЗ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 2 – SWOT-анализ

	<p>Strengths (сильные стороны)</p> <p>S1. Техническая простота конструкции;</p> <p>S2. Возможность передачи энергии на расстояние без больших потерь;</p> <p>S3. Возможность регулирования параметров оборудования;</p> <p>S4. Повышение безопасности производства;</p> <p>S5. Широкая применимость привода;</p> <p>S6. Высокая чувствительность метода;</p> <p>S7. Возможность внедрения привода в производство.</p>	<p>Weaknesses (слабые стороны)</p> <p>W1. Большое количество комплектующих.</p> <p>W2. Отсутствие бизнес-плана коммерциализации</p> <p>W3. Не проработаны вопросы выхода на рынок</p> <p>W4. Нельзя применять в пожароопасных условиях.</p>
<p>Opportunities (возможности)</p> <p>O1. Модернизация существующего электрического привода.</p>	<p>Повышение технологических параметров – скорости, мощности, грузоподъемности.</p>	<p>Трудозатратный, дорогостоящий электрический привод.</p>

<p>O2. Отсутствие выброса в окружающую среду вредных веществ.</p> <p>O3. Требования к повышению качества работы электрического привода.</p> <p>O4. Увеличение грузоподъемности .</p>		
<p>Threats (угрозы)</p> <p>T1. Незаинтересованность покупателей.</p> <p>T2. Отсутствие заинтересованных спонсоров проекта.</p> <p>T3. Узкоспециализированное направление.</p>	<p>Высокая конкуренция компенсируется техническими возможностями электрического привода..</p>	<p>Ввиду отсутствия популярности и трудозатратности проекта, а также его обслуживания может наблюдаться низкий спрос.</p>

Таблица 3 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
O1	+	+	+	+	+	+	+
O2	-	-	-	+	-	-	+
O3	+	+	+	+	+	+	+
O4	+	+	+	+	+	+	-

Таблица 4 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W 3	W4
O1	+	-	-	-
O2	+	-	-	-
O3	+	-	-	-
O4	-	+	+	+

Таблица 5 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
T1	-	-	-	-	-	-	+
T2	-	-	-	-	+	-	+
T3	+	+	+	+	-	+	+

Таблица 6 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W 3	W4
T1	+	+	-	+
T2	+	+	+	+
T3	+	+	+	+

На основании проведенного исследования конкурентоспособности и SWOT – анализа можно сделать вывод, что вариант привода №1 является более предпочтительным, выгодным и эффективным типом привода относительно вариантов №2 и №3. Среди сильных сторон наибольший вес имеет возможность внедрения привода в производство. Среди слабых сторон – Большое количество комплектующих.

5.3 ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

5.3.1 СТРУКТУРА РАБОТ В РАМКАХ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В данном проекте участвует Инженер и Руководитель. Каждый из них выполняет заданную работу, в соответствии со своими обязанностями.

Список производимых работ, а также их количество, в данном исследовательском проекте, представлены в виде таблицы 7.

Таблица 7 – Список производимых задач и работ и их исполнители

№ раб	Наименование работы	Должность исполнителя
1	Создание технического задания	Руководитель
2	Выбор направления исследований	Руководитель
		Инженер
3	Изучение материала по теме	Инженер
4	Планирование работ по проекту	Руководитель
5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер

6	Разработка макета	
7	Проведение исследования	Руководитель
		Инженер
8	Проверка качества выполнения исследования	Руководитель
9	Разработка принципиальной схемы	Инженер
10	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер
11	Проверка пояснительной записки и документации	Руководитель
		Инженер

5.3.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Трудоемкость является важнейшим экономическим показателем, позволяющим оценить эффективность использования рабочего времени в процессе производства или выполнения работ. Формула трудоемкости показывает, какое количество труда необходимо применить при изготовлении одной единицы продукции.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожи}$ определяется по формуле:

$$t_{ожи} = \frac{3 \cdot t_{мини} + 2 \cdot t_{макси}}{5},$$

где $t_{мини}$ – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем, чел.-дн.; $t_{макси}$ – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем, чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

Где $Ч_i$ – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 8.

5.3.3 РАЗРАБОТКА ГРАФИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Отрезки – время затраченной исполнителем на определенный вид работ.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Это можно сделать по формуле, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki.рук} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

где $k_{кап}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кап.рук} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

$$k_{кап.инж} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кап}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 8.

Таблица 8 – Временные показатели проектирования

Номер выполняемой работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1	10	-	12	-	10,8	-	10,8	-	11	-
2	4	3	6	5	4,8	4,2	2,4	2,1	4	3
3	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4
4	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8	-
5	-	20	-	24	-	21,6	-	21,6	-	22
6	-	3	-	7	-	4,6	-	4,6	-	8
7	5	3	7	5	5,8	4,2	5,8	2,1	8	3
8	10	-	14	-	11,6	-	11,6	-	12	-
9	-	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8
10	-	15	-	20	-	17	-	17	-	17
11	2	-	6	-	3,2	-	3,2	-	4	-
Итого	32	51	46	71	39,8	59,8	38,4	55,6	51	65

Таблица 10 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	116
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	65
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	51

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

5.3.4 ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ПРОЕКТА

Исполнителей и их роли в создании проекта сведем в таблицу 11.

Таблица 11 – Рабочая группа проекта

Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
Руководитель проекта	1. Анализ имеющихся технических решений и результатов. 2. Проведение экспериментов	408
Исполнитель проекта	1. Подготовка и проведение экспериментов. 2. Анализ результатов экспериментов. 3. Анализ имеющихся технических решений и результатов.	520
Итого		928

5.3.5 БЮДЖЕТ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Чтобы сформировать бюджет на исследовательскую работу, необходимо полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. При формировании бюджета на исследовательскую работу, все спланированные затраты группируются по статьям, представленным в таблице 16.

5.3.6 РАСЧЕТ АМОРТИЗАЦИИ

На основании данных приведенных в таблице 12, проводим расчет амортизации:

Таблица 12 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Электродвигатель МКТФ-112-6	1	10	228000	228000
2	Микроконтроллер SIMATIC	1	10	478000	478000
Итого:					706 тыс. руб.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot m,$$

где $И$ – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для электродвигателя МКТФ-112-6, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Электродвигатель МКТФ-112-6:

$$A = \frac{0,1 \cdot 228000}{12} \cdot 4 = 7600 \text{ руб.}$$

Микроконтроллер SIMATIC:

$$A = \frac{0,1 \cdot 478000}{12} \cdot 4 = 15933 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 7600 + 15933 = 23533 \text{ руб.}$$

5.3.7 СЫРЬЕ, МАТЕРИАЛЫ, ПОКУПНЫЕ ИЗДЕЛИЯ И ПОЛУФАБРИКАТЫ (ЗА ВЫЧЕТОМ ОТХОДОВ)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Сменный картридж	1 шт.	600	600
Бумага для принтера А4 (500 листов)	1 шт	200	200
Карандаш чертежный	3 шт.	22	66
Ручка шариковая	5 шт	30	150
Система защиты и автоматической блокировки (комплект)	1 шт	5000	5000
Соединительные провода	10 шт	1000	10000
Шлейфы	10 шт	120	1200
Итого:	17216 руб.		

5.3.8 СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ) РАБОТ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Таблица 14 – Специальное оборудование для экспериментальных работ

Наименование оборудования	Количество единиц	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1. Датчик напряжения ёмкостной ХТ7С40РС440 Schneider Electric	1 шт.	8600	8600
2. ACS712ELCTR-05В-Т, Датчик тока	1 шт	300	300
3. Датчик магнитного поля sm12-3010	1 шт.	500	500
Итого	9400		

Т.о., общие затраты на опытный образец составили 50149 руб.

5.3.9 ОСНОВНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

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

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл. 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

При отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{44850 \cdot 11,2}{265} = 1895,5 \text{ руб.}$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (табл.15); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{289} = 1284 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 23000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 44850 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

где Z_m – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 15 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	52/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/10	24/5
Действительный годовой фонд рабочего времени	265	289

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}, руб$	$Z_{дн}, руб$	$T_{р}, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	23000	0,3	0,2	1,3	44850	1895,5	51	96617
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1284	65	83460
Итого:								180077

5.3.10 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 96617 = 14492,55 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 65484 = 12519 \text{ руб.}$$

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

5.3.11 ОТЧИСЛЕНИЯ ВО ВНЕБЮДЖЕТНЫЕ ФОНДЫ (СТРАХОВЫЕ ОТЧИСЛЕНИЯ)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (96617 + 14492,55) = 33332 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (65484 + 12519) = 23400 \text{ руб.}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

5.3.12 НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$З_{накл} = \left(\frac{\text{сумма статей}}{6} \right) \cdot k_{нр} =$$

$$= (23533 + 17216 + 9400 + 180077 + 27011,55 + 56732) \cdot 0,2 =$$

$$= 62793 \text{ руб}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

Таблица 17 – Группировка затрат по статьям

Статьи								
Амортизация	Сырье, материалы	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
23533	17216	9400	180077	27011,55	56732	313969,5	62793	376763,5

5.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ

5.4.1 ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ФИНАНСОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ исследовательской работы получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносится финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

1. Дизельный привод;
2. Дизель-электрический привод;

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения исследовательской работы (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{376763,5}{400000} = 0,94$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{350000}{400000} = 0,86$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{390000}{400000} = 0,98$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее

численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

5.4.2 ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ

Определение ресурсоэффективности происходит на основе интегрального показателя ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 18.

Таблица 18 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки	Бальная оценка Дизель-Электрический	Бальная оценка Дизельный
1. Безопасность при использовании установки	0,1	4	5	5
2. Стабильность работы	0,1	3	4	2
3. Технические характеристики	0,3	4	3	4
4. Ремонтпригодность	0,2	4	3	3
5. Простота эксплуатации	0,3	5	4	4
Итого:	1	4,5	3,9	4,1

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 = 4,2$$

$$I_{p2} = 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 = 3,8$$

$$I_{p3} = 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 2 + 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 = 3,7$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{финр}} = \frac{4,2}{0,94} = 4,47$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 19). Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}} = \frac{4,18}{4,47} = 0,89$$

Таблица 19 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	0,86	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,2	3,8	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	4,47	4,42	3,78
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,98	0,85

Вывод:

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации привода механизма передвижения тележки крана КМ20/5, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;
2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 116 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 65 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 51;
3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 180077 руб;
4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:
 - Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,94, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;
 - Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,2, по сравнению с 3,8 и 3,7;
 - Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,47, по сравнению с 4,42 и 3,78, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Джураев Сарвар Сабиралиевич

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.04.02.Электротехника и Электроэнергетика

Тема ВКР:

Электропривод механизма передвижения тележки крана КМ20/5	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Электропривод механизма передвижения тележки крана КМ20/5, применяемого для выполнения крановщиком погрузочно-разгрузочных работ, монтажа, демонтажа и ремонта оборудования, перемещения грузов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организованные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны)	<ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ 12.0.003-2015 - ГОСТ 27584 – 88 (Относится к крану) - СанПиН 2.2.4.548–96 - СП 52.13330.2016 - ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ - ГОСТ 12. 1.019-2017 ССБТ - ГОСТ 12.1.012 – 2004 ССБТ Проверил статусы всех НТД, все актуальны и действуют
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов. 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.	<ul style="list-style-type: none"> - Превышение уровня вибрации - Превышение уровня шума - Отсутствие или недостаток искусственного освещения - Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - Отклонение показателей микроклимата
3. Экологическая безопасность:	- Выбросы химических веществ в атмосферу, гидросферу и литосферу
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> - Буря, (возможная) - Пожар (типичная)

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Джураев Сарвар Сабиралиевич		

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данном разделе рассматриваются вредные и опасные факторы, которые влияют на человека и окружающую среду в процессе проектирования, производства и эксплуатации электропривода механизма передвижения тележки крана КМ20/5. Так же рассматриваются мероприятия по предотвращению и устранению несчастных случаев и чрезвычайных ситуаций, способы снижения вредных воздействий на окружающую среду и человека.

Инженерные разработки должны учитывать требования законодательных и правовых актов, технических регламентов в области безопасности производства, охраны труда и защиты окружающей среды.

В данной работе представлен – электропривод механизма передвижения тележки 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.

При проектировании, изготовлении и эксплуатации электропривод механизма передвижения тележки крана КМ20/5 возможно столкновение со множеством опасных работ, с риском получения вреда здоровью человека. Рассмотрим подробнее возможные опасности.

6.1 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

6.1.1 СПЕЦИАЛЬНЫЕ (ХАРАКТЕРНЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРУЕМОЙ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ) 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.

6.1.2 ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ КОМПОНОВКЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

В соответствии с ГОСТ 27584 – 88 [1] – для подъема на рабочее место машиниста должна быть установлена безопасная лестница с высотой перил от поверхности ступени 850-950 мм.

Внутренние размеры кабины должны быть не менее: высота - 1800 мм, глубина - 800 мм, ширина - 800 мм.

Кресло в кабине 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.

Таблица 1.2.1- 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 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 5727-88 [2]. Окна должны иметь форточки или частично открываться. Стекла по периметру должны иметь вибродемпфирующую прокладку.

6.2 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

В данном пункте осуществлен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при разработке, изготовлении или эксплуатации разрабатываемого электропривода механизма передвижения тележки крана КМ20/5. Они могут возникнуть в процессе эксплуатации проектируемого оборудования.

Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 [3] «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 2.1. - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо- тка	Изготов- ление	Эксплуа- тация	
1.Превышение уровня вибрации		+	+	ГОСТ 12.1.012 - 2004 ССБТ. Вибрационная болезнь.
2.Превышение уровня шума		+	+	Общие требования. [4] СанПиН 2.2.4.3359-16
3.Отсутствие или недостаток искусственной освещенности	+	+	+	Санитарно- эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. [5]
4.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.[6] ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность.
5. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Общие требования и номенклатура видов защиты. [7] СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.[8] НТД актуальны и действующие, проверил

6.2.1 АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ

1.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.2.2. по ГОСТ 12.1.012 – 2004 ССБТ [4].

Таблица 2.2 - Допустимые скорректированные значения виброускорения

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.

2. 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 краном в окружающую среду в контрольной точке и на рабочем месте, не должен превышать 80 дБ по СанПин 2.2.4.3359-16 [5] пункт 3.2.2.

В случае превышения допустимого уровня шума необходимо применять защитные вкладыши, беруши, наушники. Чтобы в целом снизить уровень шума необходимо снизить амплитуду и частоту колебаний источника шума изменяя параметры электропривода.

3. Неправильная освещенность рабочей зоны

При эксплуатации крана освещенность на площадках приема и подачи груза в зонах работы грузозахватного устройства должна быть не менее 10 лк (В соответствии с ГОСТ 27584 - 88 пункт 2.4.19). Устройствами внешнего освещения или элементами для установки и подключения таких устройств кран укомплектовывается по согласованию с потребителем.

Неправильная освещенность рабочей зоны относится к вредным производственным факторам, который быстро утомляет человека и снижает его работоспособность. Утомляемость человека может возникать из-за чрезмерной или недостаточной освещенности, а также из-за неправильного направления света.

В дневное время достигается нормальная освещенность за счет естественного света, который проникает через окна, а в утреннее и вечернее время нормальная освещенность достигается за счет искусственного освещения – лампами.

Освещение должно обеспечиваться непрерывное и равномерное, а также иметь правильное направление светового потока, необходимо исключить ослепляющее воздействие света.

Освещенность в люксах на постоянном рабочем месте и поверхности забоя при всех включенных осветительных приборах должна соответствовать следующим значениям по ГОСТ 27584 - 88 [1]. Общие требования безопасности и эргономики к рабочему месту машиниста и методы их контроля):

Таблица 2.3. – Освещенность в рабочей зоне

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.

Такое освещение обеспечивает безопасную рабочую зону для здоровья сотрудников, так как входит в допустимое значение освещенности рабочей зоны.

4. Опасность получения удара 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 перчатки, изоляционными галоши и ковриками, а также строго следовать инструкции электробезопасности.

Для того, чтобы исключить возникновения поражения электрическим током, в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 2017 [7] рекомендуется проводить организационные мероприятия, такие как:

- произвести изолирование токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- производить технический осмотр оборудования;
- соблюдение условий эксплуатации, а также сборки и установки оборудования согласно конструкторской документации;
- произвести установку защитного заземления;
- оснастка помещения всеми необходимыми предписанию нормами для электробезопасности;
- проводить инструктаж по технике безопасности персоналу, работающему с оборудованием;
- обеспечение свободного прохода;
- использовать плавкие предохранители и автоматические выключатели для защиты от КЗ;
- обучение мероприятиям по работе с электрическими приборами.

5. Отклонение показателей микроклимата

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.2.4. СанПиН 2.2.4.548–96 [8]

Таблица 2.4. - Температура, влажность и скорость движения воздуха

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей	Относительная влажность	Скорость движения воздуха
Холодный	Па	19-21	18-22	60-40	0,2
	Пб	17-19	16-20	60-40	0,2
Теплый	Па	20-22	19-23	60-40	0,2
	Пб	19-21	18-22		0,2

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

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

Для того, чтобы защитить организм рабочего от неблагоприятного воздействия параметров микроклимата, необходимо наличия в кабине крановщика специальных терморегулирующих приборов, в зимнее время необходимо дополнительно установить утеплители.

6.3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

В нашем мире защита окружающей среды является одной из приоритетных задач. Огромное количество бытовых отходов, а также выбросов предприятий на данный момент составляет значительный объем. Следовательно, чтобы уменьшить количество бытовых отходов и выбросов предприятий необходимо отказаться от старых методов производства и перейти на безотходное производство.

В данном электроприводе механизма передвижения тележки крана для снижения уровня вибрации часть деталей сделана из цветного или черного

металла. Данные материалы при очистке и переплавке приобретают свойства первичного сырья, в связи с этим они востребованы в промышленности.

В процессе работы разработанный электропривод механизма тележки воздействует на атмосферу. Но в процессе испарения смазывающей жидкости при эксплуатации или хранении происходит незначительное выделение синтетических масел. При этом когда данное попадает в атмосферу, образуются токсичные соединения. Также при испарении в атмосферу попадают тяжелые металлы, распространяющиеся по воздуху и вступающие в химические реакции с различными элементами. Данный процесс создает угрозу живым организмам.

Чтобы защитить окружающую среду от разлива масла, а также от испарения смазывающей жидкости, необходимо устанавливать специальные герметические конструкции, позволяющие снизить распространение загрязнения. Следовательно, все химические процессы будут происходить внутри.

На литосферу работающий электропривод механизма тележки крана оказывает вибрационное воздействие, так как является источником вибрации. Со временем наиболее чувствительные к сотрясению рыхлые неуплотненные слои почвы начнут смещаться и уплотняться. При этом структурные связи почвы нарушаются и, вероятно, внезапное разжижение и образование оползней и отвалов.

Живые организмы в процессе воздействия источника колебаний так же получают негативное вибрационное и шумовое воздействие, что может заставлять животных покидать места привычного обитания на период эксплуатации источника колебаний. Но, после завершения эксплуатации источника колебаний в случае сохранения прежней экологической среды животные, возможно, вернуться в места обитания, сохраняя при этом равновесие природной зоны.

Чтобы существенно снизить негативное воздействие на окружающую среду необходимо максимально снизить время проводимых работ.

6.4 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

При эксплуатации крана возможны различные чрезвычайные ситуации, такие как буря и пожар.

При работе на мостовом кране в зависимости от метеоусловий возникают бури. Буря - длительный, очень сильный ветер со скоростью более 20 м/с, является чрезвычайной ситуацией для крановщика, так как при подъеме груза при сильном ветре возможен обрыв подъемного троса. В случае обрыва падающий груз может нанести ущерб оборудованию и здоровью людей. Чтобы предупредить данную чрезвычайную ситуацию, необходимо соблюдать следующие требования:

- Проводить технический осмотр оборудования;
- Не проводить работы при сильном ветре от 12 м/с;
- Проводить плановые ремонтные работы;
- Перед работой персонала проводить инструктаж;
- Соблюдать правила по эксплуатации.

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.

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.

Для исключения возможности возникновения пожара и взрыва, рекомендуется проводить следующие организационные мероприятия:

- обязательное соблюдение всех правил технической эксплуатации электропривода механизма тележки крана;
- проверка наличия и исправности первичных средств пожаротушения;
- прохождение противопожарного инструктажа.

В случае возникновения пожароопасной, прежде всего, необходимо вызвать пожарную команду, обеспечить полную эвакуацию людей из помещения, где возник пожар, и принять меры по ликвидации пожара при помощи первичных средств пожаротушения.

Выводы по разделу

В результате выполнения анализа вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации электропривода механизма передвижения тележки крана КМ20/5, а также во время его проектирования, были выявлены характерные чрезвычайные ситуации, а также меры по их устранению. Данные исследования, проведенные в рассматриваемом разделе, могут быть использованы в реальных условиях эксплуатации электропривода механизма передвижения тележки крана КМ20/5.

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, ., 19 с.2007 г
9. Алиев И. И. Электротехнический справочник. – М.: ИП РадиоСофт,

2000. – 384 с.

- 10.ГОСТ 27584 - 88 Краны мостовые и козловые электрические. Общие технические условия.
- 11.ГОСТ 5727-88 Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3)
- 12.ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
- 13.ГОСТ 12.1.012 – 2004 ССБТ Вибрационная безопасность. Общие требования.
- 14.СанПин 2.2.4.3359-16 – Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
- 15.СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.
- 16.ГОСТ 12. 1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
- 17.СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений