

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Кафедра электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно регулируемый электропривод механизма подъема крана

УДК 62-83-52:621.873

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Горяйнов Владислав Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Иван Георгиевич.	Кандидат технических наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат экономических наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дементьев Юрий Николаевич	Кандидат технических наук, доцент		

Томск – 2017 г.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Обзор и современное состояние электрооборудования мостовых кранов, постановка задачи; выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма подъема; выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма передвижения; исследование работы мостового крана с помощью имитационной модели.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Структурная схема электропривода подъема мостового крана Графики переходных процессов подъема
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Фигурко Аркадий Альбертович
«Социальная ответственность»	Сечин Андрей Александрович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.03.2017г.
--	--------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Горайнов Владислав Владимирович		

РЕФЕРАТ

Слова ключевые: кран мостовой, электродвигатель асинхронный, модель имитационная, частотно-регулируемый электропривод.

Объектом исследования является кран мостовой опорный двухбалочный г/п 10 тонн

Цель работы – исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода механизма подъема мостового крана.

В ходе исследования проводились эксперименты на имитационной модели в среде Matlab Simulink по исследованию электропривода крана мостового

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью редактора текстового Microsoft Word. Также при работе использовались программы Matlab Simulink, Microsoft Visio и MathCAD.

Содержание

Введение.....	6
1 Обзор и современное состояние электрооборудования мостовых кранов, постановка задачи.....	7
2 Выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма подъема	20
2.1. Выбор электродвигателя и определение параметров схемы замещения	21
2.2 Расчет редуктора и тормозного устройства.....	25
2.3 Расчет статических характеристик электродвигателя	27
2.4 Выбор типа преобразователя и расчет параметров структурной схемы двигателя.....	31
2.5. Расчет характеристик двигателя при векторном управлении и проверка выбора двигателя и преобразователя.....	32
2.6 Выбор напряжения питающей сети асинхронного электродвигателя с векторным управлением.....	37
2.7 Имитационная модель электрической части силового канала.....	38
2.8 Методика настройки контуров регулирования САУ асинхронного электропривода	43
2.9 Исследования имитационной модели электропривода подъема мостового крана с учетом крановой нагрузки.....	51
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	56
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	57
3.1 SWOT-анализ технического проекта	57
3.2 Планирование работ технического проекта	60
3.3. Составление сметы технического проекта	66
3.4 Определение ресурсоэффективности проекта.....	71
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	74
4. Социальная ответственность.....	76
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	78
4.2 Средства защиты от травмоопасных и вредных производственных факторов	83
4.3 Производственная санитария.....	84
4.4 Средства защиты от поражения электрическим током.....	86
4.5 Расчет защитного заземления.....	87
4.6 Пожарная безопасность.....	89
4.7 Охрана окружающей среды.....	91
4.8 План локализации и ликвидации аварийных ситуаций в цехе.....	93
4.9 Экологическая безопасность.....	97
Заключение.....	99
Перечень использованных источников.....	100
Приложение А.....	102

Введение

Из всей разнообразности механизмов общепромышленных, участвующих в работе на предприятиях металлургии, можно определить группу, для которой очень остро существует проблема излишне высокого уровня нагрузок динамических. К такой группе оборудования промышленных предприятий относятся в первую очередь механизмы подъемно-транспортных машин: козловые и мостовые краны, перегружатели крановые, питатели транспортеры, конвейеры, и т.д. В особо тяжелых условиях среди этих механизмов и режимах интенсивных работают краны мостовые. Многочисленными исследованиями установлено, что механические упругие колебания в большинстве подавляющем случаев негативно действуют на работу электропривода, вызывая повышение нагрузок динамических, что приводит к уменьшению точности работы механизма, возникновение вибраций механических и явлений резонансных которые создают опасную ситуацию. Появляющийся при этом высокий уровень чрезмерных динамических нагрузок, особенно в режимах при пусках, реверсах и торможениях приводит к преждевременному выходу из строя подкрановых конструкций и элементов механизмов кранов.

Проведя исследования в направлении проблемы уменьшения динамических нагрузок было установлено, для достижения максимальной эффективности уменьшения динамических нагрузок, что приведет к увеличению долговечности механической части механизма передвижения кранов и подкрановых конструкций является глубокая модернизация имеющихся схем электроприводов и внедрения современных новых, которые без условно обеспечат уменьшение разницы в скоростях передвижения опор крана.

На основании того что основную роль обеспечении условий для создания максимальной производительности подъемно-транспортного машин отводится электроприводу то с учетом сложной специфики работы данного оборудования необходимо определенно отдавать предпочтение несложным и высоконадежным системам электроприводов.

1 Обзор и современное состояние электрооборудования мостовых кранов, постановка задачи

1.1 Краткая техническая характеристика мостового крана

Кранами определяются как грузоподъемные механизмы, циклического действия, предназначенные для вертикального и горизонтального перемещения на большие расстояния грузов. По конструктивным особенностям, связанным с назначением и условиями эксплуатации, краны распределяются на порталные, мостовые, башенные, козловые и др. На предприятиях в цехах электромашиностроения максимальное распространение получили краны мостовые, которые осуществляют опускание и подъем тяжелых заготовок, узлов машин и деталей, а также их перемещение поперек цеха вдоль. Тип мостового крана определяется в основном спецификой цеха и его технологическим процессом, все же многие механизмы кранового оборудования, например механизмы передвижения и подъема, для различных разновидностей кранов выполняются однотипными.

На кранах используют электродвигатели, регулировочные и пусковые сопротивления, контроллеры, тормозные электромагниты, защитную, пускорегулирующую, блокировочную сигнальную и осветительную аппаратуру, выключатели конечные, токосъемники и т.д. Электропитание на кран подается или через проводники троллейные, которые неподвижно закреплены на конструкциях строительных, и токосъемники, закрепленные на кране, или используют гибкий кабель шлангового типа. Монтаж всего электротехнического оборудования электродвигатели, аппараты и электропроводку кранов производят в исполнении, отвечающем условиям и параметрам окружающей среды [1].

Под определенный вид грузов которые транспортируются на мостовых кранах используют разные устройства грузозахватывающие: магниты, крюки, клещи, грейферы и т.п.

Широкое распространение получили краны с системой крюковой подвеской или с электромагнитом подъемным, отдыхающий для транспортировки стальных листов, стружки и других ферромагнитных материалов.

Мостовые вентили зависимо от предназначения и характера производимой работы пичкают разными грузозахватными механизмами: крюками, грейферами, особыми захватами и так далее Мостовой кран очень комфортен для применения, потому что спасибо движению по крановым путям, находящихся в высшей части цеха, он не занимает нужной площади.

Электропривод основной массы грузоподъемных механизмов характеризуется повторно - кратковременном режимом работы при большей частоте подключения, широком спектре регулировки скорости и образующихся значимых перегрузках при разгоне и торможении устройств. Особенные условия применения эл-привода в грузоподъемных машинках появились основой для производства особых серий электрических моторов и агрегатов крановой реализации.

В текущее время крановое электрическое оборудование имеет в своём составе серии крановых электродвигателей переменного и постоянного тока, серии силовых и магнитных контроллеров, командоконтроллеров, кнопочных постов, окончательных выключателей, тормозных электромагнитов и электрогидравлических толкателей, пускотормозных резисторов и ряд иных агрегатов, девайсов различные крановые электроприводы.

В текущее время грузоподъемные машинки выпускаются огромным количеством заводов. Данные машинки употребляются в почти всех секторах экономики этнического хозяйства в металлургии, строительстве, при добыче нужных ископаемых, машиностроении, транспорте, и в иных секторах экономики. Становление машиностроения, специализирующиеся созданием грузоподъемных автомашин, считается принципиальным направлением становления народного хозяйства страны.

Мостовые краны состоят из несущих частей, конкретно опирающихся на крановый путь, и моста, перемещающегося по уложенным на стене либо наружных эстакадах рельсам (набросок 1.1). Пути укладываются на подкрановые балки, опирающиеся на выступы верхней части колонны цеха. Механизм перемещения крана установлен на мосту крана. Управление всеми механизмами случается из кабины, закрепленной к мосту крана. Запитавыние электродвигателей исполняется по цеховым троллеям.

Для подвода электричества используют токосъемы скользящего вида, закрепленные к металлоконструкции крана. В передовых системах мостовых кранов токопровод исполняется при помощи эластичного кабеля. Привод ходовых колес исполняется от электродвигателя через редуктор и трансмиссионный вал.

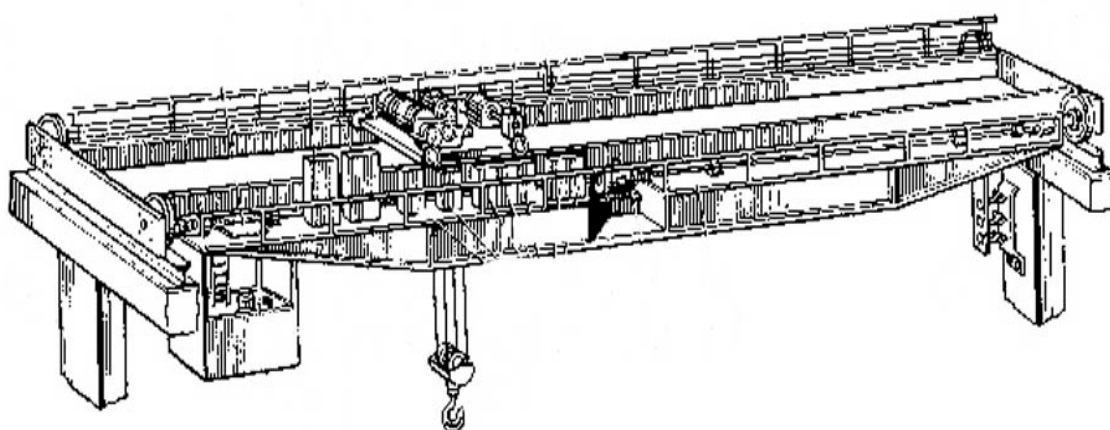


Рисунок 1.1 – Общий вид мостового крана

Хоть какой прогрессивный грузоподъемный кран согласно с притязаниями защищенности, имеет возможность иметь для любого рабочего перемещения в 3-х плоскостях, последующие самостоятельные механизмы: приспособление роста - опускания багажа, приспособление манёвра крана в горизонтальной плоскости и механизмы профилактики зоны работы крана (манёвра телеги).

Грузоподъемные машинки выделяют для разных критериев применения: по ступени загрузки, времени работы, интенсивности ведения операций, ступени ответственности грузоподъемных операций и погодных факторов эксплуатации.

1.2 Кинематические схемы механизмов мостового крана

Работу главных устройств крана оценивают по кинематическим схемам. Потому что движки обыкновенно имеют угловую скорость, существенно огромную, нежели скорость подъемного барабана либо ходовых колес моста либо телеги, то перемещение к трудящимся органам устройств крана передается через редукторы.

Для устройств роста величайшее использование возымели схемы с полиспастом П (набросок 1.2), с помощью которого перемещение от барабана Б передается крюку [2].

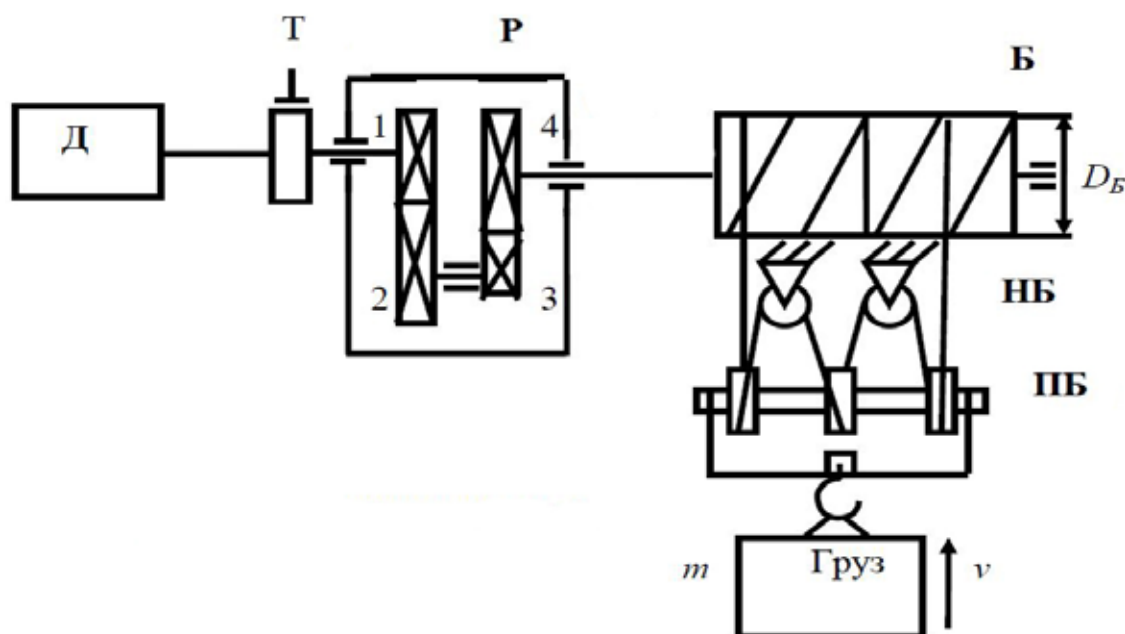


Рисунок 1.2 – Кинематическая схема механизма подъема

Движок Д через редуктор Р приводит во вращение барабан лебедки, на который канат наматывается при росте и сматывается при опускании багажа m . Грузозахватное механизм подвешивается на подвижных блоках ПБ, которые образуют с неподвижными что же касается лебедки блоками НБ полиспаст.

Движок врубается в работу опосля строповки багажа, потом выбирается слабина каната. Дальше производится разгон с ускорением не выше разрешенного до рабочей скорости и поддерживается рост багажа. При достижении данной вышины движок тормозится, на вал мотора накладывается тормоз Т. Удержание багажа в подвешенном состоянии исполняется тормозом.

При спуске багажа выдерживается ускорение не выше возможного, движок трудится в тормозном режиме. При раскладе багажа к площадке выгрузки скорость спуска понижается, груз плавно устанавливается на площадку. Ослабляется натяжение канатов для расстроповки багажа, крюк отцепляется и цикл работы повторяется.

1.3 Условия работы и требования, предъявляемые к электроприводу мостового крана

Завышенная опасность дел при перевозке поднятых грузов просит при расчете и эксплуатации соблюдение неотклонимых верховодил по приспособлению и эксплуатации подъемно-транспортных автомашин. На механизмах роста и манёвры правилами по приспособлению и эксплуатации учтена установка ограничителей хода, которые действуют на электронную схему управления.

Окончательные электровыключатели приспособления роста сдерживают ход грузозахватывающего механизма ввысь, а электровыключатели устройств манёвры моста и телеги сдерживают ход устройств в две стороны.

Учитывается помимо прочего установка окончательных выключателей, предотвращающих наезд механизмов в случае работы 2-ух и поболее кранов на одном мосту. Исключение оформляют установки со скоростью перемещения до 30 м/минут Крановые механизмы обязаны быть снабжены тормозной системой замкнутого вида, действующими при снятии напряжения [4].

На крановых установках разрешается использовать рабочее напряжение до 500 В, потому крановые механизмы пичкают электрическим оборудованием на напряжения 220, 380, 500 В переменного тока и 220, 440 В неизменного тока. В схеме управления предугадывают наивысшую охрану, отключающую движок при перегрузке и маленьком замыкании. Никакая охрана ликвидирует самозапуск движков при подаче напряжения в последствии перерыва в электроснабжении.

Для неопасного профилактики электрического оборудования, оказавшегося на ферме моста, устанавливают, блокировочные контакты на лючке и двери кабины. При открывании лючка либо двери напряжение с электрического оборудования снимается [5], [6].

Для высококачественного исполнения роста, спуска и движения грузов электропривод крановых устройств обязан удовлетворять последующим главным притязаниям:

- регулирование угловой скорости двигателя в сравнимо широких границах по вопросу тем, собственно томные грузы целенаправлено перемещать с наименьшей скоростью, а пустующей крюк либо ненагруженную телегу – с большей скоростью для роста производительности крана. Пониженные скорости нужны помимо прочего для воплощения четкой остановки транспортируемых грузов имея цель лимитирования ударов при их высадке и упрощают работу оператора

- ограничение ускорений до допустимых пределов при малой продолжительности переходных действий. 1-ое условие соединено с ослаблением ударов в мех-ских передачах в момент выбора промежутка, с предупреждением пробуксовки ходовых колес тележек и мостов, с убавлением раскачивания подвешенного на канатах багажа при насыщенном разгоне и внезапном торможении устройств манёвры; 2-ое условие нужно для обеспечения высочайшей производительности крана;

1.4 Современные крановые электроприводы, обоснование и выбор

Основное назначение электропривода крана - регулирование скорости механизмов подъема и передвижения в некотором диапазоне. В первую очередь, тип электропривода зависит от физических принципов регулирования скорости конкретных видов двигателей.

На практике чаще всего применяются следующие двигатели:

- электродвигатели постоянного тока;
- асинхронные электродвигатели с фазным ротором;
- асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

В таблице 1 приведены достоинства и недостатки электродвигателей, используемых на кранах.

Таблица 1 – Сравнение двигателей, используемых на кранах

	Достоинства	Недостатки
Двигатели постоянного тока	– простота устройства и принципов управления; – практически линейные механические и регулировочные характеристики; – большой пусковой момент.	– дороговизна изготовления; – износ и необходимость профилактического обслуживания коллекторно-щёточных узлов; – необходимо дополнительно устанавливать в цеху выпрямители трехфазного напряжения.
Асинхронные электродвигатели с фазным ротором	– большой начальный вращающий момент; – приблизительно постоянная скоростью при различных перегрузках; – меньший пусковой ток по сравнению с электродвигателями с короткозамкнутым ротором	– большие габариты; – дороговизна изготовления; – износ и необходимость профилактического обслуживания коллекторно-щёточных узлов.
Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором	– относительная дешевизна; – отсутствие коллекторно-щёточных узлов; – легкость конструкции и простота ее изготовления; – высокий КПД и $\cos \phi$ по сравнению с двигателями с фазным ротором.	– большой пусковой ток (до 5-7 I_n); – сложное техническое оборудование для регулирования скорости вращения.

Двигатели постоянного тока получили широкое распространение на тяжелых металлургических производствах, в т.ч. на литейных кранах. В настоящее время, новые краны с двигателями постоянного тока практически не изготавливаются.

Асинхронные электродвигатели с фазным ротором получили наибольшее распространение на кранах в советское время и популярны в наши дни. Двигатели данного типа применяются как для реконструкции, так и для новых грузоподъемных кранов.

Существует множество разновидностей систем управления для двигателей с фазным ротором. Изменение скорости и момента таких двигателей достигается путем включения в цепь ротора дополнительных электрических устройств. В зависимости от требований к диапазону регулирования скорости могут применяться:

- реостатные системы;
- дроссельные системы без регулирования скорости;
- дроссельные системы с тиристорными регуляторами.

В качестве коммутационного оборудования в цепях статора и ротора могут применяться:

- силовые контакторы, пускатели, реверсоры (и другие механические устройства коммутации);
- тиристоры (тиристорные ключи);
- IGBT-транзисторы;
- гибридные системы.

На сегодняшний день такая система управления морально устарела и на фоне современных микропроцессорных систем управления мостовыми кранами зарубежных производителей с частотным регулированием отличается повышенным энергопотреблением. Явным недостатком такой системы является такое явление, как «избыточный динамический момент», который возникает в момент пуска электродвигателя. Это явление порождает ударные нагрузки, приводит к преждевременному износу элементов, появлению люфтов в

трансмиссии приводов, снижению точности позиционирования, повышенной утомляемости операторов и, как следствие, ухудшение качества выполняемых грузоподъемным механизмом работ.

Текущие и капитальные ремонты дадут эффект только на несколько месяцев, а дальше снова «разбитые» элементы трансмиссии. Это явление обусловлено спецификой подбора первой ступени резисторов. В релейно-контакторных системах управления со ступенчатым регулированием скорости «избыточного динамического момента» никак не избежать – это технологическая особенность такого привода, она заключается в том, что первая пусковая ступень резисторов подбирается таким образом, чтобы пусковой момент асинхронного двигателя с фазным ротором был равен критическому моменту для устойчивости от «опрокидывания». То есть при пуске двигатель практически мгновенно развивает максимально-возможный момент, что порождает ударные нагрузки, именуемые «динамическим моментом». При проектировании и изготовлении грузоподъемного оборудования мощность электродвигателей в 2-3 раза превышала фактические требования механизма.

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором мало применялись на кранах в советское время в силу технологической сложности регулирования скорости. Использование ограничивалось легкими тельферными подъемниками, кран-балками и прочими одно-, двухскоростными тихоходными механизмами. В остальных случаях заменить двигатели постоянного тока либо двигатели с фазным ротором в то время они не могли. Ситуация изменилась лишь с широким распространением и удешевлением преобразователей частоты.

Снижение цен на полупроводниковые приборы в конце 90-ых годов подтолкнуло краностроителей к переходу к современным системам управления. Начиная с 2000 года в СНГ на новых кранах стали всё чаще применяться системы на базе преобразователей частоты. Преобразователи частоты позволяют плавно изменять величину напряжения и частоту на клеммах двигателя, благодаря чему становится возможным управлять скоростью вращения двигателя, сохраняя номинальный момент во всем диапазоне регулирования.

Использование асинхронного двигателя на базе преобразователя частоты обеспечит:

- абсолютный контроль и безударное регулирование скорости, ускорения и момента при любой массе груза (в пределах допускаемой);
- плавный разгон и торможение всех механизмов крана с заданным ускорением, что обеспечивает плавное нарастание моментов и усилий во всех узлах и механизмах крана;
- регулирование скорости АД с помощью преобразователей частоты дает экономию электроэнергии до 20 %, электроприводы работают с $\cos\varphi$ близким к 1;
- программируемый логический контроллер, использованный в системе кранового электропривода, и имеющий связь по сети с ПЧ, позволяет решить задачи диагностики, статистического сбора и обработки всех сигналов и нагрузок;
- тормозные колодки не требуют частой замены, а тормоза – постоянной регулировки, поскольку управляемое торможение осуществляют ПЧ, а тормоза служат лишь для удержания после полной остановки механизма;
- ограничение моментов как статических, так и динамических;
- устранение перекосов и раскачивания грузов;
- защита электродвигателей (максимально-токовая, время-токовая, тепловая и др.);
- улучшение условий работы оператора крана за счет применения современной аппаратуры управления;
- сокращение количества релейно-контакторной аппаратуры позволяет повысить надежность работы электрооборудования и уменьшить трудозатраты на профилактическое обслуживание;
- уменьшение динамических нагрузок на механизмы крана и увеличение сроков службы оборудования.

1.5 Противораскачивание груза

Каждое движение крана с подвешенным грузом приводит к его колебаниям, поэтому оператор крана должен постоянно корректировать свои действия с учетом этого раскачивания. Опытный и внимательный оператор может достаточно быстро уменьшить колебания груза путем принятия соответствующих контрмер. Если же оператор не обладает большим опытом управления краном или оператор потерял внимание по причине утомления, то даже самые простые операции могут привести к огромной потере времени или к возникновению рисков коллизий и/или аварийных ситуаций.

Системы уменьшения колебаний груза (системы противораскачивания), снимают с оператора задачи по уменьшению раскачивания груза, как следствие он может сосредоточиться на управлении краном, сконцентрироваться на подъеме груза, его перемещении, позиционировании и опускании в нужную точку.

Системы противораскачивания служат для уменьшения колебаний груза, вызванных ускорениями механизмов в процессе эксплуатации крана. Успокоение достигается за счет точного воздействия на процессы разгона и торможения. Такие системы могут применяться как в составе систем управления для новых кранов, так и в качестве дополнения к уже существующим системам управления. Уменьшение колебаний позволяет снизить риск возникновения коллизий и аварийных ситуаций в сочетании с одновременной быстротой и точностью позиционирования груза. Система противораскачивания позволяет уменьшить колебания при перемещении моста, тележки и поворота крана одновременно.

Существует два основных вида электронных систем противораскачивания: системы с прямой обратной связью, имеющие в своем составе камеру и рефлектор (отражатель), которые обеспечивают получение оперативной достоверной информации об отклонении груза, и системы, работающие на основе математической модели, описывающей колебания груза

при движении механизмов крана, то есть угол отклонения груза в той или иной плоскости вычисляется исходя из физических и математических законов [7].

В системах с обратной связью камера с высоким разрешением используется для измерения отклонения крюка или другого типа грузозахватного органа от своей оси. Для того, что бы сделать это возможным, на грузозахватный механизм устанавливается специальный отражатель. В самом простом случае отражатель представляет собой плоскость квадратной формы с расположенными на ней в шахматном порядке двумя белыми квадратами. Данный тип рефлектора называется пассивным. В случае, когда на него могут воздействовать чрезмерное освещение или тени, которые влияют на точность системы измерения, рекомендуется использовать активный рефлектор, снабженный LED-матрицей, а также обогревом, способствующим таянию снега, если кран используется на открытом воздухе. Самым лучшим же выходом в случае использования системы «камера-рефлектор» является применения инфракрасного рефлектора и оснащение камеры инфракрасным фильтром. Точность определения колебаний составляет 5 мм на расстоянии от камеры до рефлектора 10м, точность определения расстояния между камерой и рефлектором составляет 1%. Такие системы способны также исключать колебания груза при наличии сильного бокового ветра.

Какой бы вид системы противораскачивания груза ни был установлен на кране, ее применение ведет к снижению времени выполнения операций, повышению точности позиционирования груза, уменьшению утомляемости операторов во время работы, а также снижает риск возникновения аварийных ситуаций.

1.6 Исходные данные и постановка задачи

Исходными данными проектирования являются физические и геометрические параметры механизма подъема мостового крана. Исходные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Исходные данные проектирования

Наименование параметра	Значение параметра
Тип крана	кран мостовой опорный
Конструкция кранового моста	двухбалочный мост, балки коробчатые
Грузоподъемность крана, т	10
Кратность полиспаста, α	3
Номинальная скорость подъема, м/с	0,1
Номинальная скорость движения тележки, м/с	0,63
Диаметр барабана лебедки, м	$90 \cdot 10^{-3}$
Напряжение в канате, тс/см ²	2
Модуль упругости каната, тс/см ²	1500

Наименование параметра	Значение параметра
Продолжительность включения крана, %	25
Высота пролетной балки, м	2,5

2 Выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма подъема

2.1 Выбор электродвигателя и определение параметров схемы замещения

Расчет предварительной мощности двигателя производится по формуле:

$$P \geq \frac{P_c}{k_T}, \quad (2.1)$$

где P – мощность двигателя, Вт;

P_c - статическая мощность электродвигателя, Вт ;

$k_T = 1$ – коэффициент, учитывающий режим работы механизма, вид управляющего устройства и электропривода [8].

Статическая мощность электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$P_c = \frac{F_{\Gamma} \cdot V}{\eta_m}, \quad (2.2)$$

где F_{Γ} - грузоподъемная сила, Н;

$\eta_m = 0,9$ — значение КПД механизма подъема.

Грузоподъемная сила рассчитывается по формуле:

$$F_{\Gamma} = m_{\Gamma} \cdot g, \quad (2.3)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения,

m_{Γ} - номинальная масса груза, кг.

$$F_{\Gamma} = 10000 \cdot 9,81 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Статическая мощность электродвигателя

$$P_c = \frac{9,81 \cdot 10^4 \cdot 0,1}{0,9} = 10,9 \text{ кВт}$$

$$P \geq \frac{10,9 \cdot 10^3}{1} = 10,9 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

Из справочника [9] выбираем с учетом ПВ = 25% и мощности $P > 10,9 \text{ кВт}$ электродвигатель серии 5А. Технические данные электродвигателя приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры электродвигателя

Типо- размер	$P_{дв.н},$ кВт	$n_{ном},$ об/мин	$\eta, \%$	$\cos \varphi_H$	$M_n /$ $M_{ном}$	$I_n /$ $I_{ном}$	$s_H, \%$	$J_{дв}, кг \cdot м^2$
5A160S6	11	970	87	0,82	1,9	6,5	3	0,11

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_{лн}}{z_p} = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,7 \text{ рад/с.} \quad (2.4)$$

Угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_{дв.н} = (1 - s_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0,03) \cdot 104,7 = 101,5 \text{ рад/с.} \quad (2.5)$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{дв.н} = \frac{P_{дв.н} \cdot 10^3}{\omega_{дв.н}} = \frac{11 \cdot 10^3}{101,5} = 108,3 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.6)$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный и линейный ток (действующие значения) статора при схеме соединения обмоток звезда:

$$U_{лфн} = \frac{U_{лн}}{\sqrt{3}}, \text{ В;} \quad (2.7)$$

$$I_{лфн} = I_{лн} = I_{двн} = \frac{P_{двн}}{3 \cdot U_{лфн} \cdot \cos \phi_H \cdot \eta_H} = \frac{11 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,82 \cdot 0,87} = 23,36 \text{ А.} \quad (2.8)$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске:

$$I_{1\text{макс}} = k_{идв} \cdot I_{лн} = 6,5 \cdot 23,36 = 151,84 \text{ А.} \quad (2.9)$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике:

$$M_k = m_k \cdot M_{дв.н} = 2,5 \cdot 108,3 = 270,7 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.10)$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске:

$$M_{дв.пуск} = m_H \cdot M_{дв.н} = 1,9 \cdot 108,3 = 205,7 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.11)$$

Ток холостого хода двигателя [10]:

$$I_0 = I_{1n} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{I_{1p^*}}{I_{1n}}\right)^2 - \left[\frac{p^* \cdot (1-s_n)}{(1-p^* \cdot s_n)}\right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1-s_n)}{(1-p^* \cdot s_n)}\right]^2}}, \text{ A} \quad (2.12)$$

где

$$I_{1p^*} = \frac{p^* \cdot P_{двн}}{3 \cdot U_{1фн} \cdot (\cos \phi_{p^*} \cdot \eta_{p^*})} = \frac{0,75 \cdot 11 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot (0,77 \cdot 0,87)} = 18,66 \text{ A} \quad - \quad \text{ток фазы}$$

статора при частичной нагрузке;

$p^* = 0,75$ – степень загрузки;

$\eta_{p^*} = \eta_n = 0,87$ – КПД при частичной нагрузке;

$\cos \phi_{p^*} = 0,77$ – коэффициент мощности в режиме частичной загрузки.

$$I_0 = 23,362 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{18,66}{23,362}\right)^2 - \left[\frac{0,75 \cdot (1-0,03)}{(1-0,75 \cdot 0,03)}\right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1-0,03)}{(1-0,75 \cdot 0,03)}\right]^2}} = 10,139 \text{ A.}$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора в номинальном режиме:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2 \cdot (1-s_n)}{2 \cdot m_k \cdot P_{двн} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k}\right)}, \text{ Ом} \quad (2.13)$$

$$\text{где} \quad C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_f \cdot I_{1фн}} = 1 + \frac{10,139}{2 \cdot 6,5 \cdot 23,3} = 1,033 \quad - \quad \text{коэффициент,}$$

характеризующий соотношением $\frac{X_\mu + X_{1\sigma}}{X_\mu}$;

$$R_2' = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1-0,03)}{2 \cdot 2,5 \cdot 11 \cdot 10^3 \cdot 1,033^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,03}\right)} = 0,328 \text{ Ом}$$

Критическое скольжение:

$$s_k = s_n \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} =$$

$$= 0,03 \cdot \frac{2,5 + \sqrt{2,5^2 - [1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot (2,5 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot (2,5 - 1)} = 0,159 \quad (2.14)$$

где $\beta=1$ – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора.

Активное сопротивление обмотки статора в номинальном режиме:

$$R_1 = R_2' \cdot \beta \cdot C_1 = 0,328 \cdot 1 \cdot 1,033 = 0,339 \text{ Ом}. \quad (2.15)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме

$$X_{\text{кн}} = R_2' \cdot \gamma \cdot C_1 = 0,328 \cdot 6,225 \cdot 1,033 = 2,112 \text{ Ом}, \quad (2.16)$$

где $\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k}\right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,03}\right)^2 - 1^2} = 6,225$ – коэффициент,

характеризующий соотношение индуктивного сопротивления короткого замыкания и приведенного активного сопротивления ротора.

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора в номинальном режиме:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 2,112 = 0,887 \text{ Ом}. \quad (2.17)$$

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

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1n}} = \frac{0,887}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 2,823 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}. \quad (2.18)$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме:

$$X_{2\sigma}' = 0,58 \cdot \frac{X_{\text{кн}}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{2,112}{1,033} = 1,185 \text{ Ом}. \quad (2.19)$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{лн}}} = \frac{1,185}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 3,773 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.} \quad (2.20)$$

ЭДС ветви намагничивания E_m , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{\text{лфн}} \cdot \cos \phi_{\text{н}} - I_{\text{лфн}} \cdot R_1)^2 + (U_{\text{лфн}} \cdot \sin \phi_{\text{н}} - I_{\text{лфн}} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,82 - 23,36 \cdot 0,339)^2 + (220 \cdot 0,572 - 23,36 \cdot 0,887)^2} = 202,026 \text{ В} \end{aligned} \quad (2.21)$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{202,026}{10,139} = 19,92 \text{ Ом.} \quad (2.22)$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре:

$$L_m = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{лн}}} = \frac{19,925}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,063 \text{ Гн.} \quad (2.23)$$

Параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 ,	$X_{1\sigma}$,	$L_{1\sigma}$,	X_{μ} ,	L_{μ} ,	R'_2 ,	$X'_{2\sigma}$,	$L'_{2\sigma}$,	$X_{\text{кн}}$,
Ом	Ом	мГн	мГн	Гн	Ом	Ом	мГн	Ом
0,339	0,887	2,823	19,925	0,063	0,328	1,185	3,773	2,112

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя [11]:

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{\text{лфн}}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = 115,146 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.24)$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L'_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{\text{лн}}^2 - I_0^2} = 114,975 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.25)$$

где

$$\Psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 10,139 \cdot 0,063 = 0,909 \text{ Вб.} \quad (2.26)$$

Условия выполняются:

$$\begin{aligned} M_{дв.н} < M_{эм.н}^* &\leq 1,1 \cdot M_{дв.н} \\ 108,3 < 115,146 &\leq 1,1 \cdot 114,975 = 119,12; \\ M_{эм.н}^{**} &= 114,975 \approx M_{эм.н}^* = 115,146. \end{aligned}$$

Следовательно, предварительно принятые значения $(\cos\varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*})$ и β выбраны верно.

2.2 Расчет редуктора и тормозного устройства

Угловая скорость барабана вычисляется по формуле [12]:

$$\omega_б = \frac{2 \cdot V \cdot \alpha}{D_б}, \text{ рад/с} \quad (2.27)$$

где $\alpha = 3$ – кратность полиспаста;

$D_б = 90 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – диаметр барабана.

$$\omega_б = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 3}{90 \cdot 10^{-3}} = 6,6 \text{ рад/с}$$

Передаточное число вычисляется по формуле:

$$i = \frac{\omega_{дв}}{\omega_б}, \quad (2.28)$$

Следовательно:

$$i = \frac{101,526}{6,6} = 15,3$$

Выбираем редуктор с передаточным отношением $i = 16$.

Статический момент на входном валу редуктора при торможении определяется по формуле:

$$M_{ст} = \frac{M_{г} \cdot \eta_m \cdot \eta_a}{i} \quad (2.29)$$

где $M_{ст}$ – статистический момент на входном валу редуктора при торможении, Н·м;

M_{Γ} – грузовой момент на барабане, Н·м;

$\eta_m = 0,9$ – КПД механизма, принимаем равным КПД редуктора;

η_a – КПД полиспаста;

i – номинальное передаточное число редуктора.

Определяем КПД полиспаста по следующей формуле:

$$\eta_a = \left(\frac{1 + \eta_1 + \eta_1^2 + \dots + \eta_1^{a-1}}{a} \right) \cdot \eta_1^k, \quad (2.30)$$

где $\eta_1 = 0,98$ — КПД блока на подшипниках качения;

k — число обводных блоков (для мостового крана $k = 0$).

КПД полиспаста:

$$\eta_a = \frac{1 + 0,98 + 0,98^2}{3} = 0,98;$$

Наибольшее натяжение ветви каната, набегающего на барабан при подъёме груза, вычисляется по формуле:

$$F_a = \frac{F_{\Gamma}}{\alpha \cdot \mu \cdot \eta_a}, \quad (2.31)$$

где F_a – натяжение ветви каната, Н·м

μ - число полиспастов. Для мостового крана $\mu=2$ т.е. оба конца каната закреплены на барабане для строго вертикального подъёма груза и выравнивания усилий на опоры барабана [2] (рисунок 2.1).

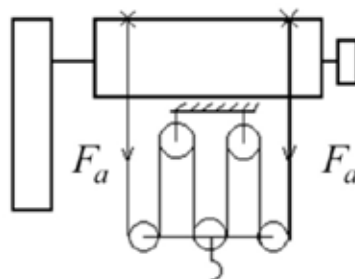


Рисунок 2.1 – Схема полиспаста механизма подъёма груза: $\mu = 2$, $\alpha = 3$

$$F_a = \frac{9,81 \cdot 10^4}{3 \cdot 2 \cdot 0,98} = 16,68 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Грузовой момент на барабане вычисляется по формуле:

$$M_{\Gamma} = \frac{\mu \cdot F_a \cdot D_6}{2}, \quad (2.32)$$

Получим:

$$M_{\Gamma} = \frac{2 \cdot 1,98 \cdot 10^4 \cdot 90 \cdot 10^{-3}}{2} = 1782 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Статический момент на входном валу редуктора:

$$M_{\text{ст}} = \frac{1782 \cdot 0,9 \cdot 0,98}{16} = 98 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тормозной момент, на который регулируют тормоз, рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{тр}} \geq k \cdot M_{\text{ср}}, \quad (2.33)$$

где $M_{\text{тр}}$ – тормозной момент, Н·м;

k — коэффициент запаса торможения.

Согласно [2] $k > 1,5$. Принимаем $k = 2$.

$$M_{\text{тр}} = 2 \cdot 98 = 196 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.3 Расчет статических характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика $M_{\text{эм}}(s)$ электродвигателя для частоты $f_{1\text{н}} = 50$ Гц рассчитывается по выражению [11]:

$$M_{\text{эм}}(s) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}, \quad (2.34)$$

где $M_{\text{эм}}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

Механическая характеристика $\omega(M_{\text{эм}})$ показана на рисунке 2.2.

Значение электромагнитного номинального момента при номинальном скольжении $s_{\text{н}}$:

$$M_{\Sigma M}(s_H) = M_{\Sigma M.H} = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = 115,146 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

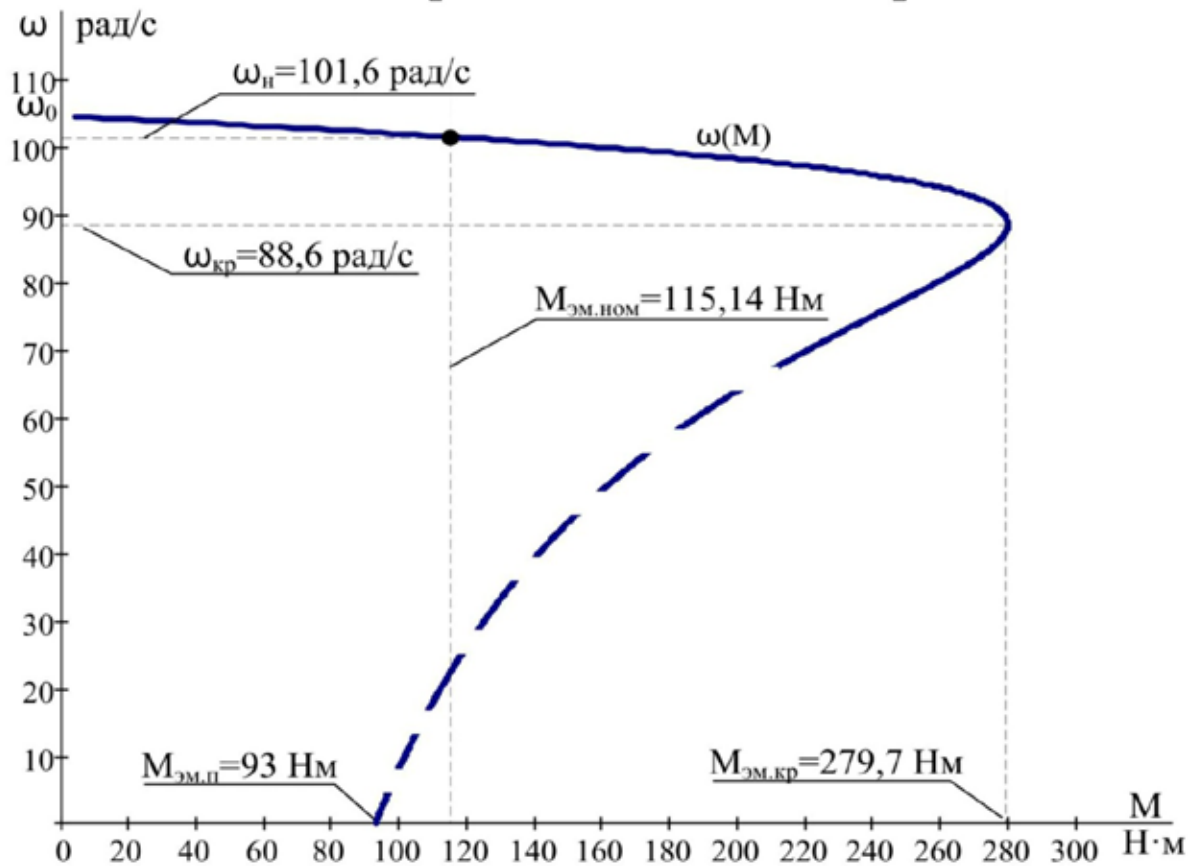


Рисунок 2.2 – Механическая характеристика асинхронного двигателя $\omega(M)$

Момент трения на валу двигателя:

$$M_{с.дв} = M_{\Sigma M.H} - M_{дв.H} = 115,146 - 108,23 = 6,8 \text{ Нм.} \quad (2.35)$$

Критическое скольжение:

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu} \right)^2}{R_1^2 + X_{KH}^2}} = 0,328 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,339}{19,925} \right)^2}{0,339^2 + 2,112^2}} = 0,153 ; \quad (2.36)$$

Электромагнитный критический момент при критическом скольжении:

$$M_{\Sigma M}(s_k) = M_{\Sigma M.K} = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left\{ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{KH}^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu} \right)^2 \right]} \right\}} = 279,7 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Естественные электромеханические характеристики $I_1(s)$ и $I_2(s)$ электродвигателя рассчитывается для частоты $f_{1H} = 50$ Гц по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \times I_0 \times I_2'(s) \times \sin f_2(s)}, \quad (2.37)$$

где $I_1 = I_{1\phi}$ – действующее значение фазного тока двигателя, А;

$$\begin{aligned} I_2'(s) &= \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2'}{s} + X_{KH}^2 + \frac{R_1 \times R_2'}{s \times X_m^2}}} = \\ &= \frac{220}{\pm \sqrt{0,339 + \frac{0,328}{s} + 2,112^2 + \frac{0,339 \times 0,328}{s \times 19,925^2}}}; \end{aligned}$$

– приведенный к обмотке статора ток ротора, А;

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1s} + X_m)^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,339^2 + (0,887 + 19,925)^2}} = 10,56 \text{ А},$$

– действующее значение тока холостого хода, А;

$$\sin f_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2'}{s} + (X_{KH})^2}} = \frac{2,112}{\sqrt{0,339 + \frac{0,328}{s} + (2,112)^2}}.$$

По результатам расчета построены электромеханические характеристики двигателя $w(I_1)$ и $w(I_2)$ (рисунок 2.3), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению

$$w = w_0 \times (1 - s), \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.38)$$

Для скольжения $s = s_H$ рассчитывается значения номинального тока статора $I_{1H}(s_H)$.

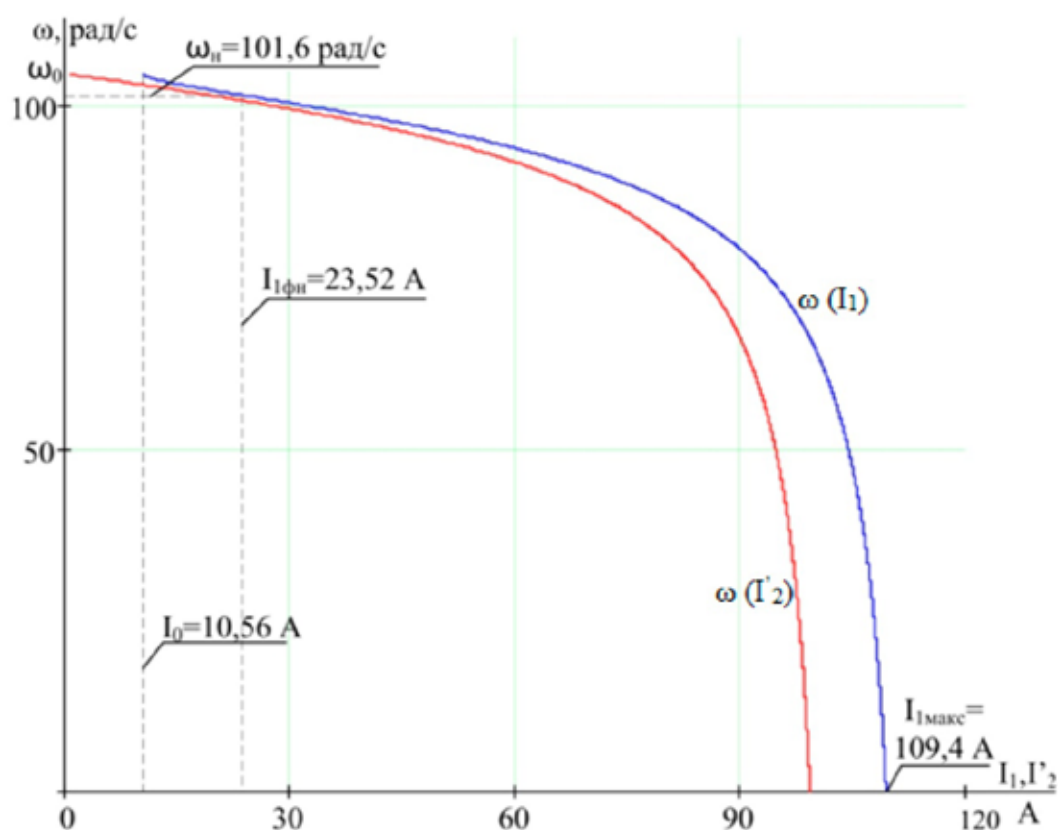


Рисунок 2.3 – Естественные электромеханические характеристики двигателя $\omega(I_1)$ и $\omega(I_2')$

В результате расчёта естественных характеристик двигателя получены следующие параметры для их характерных точек:

$$s_H = 3\%; \quad s_K = 15,3\%; \quad I_{1H} = 23,52 \text{ A}; \quad I_{1\text{макс}} = 109,4 \text{ A};$$

$$I_{1\text{макс}} / I_{1H} = 4,68 \text{ A}; \quad M_{\text{эм.н}} = 115,14 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_{\text{эм.к}} = 279,7 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{эм.к}} / M_{\text{эм.н}} = 2,42; \quad M_{\text{эм.пуск}} = 93 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_{\text{эм.пуск}} / M_{\text{эм.н}} = 0,8;$$

Справочные и расчётные параметры двигателя:

$$s_H = 3\%; \quad s_K = 15,9\%; \quad I_{\text{дв.н}} = 23,36 \text{ A}; \quad I_{\text{дв.макс}} = 151,84 \text{ A}$$

$$I_{\text{дв.макс}} / I_{\text{дв.н}} = 6,5; \quad M_{\text{дв.н}} = 108,3 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_K = 270,7 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_K / M_{\text{дв.н}} = 2,5; \quad M_{\text{дв.пуск}} = 205,7 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_{\text{дв.пуск}} / M_{\text{дв.н}} = 1,899$$

Сравнения параметров расчётных характеристик со справочными параметрами двигателя показывают соответствие условиям для их характерных точек

$M_{\text{эм.н}} > M_{\text{дв.н}}$, $M_{\text{эм.к}} > M_{\text{к}}$. Условие $M_{\text{эм.пуск}} > M_{\text{дв.пуск}}$ не выполняется, поэтому часть характеристики $\omega(M)$ показана пунктиром.

2.4 Выбор типа преобразователя и расчет параметров структурной схемы двигателя

Для регулируемого асинхронного электропривода подъема мостового крана используем преобразователь серии Mitsubishi FR-F740-00250 [13], параметры которого приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Параметры преобразователя частоты Mitsubishi

Модель	Число фаз на входе	$U_{\text{н}}$, В	$I_{\text{и.н}}$, А	$I_{\text{и.макс}}$, А	Рекомендуемая мощность двигателя, кВт
Mitsubishi FR-F740-00250	3	380	25	30	11

Общие технические данные преобразователя частоты Mitsubishi:

- коэффициент мощности 0,8;
- КПД не менее 0,96;
- выходная частота 0,5÷400 Гц;
- частота ШИМ 0,7÷14,5 кГц, (принимается 10 кГц).

Способ управления – векторный.

К электроприводам механизмов подъема мостовых кранов предъявляются наиболее жесткие требования, поэтому был выбран векторный способ управления. Использование преобразователя частоты с векторным управлением позволит повысить скорость перемещения и точность останова груза, за счет ограничения рывка и ускорения обеспечить отсутствие ощутимых толчков при старте и останове, увеличить срок службы основных механических узлов – тяговых тросов, тормозных колодок, редукторов, подвески противовеса.

Эквивалентные индуктивности обмоток статора:

$$L_1 = L_{1S} + L_m = 0,002823 + 0,063 = 0,066 \text{ Гн}; \quad (2.39)$$

ротора, приведённой к цепи статора:

$$L'_2 = L'_{2S} + L_m = 0,003773 + 0,063 = 0,067 \text{ Гн}; \quad (2.40)$$

Коэффициент рассеяния:

$$s = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \times L'_2} = 1 - \frac{0,063^2}{0,066 \times 0,067} = 0,096. \quad (2.41)$$

Эквивалентное сопротивление цепи статора:

$$R_{1\sigma} = R_1 + R'_2 \times \frac{L_m^2}{L'^2_2} = 0,339 + 0,328 \times \frac{0,063^2}{0,067^2} = 0,632 \text{ Ом}. \quad (2.42)$$

Электромагнитные постоянные времени цепи статора и ротора:

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \times L_1}{R_{1\sigma}} = \frac{0,096 \times 0,066}{0,632} = 0,01 \text{ с}. \quad (2.43)$$

$$T_2 = \frac{L'_2}{R'_2} = \frac{0,067}{0,328} = 0,205 \text{ с}. \quad (2.44)$$

2.5 Расчет характеристик двигателя при векторном управлении и проверка выбора двигателя и преобразователя

В плоскости механической характеристики $w(M)$ рисунка 2.4 рассчитаны и построены:

1. Характеристика электромагнитного номинального момента $M_{\text{эм.н}} = 115,14 \text{ Н} \cdot \text{м};$

2. Характеристика статического момента максимальной нагрузки $M_{\text{с эм.макс}}(w) = M_{\text{с макс}}(w) + DM_{\text{с дв}},$ где,

$$M_{\text{с макс}} = M_{\text{гр.макс}} = (1 + a + b) \frac{M_{\text{н.г}} \times g}{e \cdot a} \times R_{\text{б}} \frac{\ddot{\phi}}{\dot{\phi}_{\text{ред}}}, \quad (2.45)$$

где $a = b = \frac{1 - h_{\text{пер}} \times h_{\text{ред}}}{2 \times h_{\text{пер}} \times h_{\text{ред}}}$ - коэффициенты постоянных (а) и переменных (b)

потерь механизма, $h_{\text{пер}} = 0,96; h_{\text{ред}} = 0,98$.

$m_{\text{гр}} = 10 \times 10^3$ кг - масса груза;

$R_6 = 45 \times 10^{-3}$ м - радиус барабана;

$$M_{\text{с макс}} = (1 + 0,031 + 0,031) \times \frac{10^4 \times 9,8}{3} \times 45 \times 10^{-3} \times \frac{1}{16} = 98 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{с эм. макс}}(\omega) = 98 + 6,8 = 104,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3. Характеристика статического момента минимальной нагрузки

$M_{\text{с эм. мин}}(\omega) = M_{\text{с мин}}(\omega) + DM_{\text{с дв}}$, где

$$M_{\text{с мин}}(\omega) = a \times \frac{m_{\text{гр}} \times g}{3} \times R_6 \times \frac{1}{16}, \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.46)$$

$$M_{\text{с мин}}(\omega) = 0,031 \times \frac{10^4 \times 9,8}{3} \times 45 \times 10^{-3} \times \frac{1}{16} = 2,8 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{с эм. мин}}(\omega) = 2,8 + 6,8 = 9,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4. Зависимость длительно допустимого момента электродвигателя

$M_{\text{эм. длит. доп}}(\omega)$ по выражению:

$$\begin{aligned} \dot{M}_{\text{эм. длит. доп}}(\omega) &= \frac{1}{\epsilon} k + (1 - k) \times \frac{2 \times \omega \ddot{\omega}}{\omega_{\text{дв.н}} \ddot{\omega}} \times M_{\text{эм.н}} \quad \text{при } 0 < \omega \leq 0,5 \times \omega_{\text{дв.н}}; \\ \dot{M}_{\text{эм. длит. доп}}(\omega) &= M_{\text{эм.н}} = 115,14 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad \text{при } 0,5 \times \omega_{\text{дв.н}} < \omega \leq \omega_{\text{дв.н}}. \end{aligned}$$

где $k = 0,95$ - коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя при неподвижном роторе.

5. Значение $M_{\text{эп. макс}}$ соответствующее максимальному току электропривода $I_{\text{эп. макс}}$. Для этого на естественной электромеханической характеристике определено соответствующее $I_{\text{эп. макс}} = I_{\text{и. макс}}$ значение

скольжения $s_{T.1} = \frac{w_0 - w_{T.1}}{w_0} = \frac{104,7 - 100,43}{104,7} = 0,041$ и при этом скольжении найдено

значение максимального электромагнитного момента

$$M_{\text{эм.макс}} = \frac{3 \times U_{1\text{фн}}^2 \times R_2'}{w_0 \times s_{T.2} \times (X_{\text{кн}})^2 + \frac{R_1}{s_{T.2}} + \frac{R_2'}{s_{T.2}} + \frac{R_1 \times R_2'}{s_{T.2} \times X_{\text{м}}^2}} =$$

$$= \frac{3 \times 220^2 \times 0,328}{104,72 \times 0,041 \times (2,112)^2 + 0,339 + \frac{0,328}{0,041} + \frac{0,339 \times 0,328}{0,041 \times 19,925}} = 149,65 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

В плоскости электромеханической характеристики $w(I_1)$ рисунка 2.5 рассчитаны и построены:

1. Зависимость максимальной нагрузки:

$$I_{\text{с макс}}(w) = \sqrt{\frac{\frac{M_{\text{с эм.макс}}(w)}{\frac{3}{2} \times \frac{L_m}{L_2} \times Z_p \times Y_{2d} \times \sqrt{2}}}{\frac{104,8}{0,063} \times 3 \times 0,909 \times \sqrt{2}}} + I_0^2} =$$

$$= \sqrt{\frac{104,8}{0,063} \times 3 \times 0,909 \times \sqrt{2}} + 10,56 = 21,9 \text{ А.} \quad (2.47)$$

где при $w \in w_{\text{дв.н}}$ $Y_{2d} = Y_{2н}$;

2. Зависимость от скорости длительно допустимого тока электродвигателя

$$I_{1\text{ф длит.доп}}(w) = \begin{cases} I_{1\text{фн}} \times k + (1 - k) \times \frac{2 \times w}{w_{\text{дв.н}}} & \text{при } w \in 0,5 \times w_{\text{дв.н}}; \\ I_{1\text{фн}} & \text{при } w > 0,5 \times w_{\text{дв.н}}; \end{cases}$$

3. Номинального тока инвертора $I_{\text{и.н}} = 25 \text{ А};$

4. Максимального тока инвертора $I_{\text{и.макс}} = 30 \text{ А};$

5. Выбранного кратковременно допустимого (максимального) тока двигателя в пуско-тормозных режимах

$$I_{1\text{ф кратк.доп}}(\omega) \leq I_{\text{и. макс}}$$

или соответствующего значению выбранного выше кратковременно допустимого (максимального) электромагнитного момента двигателя $M_{\text{эм.кратк.доп}}(\omega)$

$$I_{1\text{ф кратк.доп}}(\omega) = I_{\text{эм. макс}}(\omega) = \sqrt{\left(\frac{M_{\text{эм.кратк.доп}}(\omega)}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot \sqrt{2}} \right)^2 + I_0^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{149,65}{\frac{3}{2} \cdot \frac{0,063}{0,067} \cdot 3 \cdot 0,909 \cdot \sqrt{2}} \right)^2 + 10,56^2} = 29,363 \text{ A.} \quad (2.48)$$

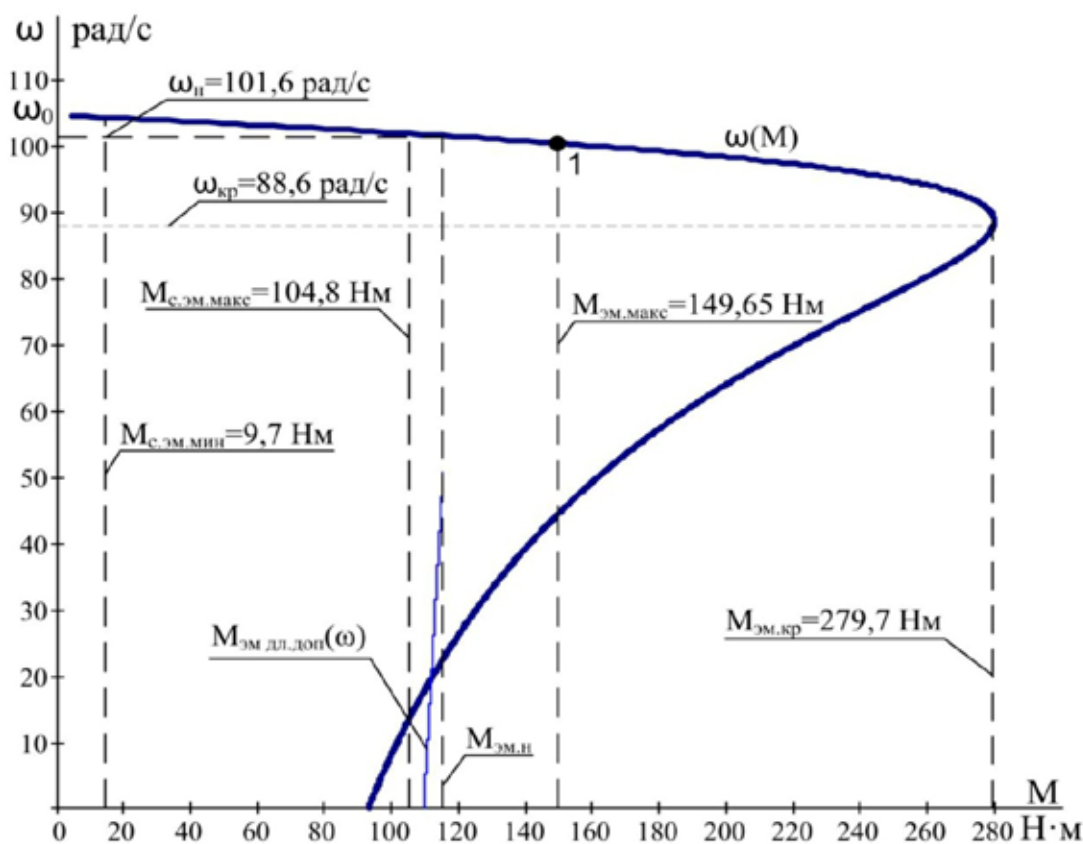


Рисунок 2.4 – Механическая характеристика электропривода и нагрузки $\omega(M)$ при векторном управлении

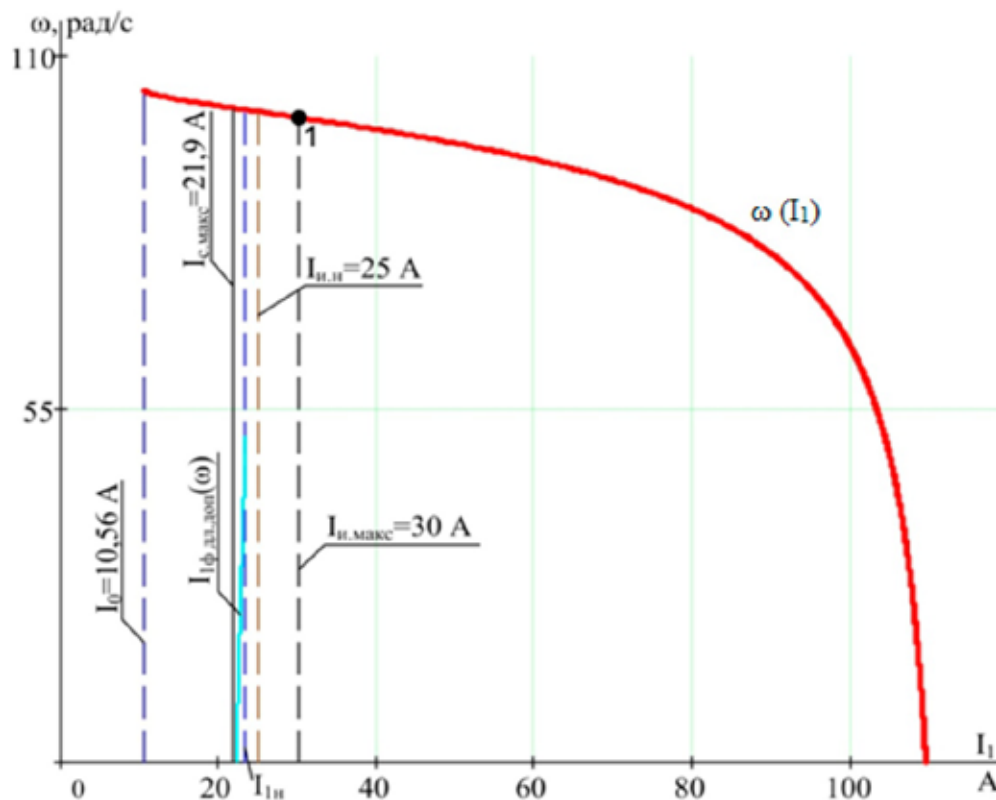


Рисунок 2.5 – Электромеханическая характеристика электропривода $\omega(I_1)$ и нагрузки при векторном управлении

Анализ приведенных на рисунке 2.4 механической характеристики электропривода $\omega(M)$ и нагрузки $M(\omega)$ показывает, что во всем диапазоне регулирования скорости выполняются условия:

$$\left. \begin{array}{l} M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) \geq M_{\text{с.макс}} \\ M_{\text{дв.макс}}(\omega) \geq M_{\text{эп.макс}} \end{array} \right\},$$

следовательно, двигатель по моменту выбран правильно.

По результатам построения электромеханических характеристик электропривода $\omega(I_1)$ (рисунок 2.5) во всем диапазоне регулирования скорости имеем:

$$I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) \geq I_{\text{с.макс}},$$

что подтверждает правильность выбора двигателя по току.

На рисунке 2.5 в плоскости электромеханических характеристик построены характеристики, соответствующие номинальному и максимально допустимому току преобразователя: $I_{\text{н.н}} = 25 \text{ A}$, $I_{\text{н.макс}} = 30 \text{ A}$. Из рисунка видно, что условие

$I_{н.н.} \leq I_{с.макс}$ выполняется, следовательно преобразователь по току выбран правильно.

2.6 Выбор напряжения питающей сети асинхронного электропривода с векторным управлением

Поскольку жесткость статических характеристик разомкнутой системы преобразователь – двигатель оказывается меньше жесткости естественных характеристик двигателя, то, очевидно, что необходимо иметь некоторый запас по напряжению питающей сети для обеспечения требуемой максимальной рабочей скорости электропривода и его быстродействия.

Напряжение питающей сети выбираем из следующего условия:

– при скорости двигателя $\omega^* = \omega_{эп.макс}$ преобразователь должен обеспечивать ток $I_{1ф}^* \leq I_{с.макс}$ (максимальное быстродействие электропривода достигается при выполнении условия $I_{1ф}^* \leq I_{1ф.макс}$).

При выбранных значениях максимальной скорости ω^* и тока $I_{1ф}^*$ рассчитаны требуемые значения:

– составляющей тока I_{1q} двухфазной модели двигателя во вращающейся системе координат d, q :

$$I_{1q}^* = \sqrt{2} \times \sqrt{(I_{1ф}^*)^2 - I_0^2} = \sqrt{2} \times \sqrt{21,9^2 - 10,56^2} = 27,13 \text{ А}; \quad (2.49)$$

– частоты питающего напряжения:

$$\begin{aligned} f_1^* &= \frac{1}{2p} \times \frac{\omega^*}{\omega_{сн}} \times z_p + R_{\Sigma} \times \frac{L_m}{L_{\Sigma}} \times \frac{I_{1q}^*}{Y_{2н}} \div \frac{\ddot{\theta}}{\ddot{\theta}} \\ &= \frac{1}{2p} \times \frac{\omega^*}{\omega_{сн}} \times 101,6 \times 3 + 0,328 \times \frac{0,063}{0,067} \times \frac{27,13}{0,909} \div \frac{\ddot{\theta}}{\ddot{\theta}} = 49,97 \text{ Гц}; \end{aligned} \quad (2.50)$$

– составляющей напряжения U_{1d} двухфазной модели двигателя во вращающейся системе координат d, q :

$$U_{1d}^* = \frac{R_{1\phi}}{L_m} - R_2' \times \frac{L_m}{L_2^2} \ddot{\gamma}_{2H} - 2p \times f_1^* \times s \times L_1 \times I_{1q}^*, B \quad (2.51)$$

$$U_{1d}^* = \frac{0,632}{0,063} - 0,328 \times \frac{0,063}{0,067^2} \ddot{\gamma}_{2H} - 2p \times 49,97 \times 0,096 \times 0,066 \times 27,13 = -49,52 B;$$

– составляющей напряжения U_{1q} двухфазной модели двигателя во вращающейся системе координат d, q :

$$U_{1q}^* = 2p \times f_1^* \times \frac{s \times L_1}{L_m} \dot{\gamma}_{2H} + \frac{L_m}{L_2^2} \dot{\gamma}_{2H} \times z_p \times \dot{\omega}^* + R_{1\phi} \times I_{1q}^*, B \quad (2.52)$$

$$U_{1q}^* = 2p \times 49,97 \times \frac{0,096 \times 0,066}{0,063} \times 0,909 + \frac{0,063}{0,067} \times 0,909 \times 3 \times 101,6 + 0,632 \times 27,13 = 307,456 B;$$

– фазного напряжения трехфазного двигателя:

$$U_{1\phi}^* = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \sqrt{(U_{1d}^*)^2 + (U_{1q}^*)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \sqrt{(-49,52)^2 + (307,456)^2} = 220,2 B; \quad (2.53)$$

– напряжения звена постоянного тока преобразователя:

$$U_d^* = \sqrt{3} \times \sqrt{2} \times U_{1\phi}^* = \sqrt{3} \times \sqrt{2} \times 220,2 = 539,39 B; \quad (2.54)$$

– напряжения питающей сети:

$$U_c^* = \frac{U_d^*}{1,35} = \frac{539,39}{1,35} = 399,5 B. \quad (2.55)$$

2.7 Имитационная модель электрической части силового канала

Пример реализации имитационной модели следящего асинхронного электропривода с векторным управлением, учитывающий квантование сигналов обратных связей по уровню и времени и сигналов управления по времени, приведен на рисунке 2.6.

Имитационная модель асинхронного электропривода с векторным управлением состоит из следующих функциональных элементов:

- источник трехфазного переменного тока неограниченной мощности;
- реактор на стороне питающей сети;

- неуправляемый диодный выпрямитель;
- конденсатор в звене постоянного тока;
- инвертор напряжения на *IGBT* транзисторах;
- модели асинхронного двигателя;
- цепь разряда конденсатора, состоящая из тормозного резистора и транзисторного ключа.

Система управления электропривода реализована как многоконтурная система регулирования и включает в себя модели:

- контура регулирования тока I_{1d} с ПИ-регулятором;
- контура регулирования тока I_{1q} с ПИ-регулятором;
- контура регулирования скорости (рисунок 2.7) двигателя $w_{дв}$ с ПИ-регулятором;
- контура регулирования потокосцепления ротора (рисунок 2.8) Ψ_{2d} с ПИ-регулятором;
- преобразователей координат управляющих напряжений;
- формирователя регулируемых координат привода в общем случае с датчиками токов, потоков и скорости двигателя.

В данном случае принята модель двухфазного асинхронного двигателя во вращающейся системе координат d, q . Предполагается, что токи I_{1d} , I_{1q} и потокосцепление ротора Ψ_{2d} измеряются аналоговыми датчиками, а затем аналоговый сигнал оцифровывается с помощью АЦП. Скорость вращения двигателя может измеряться с помощью аналогового датчика скорости, установленного на валу двигателя, а положение исполнительного органа механизма – импульсным датчиком, установленным на выходном валу механизма.

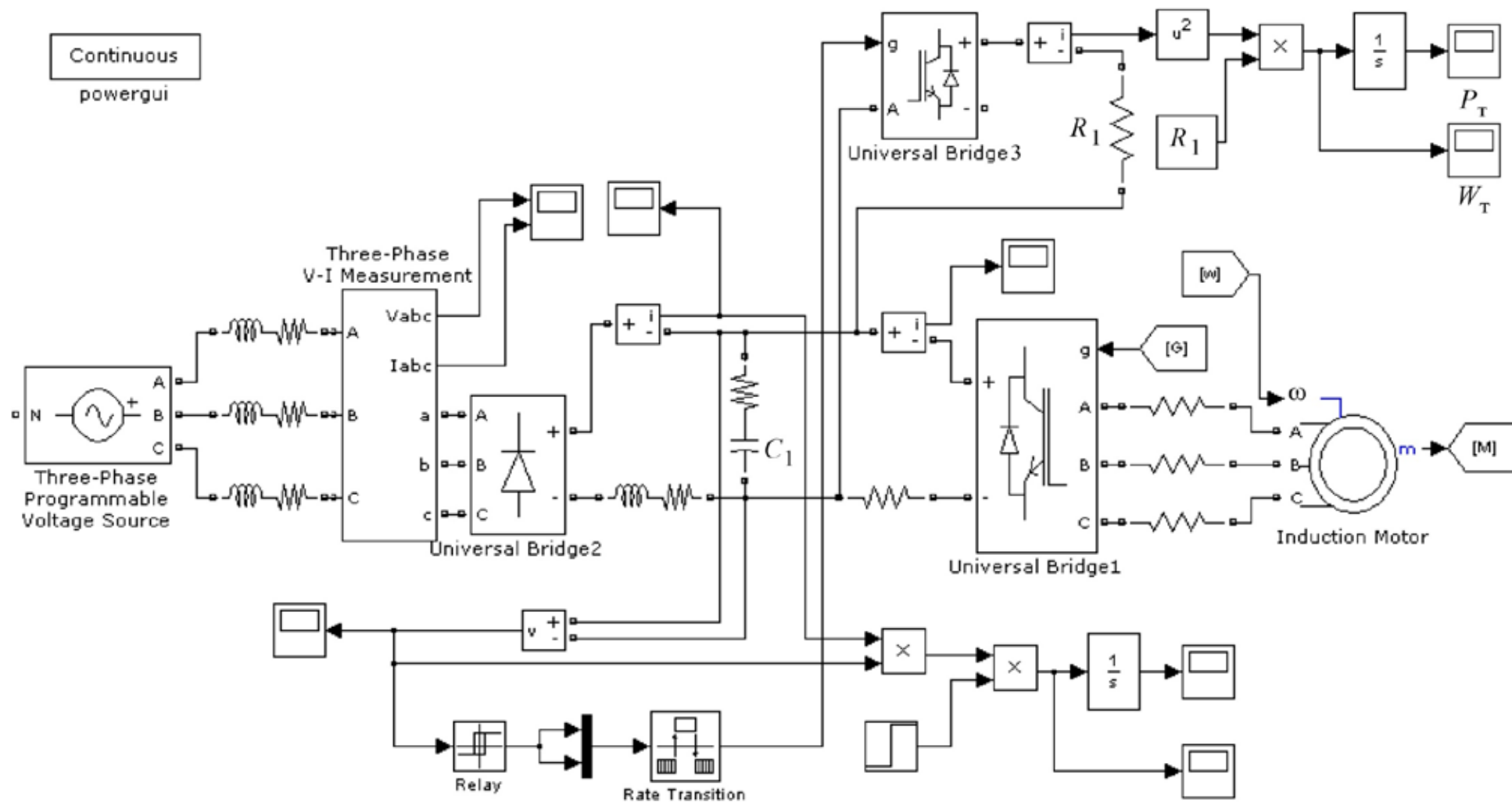


Рисунок 2.6 – Имитационная модель электрической части силового канала системы преобразователь частоты-асинхронный электродвигатель

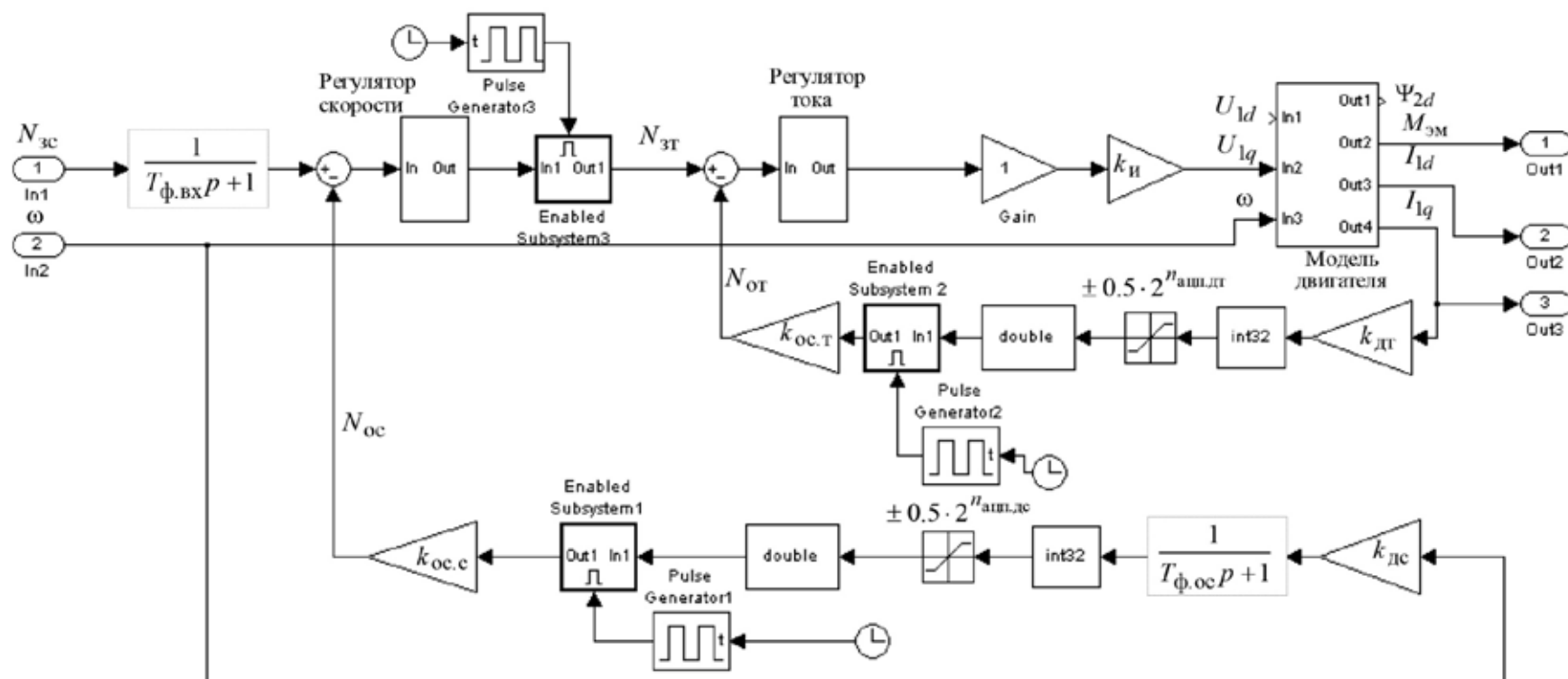


Рисунок 2.7 – Имитационная модель контура скорости с аналоговым датчиком и внутренним контуром тока I_{lq}

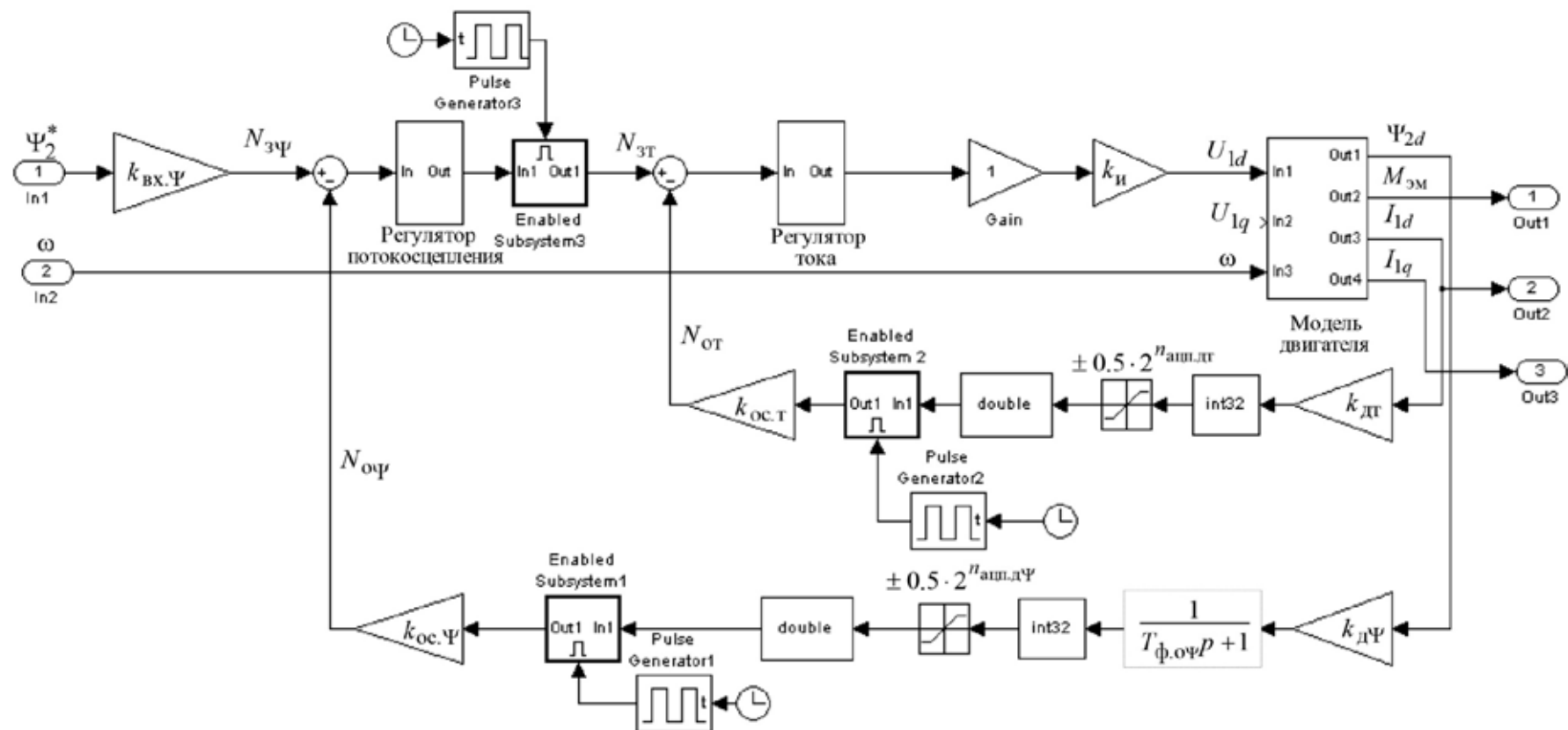


Рисунок 2.8 – Имитационная модель контура потокосцепления с внутренним контуром тока I_{1d}

2.8 Методика настройки контуров регулирования САУ асинхронного электропривода

В многоконтурной системе управления подчиненного регулирования электропривода регуляторы включены последовательно. Расчет управлений начинается с внешнего контура. Регулятор контура рассчитывает управление после того, как будут определены сигнал задания на входе контура N_{zi} и сигнал обратной связи N_{oi} . Сигнал обратной связи рассчитывается и остается постоянным на интервале квантования сигнала $T_{oc,i}$ в цепи обратной связи. Выходной сигнал регулятора рассчитывается и остается постоянным на интервале квантования сигнала $T_{пк,i}$ в прямом канале контура. Рассчитанное регулятором тока управление подается на ключи инвертора только на следующем интервале ШИМ, т.е. с временной задержкой $T_{зу.и} = T_{шим}$. Наибольшее быстродействие электропривода достигается при максимальном быстродействии внутреннего контура тока I_{1q} .

В простейшем случае без учета ШИМ инвертор представляет собой линейный усилитель с чистым запаздыванием на величину периода широтно-импульсной модуляции $T_{шим}$

$$T_{и} = T_{шим} = \frac{1}{f_{шим}} = \frac{1}{10000} = 1 \times 10^{-4} \text{ с}, \quad (2.56)$$

где $f_{шим} = 10000$ Гц – несущая частота инвертора (частота ШИМ).

Максимальные значения действующего и амплитудного фазного напряжения двигателя принимаем, соответственно, равными:

$$U_{1фн} = 220 \text{ В}; \quad U_{1фм} = \sqrt{2} \times U_{1фн} = \sqrt{2} \times 220 = 311,1 \text{ В}.$$

С учетом ШИМ напряжения инвертора и при соединении обмоток статора двигателя в звезду условие согласования напряжения преобразователя и двигателя

$$U_{d0} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1н}}{\gamma_{\max}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 220}{0,95} = 567,25 \text{ В}, \quad (2.57)$$

где $\gamma_{\max} < 1$ – максимальное значение коэффициента относительной продолжительности включения ключей инвертора, примем $\gamma_{\max} = 0,95$ о.е.,

тогда требуемое значение линейного напряжения источника питания преобразователя

$$U_c = \frac{U_{d0}}{1,35} = \frac{567,25}{1,35 \div 1,41} = 401 \div 420 \text{ В}; \quad (2.58)$$

Принимаем коэффициент усиления инвертора

$$k_{\text{и}} = \frac{U_{\text{д}}^*}{\sqrt{3}} = \frac{539,39}{\sqrt{3}} = 311,419. \quad (2.59)$$

2.8.1 Контур тока с ПИ-регулятором и датчиком тока

Контуры токов I_{ld} и I_{lq} реализованы по одной схеме и имеют одинаковые параметры. Аналоговые сигналы с первичных преобразователей тока двух фаз обмотки статора преобразуются с помощью АЦП в цифровые сигналы. В цепи измерения токов могут быть установлены аналоговые сглаживающие фильтры.

Параметры элементов контура тока:

$$k_{\text{дт}} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.дт}}}}{\sigma_{\text{т}} \cdot (\sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}})} = \frac{0,5 \cdot 4096}{1,2 \cdot (\sqrt{2} \cdot 29,36)} = 41 \text{ 1/А}, \quad (2.60)$$

где $\sigma_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий возможное перерегулирование тока, принято $\sigma_{\text{т}} = 1,2$;

$n_{\text{ацп. дт}} = 12$ – разрядность АЦП датчика тока преобразователя;

Интервал квантования сигналов в цепи обратной связи контура тока

$$T_{\text{ос.т}} = n_{\text{ос.т}} \cdot T_{\text{шим}} = 1 \cdot 10^{-4} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с}, \quad (2.61)$$

где $n_{\text{ос.т}} \geq 1$ – количество периодов модуляции для измерения тока, при частоте, принято $n_{\text{ос.т}} = 1$;

$T_{\text{пк.т}} \leq T_{\text{ос.т}}$ – интервал квантования управления в прямом канале контура тока, с;

$T_{\text{зу.и}} = T_{\text{шим}} = 1 \cdot 10^{-4}$ с – интервал времени задержки подачи управления от регулятора тока к ключам инвертора;

$T_{\text{ф.от}}$ – постоянная времени аналогового фильтра в цепи измерения тока, $T_{\text{ф.от}} = 0$ т.к. фильтр отсутствует;

$N_{\text{зт.макс}}$ – максимальное значение задания на входе контура тока, соответствующее максимальному значению тока электропривода $I_{\text{эп.макс}}$, в относительных единицах

$$N_{\text{зт.макс}} = \frac{1}{\sigma_{\text{т}}} = \frac{1}{1,2} = 0,833. \quad (2.62)$$

Расчетные параметры настройки контура тока:

Передаточная функция ПИ-регулятора тока:

$$W(p)_{\text{рт}} = k_{\text{рт}} \cdot \frac{T_{\text{рт}} \cdot p + 1}{T_{\text{рт}} \cdot p}.$$

Параметры настройки регулятора:

постоянная времени регулятора тока:

$$T_{\text{рт}} = T_{1\text{э}} = 0,01 \text{ с};$$

коэффициент усиления регулятора тока:

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_{1\text{э}} \cdot R_{1\text{э}}}{k_{\text{и}} \cdot k_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\text{мтэ}}} = \frac{0,01 \cdot 0,632}{311,419 \cdot 0,02 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}} = 3,4 \quad (2.63)$$

где

$$k_{\text{т}} = \frac{N_{\text{зт.макс}}}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}}} = \frac{1}{\sigma_{\text{т}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}}} = \frac{1}{1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 29,36} = 0,02 \text{ 1/А}, \quad (2.64)$$

– коэффициент обратной связи по току;

$$T_{\mu\tau\theta} = \frac{T_{\text{ос.т}}}{n_T} + T_{\text{зу.и}} + T_{\text{ф.от}} = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{2} + 1 \cdot 10^{-4} + 0 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ с} \quad (2.65)$$

– малая постоянная времени оптимизированного контура тока;

$n_T = 1 \div 3$ – коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном, принят $n_T = 2$ – настройка контура тока близка к типовой настройке на МО ($\sigma < 5\%$);

$a_T = 2$ – коэффициент типовой настройки контура тока на модульный оптимум (МО).

Достигнуто максимальное быстродействие контура тока, т.к. $T_{\text{ос.т}} = T_{\text{пк.т}} = T_{\text{шим}}$.

Для ограничения управления инвертором на заданном уровне $\gamma_{\text{макс}}$ значения выходных сигналов регуляторов токов I_{1d} и I_{1q} должны удовлетворять условию

$$\gamma_{\text{макс}}^2 = N_{\text{рtd}}^2 + N_{\text{ртq}}^2.$$

В качестве приоритетного выбрано текущее значение выходного сигнала регулятора I_{1d} , тогда допустимое значение его выходного сигнала ограничивается на постоянном уровне

$$N_{\text{рtd доп}} = \gamma_{\text{макс}} = 0,95,$$

а допустимое значение выходного сигнала регулятора тока I_{1q} в процессе работы ограничено в соответствии с условием:

$$N_{\text{ртq доп}} = \sqrt{\gamma_{\text{макс}}^2 - N_{\text{рtd}}^2}.$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура тока

$$k_{\text{ос.т}} = \frac{k_T}{k_{\text{дт}}} = \frac{8,503 \cdot 10^{-3}}{17,414} = 4,883 \cdot 10^{-4}. \quad (2.66)$$

2.8.2 Контур скорости с ПИ-регулятором и датчиком скорости

Имитационная модель контура скорости с аналоговым датчиком приведена на рисунке 2.7. Аналоговый сигнал с аналогового датчика скорости (например, тахогенератора постоянного тока) преобразуется с помощью АЦП в цифровой сигнал. В состав аналогового датчика скорости может быть включен аналоговый фильтр.

Внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{т.зам}} \approx \frac{1}{T_{\text{т}} \cdot p + 1},$$

где

$$T_{\text{т}} = a_{\text{т}} \cdot T_{\text{мгэ}} = 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ с} \quad (2.67)$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Параметры элементов контура скорости с аналоговым датчиком:

$n_{\text{ацп.дс}} = 14$ – разрядность АЦП датчика скорости;

$$k_{\text{дс}} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.дс}}}}{\sigma_{\text{с}} \cdot \omega_{\text{оп.макс}}} = \frac{8192}{1,5521 \cdot 101,5} = 52 \quad (2.68)$$

– коэффициент передачи датчика скорости, с/рад;

где $\sigma_{\text{с}} = 1,5521$ – коэффициент, учитывающий возможное перерегулирование скорости;

$T_{\text{ос.с}} = 1/1000 \text{ с}$ – интервал квантования по времени сигналов в цепи обратной связи контура скорости;

$$N_{\text{зс.макс}} = \frac{1}{\sigma_{\text{с}}} = \frac{1}{1,5521} = 0,644 \quad (2.69)$$

– максимальное значение задания на входе контура скорости, соответствующее значению максимальной скорости привода $n_{\text{оп.макс}}$.

Расчетные параметры настройки контура скорости с аналоговым датчиком:

Передаточная функция регулятора скорости:

– ПИ-регулятора

$$W(p)_{\text{pc}} = k_{\text{pc}} \cdot \frac{T_{\text{pc}} p + 1}{T_{\text{pc}} \cdot p}.$$

Параметры настройки регулятора скорости:

– постоянная времени регулятора

$$T_{\text{pc}} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu\text{сз}} = 2 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ с} \quad (2.70)$$

– коэффициент усиления регулятора

$$k_{\text{pc}} = \frac{J_{\text{э}} \cdot k_{\text{т}}}{c_{\text{м}} \cdot k_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot T_{\mu\text{сз}}} = \frac{0,51 \cdot 0,02}{4 \cdot 6,348 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 250,27 \quad (2.71)$$

где

$$c_{\text{м}} = \Psi_{2\text{н}} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p = 0,948 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,063}{0,067} \cdot 3 = 4 \quad (2.72)$$

– коэффициент электромагнитного момента двухфазного двигателя во вращающейся системе координат при номинальном потоке;

$$k_{\text{с}} = \frac{N_{\text{эс.макс}}}{\omega_{\text{эл.макс}}} = \frac{0,644}{101,5} = 6,348 \cdot 10^{-3} \text{ с / рад} \quad (2.73)$$

– коэффициент обратной связи по скорости;

$$T_{\mu\text{сз}} = T_{\text{т}} + \frac{T_{\text{ос.с}}}{n_{\text{с}}} + T_{\text{ф.ос}} = 3 \cdot 10^{-4} + \frac{10^{-3}}{2} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ с} \quad (2.74)$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости;

$n_{\text{с}} = 2$ – коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном;

$b_{\text{с}} = a_{\text{с}} = 2$ – коэффициенты типовой настройки контура скорости на симметричный оптимум с ПИ-регулятором.

Для ограничения тока двигателя на заданном уровне $I_{\text{макс}}$ значения выходных сигналов регуляторов потокосцепления и скорости в общем случае должны удовлетворять условию

$$N_{\text{зт. макс}}^2 = N_{\text{р}\Psi}^2 + N_{\text{рс}}^2.$$

В качестве приоритетного следует выбрать текущее значение выходного сигнала регулятора потокосцепления, тогда допустимое значение выходного сигнала регулятора скорости в процессе работы должно поддерживаться в соответствии с условием:

$$N_{\text{рс. доп}} = \sqrt{N_{\text{зт. макс}}^2 - N_{\text{р}\Psi}^2} = \sqrt{0,644^2 - N_{\text{р}\Psi}^2}.$$

Коэффициент согласования сигналов датчика обратной связи и задания на входе контура скорости:

$$k_{\text{ос.с}} = \frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{дс}}} = 1,221 \cdot 10^{-4}. \quad (2.75)$$

2.8.3 Контур потокосцепления ротора с ПИ-регулятором и датчиком потока

Имитационная модель контура потокосцепления с аналоговым датчиком приведена на рисунке 2.8. Аналоговый сигнал с аналогового датчика потока преобразуется с помощью АЦП в цифровой сигнал. В состав аналогового датчика потока может быть включен аналоговый фильтр.

Внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{т. зам}} \approx \frac{1}{T_{\text{т}} \cdot p + 1},$$

где

$T_{\text{т}} = a_{\text{т}} \cdot T_{\text{мтэ}}$ – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

Параметры элементов контура потокосцепления с аналоговым датчиком:

$n_{\text{ацп.д}\Psi}$ – разрядность АЦП датчика потока;

$$k_{\text{д}\Psi} = \frac{0.5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.д}\Psi}}}{\sigma_{\Psi} \cdot \Psi_{2н}} = \frac{2048}{1,1 \cdot 0,909} = 2048 \quad (2.76)$$

– коэффициент передачи датчика потока, 1/Вб,

где $\sigma_{\Psi} = 1,1$ – коэффициент, учитывающий возможное перерегулирование потока;

$T_{\text{ос.}\Psi} = 10^{-3} \text{ с}$ – интервал квантования по времени сигналов в цепи обратной связи контура потокосцепления;

$$N_{\text{з}\Psi, \text{макс}} = \frac{1}{\sigma_{\Psi}} = \frac{1}{1,1} = 0,909 \quad (2.77)$$

– максимальное значение задания на входе контура потокосцепления, соответствующее номинальному потокосцеплению ротора двигателя $\Psi_{2н}$.

Расчетные параметры настройки контура потокосцепления с аналоговым датчиком:

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

$$W(p)_{\text{р}\Psi} = k_{\text{р}\Psi} \cdot \frac{T_{\text{р}\Psi} \cdot p + 1}{T_{\text{р}\Psi} \cdot p}.$$

Параметры настройки регулятора потокосцепления ротора:

– постоянная времени регулятора

$$T_{\text{р}\Psi} = T_2 = 0,205 \text{ с};$$

– коэффициент усиления регулятора

$$k_{\text{р}\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_{\tau}}{L_m \cdot k_{\Psi} \cdot a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi}} = \frac{0,205 \cdot 0,02}{0,063 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 24,912 \quad (2.78)$$

где

$$k_{\Psi} = \frac{N_{\text{з}\Psi, \text{макс}}}{\Psi_{2н}} = \frac{0,909}{0,909} = 1 \frac{1}{\text{Вб}} \quad (2.79)$$

– коэффициент обратной связи по потоку;

$$T_{\text{мэ}} = T_{\text{т}} + \frac{T_{\text{ос.У}}}{n_{\text{У}}} + T_{\text{ф.оУ}} = 3 \times 10^{-4} + \frac{10^{-3}}{1} + 0 = 1,3 \times 10^{-3} \text{ с} \quad (2.80)$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости;

$n_{\text{У}} = 1$ – коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном;

$a_{\text{У}} = 2$ – коэффициент типовой настройки контура потокосцепления на модульный оптимум.

Коэффициент согласования выходного сигнала датчика потока и задания на входе контура потокосцепления

$$k_{\text{ос.У}} = \frac{k_{\text{У}}}{k_{\text{дУ}}} = 4,883 \times 10^{-4}. \quad (2.81)$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора потокосцепления ротора ограничивается на постоянном уровне

$$N_{\text{рУ доп}} = N_{\text{эт. макс}} = 0,833.$$

2.9 Исследования имитационной модели электропривода подъема мостового крана с учетом крановой нагрузки

На рисунке 4.3 представлена модель электропривода механизма подъема в среде MATLAB SIMULINK.

На рисунке 4.4 представлен пуск асинхронного двигателя без нагрузки на номинальную скорость $\omega_{\text{дв.ном}} = 101,5 \text{ рад/с}$, а затем наброс нагрузки в момент времени $t=0,5 \text{ сек}$ $M_{\text{нагр}} = 108 \text{ Нм}$. Из графиков видно пусковые параметры двигателя: $M_{\text{эп.макс}} = 149,5 \text{ Нм}$, $I_{\text{эп.макс}} = 29,3 \text{ А}$; параметры двигателя при работе без нагрузки на заданной скорости $\omega_{\text{зад}} = 101,5 \text{ рад/с}$ при $I_0 = 10 \text{ А}$ и параметры нагруженного двигателя. В момент нагрузки из графика видно что скорость незначительно уменьшается, но затем она достигает своего заданного значения $\omega_{\text{зад}} = 101,5 \text{ рад/с}$. При этом ток соответствует расчетному значению номинального тока двигателя $I_{\text{ф.ном}} = 23,3 \text{ А}$.

Данные переходные характеристики $\omega = f(t)$, $M = f(t)$ и $I = f(t)$ позволяют утверждать, что все три контура регулирования рассчитаны и настроены верно, т.к. на представленных графиках не наблюдается перерегулирований, превышающих допустимых значений, выполняется точная отработка задающих воздействий, а так же все значения скоростей, токов и моментов совпадают с расчетными.

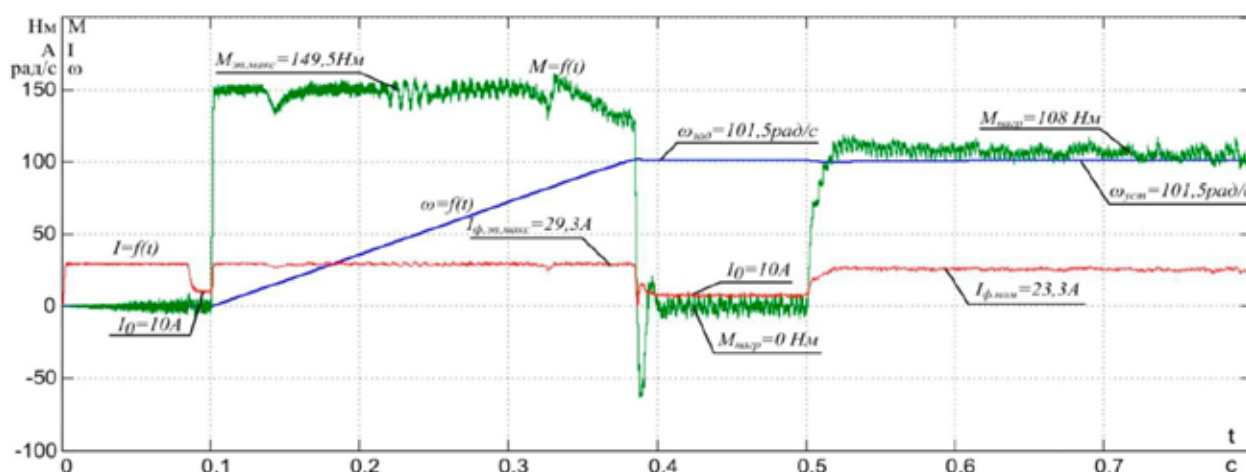


Рисунок 4.4 – Диаграммы электромагнитного момента $M_{\text{эм}}(t)$, скорости вращения $\omega(t)$ и фазного тока $i_{\phi}(t)$ двигателя

На рисунке 4.5 представлены переходные характеристики скорости вращения ротора $\omega(t)$ двигателя при задании на скорость $\omega_{\text{зад1}} = 101,5 \text{ рад/с}$ и $\omega_{\text{зад2}} = 1,01 \text{ рад/с}$.

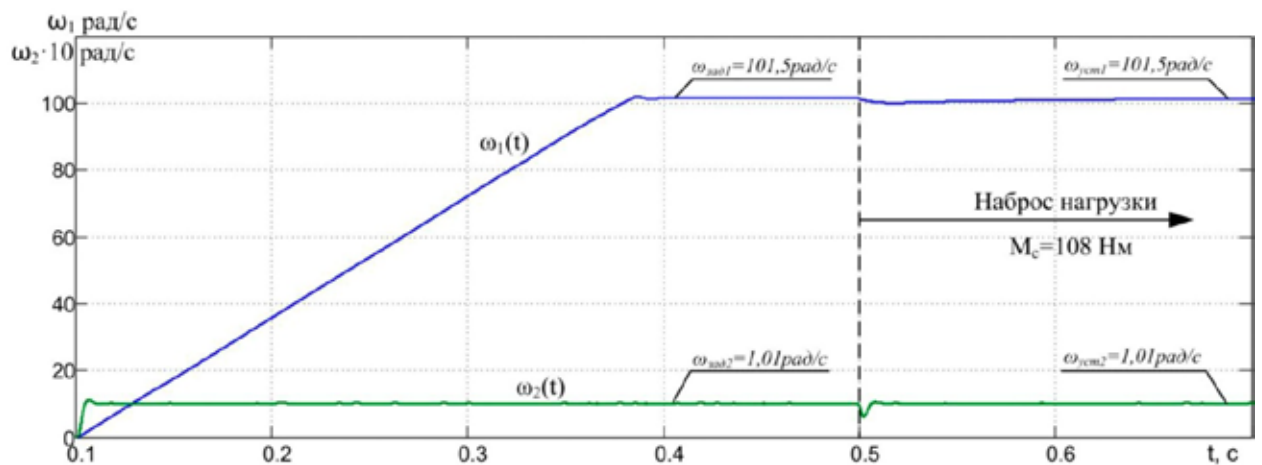


Рисунок 4.5 – Переходные характеристики скорости вращения ротора $\omega(t)$ двигателя при различных заданиях скорости

Из графика, представленного на рисунке 4.5, вычислим диапазон регулирования скорости:

$$D = \frac{\omega_{зад1}}{\omega_{зад2}} = \frac{101,5}{1,01} = 100,5.$$

Диапазон регулирования соответствует требованиям, заявленным в техническом задании.

В модель электропривода механизма подъема, помимо вышеперечисленных блоков, входит: модель тормозного устройства; модель системы управления электроприводом; модель механической системы с моментом нагрузки реактивного характера; модель механической части механизма подъема.

На рисунке 4.6 представлен пуск модели регулируемого асинхронного электропривода механизма подъема мостового крана с S-образным задатчиком скорости.

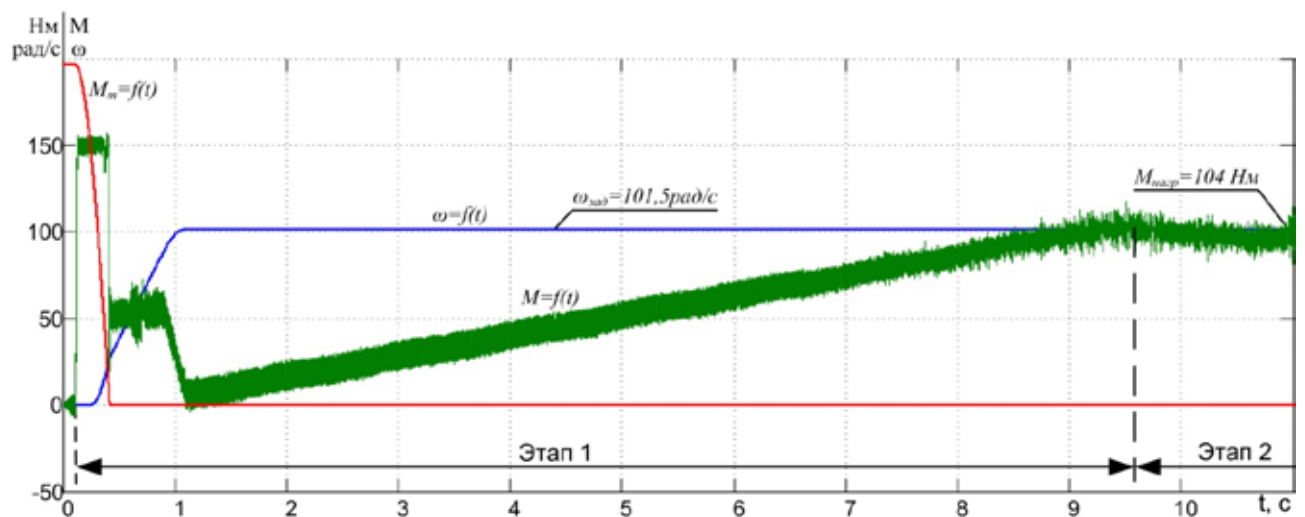


Рисунок 4.6 – Пуск АД и его работа под нагрузкой

В момент пуска скорость вращения вала двигателя остается неизменной и равна нулю. Разгону двигателя препятствует момент тормозного устройства $M_t=f(t)$, который со временем уменьшается. При превышении момента двигателя, момента тормозного устройства, двигатель начинает разгоняться и плавно выходит на скорость холостого хода.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Горяйнову Владиславу Владимировичу

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

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

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджента	Фигурко Аркадий Альбертович	Доцент к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Горяйнов Владислав Владимирович		

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Обновление технологии в современных условиях требует постоянной модернизации и гибкости производства, а также механизма управления производством, которые обеспечили бы правильный подход и взаимодействие на всех этапах цикла между заказчиками, проектировщиками и производителями.

В настоящее время большой вес приобретают жесткие требования заказчиков к технологическому уровню и растущую степень индивидуализации запросов, а так же соотношение уровня стоимости и сроков реализации проектов.

Большое значение имеет не только производственная сторона проекта, но и экономическая его часть.

Важным условием поддержания конкурентоспособности продукции является контакт с потребителем.

Целью данного раздела является:

оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта; определение ресурсоэффективности проекта; планирование пуско-наладочных работ (ПНР).

3.1 SWOT-анализ технического проекта

SWOT - анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [14].

Применительно к проекту по электроприводу механизма подъема крана, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

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

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения: С – сильные стороны проекта; Сл – слабые стороны проекта; В – возможности; У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 6.

Таблица 6 - Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Квалифицированный электро – технологический персонал. С2. Значительная экономия энергопотребления. С3. Ремонтопригодность оборудования. С4. Повышение безопасности производства. С5. Качество комплектующих.	Слабые стороны проекта: Сл1. Высокий уровень шума и вибрации при работе. Сл2. Дороговизна оборудования. Сл3. Длительный срок поставки оборудования и запасных частей. Сл.4. Обучение персонала. Сл.5. Освидетельствование технологического оборудования (Ростехнадзор).
Возможности: В1. Экономия производственных ресурсов. В2. Повышение надежности оборудования путем внедрения новых технологий. В3. Дополнительное резервное питание. В4. Конкурентоспособность.	В1 С1С2С3С4С5; В2 С1С2С3С4С5; В3 С1С2С3С4С5; В4 С1С2С3С4С5.	В1Сл1Сл2Сл4; В2Сл4; В3Сл4; В4Сл3.

Угрозы:		
У1. Исчезновение питания сети.	У1С1С3С4С5;	У1Сл4;
У2. Несогласованность при взаимодействии с поставщиками.	У2С5;	У2Сл2Сл3;
У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции.	У3С1;	У3Сл4Сл5;
У4. Несвоевременное финансовое обеспечение.	У4С3С4С5.	У4Сл2Сл3.

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

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения: «+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	+	+	+
	В2	+	+	+	+	+
	В3	+	+	+	+	+
	В4	+	+	+	+	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	+	+	-	+	-
	В2	-	-	-	+	-
	В3	-	-	-	+	-
	В4	-	-	+	-	-

Таблица 8 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	-	+	+	+
	У2	-	-	-	-	+
	У3	+	-	-	-	-
	У4	-	-	+	+	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	+	+	-	-
	У3	-	-	-	+	+
	У4	-	+	+	-	-

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 7 и 8, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых.

Самой сильной стороной проекта является безопасность производственного процесса, так как кран является источником повышенной опасности и может повлечь за собой угрозу жизни и здоровья людей, нарушение сложного технологического процесса, а также создать аварийную ситуацию при работе.

Экономия средств может быть достигнута за счет качественных комплектующих и квалифицированного обслуживающего персонала. Угрозы имеют малую вероятность, что говорит о надежности и безопасности проекта.

3.2 Планирование работ технического проекта

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

Для выполнения работ ТП формируется рабочая группа, в состав которой входят:

1. Научный руководитель;
2. Бакалавр – проектировщик;
3. Инженер – электронщик;
4. Инженер – программист.

В данном разделе составили перечень этапов и работ в рамках ТП, провели распределение исполнителей по видам работ. Весь комплекс работ разобьем на 11 этапов.

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

№ 2 – изучение справочной литературы и технологической документации – ознакомление с предметом работы, изучение различных информационных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – подготовка исходных данных – сбор параметров электрооборудования, двигателей, нагрузок;

№4 – обработка и ввод данных в программу MATLAB, составление алгоритмов, блок-схем для моделирования электропривода передвижения крановой тележки;

№5 – расчет нагрузок в программе Mathcad, оформление и изучение графиков работы электропривода;

№ 6 – выбор технологического оборудования по результатам расчетов;

№ 7 – расчет электропривода и его элементов, построение рабочих характеристик;

№ 8 – проверка оборудования на соответствие технологическому процессу;

№ 9 – настройка совместной работы оборудования и программного обеспечения;

№10 – оформление пояснительной записки, размещение в WEB-среде;

№11 – сдача проекта включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите и защиту проекта.

В ходе планирования работ ТП учитывается трудоемкость работы.

3.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Методика оценки приведена в [14].

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{\text{ожи}} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5} (1),$$

где $t_{\text{ожи}}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{мин}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

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

Результаты расчетов приведены в таблице 9.

Пример расчета ожидаемой трудоемкости выполнения работы дипломником на втором этапе работы: $\frac{3 \times 6 + 2 \times 9}{5} = 7,2$ чел.-дн.

Таблица 9 – Календарная продолжительность работ

№ этапа работы	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, $t_{\min}$, чел.-дн.	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, $t_{\max}$, чел.-дн.	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, $t_{\text{ож}}$, чел.-дн.	Продолжительность одной работы, T_p , раб.дн.
1	Составление технического задания	Руководитель	1	1	1	1
2	Изучение справочной литературы и технологической документации	Дипломник	6	9	7,2	7
3	Подготовка исходных данных	Дипломник	8	10	8,8	9
4	Обработка и ввод данных в программу Mathcad	Дипломник	8	10	8,8	9
5	Расчет нагрузок в программе Mathcad	Дипломник	12	13	12,4	12
6	Выбор технологического оборудования по результатам расчетов	Дипломник	7	11	8,6	9
		Руководитель	1	1	1	1
7	Расчет электропривода и его элементов, построение рабочих характеристик	Дипломник	7	11	8,6	9
		Руководитель	1	1	1	1
8	Проверка оборудования на соответствие технологическому процессу	Дипломник	8	11	9,2	9
		Руководитель	1	1	1	1
9	Настройка совместной работы оборудования и программного обеспечения;	Инженер – электроник	15	20	17	17
		Инженер – программист	15	20	17	17
10	Оформление пояснительной записки	Дипломник	7	11	8,6	9
		Дипломник	1	1	1	1

3.2.2 Разработка последовательного комплекса работ проекта

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками (линиями), характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [14].

Диаграмма Ганта состоит из линий, направленных вдоль оси времени. Каждая линия на диаграмме представляет отдельную задачу в составе проекта (вид работы), её концы моменты начала и завершения работы, её протяженность длительность работы.

По результатам расчетов строится диаграмма Ганта, приведенная в таблице 10.

Таблица 10 – Диаграмма Ганта

№ этапа работ	Вид работ	Исполнители	Продолжительность одной работы дн.	Продолжительность выполнения работ										
				Фев.	Март			Апрель			Май			Июнь
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Составление технического задания	Р	1	-										
2	Изучение справочной литературы и документации	Д	7		-----									
3	Подготовка исходных данных	Д	9			-----								
4	Обработка и ввод данных в программу Mathcad	Д	9				-----							
5	Расчет нагрузок в программе Mathcad	Д	12					-----						
6	Выбор технологического оборудования	Д	9						-----					
		Р	1						--					
7	Расчет электропривода и его элементов, построение рабочих характеристик	Д	9							-----				
		Р	1								--			
8	Проверка оборудования	Д	9								-----			
		Р	1								--			
9	Настройка совместной работы оборудования и программного обеспечения;	Иэ	17									-----		
		Ип	17									--		
10	Оформление пояснительной записки	Д	9										-----	
11	Сдача проекта	Р	1											--
		Д	1											--
Условное обозначение исполнителей: Р – руководитель, Д – дипломник, Иэ – инженер-электронщик, Ип – инженер-программист.														

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

Продолжительность выполнения проекта составит 96 рабочих дней. Из них:

- 5 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;
- 74 дня – продолжительность выполнения работ дипломником;
- 17 дней – продолжительность выполнения работ инженером электронщиком и инженером программистом (каждый);

3.3 Составление сметы технического проекта

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [14]. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- Стоимость оборудования;
- полная заработная плата исполнителей разработки ТП;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Таблица 11 - Стоимость оборудования

Наименование затрат на оборудование	Кол-во, шт.	Цена за шт. тыс.руб.	Стоимость тыс.руб.
Электродвигатель 5A160S6 (11кВт)	1	32	32
Преобразователь частоты Mitsubishi FR-F740-00250 (25кВт)	1	71	71
Некомплектное оборудование		15	15
Пускорегулирующая аппаратура (Пускатели)	2	1,5	3
Итого:			142

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{пер}} = C \cdot k;$$

где $C_{\text{пер}}$ - первоначальная стоимость оборудования, k - коэффициент, учитывающий транспортные и прочие расходы. Принимаем $k = 1,17$.

$$C_{\text{пер}} = 121 \cdot 1,17 = 142 \text{ тыс.руб.}$$

Расчет полной заработной платы инженеров осуществляется следующим образом:

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

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

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

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

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

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.
(таблица 14.6).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

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

$З_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб.(тридцать процентов);

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

3.3.1 Полная заработная плата исполнителей разработки проекта

В настоящую статью включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчёт основной заработной платы исполнителей приведён в таблице 12.

Таблица 12 Расчёт основной заработной платы исполнителей

Работники	Оклад, руб.	Доплаты и надбавки, руб.	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная, руб	Среднедневная заработная плата в день, руб.	Продолжительность работ, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	29744	2200	9583	41566	1598	5	8000
Инженер – программист	19800	9900	8910	38610	1755	17	29835
Инженер – электронщик	22700	11350	10215	44265	2012	17	34204
Дипломник	7864	-	2359	10223	393	74	29082
Итого $З_{\text{осн}}$, руб.							101111

Дополнительная заработная плата составляет 12-15% от основной.
Расчет полной заработной платы приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент учитывающий заработную плату	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработной плата, тыс. руб.
Руководитель	0,15	8000	1198	9,2
Инженер – программист	0,12	29835	3580	33,4
Инженер – электронщик	0,12	34204	4104	38,3
Дипломник	0,12	29082	3490	32,6
Итого		101111	12372	113,5

3.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Ставка отчислений во внебюджетные фонды в условиях ТПУ: установлена:

$$k_{\text{внеб}} = 30,2 \%$$

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \times 113500 = 34,3 \text{ тыс. руб.}$$

3.3.3 Административно-управленческие расходы

Административно-управленческие расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии.

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

3.3.4 Формирование сметы технического проекта

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

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП	-	-
2. Затраты на ПНР	142,0	42,0
3. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	113,5	33,0
4. Отчисления во внебюджетные фонды	34,3	9,0
5. Накладные расходы	55,2	16,0
Итого	350,0	100,0

Исходя из представленной выше таблицы 14, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 350 тыс. руб., из которых основную часть (42 %) составляют затраты на ПНР.

3.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности [14] проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию электропривода механизма подъема крана необходимо рассмотреть следующие критерии:

надёжность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания.

Надежность электроснабжения обеспечивается альтернативными линиями и применением устройств АПВ, АВР. Что позволяет обеспечить стабильность электроснабжения.

-Энергосбережение–реализация организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Энергосбережение достигается за счет подбора мощности электродвигателей, использование преобразователя частоты переменного тока.

- материалоемкость один из основных показателей экономической эффективности производства продукции. Материалоемкость характеризует удельный вес затрат материалов, стоимость оборудования и снижения общего электропотребления, которое компенсируем за счет энергосберегающей политики.

- помехоустойчивость технического устройства(системы) – способность устройства(системы) выполнять свои функции при наличии помех. Помехоустойчивость достигается за счет классификации всех электроприемников по степени их помехоустойчивости и выбора точки их подключения с учетом электромагнитной обстановки. Эти меры позволяют снизить помехи электроприемников.

- удобство в ремонтоспособности характеризуется продолжительностью проведения плановых ремонтов в порядке текущей эксплуатации.

- рост производительности труда пользователя, осуществляется в проекте благодаря повышению уровня автоматизации, но при этом возрастают капиталовложения.

Оценка критериев ресурсоэффективности проекта приведена в таблице 15.

Таблица 15 – Оценка критериев ресурсоэффективности проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Надежность	0,25	5
2. Энергосбережение	0,20	5
3. Материалоемкость	0,20	4
4. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4
5. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	5
Итого:	0,9	

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 5 \times 0,25 + 5 \times 0,20 + 4 \times 0,20 + 5 \times 0,10 + 4 \times 0,15 + 5 \times 0,10 = 4,7$$

Показатель ресурсоэффективности имеет высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности, помехоустойчивости, а также энергосбережения позволяют судить о надежности системы.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- при проведении SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технологического производства.
- при планировании технических работ был разработан график занятости для четырех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей.
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат(4,7 по 5-бальной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Горайнову Владиславу Владимировичу

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Описание рабочего места (технологического процесса, механического оборудования, метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации) на предмет возникновения:

- вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, запыленность)
- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, электрической, пожарной и взрывной природы)
- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу)
- чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. *Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды;*
Основными вредными факторами являются:
Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций);
Шум и вибрация;
Сырость;
Отклонение показателей микроклимата;
Недостаточная освещенность рабочей зоны.
2. *Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды;*
Опасными факторами являются:
Возможность получения травм в следствии:
а) движения машин и механизмов;
б) движение производственного материала;
в) наличие высокого напряжения.
Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.
3. *Охрана окружающей среды:*
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.
4. *Защита в чрезвычайных ситуациях:*
- перечень возможных ЧС на объекте;
- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;
- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;
разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

Перечень графического материала:
План эвакуации при пожаре

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Сечин А.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Горайнов Владислав Владимирович		

4. Социальная ответственность

Введение

Охрана труда представляет собой систему законодательных актов, организационных, технических, социально-экономических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий, обеспечивающих безопасность и сохранение здоровья работника в процессе трудовой деятельности.

Задача охраны труда – свести к минимуму вероятность поражения или заболевания работника с одновременным обеспечением комфорта при максимальной производительности труда. Выполнение правил и норм по охране труда обеспечивает необходимую электробезопасность, пожаробезопасность электроустановок, комфортную среду на рабочих местах, ведущих производственный процесс. Одним из важнейших нормативных документов по охране труда является “Система стандартов безопасности труда” (ССБТ), представляющая собой комплекс взаимосвязанных стандартов, направленных на обеспечение безопасности труда. В нашей стране государство направляет средства на проведение мероприятий по охране здоровья трудящихся и в частности на обеспечение техники безопасности и производственной санитарии. Мероприятия, связанные с созданием безопасных условий труда осуществляются в плановом порядке.

В соответствии с Федеральным законом 116 ФЗ «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», краны относятся к источникам повышенной опасности.

Краны являются одним из видов грузоподъемных сооружений, циклического действия. Бывают мостовыми, козловыми, башенными, порталными, плавучими и т.д. Предназначены для выполнения погрузочно-разгрузочных работ, перемещаются по рельсовым путям, расположенным на значительной высоте от пола (мостовые краны), либо наземные (козловые).

Кран состоит из грузоподъемной тележки, включающей механизм подъема, грузозахватное устройство, механизм передвижения, и из моста,

представляющего собой две сплошные (или решетчатые) фермы, присоединенные к концевым балкам, в которые вмонтированы приводные и не приводные колеса. Механизм передвижения моста и имеет привод от одного или двух двигателей.

Рабочим местом машиниста мостового электрического крана является кабина управления краном. Правильная, научно обоснованная организация рабочего места, учитывающая физиологические особенности организма человека и конкретные условия эксплуатации крана, способствует повышению производительности труда машиниста. Поэтому при организации рабочего места машиниста учитываются эргономические показатели кабины управления оптимальные значения параметров микроклимата, освещенность рабочей площадки и т. п. Конструкция кабины должна обеспечивать хороший обзор любой точки рабочей площадки, защиту машиниста от избыточного тепла, шума и вибраций, электробезопасность, легкость и удобство управления краном (ГОСТ 24378—80 Е).

Машинист крана несет ответственность в пределах, установленных действующим трудовым и гражданским законодательством, и в соответствии с внутренними нормативными документами за: Ненадлежащее исполнение или неисполнение своих должностных обязанностей, предусмотренных должностной инструкцией. Причинение или содействие действием (бездействием) причинению другими сотрудниками материального или морального ущерба компании. Правонарушения, совершенные в период осуществления своей деятельности, - в соответствии с действующим гражданским, административным и уголовным законодательством. Ненадлежащее и несвоевременное исполнение разовых служебных поручений руководства, если они не противоречат действующему законодательству.

4.1 Анализ опасных и вредных факторов, связанных с эксплуатацией крана

При работе на машиниста крана воздействуют опасные и вредные факторы.

К опасным факторам относятся:

- 1) механические виды опасности, связанные с подъемными операциями;
- 2) механические виды опасности, связанные с составными частями, грузозахватными устройствами, с грузами;
- 3) электрические виды опасности;
- 4) опасность, вызванная неожиданным пуском, неожиданным превышением скорости и тому подобное;
- 5) опасность, вызванная ошибками (дефектами) во время составления или монтажа крана;
- 7) опасность, вызванная падением предметов (инструмента, деталей крана, вещей обслуживающего и ремонтного персонала и тому подобное);
- 8) опасность, вызванная поступательным движением крана;
- 9) опасность, связанная с системой управления;
- 10) опасность, связанная с третьими лицами;

К вредным относятся:

- 1) Микроклиматические условия;
- 2) Шум;
- 3) Вибрация;
- 4) Освещение;

Во многих случаях наличие вредных факторов способствует проявлению опасных факторов. Например, чрезмерная влажность повышает опасность поражения человека электрическим током.

В соответствии с санитарно-эпидемиологические правилами и нормами (СанПиН) 2.2.4.548 определены показатели, характеризующие микроклимат в производственных помещениях:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений приведены в таблице 16.

Таблица 16. Оптимальные и допустимые показатели микроклимата

Сезон года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	Фильтровальный зал	По ГОСТ 12.1.005 – 88	Фильтровальный зал	По ГОСТ 12.1.005 – 88	Фильтровальный зал
Холодный	Средней тяжести	17-19	15-21	40-60	70-30	0,3	0,2
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20-22	16-27	40-60	60-30	0,2-0,5	0,5

Под шумом в производственной санитарии понимают упругие колебания в частотном диапазоне слышимости человека, распространяющиеся в виде волны в газообразных средах.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления L в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц,

Для постоянных рабочих мест и рабочих зон допустимый уровень шума 85 дБ. Для нормирования шума используют ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Допустимые уровни шума на рабочих местах в производственных помещениях отражены в таблице 17.

Таблица 17. – Допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Производственное помещение	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Предельно допустимый уровень (ПДУ) вибрации – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья.

Гигиеническая оценка постоянной и непостоянной вибрации, воздействующей на человека, должна производиться следующими методами:

- частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра;
- интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра;
- интегральной оценкой с учетом времени вибрационного воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемого параметра.

Вибрации при работе мостового крана возникают как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Допустимый уровень вибрации представлен в таблице 18. Вертикальные колебания кранового моста имеют диапазон частот-1,5–8,0 Гц. Горизонтальные колебания, которые передаются кабине

управления в результате раскачивания груза, – диапазон частот 0,2–1,0 Гц. Учитывая, что резонансная частота колебаний органов человеческого тела находится в диапазоне частот 1 – 15 Гц, машинист подвергается вертикальным колебаниям наиболее неблагоприятного спектра.

Таблица 18. – Допустимый уровень вибрации

Вид вибрации	Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Общая транспортная: вертикальная горизонтальная											
	132	123	114	108	107	107	107	—	—	—	—
	122	117	116	116	116	116	116	—	—	—	—

Таким образом можно сделать вывод что условия труда машиниста крана соответствует кл. 3.1; 3.2.

Одним из факторов внешней среды, определяющих благоприятные условия труда, является рациональное освещение рабочей зоны. Типы освещения на рабочем месте представлены на рисунке 16. Недостаточное освещение является одной из причин снижения производительности труда и появления профессиональных заболеваний зрительного аппарата.



Рисунок 16. – Типы освещения

Системы искусственного освещения могут быть трех видов:

- 1) общая
- 2) местная
- 3) комбинированная

Оборудование электрического освещения производственных и бытовых помещений, сборочно-сварочных цехов и участков должно соответствовать нормам, установленным в СН 245-71 и СНиП 23-05-95.

В производственных цехах необходимо применять общее или комбинированное освещение. В обоих случаях освещенность в рабочей плоскости, создаваемая светильниками общего освещения, на участках сварки должна составлять не менее 50лк – при лампах накаливания и 150лк – при люминесцентных лампах, а на участках разметки - не менее 150 и 400лк соответственно.

В зависимости от характеристики зрительных работ в цеху определяются нормируемые величины естественного и искусственного освещения.

4.2 Средства защиты от травмоопасных и вредных производственных факторов

Анализ электротравматизма показывает, что большинство несчастных случаев с работниками, обслуживающими электроустановки, происходит в результате потери им ориентировки при осмотрах, ремонтах и испытании. Электрические блокировки являются наиболее надёжным средством защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током. Они препятствуют доступу работающих к токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением. Ограничители так же как электрические блокировки, служат для защиты людей и оборудования при неправильных действиях в процессе работы. Сигнализация является средством, позволяющим работникам ориентироваться в случае аварийной ситуации и принять необходимые меры предосторожности. На кранах обычно применяют звуковую сигнализацию, срабатывающую при сильном ветре. Средствами защиты от травмоопасных и вредных производственных факторов на козловом кране являются приборы и устройства безопасности: ограничители грузоподъёмности – осуществляют ограничение грузоподъёмности при помощи конечных выключателей типа ВК-300А, установленных на ограничителях, см. рис.2.; ограничители крайнего верхнего положения траверсы – осуществляют два конечных выключателя типа ВУ-250М или четыре ВПК-1110, соединёнными с валами грузовых лебёдок;ограничитель концов рабочего участка рельсового пути при передвижении перегружчика – осуществляет ограничение пути крана конечным выключателем типа КУ-701;блокировка двери кабины – препятствует включению перегружчика в работу при открытой двери кабины, осуществляется конечным выключателем ВПК-1110;

4.3 Производственная санитария

Исследуемый электропривод работает в помещении, которое можно характеризовать как помещение особо опасное, вследствие наличия двух условий, создающих повышенную опасность:

- сырости или проводящей пыли;
- токопроводящих полов.

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомленность. К таким условиям относятся:

- неблагоприятный микроклимат;
- производственные пыли;
- вредные газы и пары;
- недостаточная освещенность.

Для обеспечения санитарно — гигиенических условий на рабочем месте и обеспечения требований нормативных документов к выявленным вредным факторам, предусмотрены такие технические устройства, как вентиляция помещения с фильтрацией воздуха, системы отопления и освещения, изоляции токопроводящих полов.

Категория выполняемых работ по [11] - 11 б.

К категории 11б (средней тяжести физические работы) относятся; работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжести до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов и должно обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. Организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение тела работающего или наклон его вперёд не более 15°. Рабочее место при выполнении работ на кране удовлетворяют этим требованиям.

Для данной категории работ микроклимат производственного помещения характеризуется следующими показателями:

- температура воздуха $15^{\circ} \div 21^{\circ} \text{C}$ - холодный период года, $16^{\circ} \div 27^{\circ} \text{C}$ - в теплый период года;
- влажность воздуха $40 \div 60 \%$;
- скорость движения воздуха $0,2 \div 0,3 \text{ м/с}$

Система вентиляции - механическая, приточно-вытяжная. Она обеспечивает выполнение данных требований.

Система отопления электрическая: на стенах установлены электрические печи, работающие в системе с тепловым реле.

Площадь помещения удовлетворяет требованиям, то есть более $4,5 \text{ м}^2$ на одного человека.

Звукоизоляция стен снижает уровень шума при работе электроприводов крана, изоляция токопроводящих полов резиновыми диэлектрическими ковриками обеспечивает защиту от поражения электрическим током, а также применяются в случае необходимости диэлектрические перчатки, например: при измерении сопротивления изоляции.

Работы выполняются в спецодежде. Для верхней тёплой одежды в кабине предусмотрено гардеробное оборудование.

Согласно [15] прием при производстве работ на кране следующие показатели:

- характеристика работ - средней точности;
- разряд зрительной работы - 1У в (наименьший размер объекта различения 1 мм);
- освещенность искусственного освещения - 200 лк при общем освещении.

Помещение, в котором производятся работы, не является помещением с постоянным пребыванием людей, поэтому естественное освещение не нормируется.

При разработке технологических процессов, а так же при организации рабочего места следует принимать все необходимые меры по снижению

шума, воздействующего на человека на рабочих местах до значений не превышающих допустимые:

- разработкой шумобезопасной техники;
- применением средств защиты (индивидуальной или групповой).

При выполнении работ по реконструкции крана уровни шума и вибрации незначительны и удовлетворяют требованиям стандартов.

4.4 Средства защиты от поражения электрическим током

Средства защиты от поражения электрическим током согласно ГОСТ 12.1.019, делятся на основные и дополнительные. Основные изолирующие электрозащитные средства обладают изоляцией, способной выдерживать рабочее напряжение установки, поэтому ими разрешается касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением.

К основным средствам защиты от поражения электрическим током относятся: в электроустановках до 1000В

- диэлектрические перчатки;
- изолирующие штанги;
- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками;
- указатели напряжения;

К дополнительным средствам защиты до 1000В относятся:

- диэлектрические галоши;
- диэлектрические ковры;
- изолирующие подставки.

В качестве защитного средства от поражения электротоком также применяется защитное заземление. Цель защитного заземления – снизить до безопасной величины напряжение на металлических частях оборудования, нормально не находящихся под напряжением, но могущих оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции электроустановок. Все

металлические нетоковедущие части электрооборудования перегрузчика: корпуса электродвигателей, контроллеров, конечных выключателей и остальной аппаратуры, а также металлические трубы электропроводок заземляются на металлическую конструкцию перегрузчика. Заземление осуществляется перемычками из гибкого медного провода. Для заземления металлоконструкции перегрузчика рельсовые пути должны быть заземлены на собственный контур заземления не более 4 Ома ($R_z = 4 \text{ Ом}$ для установок до 1000В). Для выполнения этого условия выполним расчёт заземления. Расчёт заземления сводится к определению длины горизонтального заземлителя (обвязка) и числа вертикальных заземлителей (стержней) при заданных условиях.

4.5 Расчет защитного заземления

Таблица 19. Исходные данные

Длина цеха, м	Ширина цеха, м	Удельное сопротивление, Ом·см
60	30	33000

2. Сопротивление растеканию тока через одиночный заземлитель диаметром 25...30 мм

$$R_{TP} = 0,9(r / l_{TP}),$$

где ρ – удельное сопротивление грунта,

l_{TP} – длина трубы, 1,5...4 м, $l_{TP} = 300$ см.

$$R_{TP} = 0,9(33000 / 300) = 99 \text{ Ом}.$$

3. Определяем примерное число заземлителей без учета коэффициента экранирования

$$n = R_{TP} / r ;$$

где r – допустимое сопротивление заземляющего устройства, $r = 4 \text{ Ом}$;

$$n = 99 / 4 = 24,8.$$

4. Определяем коэффициент экранирования заземлителей.

Расстояние между трубами 2,5...3 м;

длина труб – 3 м;

отношение расстояния к длине – 1;

число труб – 20;

$$h_{TP} = 0,44...0,50.$$

5. Число вертикальных заземлителей с учетом экранирования

$$n_1 = n / h_{TP} ;$$

$$n_1 = 24,8 / 0,44 = 55,4.$$

6. Длина соединительной полосы

$$l_n = n_1 \times a ,$$

где a – расстояние между заземлителями, $a = 3 \text{ м}$;

$$l_n = 55,4 \times 3 = 166,2 \text{ м}.$$

$$\text{Периметр цеха } p = (a + b) \cdot 2 = (60 + 30) \cdot 2 = 180 \text{ м}.$$

7. Сопротивление растеканию электрического тока через соединительную полосу

$$R_n = 2,1 \frac{30}{180} = 2,1 \frac{30}{180} = 3,85 \text{ Ом.}$$

8. Результирующее сопротивление растеканию

$$R_3 = \frac{R_{TP} \times R_n}{h_n \times R_{TP} + h_{TP} \times R_n \times \eta_1} = \frac{99 \times 3,85}{0,21 \times 99 + 0,44 \times 3,85 \times 55,4} = 3,325 \text{ Ом,}$$

где h_n – коэффициент экранирования соединительной полосы, $h_n = 0,21$.

Вывод: допустимое сопротивление заземляющего устройства на электрических установках напряжением до 1000 В равно не более 4 Ом. Значит, полученное результирующее сопротивление растеканию тока заземляющего устройства нормально, значит заземлители установлены правильно.

4.6 Пожарная безопасность

Согласно СП 12.13130-2009 цех по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории “Г” т.е умеренная пожароопасность.

Основными источниками являются сварочные полуавтоматы и электроустановки.

Все электроустановки должны быть защищены аппаратами защиты от токов КЗ и других аварийных режимов, которые могут привести к пожарам и загораниям.

При эксплуатации электроустановок запрещается:

- использовать электродвигатели и другое электрооборудование, поверхности которого при работе нагреваются более чем на 40° С по сравнению с температурой окружающего воздуха;

- использовать кабели и провода с поврежденной изоляцией и изоляцией, которая в процессе эксплуатации потеряла необходимые электроизоляционные свойства (например, сопротивление изоляции каждого участка в электросетях до 1000 В должно быть не ниже 0,5 МОм на фазу);

- оставлять под напряжением электрические провода и кабели с неизолированными концами:

- пользоваться поврежденными розетками, ответвительными и соединительными коробками, рубильниками и другими электроустановочными изделиями.

Большое значение и профилактике аварийных режимов в электроустановках имеет правильный выбор аппаратов защиты. Так, защита от перегрузок с помощью предохранителей возможна при условии, если защищаемые элементы установки будут иметь запас по пропускной способности на 25 % больше номинального тока плавких вставок.

При эксплуатации машин и оборудования с электроприводами и электросетей запрещается: использовать электрические кабели с поврежденной изоляцией и плохим контактом в местах соединения; допускать соприкосновение электрических проводов как между собой, так и с металлоконструкциями; применять некалиброванные плавкие вставки и различные предохранители собственного изготовления; оставлять без присмотра включенными в электросеть нагревательные приборы; применять для отопления и сушки самодельные электронагревательные приборы.

Кроме указанных требований, специфичных для эксплуатации электроустановок, всему персоналу следует соблюдать общие правила пожарной безопасности, в том числе режимного характера (курение в строго установленных местах, соблюдения правил пользования открытым огнем при ремонтных работах, сварке, пайке и т. п.). Выполнение этих требований позволяет сократить число пожаров на объектах. Вместе с тем следует учитывать, что профилактика пожаров не может полностью гарантировать от

возможности их возникновения. В этом случае наряду с правильными действиями по тушению пожара важное значение приобретает своевременное его обнаружение, что достигается применением автоматической пожарной сигнализации.

4.7 Охрана окружающей среды.

Проблема защиты окружающей среды - одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий в атмосферу, водоемы, недра на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряд районов, особенно в крупных промышленных центрах, уровни загрязнения существенно превышают допустимые нормы.

Радикальное решение проблем охраны окружающей среды, от негативных воздействий промышленных объектов, возможна при широком применении безотходных и малоотходных технологий, использовании очистных сооружений и устройств более современных систем очистки.

Важнейшим звеном в обеспечении качества окружающей среды является система контроля её состояния, включающая:

- наблюдение за состоянием окружающей среды и прогноз измерений;
- выявление и оценка источников загрязнения среды;
- предупреждение появления повышенных загрязнений.

По данным Госкомстата, западно - сибирский регион занимает седьмое место по степени загрязнения рек, и пятое место среди всех регионов страны по поражению лесов.

Среднесуточные ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест, утвержденные Минздравом, мг/м:

- пыль (взвешенные вещества) - 0,15;
- сернистый ангидрид - 0,05;

- окись углерода - 3;
- двуокись азота - 0.04.

Масштабы антропогенного воздействия весьма значительны. В настоящее время в атмосфере находится около 20 млн. т. взвешенных частиц. За последние 10 лет в неё поступило:

- 74000 т. кадмия,
- 600000 т. меди,
- 4.5 млн. т. свинца,
- более 3 млн. т. цинка.

Производство ежегодно высвобождает $142 \cdot 10^{18}$ Дж тепловой энергии; земная суша деградирует со скоростью 44 га/мин, исчезает 20 га леса в минуту.

Радикальное решение проблем охраны окружающей среды от негативных воздействий промышленных предприятий, возможна при широком применении безотходных и малоотходных технологий, использовании очистных устройств и сооружений более современных систем очистки.

Важнейшим звеном в обеспечении качества окружающей среды является системы контроля за её состоянием, включающая:

- наблюдение за состоянием окружающей среды и прогноза измерений;
- выявление и оценка источников загрязнения среды;
- предупреждение появления повышенных загрязнений.

Осуществляется контроль выбросов промышленных предприятий, систему контроля разрабатывает само предприятие. Контролю также подлежат выбросы, поступающие от дымовых труб, вытяжных систем вентиляции и т.п.

4.8 План локализации и ликвидации аварийных ситуаций в цехе.

Пожароопасными называются установки, в которых применяются или хранятся горючие вещества.

Согласно классификации кран относится к классу П-111 (расположена в не помещения, в зоне в которой не обращаются горючие жидкости с t вспышки 61°C и выше или в зоне, где хранятся твердые горючие вещества).

Для обеспечения безопасности при пожаре на кране - перегружателе предусмотрены:

- система оповещения о пожаре;
- система автоматической пожарной сигнализации;
- первичные средства пожаротушения.

Возгорания, пожары и воспламенения часто сопровождаются взрывами и могут быть очень опасными для людей. Поэтому пожарная безопасность является одним из важнейших разделов охраны труда на производстве. Существенную роль в профилактике и предотвращении пожаров играет правильный выбор режима работы электрооборудования с учетом класса размещения по пожароопасности.

Пожарная безопасность должна обеспечиваться:

- системой предотвращения пожара;
- системой противопожарной защиты;
- организационно - техническими мероприятиями.

Автоматические установки пожаротушения и установки пожарной сигнализации должны удовлетворять требованиям проектной документации и отраслевым стандартам. Применяемые на кране переносные углекислотные огнетушители ОУ-5 должны иметь бирки и маркировки и должны быть окрашены в красный цвет. Перезарядка огнетушителей выполняется в соответствии с инструкцией по безопасности. Огнетушители должны располагаться в заметных и легкодоступных местах и подлежат периодическому обслуживанию, включающему в себя следующее:

- очистка от пыли и грязи;
- восстановление окраски и соответствующих подписей.

Для курения должны быть отведены специальные места, оборудованные средствами пожаротушения, и предусматривающие возможные способы эвакуации людей и оборудования.

При поступлении сигнала противопожарной сигнализации машинист обязан произвести остановку работы, попытаться обесточить кран и приступить к тушению пожара. Если эти действия невозможны из-за сложности пожара, то ему необходимо покинуть рабочее место (кран), уйти в специально отведенное место и сообщить о случившемся старшему смены (бригадиру) и ждать дальнейших указаний.

Таблица 20

№ п/п	Характер возможных аварий	Признаки возникающей аварии	Принимаемые меры	Исполнитель
1.	Пожар	Сильное задымление	1. Вывести людей из опасной зоны. 2. Сообщить в диспетчерскую по Аварийному телефону. 3. Вызвать пожарную охрану по тел. 01. 4. До приезда пожарной охраны принять все возможные меры к тушению пожара. Внимание! В случае возгорания электрооборудования тушение их водой и пенными огнетушителями запрещается. Тушить электрооборудование необходимо с помощью углекислотного огнетушителя, песком или асбестовым полотном. При возгорании электрооборудования сначала необходимо его обесточить, а затем приступить к тушению.	дежурный персонал мастер смены
2.	Нахождение вблизи цеха безхозного автотранспорта.		1. Сообщить в диспетчерскую по тел. и начальнику цеха о замеченном автотранспорте. Самостоятельно подходить, заглядывать и прикасаться к автотранспорту ЗАПРЕЩЕНО.	первый увидевший
3.	Нахождение вблизи цеха неизвестных свертков, сумок и т.д.		1. Сообщить в диспетчерскую по тел. 2-38-67 и начальнику котельной о замеченном свертке, сумке. самостоятельно подходить, заглядывать и прикасаться к неизвестным сверткам, сумкам и т.д. ЗАПРЕЩЕНО.	первый увидевший

Рассмотрим одну из возможных аварий - пожар, при пожаре необходимо вывести людей из опасной зоны, руководствуясь планом эвакуации. Вызвать пожарную охрану по телефону 01. До приезда пожарной охраны принять меры по тушению пожара, используя средства для тушения в виде огнетушителей, песка и пожарного крана.

План эвакуации – это документ, в котором указаны эвакуационные пути и выходы, установлены правила поведения людей, а также порядок и последовательность действий обслуживающего персонала на объекте при возникновении ЧП. План эвакуации, знаки безопасности и указатели направления позволяют принять необходимые меры по эвакуации людей с мест массового скопления при возникновении чрезвычайных ситуаций. План эвакуации из кузнечного цеха ТРМЗ представлен на рисунке 17.



Рисунок 17. – План эвакуации из цеха при ЧС

4.9 Экологическая безопасность

Все нормы и правила экологической и рабочей безопасности должны быть определены и зафиксированы в определенном документе. Экологический паспорт предприятия – это комплексная статистика данных, отображающих степень пользования данным предприятием природных ресурсов и его уровню загрязнения прилегающих территорий. Экологический паспорт предприятия разрабатывается за счет компании после согласования с соответствующим уполномоченным органом и подвергается постоянной корректировке в связи с перепрофилированием, изменениями в технологии, оборудовании, материалов и т.д.

Основные принципы охраны окружающей среды:

- нормативно-правовое обеспечение охраны окружающей среды.
- принципы экономической охраны (экологического стимулирования). Платежи, в пределах установленных лимитов, штрафные санкции за сверх лимитное превышение.
- принцип лимитирования деятельности или ограничения.
- принцип сохранения биоразнообразия;
- реализация экспертных оценок и критериев в области охранно-о окружающей среды (проведение экспертизы, мониторинговые наблюдения).

Анализ существующего менеджмента качества показывает следующее:

1. На предприятии ведется планирование, мониторинг, анализ экологической работы и управление в области экологической безопасности, осуществляемый централизованно отделом охраны окружающей среды.

2. Контроль сбросов, выбросов загрязняющих веществ осуществляется аккредитованными аналитическими лабораториями, методическое обеспечение которых соответствует Федеральному реестру.

3. Объединение стремится к совершенствованию методов контроля окружающей среды, внедряя непрерывный автоматический производственно-экологический мониторинг.

4. Разработан Технический проект Автоматизированной системы производственно экологического мониторинга.

На предприятии также создана система экологического мониторинга за контролем атмосферного воздуха, водной среды и почвенного слоя, основными задачами которой являются:

- Анализ состояния природной среды.
- Оценка воздействия работы производственных объектов на экологическое состояние окружающей среды.
- Разработка мероприятий по оптимальному функционированию природно-промышленного комплекса.

Предприятие активно ведет деятельность по информированию населения об экологическом состоянии объектов.

Заключение

В процессе выполнения работы был осуществлён обзор современного электропривода кранов мостовых и установлены проблемы, которые присутствуют в электроприводе крановом.

В данной работе был проанализирован и рассчитан частотно-регулируемый электропривод тока переменного. электропривод питается от 3х – фазной промышленной сети переменного тока с линейным напряжением 380 В частотой 50 Гц.

Сделан расчет системы управления электроприводами механизма.

С помощью модели имитационной, разработанной в приложении Simulink программы MATLAB, была представлена работа мостового крана.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выпускной квалификационной работы проработаны вопросы планирования, финансирования, проведения пуско-наладочных работ электропривода крана мостового. Сделана смета на проведение ПНР и построен график выполнения пуско-наладочных работ и занятости исполнителей выполняющие работу, а так же обоснована экономическая целесообразность от внедрения спроектированного данного электропривода.

В разделе «Социальная ответственность» освещены вопросы: производственной безопасности; экологической безопасности; проработаны вероятные чрезвычайные ситуации при работе крана мостового.

Список использованных источников

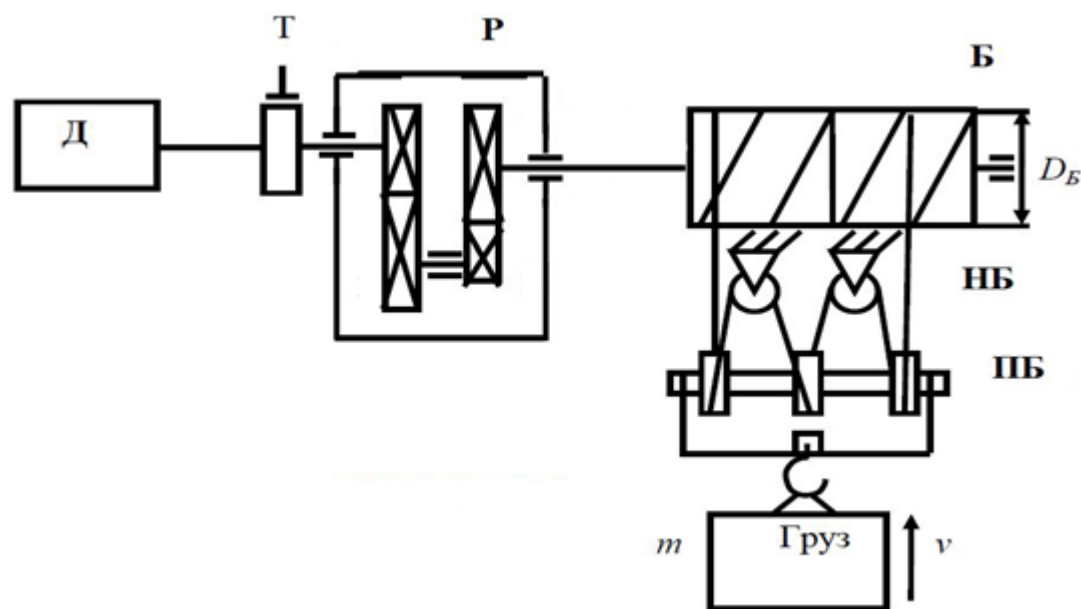
1. Итоги развития и проблемы электропривода / Н.Ф. Ильинский, М.Г. Юньков. — Автоматизированный электропривод, 1990. – 217 с.
2. Александров М.П. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – Высшая школа, 2000. – 552 с.
3. А. Б. Парницкий. Мостовые краны общего назначения: Конструкция, расчет, эксплуатация / А. Б. Парницкий, А. П. Шабашов. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Машгиз. [Урал-Сиб. отд-ние], 1961. – 319 с., 2 л. черт. : ил.
4. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ 10-382-00). М.: ПИО ОБТ, 2000. – 268 с.
5. Шишков Н.А. Надежность и безопасность грузоподъемных машин. – М.: Недра, 1990. – 252 с.
6. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ 10-382-00). – М.: ПИО ОБТ, 2000. – 268 с.
7. Продажа кранового оборудования, его обслуживание, монтаж, реконструкция и модернизация [Электронный ресурс]. – URL: <http://dvesta.com> – Загл. с экрана. (дата обращения: 15.02.2014)
8. Гохберг М.М. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций/ В.И. Брауде, М.М. Гохберг, И.Е. Звягин и др.; Под общ. ред. М.М. Гохберга. – М.: Машиностроение, 1988. – 536 с.: ил.
9. Кацман М.М., Справочник по электрическим машинам: Учебное пособие для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с.
10. Чернышев А.Ю. Электропривод переменного тока: учебное пособие/ А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 218 с.

11. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 8. – Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: Учебное пособие. – Томск: Изд-во. ТПУ, 2010. – 448 с.
12. Ермоленко В.А. Расчет механизма подъема груза мостового крана – М: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. — 32 с.

Приложение А

Графический материал.

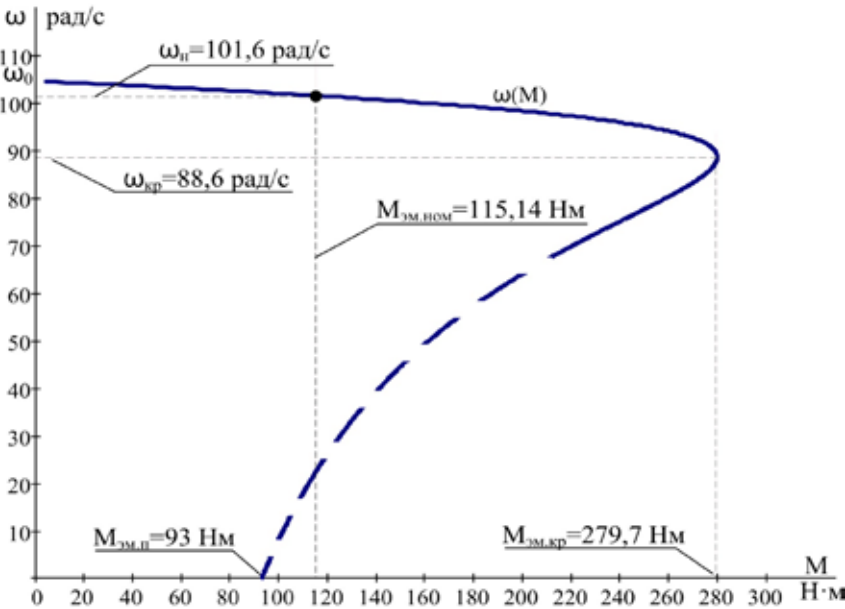
Кинематические схемы механизма подъема груза и передвижения тележки



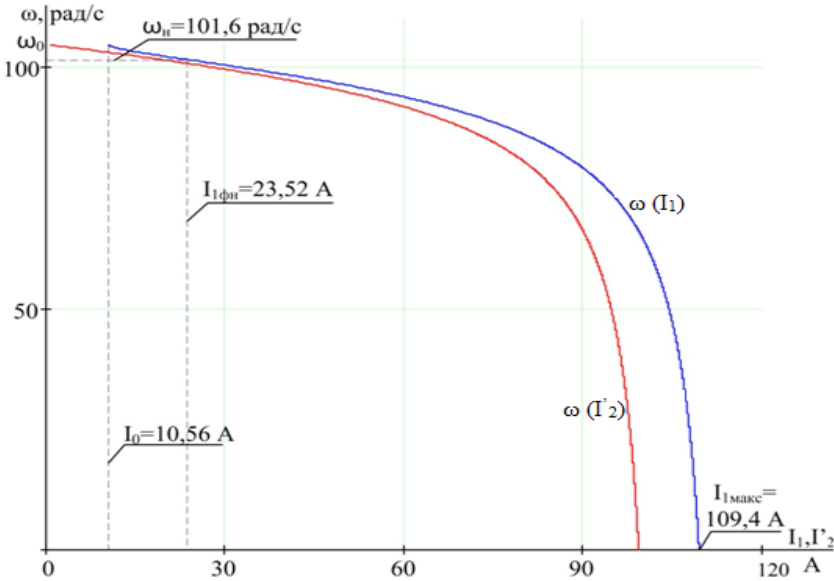
Параметры электродвигателя

и

Типо- размер	$P_{ДВ.Н},$ кВт	$n_{ном},$ об/мин	$\eta, \%$	$\cos \varphi_H$	$M_n /$ $M_{ном}$	$I_n /$ $I_{ном}$	$s_H, \%$	$J_{ДВ},$ кг·м ²
5A160S6	11	970	87	0,82	1,9	6,5	3	0,11

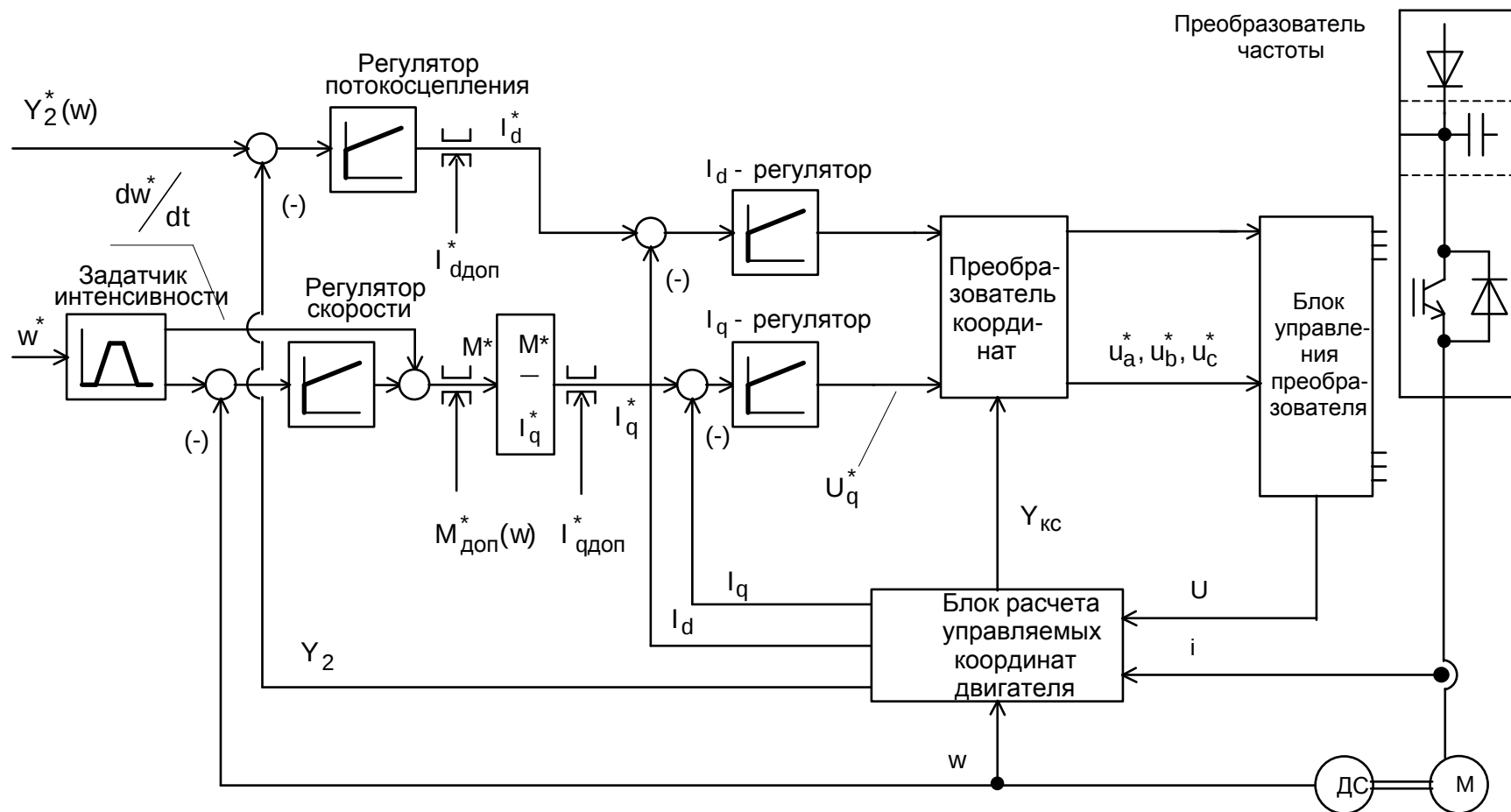


Механическая характеристика асинхронного двигателя $\omega(M)$

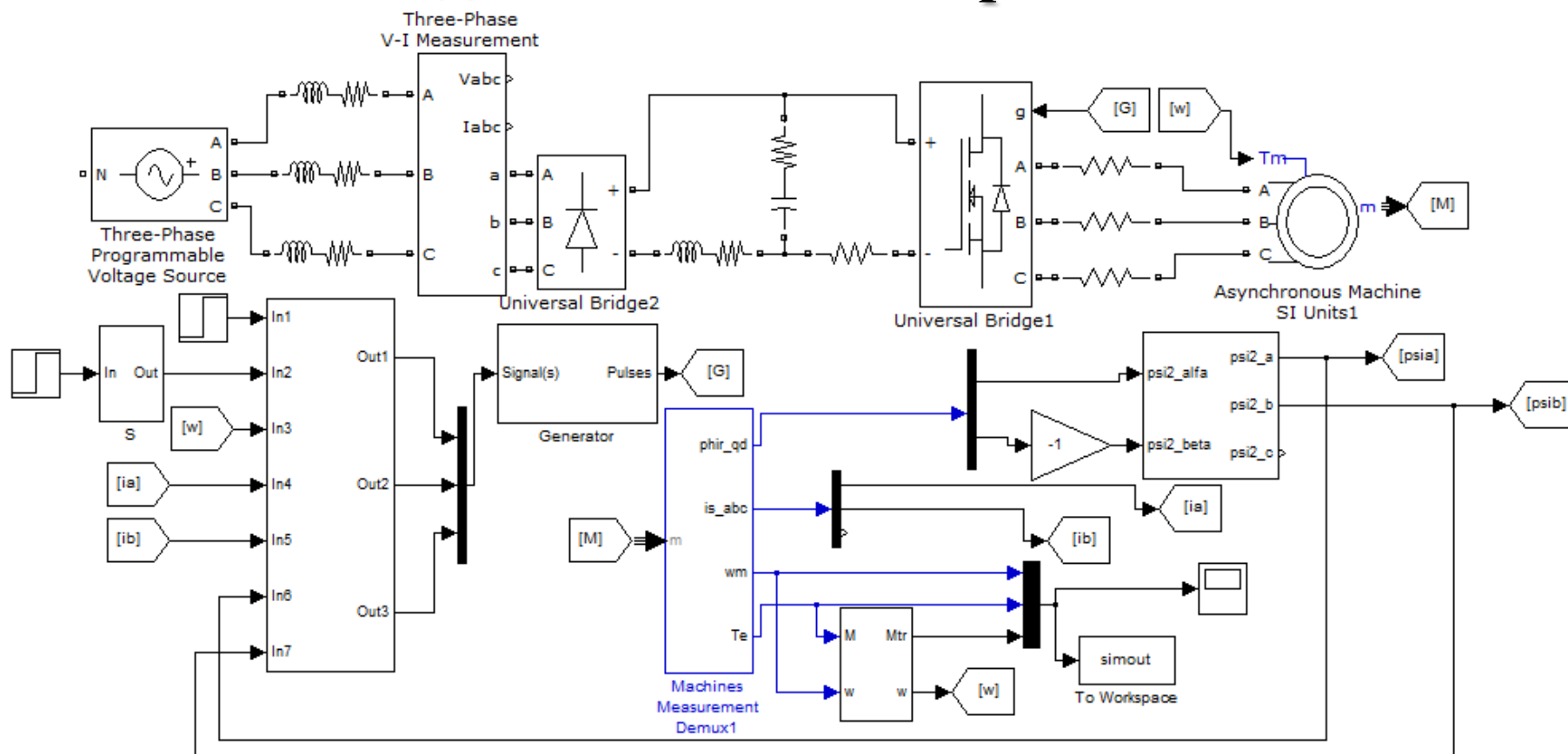


Естественные электро-механические характеристики двигателя $\omega(I_1)$ $\omega(I'_2)$

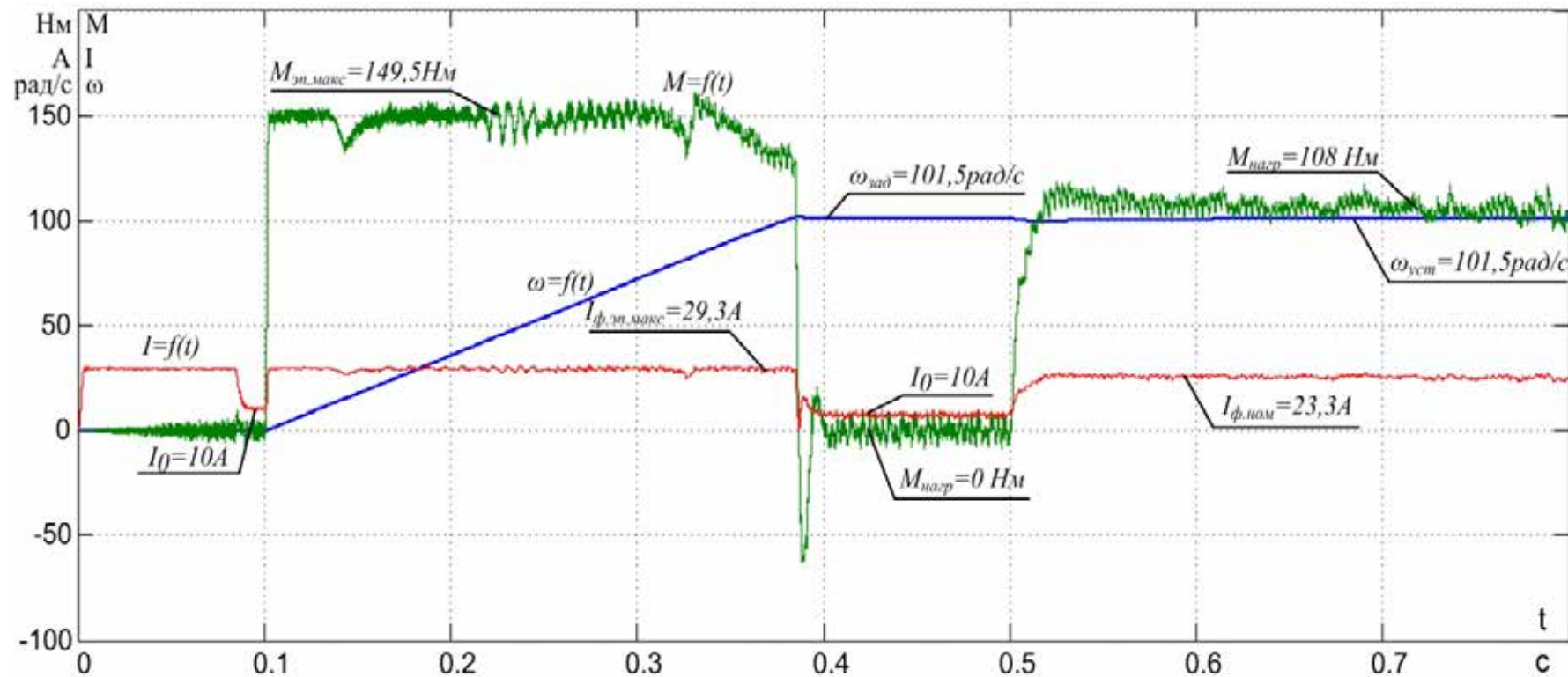
Функциональная схема асинхронного электропривода с векторным управлением



Имитационная модель электропривода подъема мостового крана



Диаграммы электромагнитного момента $M_{эм}(t)$, скорости вращения $\omega(t)$ и фазного тока $i_{ф}(t)$ двигателя



Пуск АД и его работа под нагрузкой с использованием задатчика интенсивности.

