

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод переменного тока механизма подъема крана

УДК 62-83-523:621.873

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Сатторов Сухроб Салимжон угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

(Подпись) _____ (Дата) Ю.Н. Дементьев
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Сатторову Сухроб Салимжон угли

Тема работы:

Электропривод переменного тока механизма подъема крана

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2018г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Кран мостовой опорный грузоподъемностью 10 т., режим работы – циклический.
Требования к механизму подъема: диапазон регулирования $D=1:100$, при плавном регулировании скорости в момент пуска и торможения.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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></p>	<p>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.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Структурная схема электропривода подъема мостового крана Графики переходных процессов подъема</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Попова Светлана Николаевна</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Заключение</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>05.04.2018г.</p>
--	---------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В	к.т.н.		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Сатторов Сухроб Салимжон угли		05.04.2018г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 87 с., 17 рис., 14 табл., 13 источников, 1 прил.

Ключевые слова: мостовой кран, асинхронный двигатель, имитационная модель, частотно-регулируемый электропривод.

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

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

В процессе исследования проводились эксперименты в среде Matlab Simulink по исследованию электропривода мостового крана

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010). Также при работе использовались программы Matlab Simulink, Microsoft Visio 2010 и MathCAD.

Содержание

Введение	7
1 Обзор и современное состояние электрооборудования мостовых кранов, постановка задачи	8
1.1 Краткая техническая характеристика мостового крана	8
1.2 Кинематические схемы механизмов мостового крана	10
1.3 Условия работы и требования, предъявляемые к электроприводу мостового крана	12
1.4 Современные крановые электроприводы, обоснование и выбор	13
1.5 Противораскачивание груза	17
1.6 Исходные данные и постановка задачи	19
2.2 Расчет редуктора и тормозного устройства	26
2.3 Расчет статических характеристик электродвигателя	28
2.4 Выбор типа преобразователя и расчет параметров структурной схемы двигателя	32
2.5 Расчет характеристик двигателя при векторном управлении и проверка выбора двигателя и преобразователя	33
2.6 Выбор напряжения питающей сети асинхронного электропривода с векторным управлением	38
2.7 Имитационная модель электрической части силового канала	39
2.8 Методика настройки контуров регулирования САУ асинхронного электропривода	44
2.8.1 Контур тока с ПИ-регулятором и датчиком тока	45
2.8.2 Контур скорости с ПИ-регулятором и датчиком скорости	48
2.8.3 Контур потокосцепления ротора с ПИ-регулятором и датчиком потока	50
2.9 Исследования имитационной модели электропривода подъема	

мостового крана с учетом крановой нагрузки	52
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	57
3. Экономическая концепция проекта	58
3.1 Планирование работ технического проекта	59
3.2 Составление сметы технического проекта	60
3.3 Разработка последовательного комплекса работ проекта	62
3.4 Формирование сметы технического проекта	66
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	68
4. Социальная ответственность	70
4.1 Производственная безопасность	70
4.2. Экологическая безопасность.	75
4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	75
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	77
Заключение	79
Conclusion	80
Список использованных источников	81
Приложение А	83

Введение

Из всего многообразия общепромышленных механизмов, работающих на металлургических предприятиях, можно выделить группу, для которой особенно остро стоит проблема чрезмерно высокого уровня динамических нагрузок. В такую группу оборудования промышленных предприятий в первую очередь входят подъемно-транспортные механизмы: мостовые и козловые краны, крановые перегружатели, транспортеры, конвейеры, питатели и т.д. Среди этих механизмов в наиболее тяжелых условиях и интенсивных режимах работают мостовые краны. Многочисленными исследованиями установлено, что упругие механические колебания в подавляющем большинстве случаев отрицательно влияют на работу электропривода, вызывая повышение динамических нагрузок, снижение точности работы механизма, появление механических вибраций и опасных резонансных явлений. Возникающий при этом чрезмерно высокий уровень динамических нагрузок, особенно при пусках, реверсах и торможениях ведет к преждевременному выходу из строя элементов механизмов кранов и подкрановых конструкций.

При исследованиях, посвященных проблеме снижения динамических нагрузок было установлено, что самым эффективным способом снижения динамических нагрузок, а, следовательно, повышения долговечности механизмов передвижения кранов и подкрановых конструкций является модернизация существующих схем электроприводов и внедрение новых, которые обеспечивают снижение разницы в скоростях передвижения опор крана.

В связи с тем, что главную роль в создании условий высокой производительности подъемно-транспортного оборудования отводится электроприводу, то с учетом сложной специфики работы такого оборудования необходимо отдавать предпочтение простым и высоконадежным системам электроприводов.

1 Обзор и современное состояние электрооборудования мостовых кранов, постановка задачи

1.1 Краткая техническая характеристика мостового крана

Кранами называются грузоподъемные устройства, циклического действия, служащие для вертикального и горизонтального перемещения грузов на большие расстояния. По особенностям конструкций, связанным с назначением и условиями работы, краны разделяются на мостовые, порталные, козловые, башенные и др. В цехах предприятий электромашиностроения наибольшее распространение получили мостовые краны, с помощью которых производится подъем и опускание тяжелых заготовок, деталей и узлов машин, а также их перемещение вдоль и поперек цеха. Вид мостового крана в основном определяется спецификой цеха и его технологией, однако многие узлы кранового оборудования, например механизмы подъема и передвижения, выполняются однотипными для различных разновидностей кранов.

На электрических кранах устанавливают электродвигатели, пусковые и регулировочные сопротивления, тормозные электромагниты, контроллеры, защитную, пускорегулирующую, сигнальную, блокировочную и осветительную аппаратуру, конечные выключатели, токосъемники. Питание на кран подается или через троллейные проводники, неподвижно закрепленные на строительных конструкциях, и токосъемники, закрепленные на кране, или при помощи гибкого шлангового кабеля. Электродвигатели, аппараты и электропроводку кранов монтируют в исполнении, соответствующем условиям окружающей среды [1].

В зависимости от вида транспортируемых грузов на мостовых кранах используют различные грузозахватывающие устройства : крюки, магниты , грейферы, клещи и т.п. В связи с этим различают краны крюковые, магнитные, грейферные, клещевые и т.п. Наибольшее распространение получили краны с крюковой подвеской или с подъемным электромагнитом, служащим для транспортировки стальных листов , стружки и других ферромагнитных материалов.

Мостовые краны в зависимости от назначения и характера выполняемой работы снабжают различными грузозахватными приспособлениями: крюками, грейферами, специальными захватами и т.п. Мостовой кран весьма удобен для использования, так как благодаря перемещению по крановым путям, расположенных в верхней части цеха, он не занимает полезной площади.

Электропривод большинства грузоподъемных машин характеризуется повторно - кратковременном режимом работы при большей частоте включения, широком диапазоне регулирования скорости и постоянно возникающих значительных перегрузках при разгоне и торможении механизмов. Особые условия использования электропривода в грузоподъемных машинах явились основой для создания специальных серий электрических двигателей и аппаратов кранового исполнения. В настоящее время крановое электрооборудование имеет в своём составе серии крановых электродвигателей переменного и постоянного тока, серии силовых и магнитных контроллеров, командоконтроллеров, кнопочных постов, конечных выключателей, тормозных электромагнитов и электрогидравлических толкателей, пускотормозных резисторов и ряд других аппаратов, комплектующих разные крановые электроприводы.

В настоящее время грузоподъемные машины выпускаются большим числом заводов. Эти машины используются во многих отраслях народного хозяйства в металлургии, строительстве, при добыче полезных ископаемых, машиностроении, транспорте, и в других отраслях.

Развитие машиностроения, занимающиеся производством грузоподъемных машин, является важным направлением развития народного хозяйства страны.

Мостовые краны состоят из несущих элементов, непосредственно опирающихся на крановый путь, и моста, перемещающегося по уложенным на стенах или внешних эстакадах рельсам (рисунок 1). Пути укладываются на подкрановые балки, опирающиеся на выступы верхней части колонны цеха. Механизм передвижения крана установлен на мосту крана. Управление всеми

механизмами происходит из кабины, прикрепленной к мосту крана. Питание электродвигателей осуществляется по цеховым троллеям. Для подвода электроэнергии применяют токосъемы скользящего типа, прикрепленные к металлоконструкции крана. В современных конструкциях мостовых кранов токопровод осуществляется с помощью гибкого кабеля. Привод ходовых колес осуществляется от электродвигателя через редуктор и трансмиссионный вал.

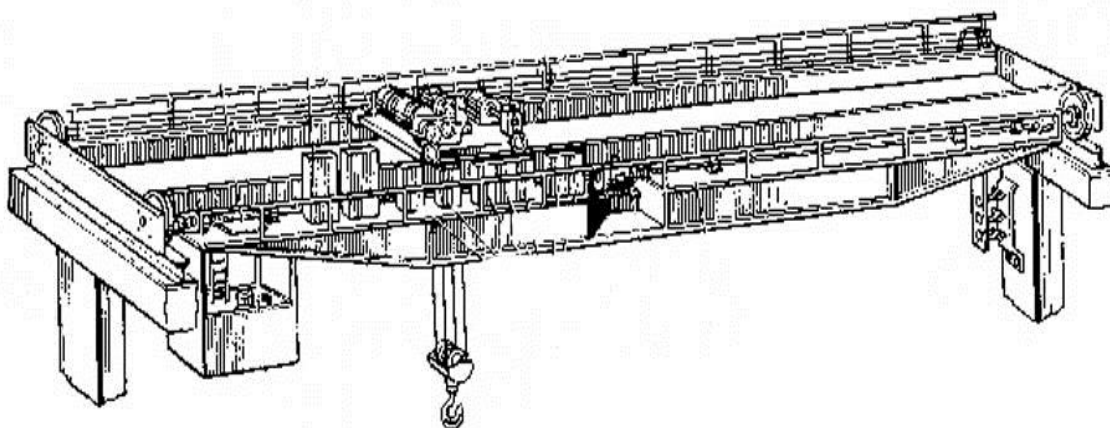


Рисунок 1 – Общий вид мостового крана

Любой современный грузоподъемный кран в соответствии с требованиями безопасности, может иметь для каждого рабочего движения в трех плоскостях, следующие самостоятельные механизмы: механизм подъема - опускания груза, механизм передвижения крана в горизонтальной плоскости и механизмы обслуживания зоны работы крана (передвижения тележки).

Грузоподъемные машины изготавливают для различных условий использования: по степени загрузки, времени работы, интенсивности ведения операций, степени ответственности грузоподъемных операций и климатических факторов эксплуатации.

1.2 Кинематические схемы механизмов мостового крана

Работу основных механизмов крана рассматривают по кинематическим схемам. Так как двигатели обычно имеют угловую скорость, значительно большую, чем скорость подъемного барабана или ходовых колес моста или

тележки, то движение к рабочим органам механизмов крана передается через редукторы.

Для механизмов подъема наибольшее применение получили схемы с полиспастом П (рисунок 2), при помощи которого движение от барабана Б передается крюку [2].

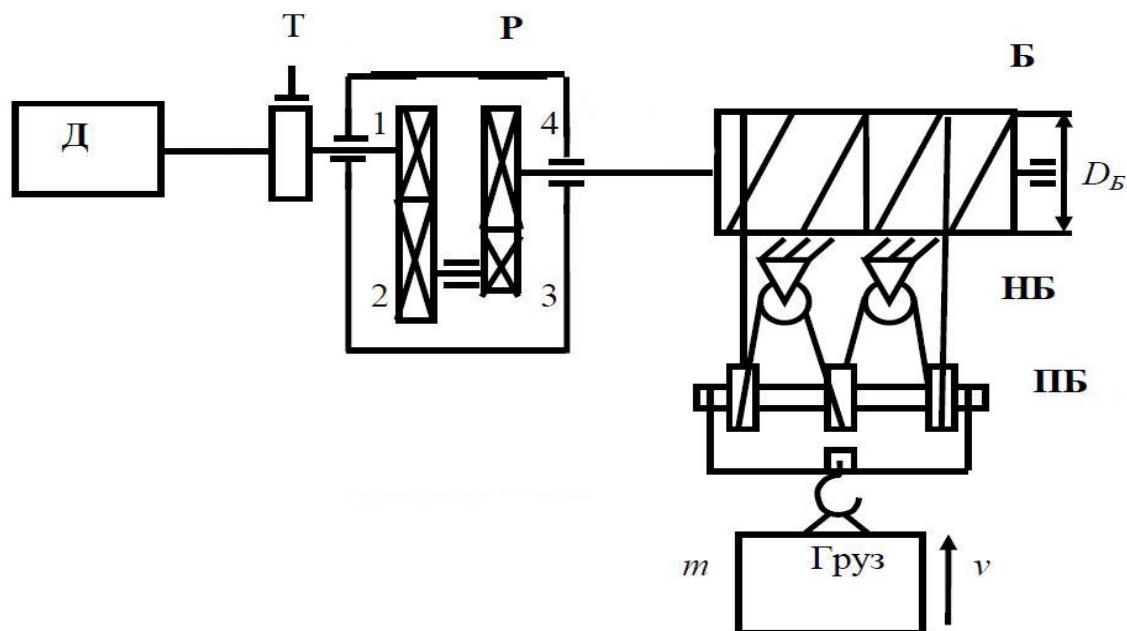


Рисунок 2 – Кинематическая схема механизма подъема

Двигатель Д через редуктор Р приводит во вращение барабан лебедки, на который канат наматывается при подъеме и сматывается при опускании груза m . Грузозахватное приспособление подвешивается на подвижных блоках ПБ, которые образуют с неподвижными относительно лебедки блоками НБ полиспасть.

Двигатель включается в работу после строповки груза, затем выбирается слабина каната. Далее выполняется разгон с ускорением не выше допустимого до рабочей скорости и обеспечивается подъем груза. При достижении заданной высоты двигатель тормозится, на вал двигателя накладывается тормоз Т. Удержание груза в подвешенном состоянии осуществляется тормозом.

При спуске груза выдерживается ускорение не выше допустимого, двигатель работает в тормозном режиме. При подходе груза к площадке выгрузки скорость спуска снижается, груз плавно устанавливается на площадку.

Ослабляется натяжение канатов для расстроповки груза, крюк отцепляется и цикл работы повторяется.

1.3 Условия работы и требования, предъявляемые к электроприводу мостового крана

Повышенная опасность работ при транспортировке поднятых грузов требует при проектировании и эксплуатации соблюдение обязательных правил по устройству и эксплуатации подъемно-транспортных машин. На механизмах подъема и передвижения правилами по устройству и эксплуатации предусмотрена установка ограничителей хода, которые воздействуют на электрическую схему управления. Конечные выключатели механизма подъема ограничивают ход грузозахватывающего приспособления вверх, а выключатели механизмов передвижения моста и тележки ограничивают ход механизмов в обе стороны. Предусматривается также установка конечных выключателей, предотвращающих наезд механизмов в случае работы двух и более кранов на одном мосту. Исключение составляют установки со скоростью движения до 30 м/мин. Крановые механизмы должны быть снабжены тормозами закрытого типа, действующими при снятии напряжения [4].

На крановых установках допускается применять рабочее напряжение до 500 В, поэтому крановые механизмы снабжают электрооборудованием на напряжения 220, 380, 500 В переменного тока и 220, 440 В постоянного тока. В схеме управления предусматривают максимальную защиту, отключающую двигатель при перегрузке и коротком замыкании. Нулевая защита исключает самозапуск двигателей при подаче напряжения после перерыва в электроснабжении. Для безопасного обслуживания электрооборудования, находящегося на ферме моста, устанавливают, блокировочные контакты на люке и двери кабины. При открывании люка или двери напряжение с электрооборудования снимается [5], [6].

Для качественного выполнения подъема, спуска и перемещения грузов электропривод крановых механизмов должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- регулирование угловой скорости двигателя в сравнительно широких пределах в связи с тем, что тяжелые грузы целесообразно перемещать с меньшей скоростью, а пустой крюк или ненагруженную тележку – с большей скоростью для увеличения производительности крана. Пониженные скорости необходимы также для осуществления точной остановки транспортируемых грузов с целью ограничения ударов при их посадке и облегчают работу оператора. Обеспечение необходимой жесткости механических характеристик привода, с тем чтобы низкие скорости почти не зависели от груза;

- ограничение ускорений до допустимых пределов при минимальной длительности переходных процессов. Первое условие связано с ослаблением ударов в механических передачах при выборе зазора, с предотвращением пробуксовки ходовых колес тележек и мостов, с уменьшением раскачивания подвешенного на канатах груза при интенсивном разгоне и резком торможении механизмов передвижения; второе условие необходимо для обеспечения высокой производительности крана;

- реверсирование электропривода и обеспечение его работы, как в двигательном режиме, так и в тормозном режиме.

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	<ul style="list-style-type: none"> – простота устройства и принципов управления; – практически линейные механические и регулировочные характеристики; – большой пусковой момент. 	<ul style="list-style-type: none"> – дороговизна изготовления; – износ и необходимость профилактического обслуживания коллекторно-щёточных узлов; – необходимо дополнительно устанавливать в цеху выпрямители трехфазного напряжения.

Продолжение таблицы 1

	Достоинства	Недостатки
Асинхронные электродвигатели с фазным ротором	<ul style="list-style-type: none"> – большой начальный вращающий момент; – приблизительно постоянная скоростью при различных перегрузках; – меньший пусковой ток по сравнению с электродвигателями с короткозамкнутым ротором 	<ul style="list-style-type: none"> – большие габариты; – дороговизна изготовления; – износ и необходимость профилактического обслуживания коллекторно-щёточных узлов.
Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором	<ul style="list-style-type: none"> – относительная дешевизна; – отсутствие коллекторно-щёточных узлов; – легкость конструкции и простота ее изготовления; – высокий КПД и $\cos \varphi$ по сравнению с двигателями с фазным ротором. 	<ul style="list-style-type: none"> – большой пусковой ток (до 5-7 In); – 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 $\cos\phi$ 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

Продолжение таблицы 2

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:

$$P_c = \frac{F_T \cdot V}{\eta_M}, \quad (2.2)$$

где F_T - грузоподъемная сила, Н;

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

Грузоподъемная сила рассчитывается по формуле:

$$F_T = m_T \cdot g, \quad (2.3)$$

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

m_T - номинальная масса груза, кг.

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

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 $P > 10,9$ кВт электродвигатель серии 5А. Технические данные электродвигателя приведены в таблице 3.

Таблица 3 – 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:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_{1н}}{z_p} = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,7 \text{ рад/с.} \quad (2.4)$$

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:

$$U_{1фн} = \frac{U_{1лн}}{\sqrt{3}}, \text{ В;} \quad (2.7)$$

$$I_{1фн} = I_{1лн} = I_{двн} = \frac{P_{двн}}{3 \cdot U_{1фн} \cdot \cos \phi_H \cdot \eta_H} = \frac{11 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,82 \cdot 0,87} = 23,36 \text{ А.} \quad (2.8)$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске:

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

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:

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

Ток холостого хода двигателя [10]:

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

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;

$\eta_{p^*} = \eta_H = 0,87$ – 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:

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

где $C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1фн}} = 1 + \frac{10,139}{2 \cdot 6,5 \cdot 23,3} = 1,033$ – 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:

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\Phi H} \cdot \cos \phi_H - I_{1\Phi H} \cdot R_1)^2 + (U_{1\Phi H} \cdot \sin \phi_H - I_{1\Phi H} \cdot X_{1\sigma})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,82 - 23,36 \cdot 0,339)^2 + (220 \cdot 0,572 - 23,36 \cdot 0,887)^2} = 202,026 \text{ В} \quad (2.21)$$

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:

$$L_m = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{19,925}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,063 \text{ Гн.} \quad (2.23)$$

Параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, мГн	X_μ , мГн	L_μ , Гн	R'_2 , Ом	$X'_{2\sigma}$, Ом	$L'_{2\sigma}$, мГн	X_{KH} , 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]:

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = 115,146 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.24)$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L'_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2} = 114,975 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.25)$$

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:

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

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]:

$$\omega_{\delta} = \frac{2 \cdot V \cdot \alpha}{D_{\delta}}, \text{ рад} / \text{с} \quad (2.27)$$

где $\alpha = 3$ – кратность полиспаста;

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

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

Передаточное число вычисляется по формуле:

$$i = \frac{\omega_{\delta a}}{\omega_{\delta}}, \quad (2.28)$$

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 $M_{ст}$ – статический 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 3).

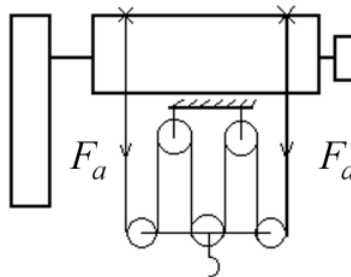


Рисунок 3 – Схема полиспаста механизма подъёма груза: $\mu = 2$, $\alpha = 3$

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

Грузовой момент на барабане вычисляется по формуле:

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

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:

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

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 4.

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

$$M_{\text{эм}}(s_{\text{н}}) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = 115,146 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

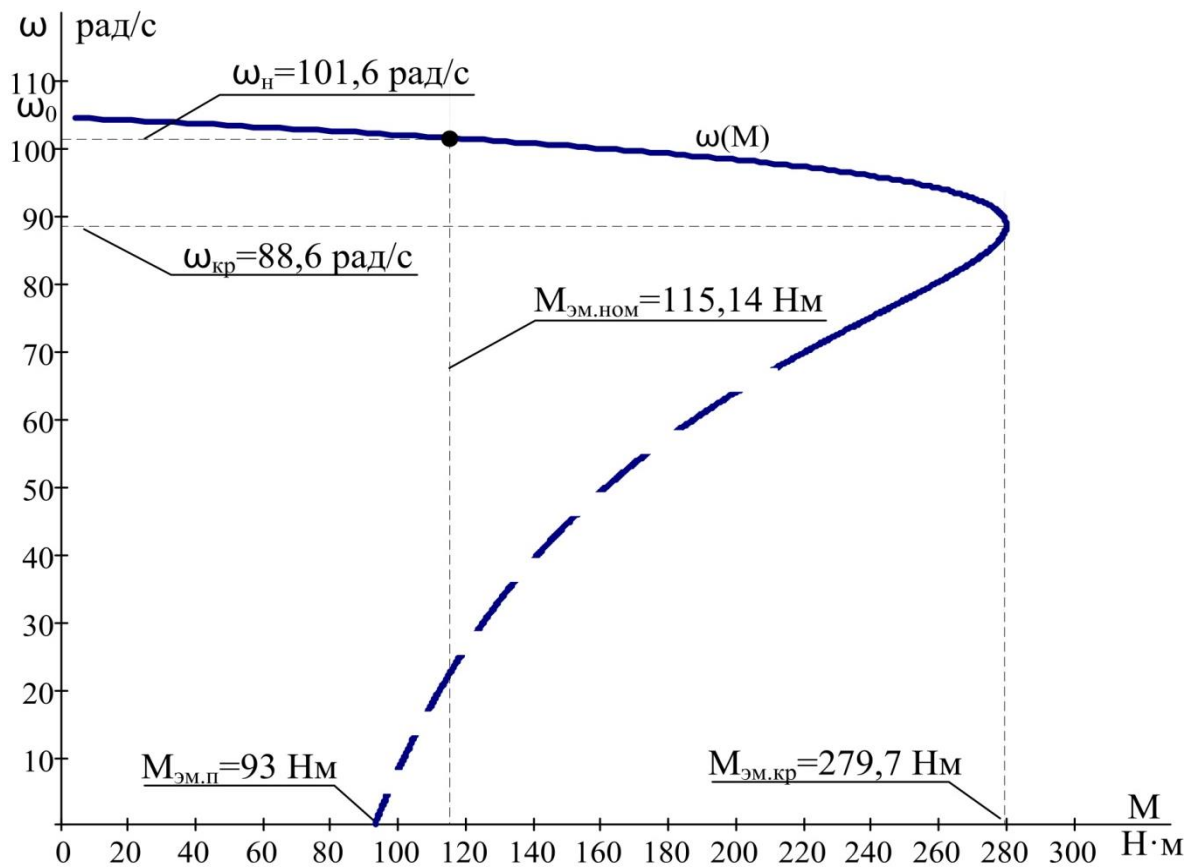


Рисунок 4 – Механическая характеристика асинхронного двигателя $\omega(M)$

Момент трения на валу двигателя:

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

Критическое скольжение:

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

Электромагнитный критический момент при критическом скольжении:

$$M_{эм}(s_k) = M_{эм.к} = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left\{ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{кн}^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu}\right)^2 \right]} \right\}} = 279,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}, \quad (2.37)$$

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

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0,339 + \frac{0,328}{s}\right)^2 + 2,112^2 + \left(\frac{0,339 \cdot 0,328}{s \cdot 19,925}\right)^2}};$$

– приведенный к обмотке статора ток ротора, А;

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

– действующее значение тока холостого хода, А;

$$\sin \phi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{KH})^2}} = \frac{2,112}{\sqrt{\left(0,339 + \frac{0,328}{s}\right)^2 + (2,112)^2}}.$$

По результатам расчета построены электромеханические характеристики двигателя $\omega(I_1)$ и $\omega(I_2')$ (рисунок 5), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s), \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.38)$$

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

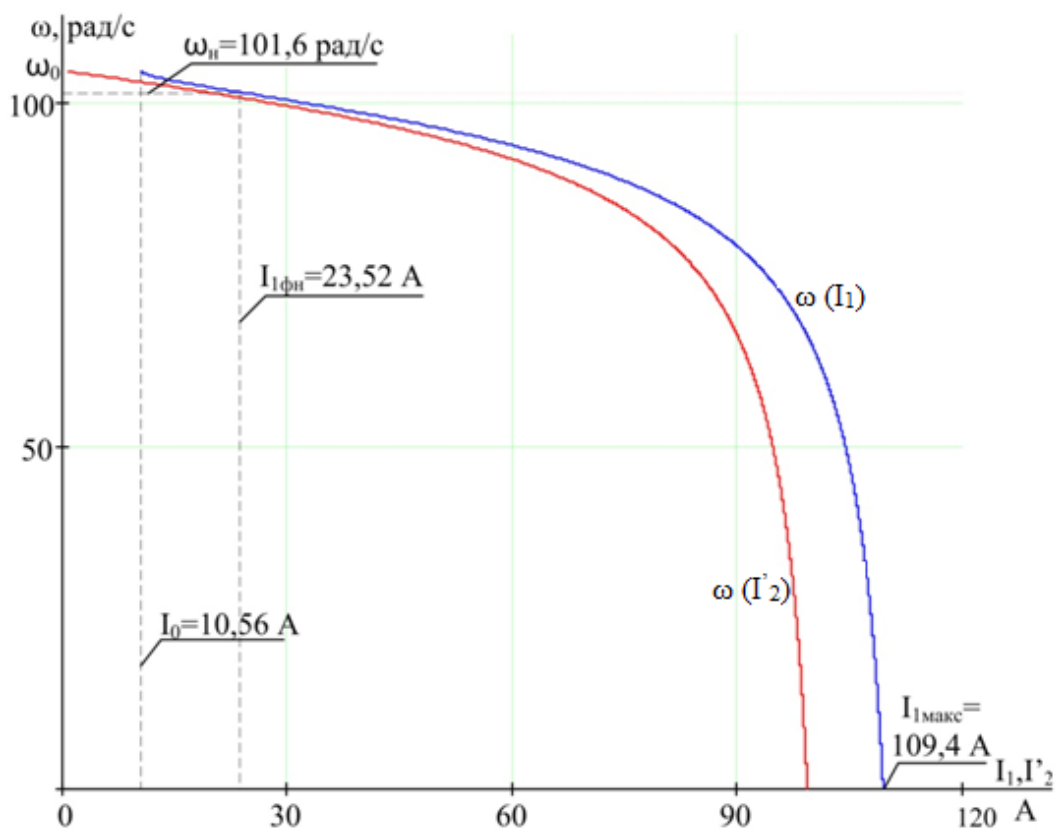


Рисунок 5 – Естественные электромеханические характеристики двигателя $\omega(I_1)$ и $\omega(I_2)$

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 $M_{ЭМ.н} > M_{дв.н}$, $M_{ЭМ.к} > M_{к}$. Условие $M_{ЭМ.пуск} > M_{дв.пуск}$ 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-F 740-00250 [13], параметры которого приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры преобразователя частоты Mitsubishi

Модель	Число фаз на входе	U_n , В	$I_{н.н}$, А	$I_{и.макс}$, 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:

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

ротора, приведённой к цепи статора:

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

Коэффициент рассеяния:

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

Эквивалентное сопротивление цепи статора:

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

Электромагнитные постоянные времени цепи статора и ротора:

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

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

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

В плоскости механической характеристики $\omega(M)$ 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 $M_{\text{с эм. макс}}(\omega) = M_{\text{с макс}}(\omega) + \Delta M_{\text{с дв}}$, где,

$$M_{\text{с макс}} = M_{\text{гр. макс}} = (1 + a + b) \left(\frac{m_r \cdot g}{\alpha} \cdot R_6 \right) \frac{1}{i_{\text{ред}}}, \quad (2.45)$$

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

(b) потерь механизма, $\eta_{\text{пер}} = 0,96; \eta_{\text{ред}} = 0,98$.

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

$R_{\delta} = 45 \cdot 10^{-3}$ м - радиус барабана;

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

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

3. Характеристика статического момента минимальной нагрузки

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

$$M_{\text{с мин}}(\omega) = a \cdot \left(\frac{m_{\text{гр}} \cdot g}{\alpha} \cdot R_{\delta} \right) \frac{1}{i_{\text{ред}}}, \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.46)$$

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

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

4. Зависимость длительно допустимого момента электродвигателя

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

$$\begin{cases} M_{\text{эм. длит. доп}}(\omega) = \left(k + (1 - k) \cdot \frac{2 \cdot \omega}{\omega_{\text{дв.н}}} \right) \cdot M_{\text{эм.н}} & \text{при } 0 < \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{\text{дв.н}}; \\ M_{\text{эм. длит. доп}}(\omega) = M_{\text{эм.н}} = 115,14 \text{ Н} \cdot \text{м}, & \text{при } 0,5 \cdot \omega_{\text{дв.н}} < \omega \leq \omega_{\text{дв.н}}. \end{cases}$$

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 $s_{T.1} = \frac{\omega_0 - \omega_{T.1}}{\omega_0} = \frac{104,7 - 100,43}{104,7} = 0,041$ и при этом скольжении

найдено значение максимального электромагнитного момента

$$M_{\text{эм.макс}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{T.2} \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{T.2}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{T.2} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

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

В плоскости электромеханической характеристики $\omega(I_1)$ рисунка 6 рассчитаны и построены:

1. Зависимость максимальной нагрузки:

$$I_{\text{с макс}}(\omega) = \sqrt{\left(\frac{M_{\text{с эм.макс}}(\omega)}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2'} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot \sqrt{2}} \right)^2} + I_0^2 =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{104,8}{\frac{3}{2} \cdot \frac{0,063}{0,067} \cdot 3 \cdot 0,909 \cdot \sqrt{2}} \right)^2} + 10,56 = 21,9 \text{ А.} \quad (2.47)$$

где при $\omega \leq \omega_{\text{дв.н}}$ $\Psi_{2d} = \Psi_{2н}$;

2. Зависимость от скорости длительно допустимого тока электродвигателя

$$I_{1\text{ф длит.доп}}(\omega) = \begin{cases} I_{1\text{фн}} \cdot \left[k + (1-k) \cdot \frac{2 \cdot \omega}{\omega_{\text{дв.н}}} \right] & \text{при } \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{\text{дв.н}}; \\ I_{1\text{фн}} & \text{при } \omega > 0,5 \cdot \omega_{\text{дв.н}}; \end{cases}$$

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 $M_{\text{эм.кратк.доп}}(\omega)$

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

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

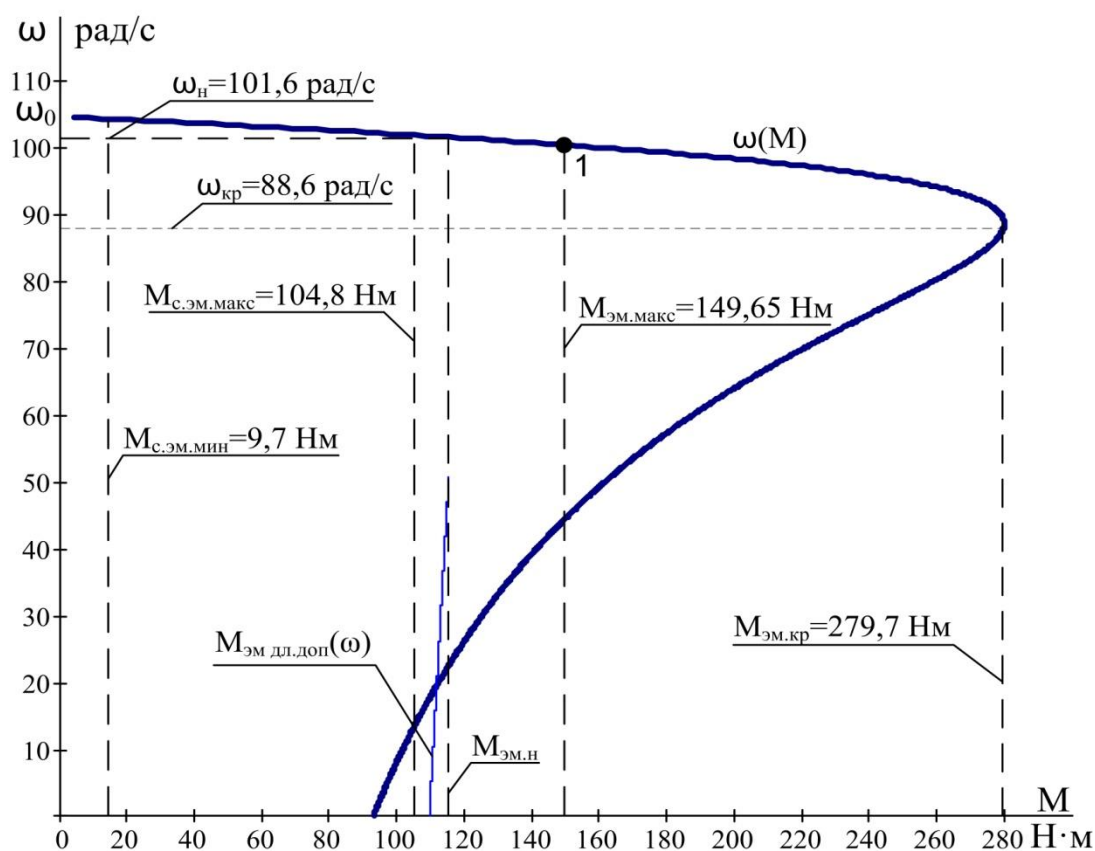


Рисунок 6 – Механическая характеристика электропривода и нагрузки $\omega(M)$ при векторном управлении

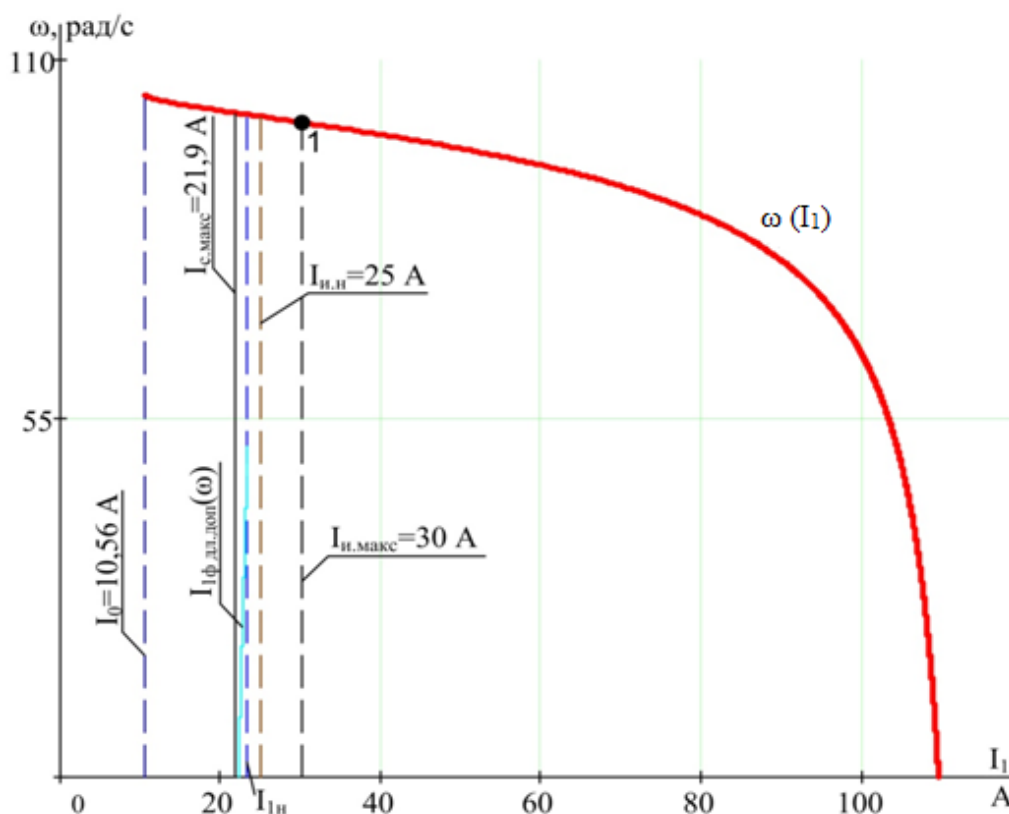


Рисунок 7 – Электромеханическая характеристика электропривода $\omega(I_1)$ и нагрузки при векторном управлении

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

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

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: $I_{\text{и.н}} = 25 \text{ A}$, $I_{\text{и.макс}} = 30 \text{ A}$. Из рисунка видно, что условие

$I_{и.н.} \geq I_{с.макс}$ 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 $I_{1ф}^* \geq I_{с.макс}$ (максимальное быстродействие электропривода достигается при выполнении условия $I_{1ф}^* \geq I_{1ф.макс}$).

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 :

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

– частоты питающего напряжения:

$$f_1^* = \frac{1}{2\pi} \cdot \left(\omega^* \cdot z_p + R_2' \cdot \frac{L_m}{L_2'} \cdot \frac{I_{1q}^*}{\Psi_{2н}} \right) = \quad (2.50)$$

$$= \frac{1}{2\pi} \cdot \left(101,6 \cdot 3 + 0,328 \cdot \frac{0,063}{0,067} \cdot \frac{27,13}{0,909} \right) = 49,97 \text{ Гц};$$

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

$$U_{1d}^* = \left(\frac{R_{1\text{Э}}}{L_m} - R_2' \cdot \frac{L_m}{L_2'^2} \right) \cdot \Psi_{2\text{H}} - 2\pi \cdot f_1^* \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}^*, B \quad (2.51)$$

$$U_{1d}^* = \left(\frac{0,632}{0,063} - 0,328 \cdot \frac{0,063}{0,067^2} \right) \cdot 0,909 - 2\pi \cdot 49,97 \cdot 0,096 \cdot 0,066 \cdot 27,13 = -49,52 B;$$

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

$$U_{1q}^* = 2\pi \cdot f_1^* \cdot \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \cdot \Psi_{2\text{H}} + \frac{L_m}{L_2'} \cdot \Psi_{2\text{H}} \cdot z_p \cdot \omega^* + R_{1\text{Э}} \cdot I_{1q}^*, B \quad (2.52)$$

$$U_{1q}^* = 2\pi \cdot 49,97 \cdot \frac{0,096 \cdot 0,066}{0,063} \cdot 0,909 + \frac{0,063}{0,067} \cdot 0,909 \cdot 3 \cdot 101,6 + 0,632 \cdot 27,13 =$$

$$= 307,456 B;$$

– фазного напряжения трехфазного двигателя:

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

– напряжения звена постоянного тока преобразователя:

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

– 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 8) двигателя $\omega_{дв}$ 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.

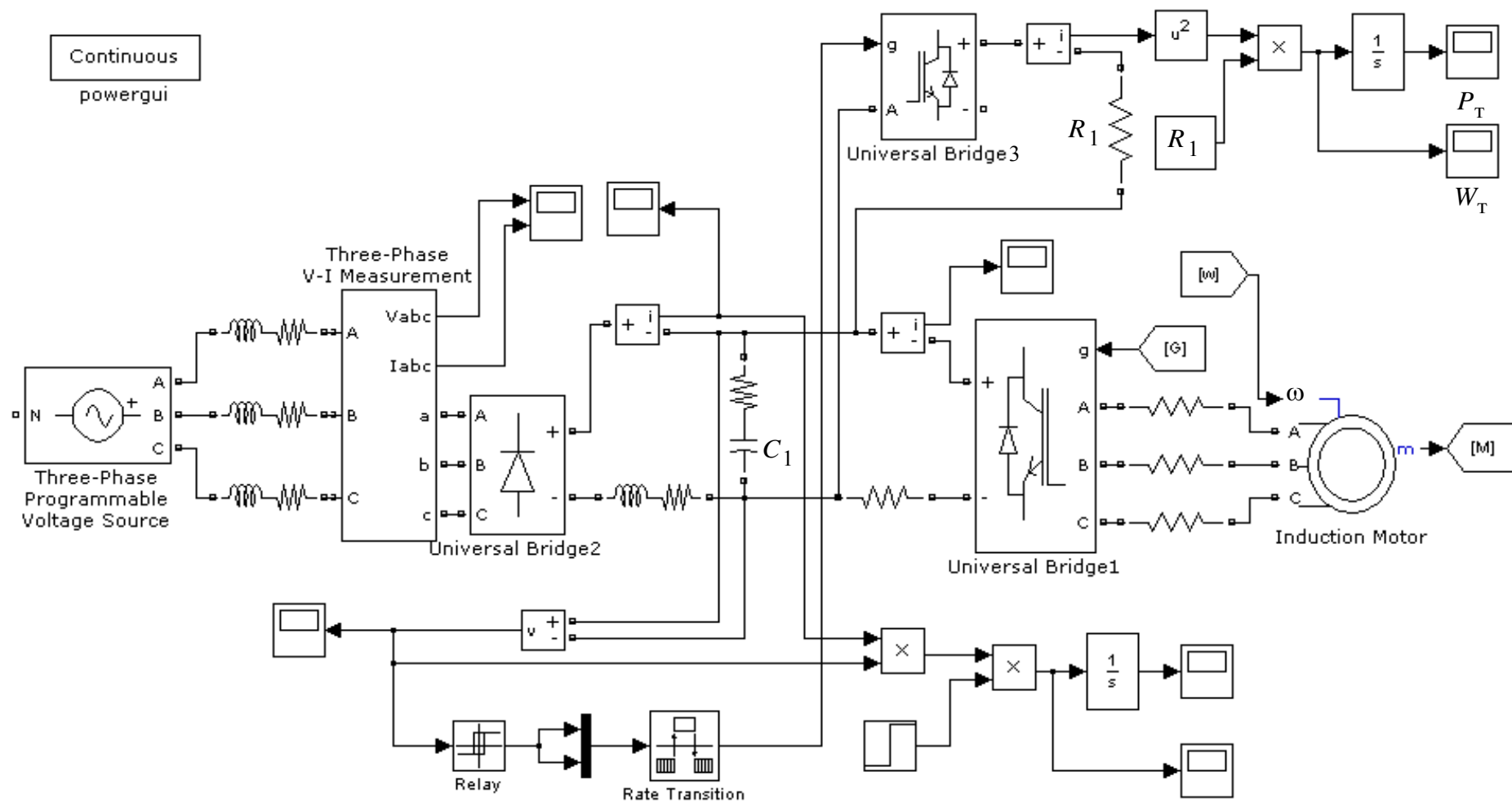


Рисунок 8 – Имитационная модель электрической части силового канала системы преобразователь частоты-асинхронный электродвигатель

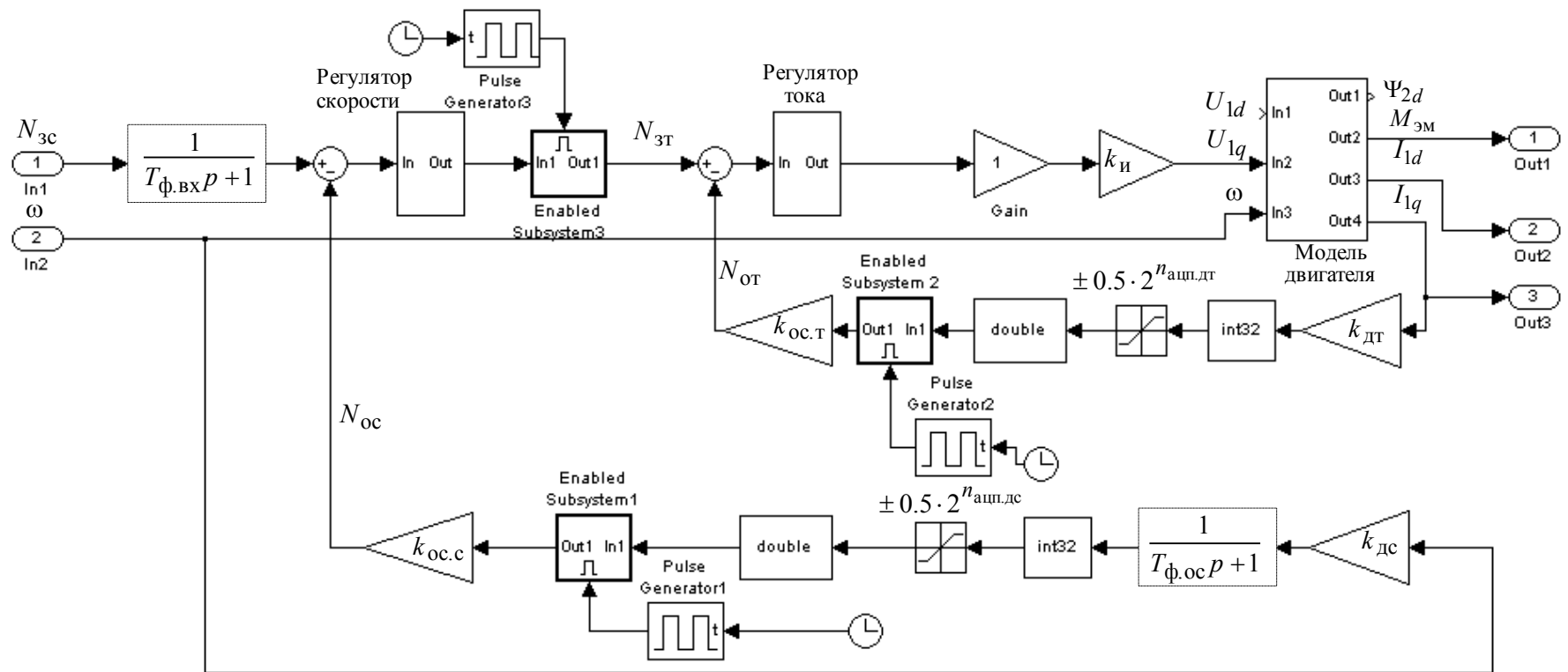


Рисунок 9 – Имитационная модель контура скорости с аналоговым датчиком и внутренним контуром тока I_{1q}

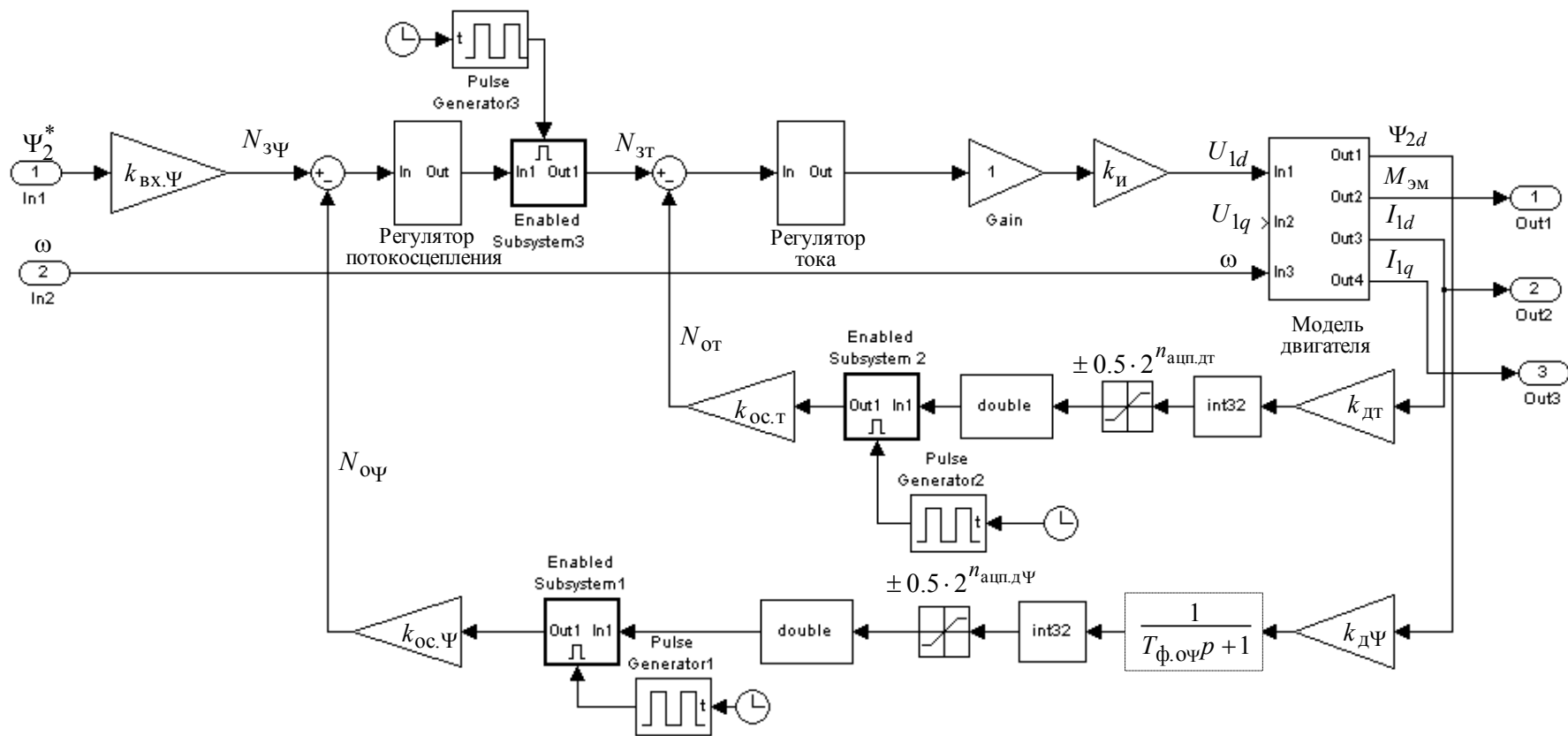


Рисунок 10 – Имитационная модель контура потокосцепления с внутренним контуром тока I_{1d}

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 $T_{шим}$

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

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

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

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

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

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

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_{1d} и I_{1q} 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;

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

–малая постоянная времени оптимизированного контура тока;

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

$a_{\Gamma} = 2$ – 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

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

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

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

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Параметры элементов контура скорости с аналоговым датчиком:

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

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

– 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 $n_{\text{эп.макс}}$.

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

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

– коэффициент усиления регулятора

$$k_{\text{pc}} = \frac{J_3 \cdot k_{\text{т}}}{c_{\text{м}} \cdot k_{\text{с}} \cdot a_c \cdot T_{\text{мсэ}}} = \frac{0,51 \cdot 0,02}{4 \cdot 6,348 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 250,27 \quad (2.71)$$

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;

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

– коэффициент обратной связи по скорости;

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

– 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 $I_{1\text{макс}}$ 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;

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

– коэффициент передачи датчика потока, 1/Вб,

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

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

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

– 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

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

Параметры настройки регулятора потокосцепления ротора:

– постоянная времени регулятора

$$T_{p\Psi} = T_2 = 0,205 c;$$

– коэффициент усиления регулятора

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_\Psi \cdot a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi_3}} = \frac{0,205 \cdot 0,02}{0,063 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 24,912 \quad (2.78)$$

где

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

– коэффициент обратной связи по потоку;

$$T_{\mu\Psi_3} = T_T + \frac{T_{oc.\Psi}}{n_\Psi} + T_{\phi.o\Psi} = 3 \cdot 10^{-4} + \frac{10^{-3}}{1} + 0 = 1,3 \cdot 10^{-3} c \quad (2.80)$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости;

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

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

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

$$k_{\text{ос.}\Psi} = \frac{k_{\Psi}}{k_{\text{д}\Psi}} = 4,883 \cdot 10^{-4}. \quad (2.81)$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора потокосцепления ротора ограничивается на постоянном уровне

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

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

На рисунке 11 представлена модель электропривода механизма подъема в среде MATLAB SIMULINK.

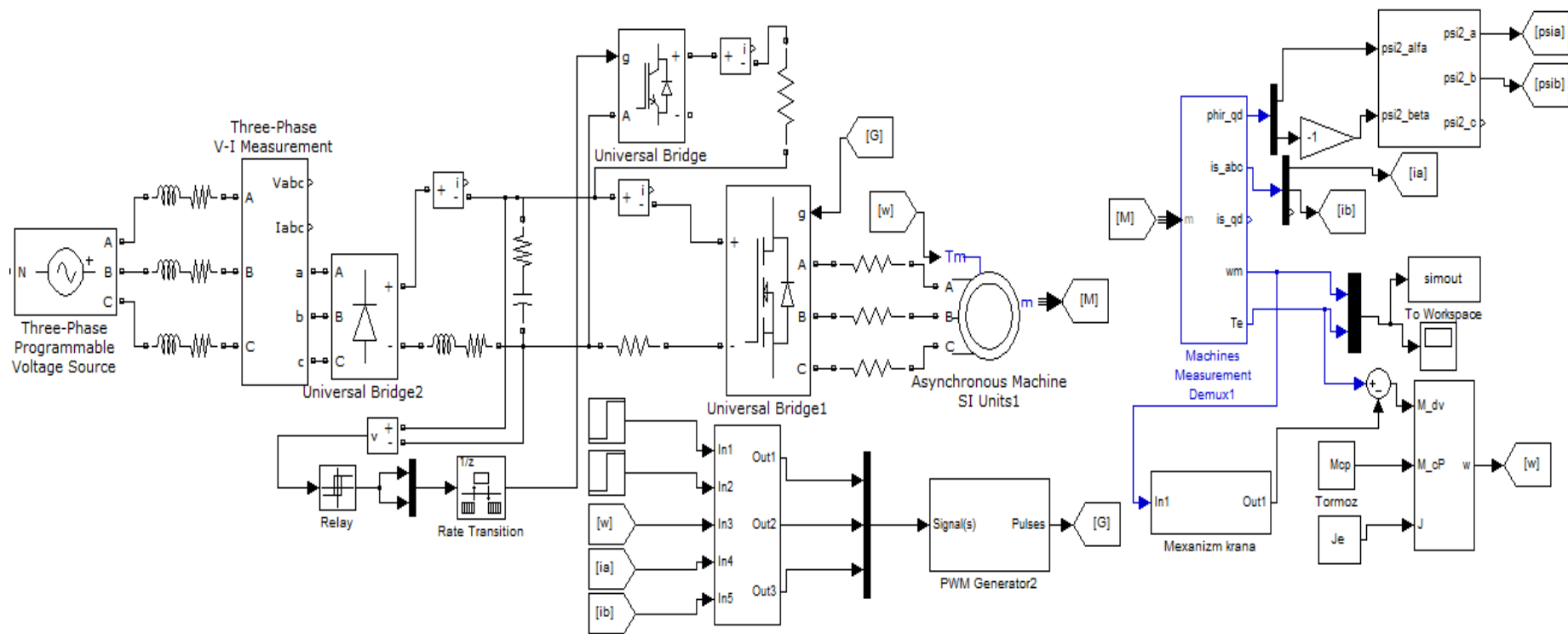


Рисунок 11 – Имитационная модель механизма подъема мостового крана

На рисунке 12 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: $M_{\text{эп.макс}} = 149,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $I_{\text{эп.макс}} = 29,3 \text{ А}$; 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.

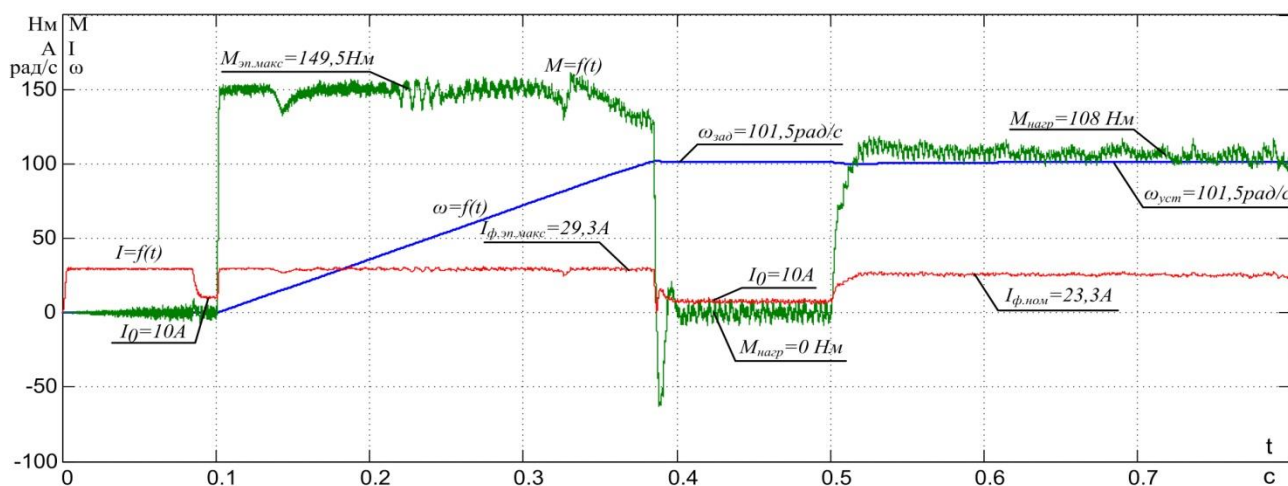


Рисунок 12 – Диаграммы электромагнитного момента $M_{\text{эм}}(t)$, скорости вращения $\omega(t)$ и фазного тока $i_{\text{ф}}(t)$ двигателя

На рисунке 4.2 представлены переходные характеристики скорости вращения ротора $\omega(t)$ двигателя при задании на скорость $\omega_{\text{зад1}} = 101,5 \text{ рад/с}$ и $\omega_{\text{зад2}} = 1,01 \text{ рад/с}$.

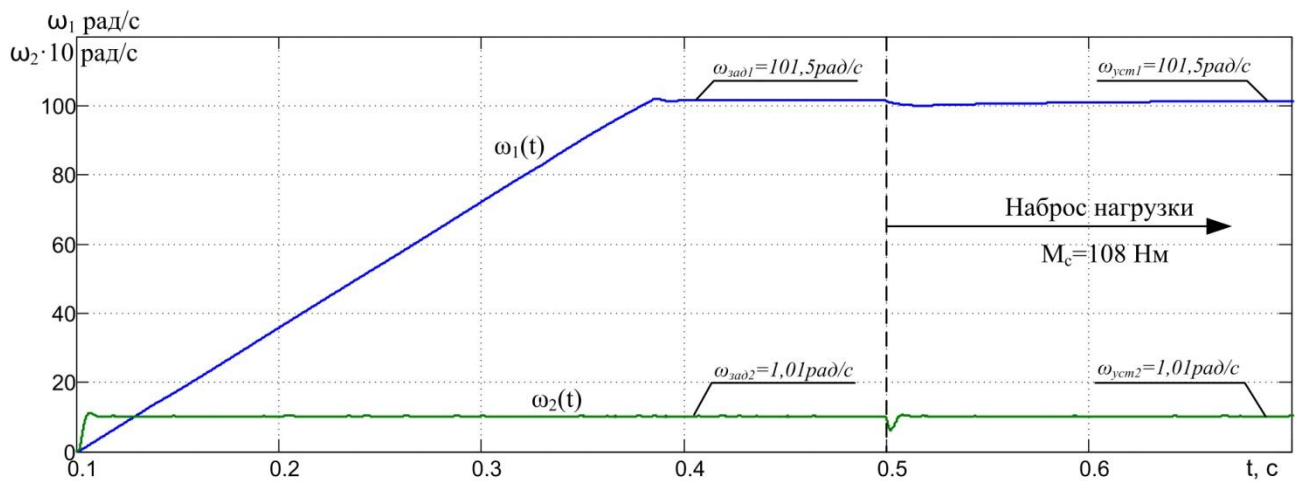


Рисунок 13 – Переходные характеристики скорости вращения ротора $\omega(t)$ двигателя при различных заданиях скорости

Из графика, представленного на рисунке 13, 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 14 представлен пуск модели регулируемого асинхронного электропривода механизма подъема мостового крана с S-образным задатчиком скорости.

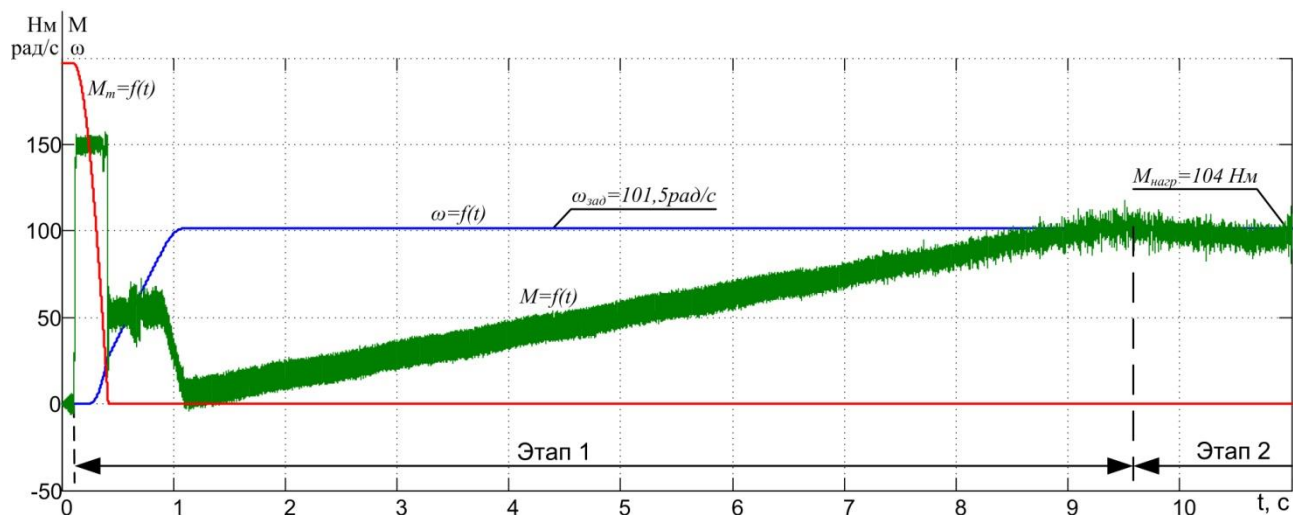


Рисунок 14 – Пуск АД и его работа под нагрузкой

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, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А1	Сатторов Сухроб Салимжон угли

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

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

1. Экономическая концепция проекта.
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)

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Попова С.Н.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Сатторов Сухроб Салимжон угли		

3. Экономическая концепция проекта

В данном дипломном проекте проектируется электропривод переменного тока механизма подъема мостового крана.

При исследованиях, посвященных проблеме снижения динамических нагрузок было установлено, что самым эффективным способом снижения динамических нагрузок, а следовательно, повышения долговечности механизмов передвижения кранов и подкрановых конструкций является модернизация существующих схем электроприводов и внедрение новых, которые обеспечивают снижение разницы в скоростях передвижения опор крана.

Мостовой кран активно используется в промышленном производстве, так как способен решить множество проблем, связанных с поднятием тех или иных грузов. Широкий выбор на рынке грузоподъемного оборудования позволяет приобрести качественный кран в зависимости от вида предполагаемых работ. Мостовые краны используют как в промышленных зданиях, так и на открытых территориях.

На электрических кранах устанавливают электродвигатели, пусковые и регулировочные сопротивления, тормозные электромагниты, контроллеры, защитную, пускорегулирующую, сигнальную, блокировочную и осветительную аппаратуру, конечные выключатели, токосъемники. Питание на кран подается или через троллейные проводники, неподвижно закрепленные на строительных конструкциях, и токосъемники, закрепленные на кране, или при помощи гибкого шлангового кабеля. Электродвигатели, аппараты и электропроводку кранов монтируют в исполнении, соответствующем условиям окружающей среды.

Целью данного раздела является:

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

3.1 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. Руководитель проекта;
2. 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.

Выбор электродвигателя подёма мостового крана.

Исходя из справочника [9] выбираем с учетом ПВ =25% и мощности $P > 10,9$ кВт электродвигатель серии 5А. Технические данные электродвигателя:

Тип – 5А160S6, $11=кВт$, об/мин=970,

Для плавного регулирования электродвигателя мостового крана используем преобразователь параметром структурной схемы двигателя.

Mitsubishi FR-F740-00250, число фаз на входе =3, $U_n = 380$ В, $I_n = 30$ А, Рекомендуемая мощность двигателя 11кВт.

К электроприводам механизмов подъема мостового крана представляются 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 ускорения обеспечить отсутствие ощутимых толчков при старте и остановке, увеличить срок службы основных механических узлов – тяговых тросов, тормозных колодок редукторов, подвески противовеса.

3.2 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 6 - 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:			121

С учетом транспортных расходов 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:

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

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

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

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

(таблица 14.6).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

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

$Z_{\text{р.к.}}$ – 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 Разработка последовательного комплекса работ проекта

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта.

По результатам расчетов строится диаграмма Ганта, приведенная в таблице 7.

Таблица 7. – Диаграмма выполнения технического проекта

№ 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	П	7		-----										
3	Подготовка исходных данных	П	9			-----									
4	Обработка и ввод данных в программу Mathcad	П	9				-----								
5	Расчет нагрузок в программе Mathcad	П	12					-----							
6	Выбор технологического оборудования	П	9						-----						
		Р	1							--					
7	Расчет электропривода и его элементов, построение рабочих характеристик	П	9							-----					
		Р	1									--			
8	Проверка оборудования	П	9									-----			
		Р	1										--		
9	Оформление пояснительной записки	П	9											-----	
10	Сдача проекта	Р	1												--
		П	1												--

Условное обозначение исполнителей: Р – руководитель технического проекта, Д – проектировщик.

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);

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 8.

Таблица 8 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 технического проекта	29744	2200	9583	41566	1598	5	8000
Проектировщик	7864	-	2359	10223	393	74	29082
Итого З _{осн} , руб.							37082

Продолжение таблицы 8 – Планирование пуско-наладочные работы (ПНР).

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.
Инженер – программист	19800	9900	8910	38610	1755	17	29835
Электромонтер	22700	11350	10215	44265	2012	17	34204
Итого $Z_{осн}$, руб.							64039

Полная основная заработная плата исполнителей $Z_{осн}$, = 101121 руб

Дополнительная заработная плата составляет 12-15% от основной.

Расчет полной заработной платы приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент учитывающий заработную плату	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Руководитель технического проекта	0,15	8000	1198	9198
Проектировщик	0,12	29082	3490	32572
Итого		37082	4688	41770

Таблица 10 – Планирование пуско-наладочных работы (ПНР).

Исполнители	Коэффициент учитывающий заработную плату	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Инженер – программист	0,12	29835	3580	33415
Электромонтер	0,12	34204	4104	38308
Итого		64039	7684	71723

Полная заработная плата составляет:

- Расчет проекта – 41770 рублей;

- ПНР – 71720 рублей;

Итого: 113500 руб.

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:

$$k_{\text{внеб}} = 30,2 \%$$

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 11.

Таблица 11 – Смета затрат по проекту

Наименование статьи	Сумма, руб.	Структура затрат, %
1. Оплата труда	41770	46,1%
2. Отчисления во внебюджетные фонды	12433	13,9%
3. Накладные расходы	36135	40%
Итого	90520	100%

Таблица 11 – Смета ПНР

Наименование статьи	Сумма, руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты	121000	47,4%
2. Оплата труда бригады	71720	28,1%
3. Отчисление во внебюджетные фонды	21659	8,5%
4. Накладочные расходы	40834	16%
Итого	255213	100%

Исходя из представленной выше таблицы 5,6, можно сделать вывод, что итого суммарные затраты по проекту составляют $255213 + 90520 = 345733$ рублей.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А1	Сатторов Сухроб Салимжон угли

Институт	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является электропривод мостового крана. Кран применяется для транспортировки различных грузов в разных промышленных отраслях и предприятиях</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды 1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды	<p>Основными вредными факторами являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенная запыленность воздуха рабочей зоны; - повышенный уровень шума на рабочем месте; - повышенный уровень вибрации; - отклонение показателей микроклимата; <p>Опасными факторами являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; разрушающиеся конструкции; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
2. Экологическая безопасность:	Загрязнение окружающей среды смазочными материалами. Проведение мероприятий по утилизации.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Перечень возможных ЧС на объекте; - пожар
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Возрастное ограничение, требования к образованию. Специальные нормы, предусмотренные спецификой выполняемых работ. Эргономика кабины крана и ее оснащение.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Сатторов Сухроб Салимжон угли		

4. Социальная ответственность

Введение

В данном дипломном проекте проектируется электропривод переменного тока механизма подъема крана.

Краны являются одним из видов грузоподъемных сооружений, циклического действия. Бывают мостовыми, козловыми, башенными, порталными, плавающими 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 27584-88) [1].

4.1 Производственная безопасность

Анализ вредных факторов, связанных с эксплуатацией крана
При работе на машиниста крана воздействуют вредные факторы.

К вредным относятся:

- 1) повышенная запыленность воздуха рабочей зоны;
- 2) повышенный уровень шума на рабочем месте;
- 3) повышенный уровень вибрации;
- 4) отклонение показателей микроклимата;

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 2.2.4.548-96 определены показатели, характеризующие микроклимат в производственных помещениях [2]:

- 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.

Человек будет чувствовать себя абсолютно комфортно, если влажность окружающего его воздуха будет колебаться в пределах от 40 до 60%. В случаях снижения влажности ниже 40%, практически все здоровые люди начинают испытывать сонливость, рассеянность, ощущать чувство сухости кожи и раздражение слизистых оболочек.

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 $0,2 \div 0,3 \text{ м/с}$ [3].

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 м² на одного человека.

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

- неблагоприятный микроклимат;
- производственные пыли;
- вредные газы и пары;

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.

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

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 12.[4]:

Таблица 12 – 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

Вибрации при работе мостового крана возникают как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Допустимый уровень вибрации представлен в таблице 2. 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 13.– Допустимый уровень вибрации

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

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

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.

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.

Анализ опасных факторов, связанных с эксплуатацией крана

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;

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, 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;

4.2. Экологическая безопасность.

В процессе эксплуатации крана возможно загрязнение окружающей среды смазочными материалами.

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

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

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

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

При утилизации должны соблюдаться следующие правила:

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

-при утилизации должны быть выдержаны нормы охраны окружающей среды;

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

4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожарная безопасность

Согласно СП 12.13130-2009 рабочее место мостового крана по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории “Г” т.е умеренная пожароопасность [5].

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, 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.

4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Специальные правовые нормы трудового законодательства.

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

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

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

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

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

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны:

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

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

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

Кроме того кабина крановщика должна быть оборудована средствами или устройствами:

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

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

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

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

5) для аварийного покидания кабины.

Остекление кабины должно быть устойчивым к механическому воздействию по ГОСТ 5727-88. Окна должны иметь форточки или частично открываться. Стекла по периметру должны иметь вибродемпфирующую прокладку.

Заключение

В ходе выполнения работы был выполнен обзор современного электропривода мостовых кранов и выявлены проблемы, которые присутствуют в крановом электроприводе.

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

Произведен расчет системы управления электроприводами механизма.

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

В экономической части выпускной квалификационной работы рассмотрены вопросы планирования, проведения пуско-наладочных работ электропривода мостового крана. Составлена смета на проведение ПНР и построен график выполнения пуско-наладочных работ и занятости исполнителей, а так же доказана экономическая целесообразность от внедрения спроектированного электропривода.

В разделе безопасности и экологичности проекта освещены вопросы: производственной безопасности; экологической безопасности; рассмотрены вероятные чрезвычайные ситуации при работе мостового крана.

Conclusion

In the course of work the review of the modern electric drive of bridge cranes has been executed and problems which are present at the crane electric drive are revealed.

In given to work the frequency and adjustable electric drive of alternating current has been considered and calculated. The EDS eats from the 3rd – the phase industrial alternating current main with linear voltage of 380 V with a frequency of 50 Hz.

Calculation of a control system of electric drives of the mechanism is made.

By means of the imitating model collected in the Simulink application of the MATLAB program work of bridge has been presented.

In an economic part of final qualification work questions of planning, carrying out balancing and commissioning of the electric drive of the bridge crane are considered. The estimate on carrying out the Party of Russian Taxpayers is made and the schedule of performance of balancing and commissioning and employment of performers is constructed, and the economic feasibility from introduction of the designed electric drive is also proved.

In the section of safety and environmental friendliness of the project questions are taken up: production safety; ecological safety; probable emergency situations during the operation of the bridge crane are considered.

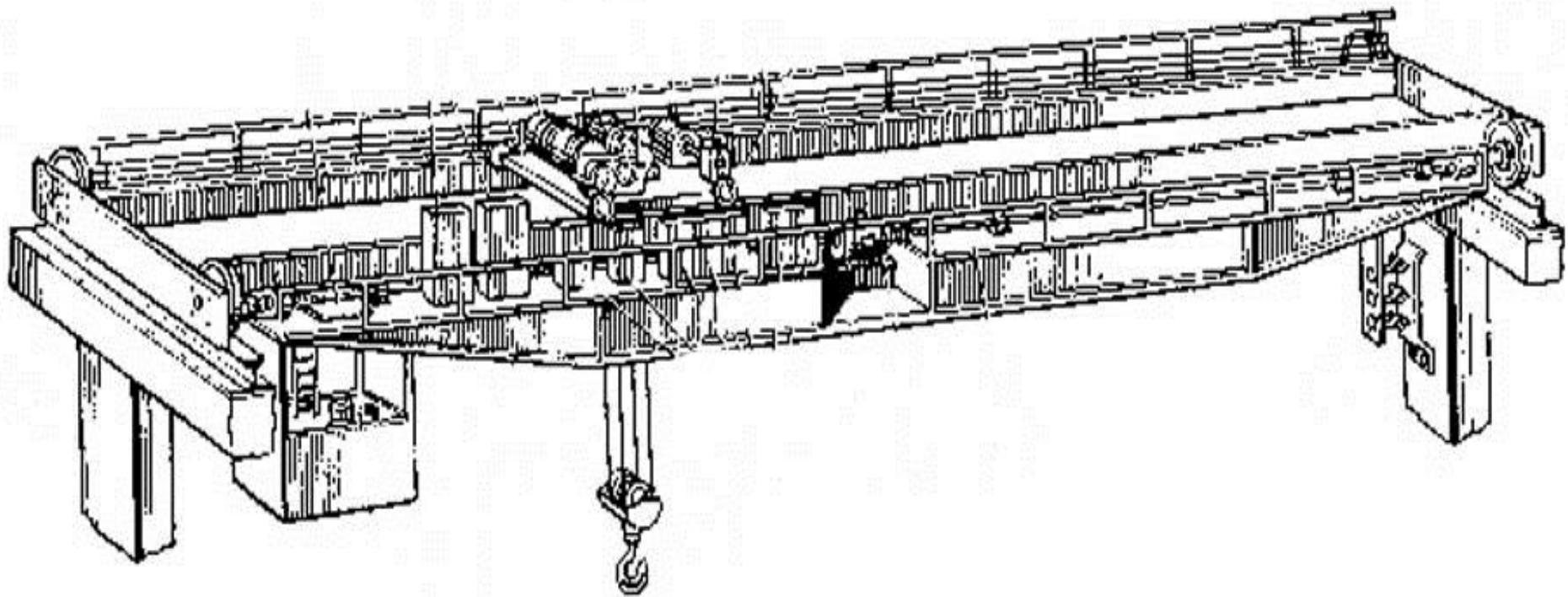
Список использованных источников

1. Александров М.П. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – Высшая школа, 2000. – 552 с.
2. 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.
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ 10-382-00). М.: ПИО ОБТ, 2000. – 268 с.
4. Шишков Н.А. Надежность и безопасность грузоподъемных машин. – М.: Недра, 1990. – 252 с.
5. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ 10-382-00). – М.: ПИО ОБТ, 2000. – 268 с.
6. Продажа кранового оборудования, его обслуживание, монтаж, реконструкция и модернизация [Электронный ресурс]. – URL: <http://dvesta.com> – Загл. с экрана. (дата обращения: 15.02.2014)
7. 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.
8. Кацман М.М., Справочник по электрическим машинам: Учебное пособие для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с.
9. Чернышев А.Ю. Электропривод переменного тока: учебное пособие/ А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 218 с.
10. 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.

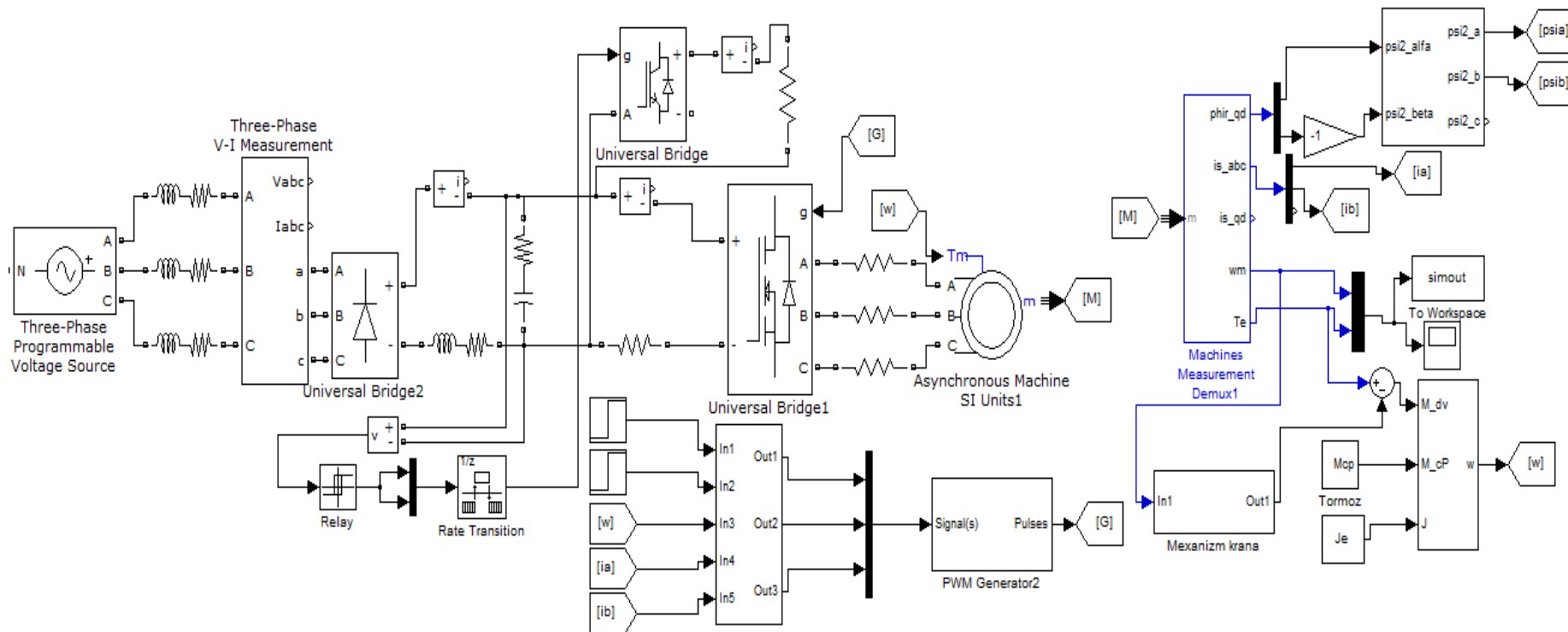
11. Ермоленко В.А. Расчет механизма подъема груза мостового крана – М: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. — 32 с.
12. Волкова Л. Методика проведения SWOT-анализа // http://market.narod.ru/S_StrAn/SWOT.html.
13. Криницына З.В. Ресурсоэффективность отрасли: Учебное пособие /З.В.Криницына. – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2013. – 182 с.
14. Криницына З.В., И.Г. Видяев Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
15. ГОСТ 27584-88 Краны мостовые и козловые электрические.
16. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
17. ГОСТ 12.1.005-88 Межгосударственный стандарт . Система стандартов безопасности труда.
18. ГОСТ 12.1.003-83 Шум. Общие требования безопасности.
19. СП 13.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

Приложение А
Графический материал

Общий вид мостового крана



Имитационная модель механизма подъема мостового крана



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

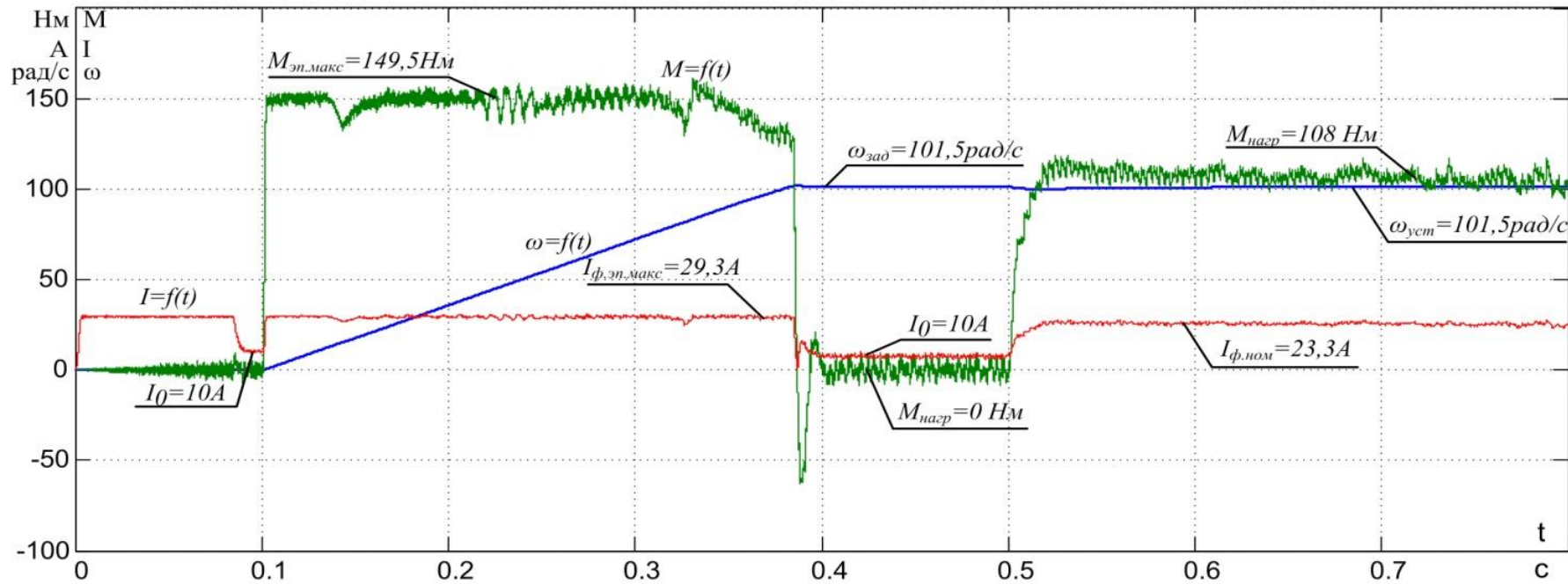


Диаграмма Ганта

№ 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.