



Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Электроэнергетический  
Специальность 5 В 07 1800 - Электроэнергетика  
Кафедра Электропривода и автоматизации промышленных установок

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Касимов Кукот Шахрай уыи  
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Разработка схемы для управления  
электродвигателем моста мостового крана.

утверждена приказом ректора № 148 от «19» октября 2015 г.

Срок сдачи законченной работы «  » 20 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта

Задаваемые размеры мостового крана:

- Длина опорной балки 6 м; - Длина моста 4 м; Высота подвеса: 2,5 м;
- Скорость передвижения мостового крана 0,5 м/сек;
- Масса крана 500 кг;
- Грузоподъемность крана 100 кг;
- Диаметр шкива 0,06 м, колеса 0,21 м;
- Мощность электродвигателя 180 Вт; 1400 об/мин, 380 В, cosφ=0,88

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:

В данном дипломном проекте проводилось проектирование  
автоматического управления мостового крана. Разрабатывалась  
схема управления. Было  
выбрано устройство необходимое для всех систем управления.

В расчетной части работы были определены  
категории и эквивалентные расчеты по двум вариантам  
систем управления, так же было рассмотрено устройство  
и электрические характеристики расчетных устройств.

В заключении даны рекомендации по устройству  
устройств, расчет моста производился от электродвигателя  
проборка выполнена в лаборатории.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Функциональная схема местного вращ.
2. Схема синхронизации двиня ПЧ без детектирования сигнала.
3. Синхронизация с помощью ПЧ с детектированием сигнала по скорости.
4. Схема расчета-комбинированного управления электродвигателями.
5. Внешний вид панели стенда.
6. Структурная схема стенда.

Рекомендуемая основная литература

1. Садовский И. М. Согласованное вращение асинхронных двигателей, "Электротехнический вестник" - М.: Государственное энергетическое издательство, 1948 - 136 с.
2. Салимов П. П. Учебное пособие. Проектирование крайних элементов механизмов. - А.: АУТ 2012. - 67 с.
3. Чибриков М. Р., Саидов А. С. Общий курс электротехники. - М.: Энергоатомиздат, 1987 - 576 с.
4. Шакиров А. В. Методические указания по выполнению задания дипломного проекта. - А.: АУТ, 2015.
5. Дюсбаев М. К., Балимбетов Ю. С. Базовые принципы проектирования. Методические указания к выполнению работы. - А.: АИ ДС, 2008.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Основная теория курса	Алексеев С. Б.	25.01 - 20.05	
Безопасность труда-ТИ	Дюсбаев М. К.	22.04 - 13.05	
Экономические расчеты	Шакиров А. В.	11.03 - 25.03	

**Г Р А Ф И К**  
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1.	Способы синхронизации вращения двигателей	4.02.2016.	
2.	Релейно-контактное схема управление электромех. валом.	10.02.2016.	
3.	Управление передвиганием моста при синхронизации в режиме ПЧ-ДФ.	19.02.2016	
4.	Размещение оборудования на стенде.	25.02.2016	
5.	Проверка работоспособности усилителей электродвигателей.	16.03.2016	
6.	Выбор оборудования для всех электротехнических схем управления передвиганием моста.	22.03.2016	
7.	Разработка структуры схемы стенда.	14.04.2016	
8.	Программирование управления на базе ПК и СПК.	21.04.2016	
9.	Создание программы для управления мостом мостовым краном для ПК.	4.05.2016	
10.	Анализ лабораторной и расчет моста от электродвигателей	13.05.2016.	
11.	Расчет тепловых - динамических показателей.	25.03.2016.	

Дата выдачи задания «25» января 2016 г.

Заведующий кафедрой

(подпись)

Саматов А.И.

(Фамилия и инициалы)

Руководитель

(подпись)

Алексеев С.Б.

(Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению студент

(подпись)

Кузнецов А.И.

(Фамилия и инициалы)

## **Аннотация**

В данном дипломном проекте был разработан лабораторный стенд для управления моста мостового крана. Целью проекта является разработка системы управления мостовым краном лабораторного стенда для дальнейшего обучения студентов, также рассмотрение системы защиты для безопасного использования и расчет экономической эффективности системы управления.

Отличительной чертой данной работы является решение проблемы синхронного вращения двух или нескольких электроприводов в различных системах управления. Также, была написана программа выхода моста в заданную точку для работы программируемого логического контроллера. Рассчитана экономическая эффективность модернизации реального объекта на производстве. Также, был проведен расчет и анализ шума производимого от электроприводов.

## **Аңдатпа**

Бұл дипломдық жобада көпірлі кранды басқару жүйесінің зертханалық стенді құрылды. Жоба мақсаты болашақта студенттерді оқытуға арналған көпірлі кранның басқару жүйесінің зертханалық стенді жасау. Және де қатерсіз қолдану үшін қауыпсіздік жүйесі мен басқару жүйесінің экономикалық тиімділігін анықтау.

Бұл зұмыс өзгелерден екі немесе бірнеше электр жетектерінің әр-түрлі басқару жүйелерінде синхронды айналу мәселесінің шешімімен ерекшеленеді. Бағдарламаланатын логикалық контроллердің жұмыс істеуі үшін көпірдің берілген орынға шығу бағдарламасы жазылды. Өндірістегі нақты объектіні жетілдіруінің экономикалық тиімділігі есептелінді. Электр жетектері тудыратын гүрілд талданып, есептеу жүргізілді.

## **Annotation**

In this diploma project was developed laboratory test bed overhead cranes bridge control. The goal of the project is developing of overhead crane test bed control system for further student's education, also considering of protection system for safety usage and economic efficiency calculation of control system.

A distinctive feature of this work is solving of problem of synchronous rotating of two of several electrical drives in different control systems. For programmable logical controller operation was written a program for bridge exit at a given point. Economic efficiency of real object modernization in manufacturing was calculated. Also was provided calculation and analysis of noise created from electrical drives.

## Содержание

Введение	11
1 Разработка системы управления передвижением моста	12
1.1 Основные требования к электроприводу моста и системы управления	12
1.2 Функциональная и электрическая схемы управления	14
1.2.1 Функциональная схема	14
1.2.2 Способы синхронизации вращения двигателей	15
2 Разработка электрических схем стенда и выбор оборудования	25
2.1 Проверочный расчет мощности установленных электродвигателей	25
2.2 Управление движением моста в схеме электрического вала	29
2.3 Управление передвижением моста при синхронизации в системе ПЧ-АД	31
2.3.1 Выбор оборудования электрических схем передвижения моста	34
2.3.2 Размещение элементов стенда	35
3 Реализация программных способов управления механизмами передвижения мостового крана	37
3.1 Построение системы управления на базе ПЛК100	37
3.2 Построение системы управления на основе панели оператора СПК207	40
4 Безопасность жизнедеятельности труда	41
4.1 Анализ условий труда	41
4.2 Расчет шума	43
5 Экономическая часть	49
5.1 Расчет капитала вложений и эксплуатационных издержек	49
5.2 Расчет экономической эффективности	54
Заключение	56
Список используемой литературы	58
Приложение А Схема размещения элементов на лицевой панели стенда (формат А3 – 2 листа)	
Приложение Б Программа работы ПЛК (формат А4 – 12 листов)	
Приложение В Раздаточные материалы (формат А4 – 10 листов)	

## Введение

Неотъемлемым механизмом большинства цехов промышленных предприятий являются мостовые краны, служащие для перемещения грузов и оборудования в процессе производства, а также при проведения ремонтных работ.

В большинстве случаев электроприводы мостовых кранов оснащены нерегулируемыми по частоте вращения асинхронными электродвигателями с релейно-контакторным управлением. В связи с появлением средств автоматизации, базирующихся на современной микропроцессорной технике, появляется возможность оснащения системы управления мостовыми кранами, позволяющих обеспечить надежное и удобное управление с улучшением эксплуатационных показателей. С этой целью могут быть использованы микроконтроллеры, панели оператора позволяющие отображать ход выполнения технологического процесса, программные реле. Нерегулируемые электроприводы механизмов мостового крана оснащены на регулируемые электроприводами по система ПЧ-АД, позволяющие осуществить плавный пуск и передвижение механизмов мостового крана. В то же время появилась возможность программного управления механизмами крана, с обеспечением выхода в заданную точку в автоматическом режиме. При этом взаимодействие между элементами системы управления и регулирования электроприводов осуществляется с применением интерфейсов связи RS-485 и др.

С целью обучения студентов современным технологиям в автоматизации в лаборатории кафедры ЭиАПУ реализована механическая часть мостового крана. Содержащая механизм передвижения моста и тележки с подъемным механизмом. Установлены несущие балки, редуктора и двигатели. Необходимо провести расчет мощности двигателей для крана, и сравнить с уже установленными электродвигателями. Для обеспечения программированного выхода подъемных механизмов в заданную точку, на элементах конструкции мостового крана установлены датчики, контролируемые положения механизмов крана.

В дипломном проекте ставится задача разработки электрических схем управления электродвигателями моста, обеспечивающие их синхронизацию, разработка конструкции стенда и размещение необходимого оборудования с целью проведения учебных занятий.

## **1 Разработка системы управления передвижением моста**

### **1.1 Основные требования к электроприводу моста и системы управления**

Как и у любого технического объекта, так и к электроприводу предъявляются технические требования по разным категориям.

а) Первое требование – достаточная надежность. В течение всего режима работы электродвигателю необходимо выполнить заданную функцию, в определенных условиях, с необходимой вероятностью безотказной работы. Если данные требования не выполняются, то все остальные его свойства могут быть бесполезными. В разных областях применения электродвигателя требования по надежности могут сильно отличаться. К примеру, время работы компрессора бытового холодильника, а именно двигателю внутри, должно быть достаточно продолжительным и даже при его отказе не повлечь за собой серьезные последствия;

б) Второе требование – это точность работы, то есть, разница параметров движения от заданных. Данные параметры не должны превышать допустимые значения. К ним можно отнести: ускорение, скорость, момент или угол электропривода и т.д. Например, для электропривода воспроизводящего или звукозаписывающего устройства предъявляется требование стабильного поддержания вращения на определенной скорости;

в) Быстродействие. Электропривод должен иметь способность как можно быстрее реагировать на различные возмущающие воздействия и так же на управляющий сигнал. Данный показатель связан с предыдущим требованием. К примеру, в следящем электроприводе при высоком отклике сигнала, будет меньше сама ошибка осуществления заданного сигнала, при очень быстром и частом изменении управляющего сигнала;

г) Качество переходных процессов. Требования к качеству появились за счет особенностей работы машин в тех или иных рабочих органах, в которых имеется электропривод. К выходу из строя приводов манипулятора к примеру, может привести его перерегулирование;

д) Энергетическая эффективность. При использовании электропривода большой мощности и при длительном режиме работы или в таких областях как подвижных и переносной аппаратуре, важным вопросом является потребление электроэнергии электроприводом. Потери мощности один из важных показателей любого устройства. Так как все процессы, связанные с каким либо преобразованием и потреблением энергии сопровождаются потерями. Потери сопровождаются различными физическими явлениями. К.п.д. это показатель энергетической эффективности, отношением полезной мощности к ее затраченной. И очень важно использовать электродвигатели с большим к.п.д.;

е) Последним требованием является прочие характеристики электропривода. В различных областях использования двигателя, необходимы некоторые конструктивные особенности. Это могут быть различные габариты,



использованные материалы и прочие.

К системе управления электроприводами моста также предъявляются требования, которым они должны соответствовать. Данные требования можно поделить условно на несколько групп.

а) Первая группа требований различается способом управления: ручная, полуавтоматическая и автоматическая система управления:

1) Ручное управление, оператор непосредственно взаимодействует с простейшими аппаратными звеньями управления. Недостатком является обязательное присутствие оператора. Вторым недостатком можно выделить расположение элементов управления рядом с электроприводом. Как правило, наличие низкой точности. Сейчас ручное управление используется достаточно редко;

2) Если оператор осуществляет воздействия на различные автоматические устройства, которые выполняют отдельные операции, то данный вид управления называется полуавтоматическим. При этом появляется возможность дистанционного управления, так же уменьшает необходимость постоянного взаимодействия оператора. Обеспечивается высокая точность в управлении. Нужно учитывать, что при таком виде управления ограничивается быстродействие системы, так как оператору необходимо время на принятие решения. От оператора требуется выбрать режим;

3) И последний вид управления. Если все операции управления осуществляются автоматически без участия человека, то такой вид управления называется автоматическим. В данном случае обеспечивается наибольшая точность и быстродействие управления системы. В наше время устройства для автоматического режима все больше развиваются;

б) Требования по роду выполняемых в производственном процессе работы систем автоматического, а также полуавтоматического управления. Их можно представить в виде шести групп:

1) Первая группа. Обеспечивает автоматический пуск, остановку и реверсирование электродвигателя. Они называются нерегулируемыми, так как скорость данных приводов не регулируется;

2) Ко второй группе относятся системы регулируемого электропривода, которые позволяют изменять скорость вращения электродвигателя. И если первая группа применялась в насосных, вентиляционных системах, то данная группа в основном в грузоподъемных устройствах и транспортных средствах;

3) У третьей группы имеется возможность поддержания определенной точности или постоянства различных параметров при изменяющихся производственных условиях. Особенностью является наличие обратной связи;

4) Следящие системы относятся к четвертой группе. Данная группа управления электроприводов обеспечивает слежение за сигналом управления. Слежение происходит за такими параметрами как температура, линейные перемещения, количество воды и пр.;

5) К пятой группе относятся программные системы. Она включает в себя также первые четыре группы. Данная группа снабжается программными устройствами, датчиками и обеспечивает работу отдельных машин или целых комплексов по заранее заданной программе;

б) К последней шестой группе относятся полностью автоматические системы управления, которые включаются в себя все пять групп, и обеспечивают автоматический выбор наиболее рационального режима работы. Данные системы называются самонастраивающимися. Содержат вычислительные машины, которые анализируют процессы работы технологического процесса и выбирают наиболее оптимальный режим работы;

в) Так же существуют требования по защите электропривода;

г) Простоте системы управления;

д) Надежности системы управления;

е) Экономичности системы управления.

## **1.2 Функциональная и электрическая схемы управления**

### **1.2.1 Функциональная схема**

Функциональная схема, отражающая, конструкцию лабораторного мостового крана изображена на рисунке 1.1.

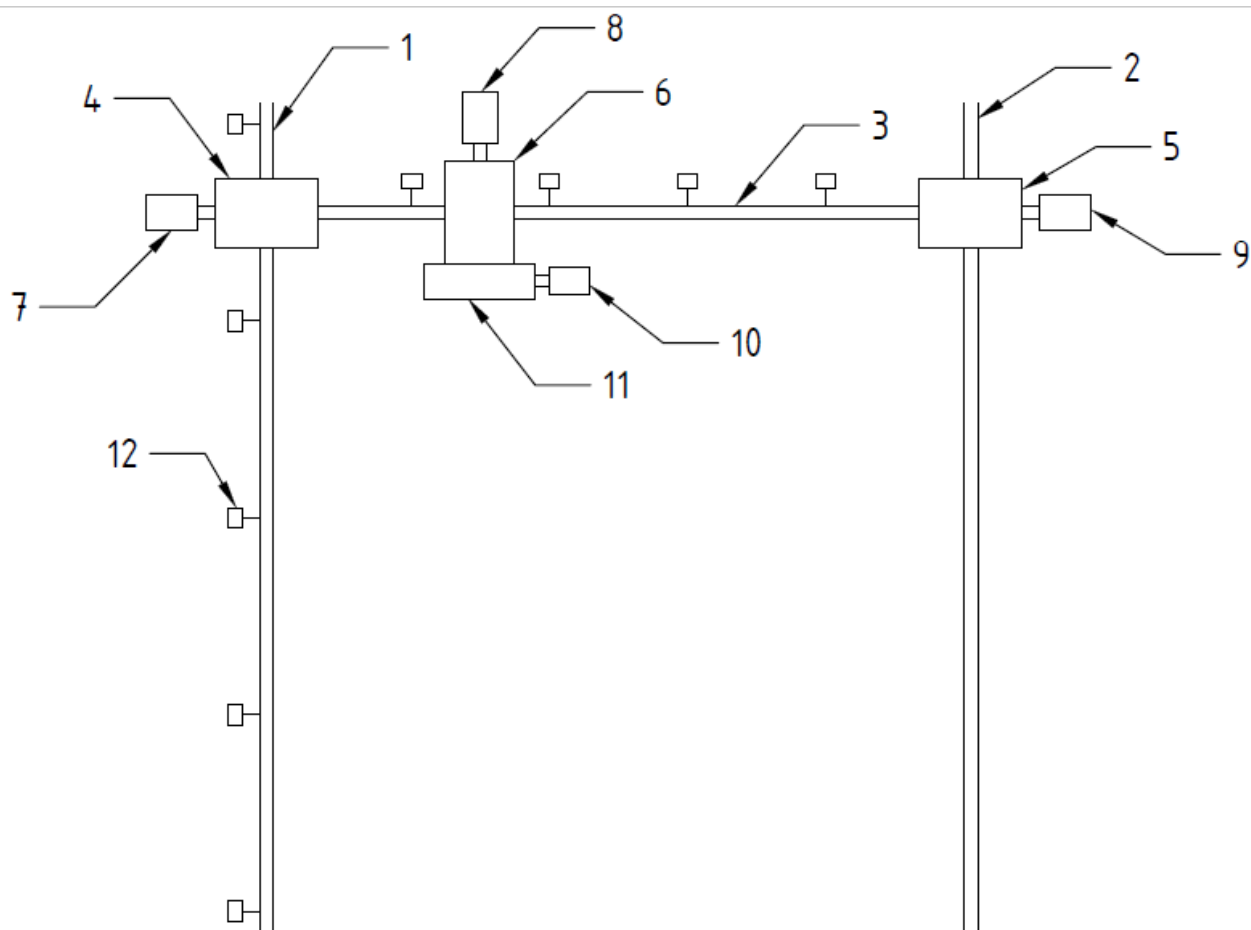
Для управления мостовым краном с обеспечением выхода в заданную точку должны быть решена следующая задача. Задача синхронизации электродвигателей моста на основе схемы электрического вала, с целью ознакомления студента с простейшими методами электрической синхронизации двух двигателей моста и на более современном методе на базе преобразователей частоты.

Рассмотрим работу мостового крана по функциональной схеме. Предположим, что подъемный механизм крана находится в какой либо из точек пространства лаборатории, определяемый датчиком положения, находящимся на элементах конструкции.

Сигнал датчиков поступают на входы микроконтролера, в котором реализуется программа, обеспечивающая пуск электропривода, контроль и сигнализацию о положении элементов механизмов мостового крана. На панели оператора или компьютера дается информация о нахождении подъемного механизма.

Задание новой координаты производится в панели оператора. При нажатии кнопки пуск механизм подъема выходит в заданную точку. Так же после реализации станда будет доступна возможность перепрограммировать контролер управления.

В процессе работы на стенде студент должен иметь возможность ознакомиться с принципами управления электроприводов мостового крана и электрическими схемами. А так же получить навык программирования в заданной промной среде.



1 – Левая опорная балка; 2 – Правая опорная балка; 3 – Опорная балка тележки; 4,5 – Механизм передвижения моста; 6 – Механизм передвижения тележки; 7,8,9,10 – Электродвигатели механизмов передвижения; 11 – Механизм подъема; 12 – Концевые выключатели

Рисунок 1.1 Функциональная схема мостового крана

### 1.2.2 Способы синхронизации вращения двигателей

Основная задача дипломного проекта является синхронизация двух двигателей. Так как если электродвигатели будут двигаться с разной скорости, мост может сойти с рельс что может, повлечь за собой опрокидывание основной балки.

Для согласованного вращения двух двигателей может применяться система механического вала, показанная на рисунке 1.2. Одним из минусов такой системы является сложность в осуществление и создания механической связи.

Так в нашем лабораторном мостовом кране из-за большого расстояния между двигателями тяжело осуществить данную систему. Может произойти скручивание вала во время работы при различных нагрузках на двигатели. Порой механическую связь невозможно осуществить из за особенностей системы.

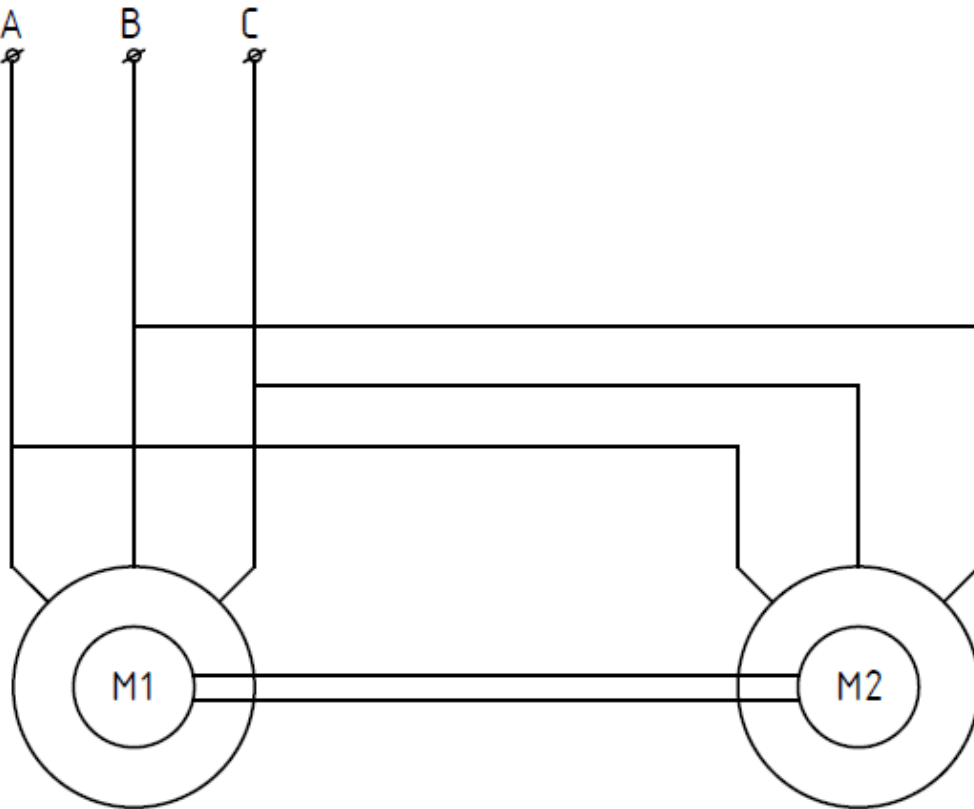


Рисунок 1.2 – Схема механического вала

Существует электрическая связь, которой можно заменить неудобную механическую передачу. Данную связь называют электрическим валом. К преимуществу можно отнести: простоту электрической схемы, возможность управлять таким параметром как угловая скорость, а значит и легкость в управление двигателями. Электрический вал используется не только для мостовых кранов, но и для конвейеров, станков и пр.

Существуют три основных вида схем электрического вала:

- а) Дистанционный электрический вал;
- б) Уравнительный электрический вал;
- в) Электрический вал с общим резисторами.

Наибольшее распространение имеют схемы согласованного вращения, состоящие из двух одинаковых машин, роторы которых включены на общее внешнее сопротивление  $R$ . Данная схема показана на рисунке 1.3.

Роторы двигателей включены на общее внешнее сопротивление, которое не выключается во время работы устройства. Следовательно независимо от того, одинаковы или различны нагрузки двигателей, напряжения на кольцах всех роторов остаются принудительно, из-за наличия соединения между ними, равными друг другу. Это равносильно тому, как если бы роторное сопротивление более нагруженного двигателя (ток ротора который больше) уменьшалось, а менее нагруженного увеличивалась, таким образом заставляя двигатели работать с одинаковой скоростью.

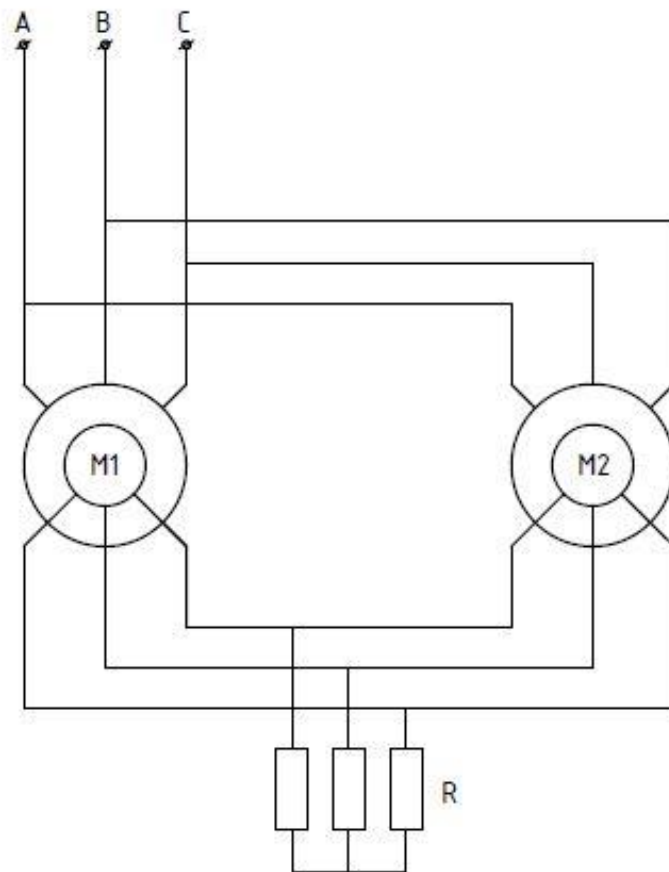


Рисунок 1.3 – Схема электрического вала

Для определения токов в первичных и вторичных цепях составим эквивалентную схему установки, показана на рисунке 1.4.

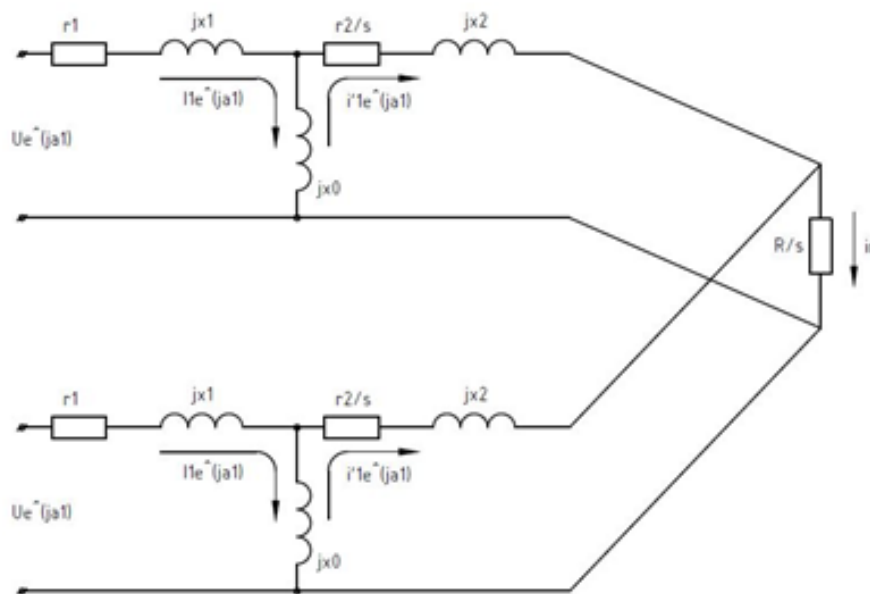


Рисунок 1.4 – Эквивалентная схема установки электрического вала

В эквивалентной схеме следует учесть, что роторы различно нагруженных двигателей вращаются с некоторым угловым сдвигом друг относительно друга, зависящим от нагрузки. Для этого напряжения сети приложенные к обмоткам статоров двигателей, умножаем на  $e^{j\alpha_k}$ , где  $\alpha_k$  – угол сдвига в электрических градусах ротора машины относительно некоторой воображаемой оси, вращающейся согласованно с двигателями установки и  $j = \sqrt{-1}$ . Такой способ отсчета необходим для придания формулам большей симметрии. Можно было бы рассматривать сдвиг всех роторов относительно ротора, но в этом случае формулы для первого двигателя отличались бы по формуле от выражений для других двигателей, что нецелесообразно. Физический смысл произведенной при составлении эквивалентной схемы замены поворота ротора сдвигом фазы напряжения на клеммах обмотки статора соответствующей машины иллюстрируется на рисунке 1.5.

В верхней части этой фигуры показаны две машины, роторы которых сдвинуты на углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  от оси, вращающейся согласованно с ними. Здесь воображаемая ось совпадает с вертикальной осью симметрии машин. В схеме электрически ничего не изменится если статоры машин повернуть на эти же углы в противоположную сторону, все токи моменты сохраняют свое прежнее значение. Однако, при этом, как показано в средней части рисунка, роторы машин уже не будут сдвинуты друг относительно друга. Пространственный же сдвиг статора каждой машины можно заменить эквивалентным ему сдвигом ее вращающегося поля на такой же угол.

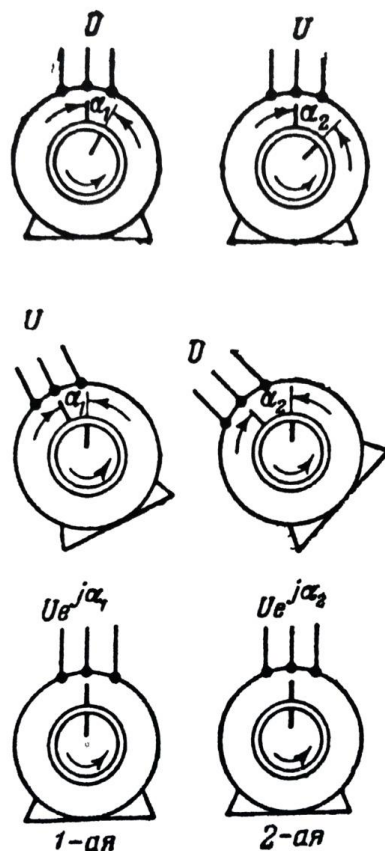


Рисунок 1.5 – Сдвиг фазы напряжения на клеммах обмотки статора

Фазовый сдвиг всех токов каждого двигателя рассматривается относительно напряжения, приложенного к его статорной обмотке. Поэтому одновременно с умножением этого напряжения на  $e^{j\alpha_k}$  на такой же множитель умножается и все токи двигателя.

Если обозначить полные первичные и вторичный импедансы при скольжении  $s$  через:

$$z_1 = r_1 + j(x_0 + x_1),$$

$$z_2 = \frac{r'_2}{s} + j(x_0 + x'_2),$$

то уравнение напряжений цепей статора и ротора  $k$ -той машины примут вид:

$$U = I_k z_1 - i'_k j x_0, \quad (1.1)$$

$$(I_k j x_0 - i'_k z_2) e^{j\alpha_k} = \frac{R'}{s} \sum_{k=1}^n i'_k e^{j\alpha_k}, \quad (1.2)$$

Находя из уравнения (1.1) величину  $I_k$  и подставляя ее в уравнение (1.2), получим:

$$U j x_0 e^{j\alpha_k} - (x_0^2 + z_1 z_2) i_k e^{j\alpha_k} = \frac{R}{s} z_1 \sum_{k=1}^n i'_k e^{j\alpha_k}, \quad (1.3)$$

Давая индексу  $k$  значения 1, 2, 3, ...,  $n$  и складывая полученные при этом равенства, найдем:

$$U j x_0 \sum_{k=1}^n e^{j\alpha_k} - (x_0^2 + z_1 z_2) \sum_{k=1}^n i'_k e^{j\alpha_k} = \frac{R}{s} z_1 n \sum_{k=1}^n i'_k e^{j\alpha_k}, \quad (1.4)$$

Откуда:

$$\sum_{k=1}^n i'_k e^{j\alpha_k} = \frac{U j x_0 \sum_{k=1}^n e^{j\alpha_k}}{x_0^2 + z_1 \left( z_2 + n \frac{R}{s} \right)}, \quad (1.5)$$

Подставляя значение этой суммы в равенство (1.3) и решая полученное уравнение относительно  $i_k$ , получим:

$$i_k = \frac{j x_0 \left\{ x_0^2 + z_1 \left[ z_2 + \frac{R}{s} \left( n - \sum_{l=1}^n e^{j(\alpha_l - \alpha_k)} \right) \right] \right\}}{\left[ x_0^2 + z_1 \left( z_2 + n \frac{R}{s} \right) \right] (x_0^2 + z_1 z_2)} U, \quad (1.6)$$

Далее из уравнения (1.6):

$$I_k = \frac{U}{z_1} - \frac{jx_0}{z_1} i_k, \quad (1.7)$$

Подставляя в это равенство  $i_k$  из (1.6), получим:

$$I_k = \frac{x_0^2 \left[ z_2 + \frac{R}{S} \sum_{l=1}^n e^{j(\alpha_1 - \alpha_k)} \right] + z_1 z_2 \left( z_2 + n \frac{R}{S} \right) U}{\left[ x_0^2 + z_1 \left( z_2 + n \frac{R}{S} \right) \right] (x_0^2 + z_1 z_2)}, \quad (1.8)$$

В формуле (1.6) изменен индекс, по которому производится суммирование (вместо буквы  $k$  взята буква  $l$ ). Это необходимо, поскольку при ее получении было произведено преобразование вида:

$$\frac{1}{e^{j\alpha_k}} \sum_{k=1}^n e^{j\alpha_k} = e^{-j\alpha_k} \sum_{l=1}^n e^{j\alpha_l} = \sum_{l=1}^n e^{j(\alpha_1 - \alpha_k)},$$

Невозможное без такого изменения индекса суммирование.

Ток, протекающий в общем реостате схему  $i_R = \sum_{k=1}^n i_k e^{j\alpha_k}$  определяется из равенства (1.18) в виде:

$$i_R = \frac{U j x_0 \sum_{k=1}^n e^{j\alpha_k}}{x_0^2 + z_1 \left( z_2 + n \frac{R}{S} \right)}, \quad (1.9)$$

Введя ток холостого хода  $I_0 = \frac{U}{z_1}$ , из равенства (1.7) найдем первичный ток:

$$I_k = I_0 + \frac{jx_0}{z_1} i_k, \quad (1.10)$$

Далее из формул (1.6), (1.9) и (1.10) имеем:

$$i_k = \frac{z + \frac{R\sigma_1}{S} \left( n - \sum_{l=1}^n e^{j(\alpha_1 - \alpha_k)} \right)}{z \left( z + n \frac{R\sigma_1}{S} \right)} U, \quad (1.11)$$

$$I_k = I_0 + \frac{1}{\sigma_1} i_k, \quad (1.12)$$

где:

$$I_0 = \frac{U}{jx_0 \sigma_1}, \quad (1.13)$$



Основной зависимостью при анализе работы схем электрического вала является характеристика моментов, развиваемых двигателями. Если сделать обычное при вычислении моментов допущение  $r_1 = 0$ , тогда момент каждого двигателя в синхронных ваттах выразится общей формулой (на одну фазу):

$$M_k = \frac{I_k + I'_k}{2} U, \quad (1.14)$$

где  $I'_k$  – комплексная величина, сопряженная с  $I_k$ .

Подставляя значение  $I_k$  из равенства (1.11) и учитывая, что  $I_0 + I'_0 = 0$ , получим:

$$M_k = \frac{U}{2\sigma_1} (i_k + i'_k), \quad (1.15)$$

Представив ток  $i_k$  в виде (1.11) и учитывая, что  $r_1 = 0$  получим:

$$M_k = \frac{U^2}{n\sigma_1} \left[ \frac{\frac{r_2\sigma_1}{s} [n - \sum_{l=1}^n \cos(\alpha_l - \alpha_k)] - x \sum_{l=1}^n \sin(\alpha_l - \alpha_k)}{\left(\frac{r_2\sigma_1}{s}\right)^2 + x^2} + \frac{\frac{(r_2 + nR)\sigma_1}{s} [n - \sum_{l=1}^n \cos(\alpha_l - \alpha_k)] - x \sum_{l=1}^n \sin(\alpha_l - \alpha_k)}{\left[\frac{(r_2 + nR)\sigma_1}{s}\right]^2 + x^2} \right], \quad (1.16)$$

Из теории асинхронных двигателей известно, что максимальный момент двигателя при обычной работе равен:

$$M_k = \frac{U^2}{2(x_1 + x_2\sigma_1)\sigma_1} = \frac{U^2}{2x\sigma_1},$$

и соответствующее ему опрокидывающее скольжение:

$$s_m = \frac{r_2\sigma_1}{x_1 + x_2\sigma_1} = \frac{r_2\sigma_1}{x},$$

Исходя из всего этого получим:

$$M_k = \frac{2M_m}{n} \left[ \frac{n - \sum_{l=1}^n \left[ \cos(\alpha_l - \alpha_k) + \frac{s}{s_m} \sin(\alpha_l - \alpha_k) \right]}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} \right] +$$

$$+ \left[ \frac{\sum_{l=1}^n \left[ \cos(\alpha_1 - \alpha_k) + \frac{s}{s'_m} \sin(\alpha_1 - \alpha_k) \right]}{\frac{s}{s'_m} + \frac{s'_m}{s}} \right], \quad (1.17)$$

Благодаря формулам (1.6), (1.8), (1.9) и (1.17) мы получаем формулы токов в статоре и роторе первого двигателя, принимая  $n = 2$  и считая  $\alpha_1 = 0$  и  $\alpha_2 = \alpha$ , т.е. обозначая через  $\alpha$  угол в электрических градусах:

$$I_1 = \frac{x_0^2 \left[ z_2 + \frac{R}{s} (1 + e^{j\alpha}) \right] + z_1 z_2 \left( z_2 + 2 \frac{R}{s} \right)}{\left[ x_0^2 + z_1 \left( z_2 + 2 \frac{R}{s} \right) \right] (x_0^2 + z_1 z_2)} U, \quad (1.18)$$

$$i_1 = \frac{jx_0 \left\{ x_0^2 + z_1 \left[ z_2 + \frac{R}{s} (1 - e^{j\alpha}) \right] \right\}}{\left[ x_0^2 + z_1 \left( z_2 + 2 \frac{R}{s} \right) \right] (x_0^2 + z_1 z_2)} U, \quad (1.19)$$

Токи второго двигателя  $I_2$  и  $i_2$  отличаются от токов первого только знаком при  $\alpha$ .

Ток в реостате равен:

$$i_R = \frac{jx_0 (1 + e^{j\alpha})}{x_0^2 + z_1 \left( z_2 + 2 \frac{R}{s} \right)} U, \quad (1.20)$$

Воспользовавшись равенствами (1.11), (1.12), (1.13) можно получить упрощенные формулы для токов:

$$i_1 = \frac{z + \frac{R\sigma_1}{s} (1 - e^{j\alpha})}{z \left( z + 2 \frac{R\sigma_1}{s} \right)} U, \quad (1.21)$$

$$i_2 = \frac{z + \frac{R\sigma_1}{s} (1 - e^{-j\alpha})}{z \left( z + 2 \frac{R\sigma_1}{s} \right)} U, \quad (1.22)$$

$$i_R = \frac{1 + e^{j\alpha}}{z + 2 \frac{R\sigma_1}{s}} U, \quad (1.23)$$

В данной части мы вывели формулы для расчетов токов и моментов схемы электрического вала. Отсюда мы можем определить добавочное сопротивление:

$$R = \frac{2s \left( \frac{1 + e^{j\alpha}}{i_R} U - z \right)}{\sigma_1}. \quad (1.24)$$

В итоге мы получили формулу по определению добавочного сопротивления. В дипломном проекте так же будет рассматриваться система управления электрическим валом.

Синхронизация двигателей может, осуществляется так же и на базе преобразователей частоты. И может быть реализована несколькими способами. Схема управления таким способом дает более точную информацию о процессах работы мостового крана, особенно при наличие обратной связи.

а) Синхронизация без использования датчиков обратной связи по скорости. Данный способ самый простой в реализации, тем что не требует дополнительного оборудования. Благодаря двум векторным частотным преобразователям.

Где один является ведущим и принимает сигнал задания, а второй ведомым который получается сигнал от ведущего. Таким образом мы имеем очень простой способ синхронизации. Который иллюстрирован на рисунке 1.6.

Данный способ не целесообразно использовать для синхронизации двух двигателей моста мостового крана. Т.к. нагрузка на двигатели может быть различна и необходимо чтоб система управления реагировала на эти изменения и соответственно подстраивал под нее.

б) Второй вид синхронизации, используя обратную связь от двигателей. Как правило, это датчики обратной связи по скорости. Данный способ намного эффективнее предыдущего, так как может обеспечить точную согласованность двигателей. На рисунке 1.9 и 1.10 показаны варианты реализации данного способа.



Рисунок 1.6 – Схема синхронизации с помощью ПЧ без датчиков обратной связи.

В более простом варианте можно просто задавать параллельный сигнал как на рисунке 1.7. На рисунке 1.8 показана еще один вариант соединения.

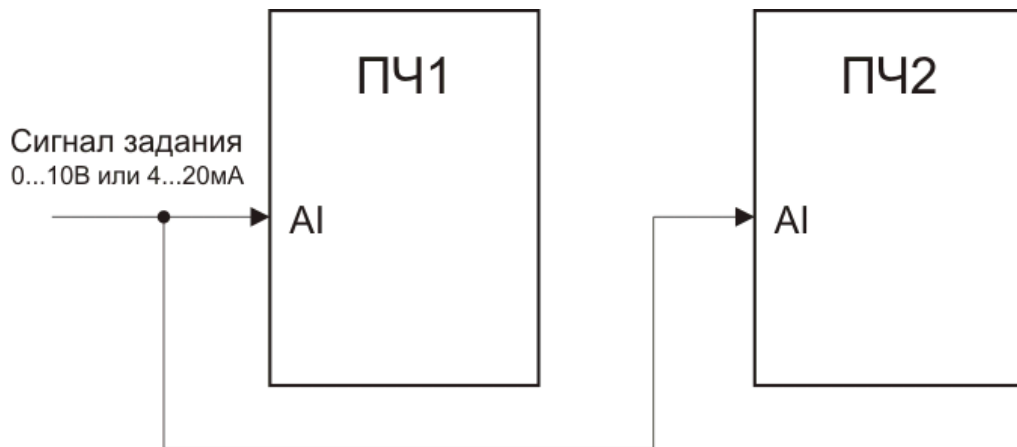


Рисунок 1.7 – Второй вариант синхронизации с помощью ПЧ без датчиков обратной связи

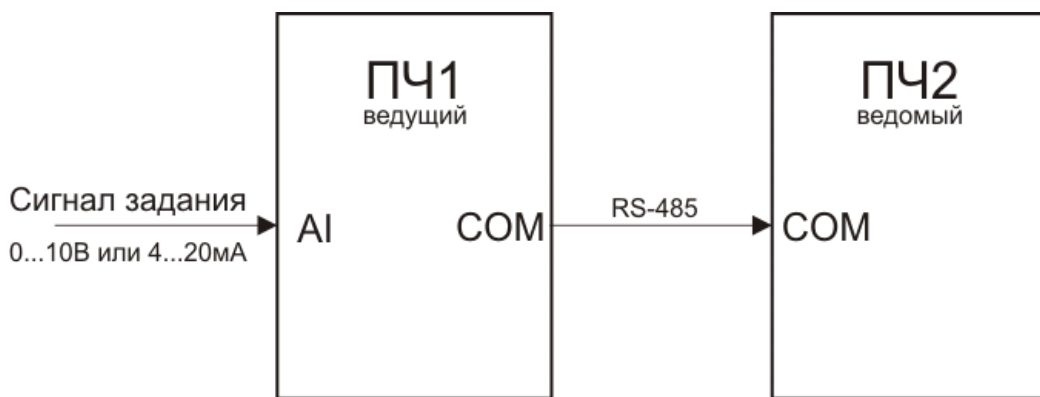


Рисунок 1.8 – Синхронизация по последовательному интерфейсу

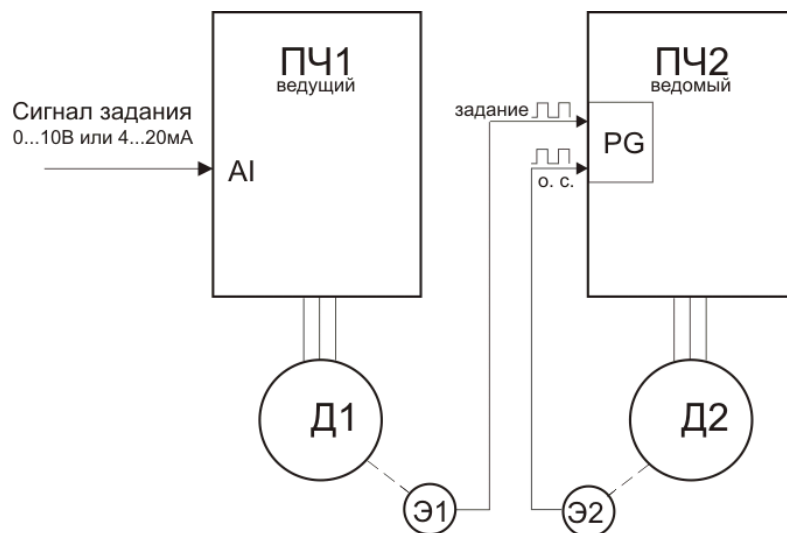


Рисунок 1.9 – Первый вариант синхронизации с помощью ПЧ с датчиком обратной связи по скорости

Первый ПЧ является ведущим, а второй ведомым. Особенностью первого варианта является то, что можно использовать только один векторный ПЧ, который получает сигнал с двух датчиков. Второй может быть неурегулированным, простым не векторным ПЧ без возможности работать с обратной связью. На рисунке 1.10 показан другой вариант исполнения. Оба способа практически ничем не отличаются, оба выполняют абсолютно одинаковую работу.

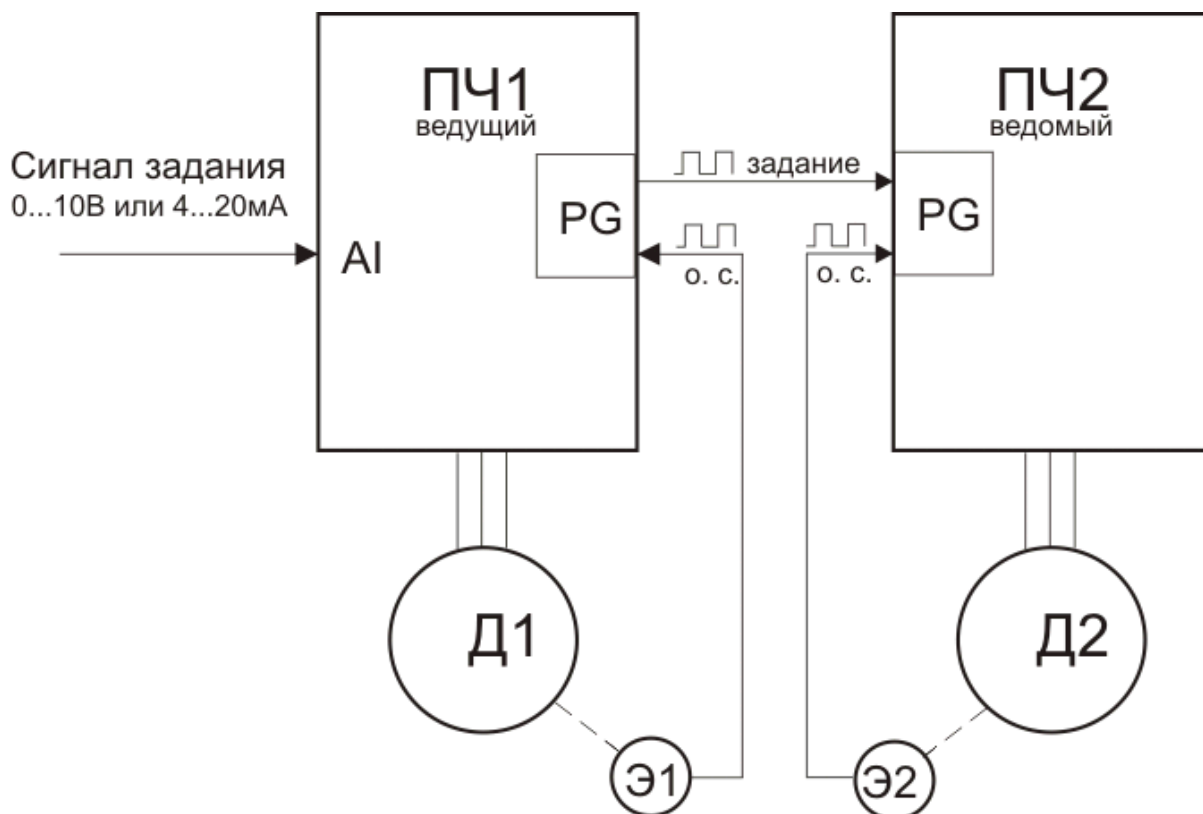


Рисунок 1.10 – Второй вариант синхронизации с помощью ПЧ с датчиком обратной связи по скорости

Во втором случае оба являются векторными, но все равно первый остается ведущим, как и второй ведомым.

Для моста мостового крана был выбран второй метод синхронизации с помощью ПЧ с датчиком обратной связи по скорости.

## 2 Разработка электрических схем стенда и выбор оборудования

### 2.1 Проверочный расчет мощности установленных электродвигателей

На мостовом кране установлены электродвигатель серии ФТТ. Трёхфазные асинхронные двигатели с фазным ротором серии ФТТ предназначены для работы мостовых кранах.

Технические характеристики:

тип	ФТТ 0,4-0,16;
номинальная мощность, Вт	180
число оборотов, об/мин	1400
степень защиты	IP23
номинальная частота, Гц	50
номинальный ток, А	0,28
номинальное напряжение, В	380
Cos φ	0,88
КПД	0,92

Основные параметра мостового кран сведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Значения для расчета мощности

Название параметра	Значение параметра
Грузоподъемность моста	100 кг
Масса груза	50 кг
Габарит высоты моста	2,5 м
Длина балки моста	4 м
Масса крана	500 кг
Скорость передвижения моста крана	0,5 м/сек
Диапазон регулирования	1:10
Диаметр цапфы	0,05 м
Диаметр колеса	0,21 м
Передаточное число редуктора	10
К.п.д. редуктора	0,96
Количество циклов включения крана в течение часа	30

Необходимая мощность электродвигателя определяю по формуле:

$$P_{\Gamma} = \frac{k_p \cdot G_T \cdot (d_{\text{ц}} \cdot \mu_{\text{ц}} + 2 \cdot f) \cdot v_{\text{пер}}}{D_k \cdot \eta_{\text{H}}} \cdot 10^{-3}, \quad (2.1)$$

где  $D_k = 0,2$  м – диаметр ходового колеса моста;

$G_T = (M_k + M_{\Gamma}) \cdot g$  – сила тяжести;

$g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  – ускорение силы тяжести;

$M_k = 500$  кг – масса крана;

$M_{\Gamma} = 50$  кг – масса груза;

$k_p = 1,5 - 2$  – коэффициент, учитывающий сопротивления троллей и сопротивление от трения ходовых колес тележки о рельсы;

$\mu_{\text{ц}} = 0,15$  – постоянный коэффициент трения подшипников;

$d_{ц} = 0,05$  м – диаметр цапф валов, опирающихся на подшипники;  
 $f = 0,8 \cdot 10^{-3}$  м – коэффициент трения качения ходовых колес тележки о рельсы;

$\eta_{н} = 0,96$  – к.п.д. редуктора;

$v_{пер} = 0,5 \frac{м}{с}$  – скорость перемещения моста.

$$P_{Г} = \frac{2 \cdot (500 + 50) \cdot 9,8 \cdot (0,05 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,5}{0,21 \cdot 0,98} \cdot 10^{-3} = 0,243 \text{ кВт},$$

Мощность без нагрузки, затрачиваемая на перемещение моста:

$$P_{х} = \frac{k_p \cdot G_{Г} \cdot (d_{ц} \cdot \mu_{ц} + 2 \cdot f) \cdot v_{пер}}{D_k \cdot \eta_{н}} \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

где  $G_{Г} = M_k \cdot g$  – вес крана, кгс.

$$P_{х} = \frac{2 \cdot 500 \cdot 9,8 \cdot (0,05 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,5}{0,21 \cdot 0,98} \cdot 10^{-3} = 0,22 \text{ кВт},$$

Ниже на рисунке 2.1 показана диаграмма режима работы. На данной диаграмме мы видим повторно-кратковременный режим работы. На нем показана продолжительности работы и время полного цикла и время покоя:

$$\varepsilon = \frac{t_p}{t_p + t_0} = \frac{t_p}{t_{ц}}, \quad (2.3)$$

где  $t_p$  - время работы моста;

$t_0$  - время покоя;

$t_{ц} = t_p + t_0$  - время включения работы электродвигателя.

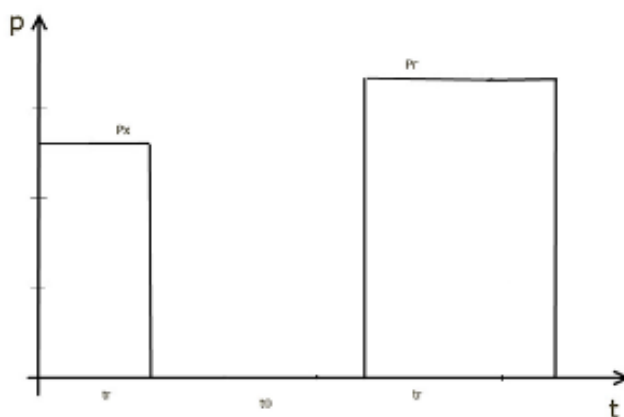


Рисунок 2.1 – Нагрузочная диаграмма передвигения моста

Время одного цикла можно определить по формуле:

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{Z}, \quad (2.4)$$

где  $Z$  число циклов в час равная 30.

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{30} = 120 \text{ с},$$

Время прохождения заданного участка определяется по значению длинны пути и его скорости, при этом учитывая коэффициент режима пуска и тормоза:

$$t_{\text{п}} = \frac{L}{k_t \cdot v_{\text{пер}}}, \quad (2.5)$$

где  $k_t = 0,8$  коэффициент, учитывающий скорость во время пуска и торможения;

$L$  длина балки моста;

$v_{\text{пер}}$  скорость передвижения крана.

$$t_{\text{п}} = \frac{4}{0,8 \cdot 0,5} = 10 \text{ с},$$

$$t_0 = t_{\text{ц}} - t_{\text{п}} = 120 - 10 = 110 \text{ с}.$$

У электроприводов с повторно-кратковременным режимом работы мощность электродвигателя примерно определяется по формуле:

$$P_d = k_i \cdot P_{\text{э}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{ф}}}{\text{ПВ}_{\text{ст}}}}, \quad (2.6)$$

где  $k_i = 1,5$  – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки;

$P_{\text{э}}$  – эквивалентная среднеквадратичная мощность статических сопротивлений электропривода;

$\text{ПВ}_{\text{ф}}$  – фактическое значение относительного времени включения;

$\text{ПВ}_{\text{ст}}$  – значение относительного времени включения.

Мощность статического сопротивления для электропривода с повторно-кратковременным режимом работы рассчитывается по формуле ниже, без учета времени покоя:



$$P_{\Sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_{c,i}^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}, \quad (2.7)$$

где  $t_i$  – продолжительность каждого участка работы;  
 $P_{c,i}$  – мощность статических сопротивлений на каждом участке;  
 $n$  – количество участков работы.

Итого среднеквадратичное значение мощности статического сопротивления для механизмов передвижения моста:

$$P_{\Sigma} = \sqrt{\frac{P_x^2 \cdot t_p + P_r^2 \cdot t_p}{2 \cdot t_p}} = \sqrt{\frac{0,22^2 + 0,24^2}{2}} = 0,23 \text{ кВт},$$

Значение относительной погрешности:

$$ПВ_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_{ц}} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot t_p}{t_{ц}} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot 10}{120} \cdot 100\% = 16,6\%,$$

Следовательно ближайшее значение фактической погрешности равняется 10%:

$$P_d = 1,5 \cdot 0,23 \cdot \sqrt{\frac{16,6}{10}} = 0,318 \text{ кВт},$$

Здесь мы нашли общую мощность двух двигателей, тогда каждый из них будет иметь мощность равную:

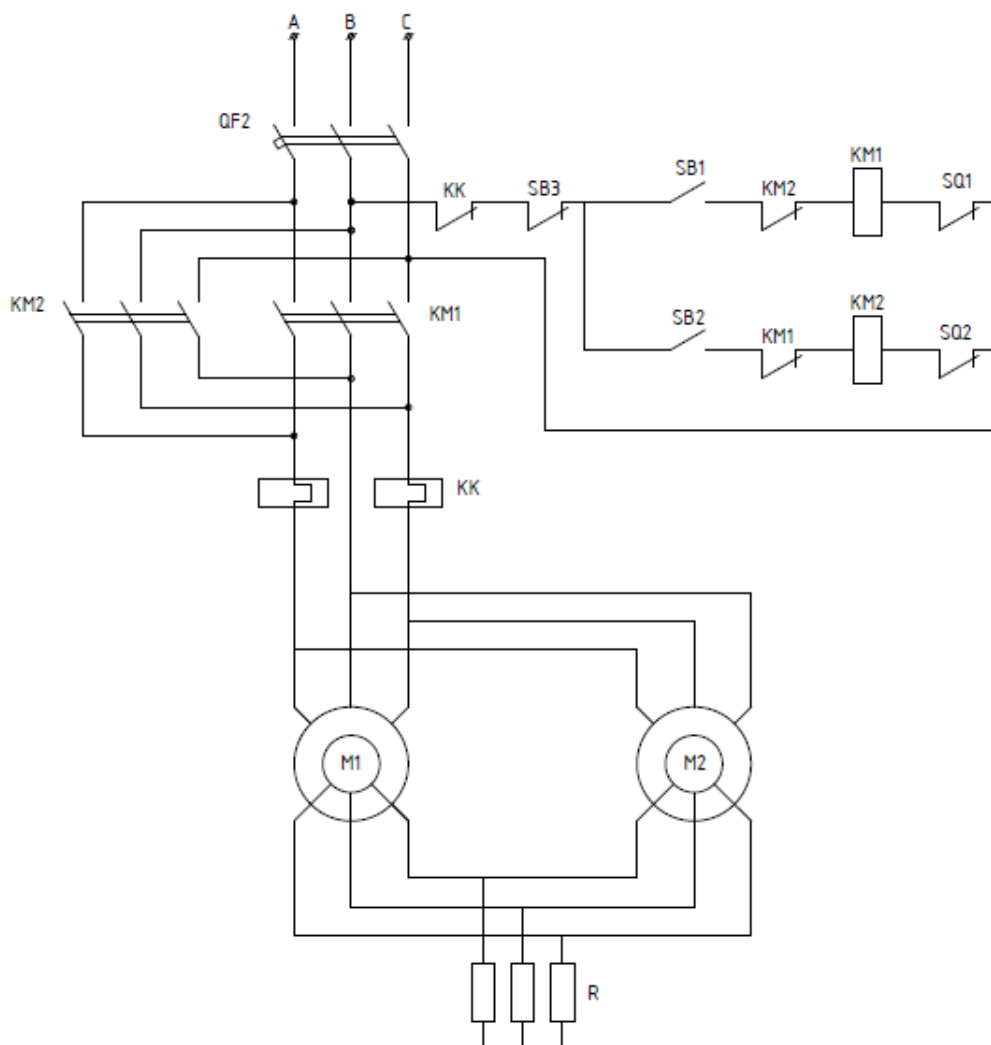
$$P_{dv} = \frac{P_d}{2} = \frac{0,318}{2} = 0,159 \text{ кВт}.$$

Получается по расчетам для моста мостового крана необходимы два двигателя мощностью в 160 Вт. Установленные двигатели имеют запас мощности и могут применяться для работы.

## 2.2 Управление движением моста в схеме электрического вала

Для управления электрического вала была выбрана релейно-контакторная схема управления. Она обеспечивает наиболее простую и достаточно надежную, а главное безопасную систему управления. Дополнительно применяется реверсивная часть управления. Схемой

обеспечивается пуск и остановка электродвигателей. В схеме имеется тепловое реле и автоматические выключатели, кольцевые выключатели, обеспечивающие все необходимые виды защиты. Ниже на рисунке 2.2 представлена схема релейно-контакторного управления электрическим валом.



M1, M2 – асинхронные двигатели с фазным ротором; QF2 – автоматический выключатель; KM1, KM2 – трехфазные линейные контакторы; SB1 – кнопка Пуск; SB2 – кнопки Реверс; SB3 – кнопки Аварийная кнопка; KK – тепловое реле;  
SQ1, SQ2 – концевые выключатели.

Рисунок 2.2 – Схема релейно-контакторного управления электрическим валом

Напряжение к схема подается через автомат QF2. В данной схеме используется магнитные пускатели KM1, KM2. Силовые контакты, которых чередуют фазы напряжения, и отсюда изменяют направление вращения электродвигателей. И с помощью нормально закрытого контакта пускателей, осуществлена механическая блокировка одновременного нажатия кнопок пуска и реверса.

Для того чтобы пустить двигатель необходимо нажать кнопку SB1, для реверса кнопку SB2, а при аварийном случае SB3. Схема осуществлена без подхвата кнопок SB1 и SB2. То есть необходимо удерживать кнопки во время движения моста.

Так же последовательно в цепь с кнопками SB1 и SB2 подключены концевые выключатели SQ1 и SQ2 соответственно. Сделано для того, чтобы моста не ушел за границы опорной балки.

### **2.3 Управление передвижением моста при синхронизации в системе ПЧ-АД**

Ранее было изучен вопрос по видам синхронизации двух двигателей с помощью частотных преобразователей. Была выбрана схема управления с двумя векторными частотными преобразователями и датчиками обратной связи. Наиболее удобными датчиками являются энкодеры. Которые могут отслеживать угол вращения вала. При этом мы можем сравнивать два значения двух электродвигателей и давать команду для подстроение системы по данному режиму.

Для системы управления ПЧ-АД выбираю преобразователи частоты векторные ПЧВ101 компании ОВЕН. Основные технические характеристики показаны в таблице 2.2.

Основные функциональные возможности:

- Плавный пуск;
- Возможность векторного алгоритма управления;
- Высокий уровень энергоэффективности и оптимальное энергопотребление;
- Компенсация нагрузки и скольжения;
- Внутренняя защита аппарата от перегрузок;
- Встроенный ПИ-регулятор для управления в замкнутом контуре;
- Простая настройка в русскоязычном конфигураторе или с использованием локальной панели оператора. Быстрые меню и готовые конфигурации под типовые задачи;
- Так же есть возможность работы с внешними датчиками, такими как энкодеры и поддержка малых частот вращения;
- Имеется встроенный программируемый логический контроллер. Наличие ПЛК крайне необходимо для внутреннего управления ПЧ;
- Возможность динамического торможения, в том числе с применением тормозных резисторов;
- Гибкая структура управления с возможностью одновременного управления по физическим входам и по интерфейсу RS-485, что обеспечивает удобную интеграцию в современные системы управления и диспетчеризации.
- У частотного преобразователя имеется два аналоговых выхода, что позволяет реализовать связь с другим частотным преобразователем и подключить датчик.

Таблица 2.2 – Основные технические характеристики

№	Наименование	Значение
1	Питающая сеть	1 фаза, 200...240 В (0,18...2,2 кВт)
		3 фазы, 380...480 В (0,37...4 кВт)
2	Выходное напряжение (U,V,W), %	0...100
3	Выходная частота, Гц	0...200 Гц(VC),
		0...400 (U/F)
4	Цифровые входы,	5
	в том числе импульсные	1
5	Аналоговые входы	2 (1 U/I, 1 I)
	Аналоговые выходы	1 I
6	Релейные выходы	1 (240 В, 2 А)
7	Протокол RS-485	Modbus RTU
8	Встроенные источники питания	10 В/15 мА,
		24 В/130 мА
9	Класс защиты корпуса	IP20
10	Вибропрочность	0,7g
11	Максимальная относительная влажность	95 % без конденсации влаги
12	Диапазон рабочих температур	0...40 °С при номинальном выходном токе
		-10...+50 °С со снижением выходного тока
13	Температура при хранении и транспортировке	-20...+70 °С
14	Максимальная длина экранированного кабеля двигателя	15 м
15	Максимальная длина неэкранированного кабеля двигателя	50 м
16	Перегрузочная способность	150 % (60 с),
17	Тормозной ключ	есть, от 1,5 кВт

На рисунке 2.3 показаны все доступные клеммы управления ПЧВ101.

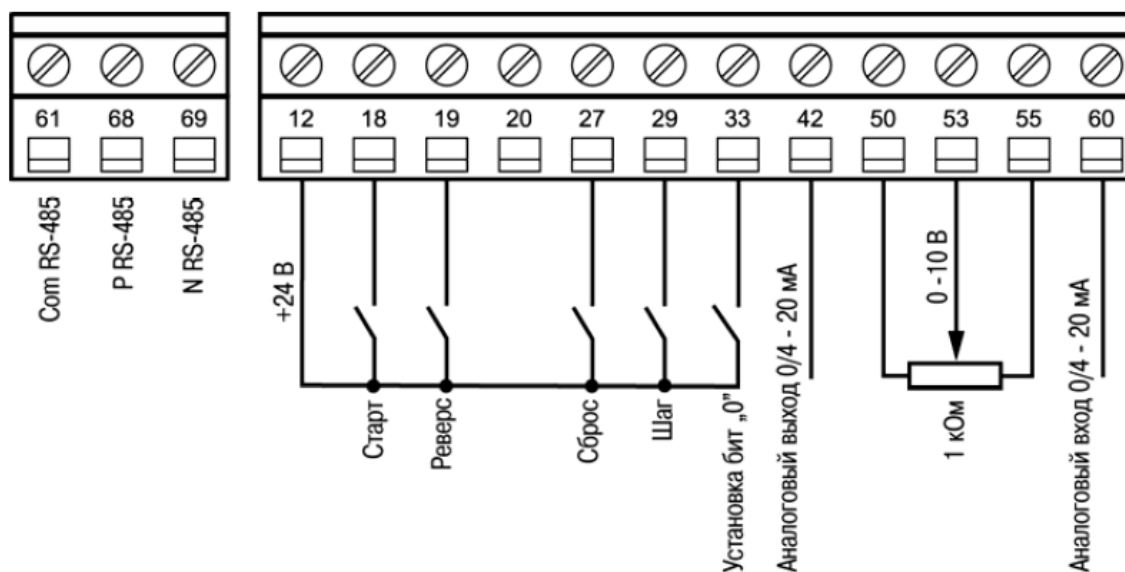


Рисунок 2.3 – Клеммы управления прибора ПЧВ101

На рисунке 2.4 следующем рисунке показана схема соединения двух ПЧВ в режиме синхронизации, где первый передает аналоговый сигнал с постоянным напряжением второму.

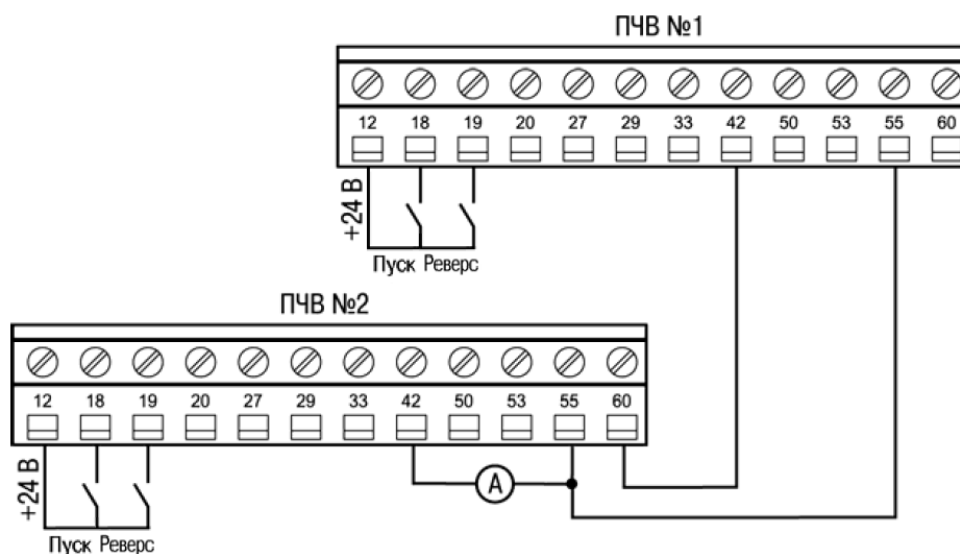


Рисунок 2.4 – Схема соединения двух ПЧВ101

На рисунке 2.5 подробно показана схема ПЧВ101, со всеми имеющимися клеммами.

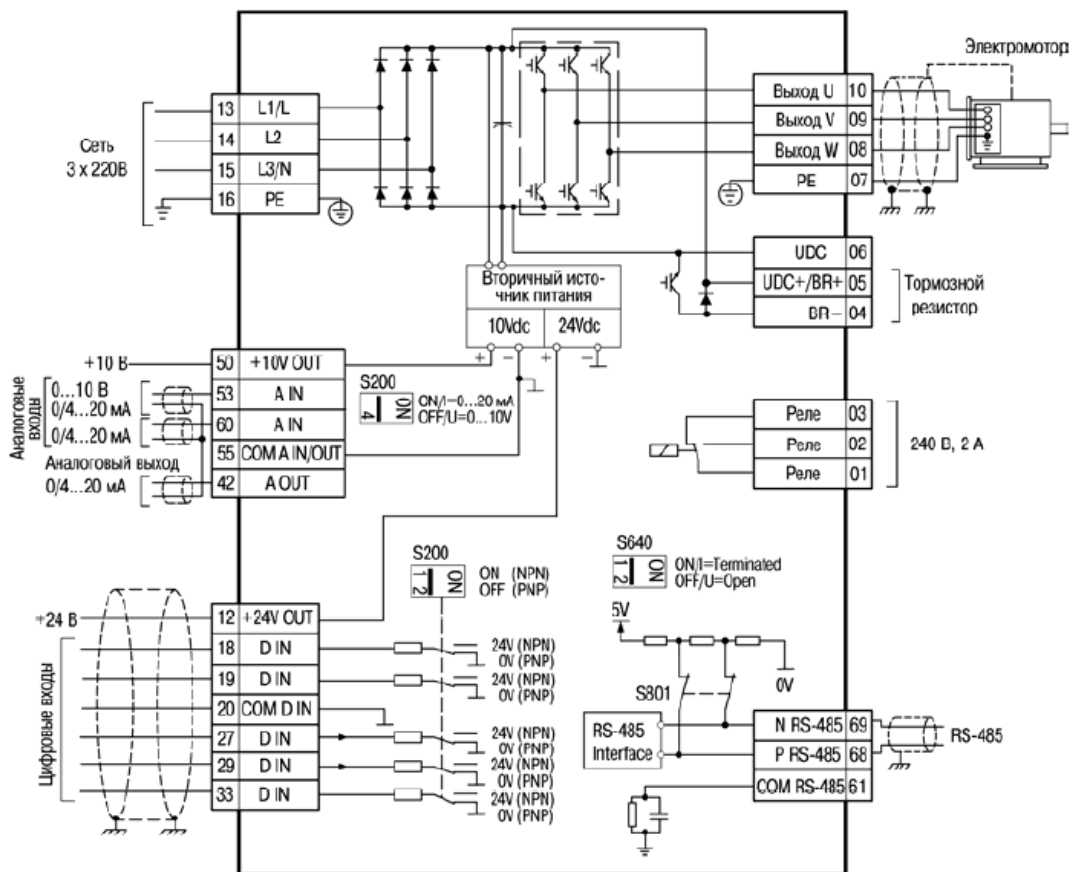


Рисунок 2.5 – Схема электрических соединений всех клемм ПЧВ

С помощью клемм 42 и 55 ПЧВ1 передает аналоговый сигнал ПЧВ2, и тот в свою очередь подстраивается под входящие данные. Структурная схема управления электродвигателями моста с помощью ПЧ показана на рисунке 2.6. Здесь SR1 и SR2 – энкодеры.

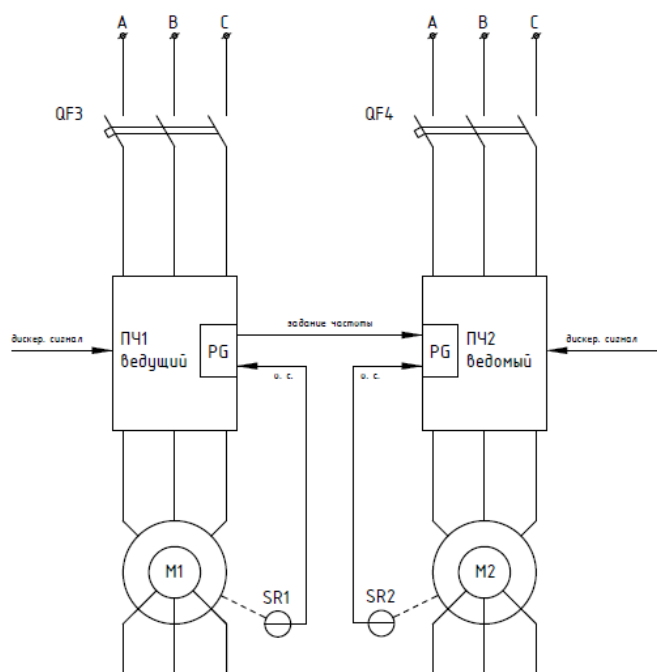


Рисунок 2.6 – Структурная схема ПЧ-АД

### 2.3.1 Выбор оборудования электрических схем передвижения моста

Для релейно-контакторной схемы выбираю следующее оборудование компании ИЕК.

Автоматические выключатели ВА47-29:

номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	
номинальный ток, А	3
номинальная отключающая способность, А	4500
характеристики электромагнитного расцепителя	В

Контакторы малогабаритные серии КМИ КМИ-10910

Технические характеристики:

номинальное рабочее напряжение переменного тока, В	400
рабочий ток, А	9
тепловой ток, А	25
максимальная кратковременная нагрузка, А	162
номинальное напряжение катушки управления, В	230

Реле электротепловое серии РТИ

РТИ-1301:

диапазон уставок реле, А	0,1+32
номинальное рабочее напряжение, В	400
частота, Гц	50
ток термической стойкости, А	5

В качестве датчиков обратной связи выбираю энкодеры компании Siemens. Энкодеры 1XP8001 используется для определения угловых и линейных перемещений. Принципиально работа энкодера основана на измерения угла поворота вала двигателя с помощью оптического устройства. Все высокоточные регулируемые электропривода оснащены импульсными энкодерами. Основные параметры отабражены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Основные параметры датчиков энкодеров 1XP8001

№	Наименование	Значение
1	Напряжение питания	От 10 до 30 В
2	Номинальный ток в покое	200 мА
3	Ток нагрузки	100 мА
4	Отношение импульса к оборотам	1024
5	Выходная амплитуда U	Выс. > 3.5 В, Низ. < 3 В
6	Частота сигнала	160 кГц
7	Максимальная скорость	9000 об/мин
8	Защитное исполнение	IP66

### 2.3.2 Размещение элементов стенда

Ниже на рисунке 2.7 показан внешний вид стенда.

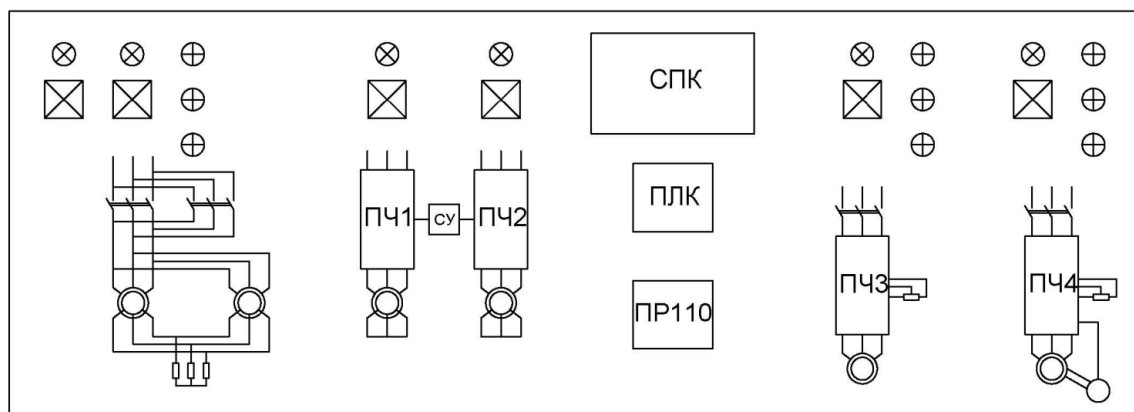


Рисунок 2.7 – Внешний вид панели стенда

Здесь показано как расположены основные элементы и графическое изображение электрических схем. В приложение А имеется данная схема в которой указываются все габаритные размеры стенда.

На рисунке 2.8 показана структурная схема стенда. Стенд должен защищать студентов от прямого контакта с электрическими частями системы управления и питания. На структурной схеме мы видим, что к каждому элементу стенда подводится трехфазное питание, кроме СПК и ПЛК. Ввод данных будет осуществляться с помощью сенсорного программируемого контролера (СПК), а все управления будут осуществляться программируемый логический контроллер. Релейно-контакторный схемы будут управляться с помощью дискретных выходов.

Управление ПЧВ будет осуществляться интерфейсом передачи данных RS-485. При подключении нескольких устройств в сеть RS-485 необходимо учитывать, что приборы в данной сети должны подключаться последовательно один за другим. Сеть RS-485 не поддерживает подключения звездой, то есть на клеммы прибора-мастера нельзя сразу подключать два или более устройств. В нашем случае ПЛК является прибором-мастером.

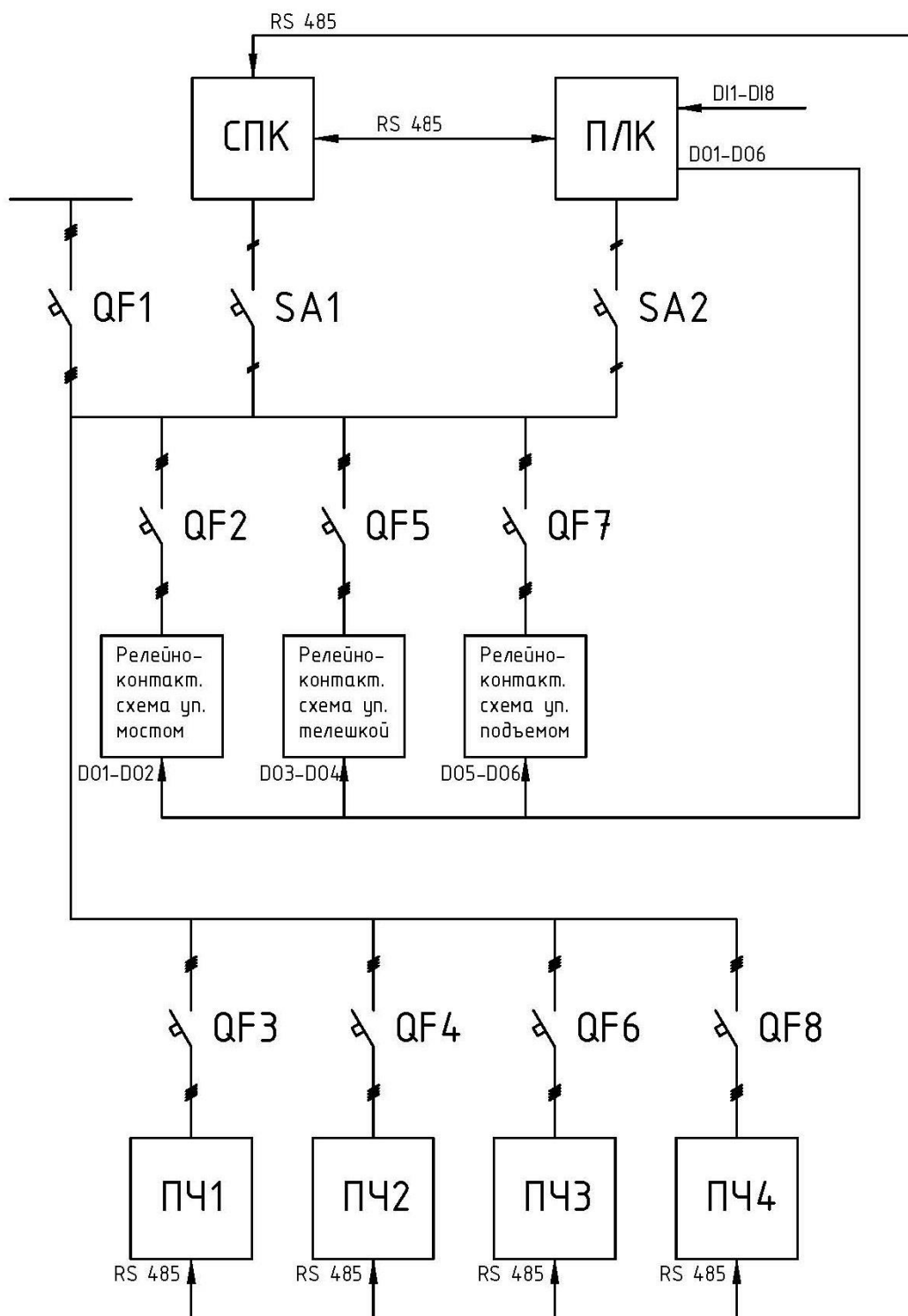


Рисунок 2.8 – Структурная схема стенда



Для переключения между системами управления не будет необходимости делать дополнительные действия. Лишь для того чтобы одновременно запустить двигатели с двух систем будут применены пакетные выключатели. Пакетный выключатель коммутационный аппарат, имеет входные клеммы и выходные. В нашем случае нужен трехфазный пакетный выключатель, в сумме которого будет иметься девять клемм.

### 3 Реализация программных способов управления механизмами передвижения мостового крана

#### 3.1 Построение системы управления на базе ПЛК100

Для автоматизации системы управления был выбран программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК100. Данный контролер способен автоматизировать управление технологическим оборудованием. Применяется в различных областях промышленности, в сельском хозяйстве, на различных производственных объектах, так же в энергетике.

Внешний вид показан на рисунке 3.1.

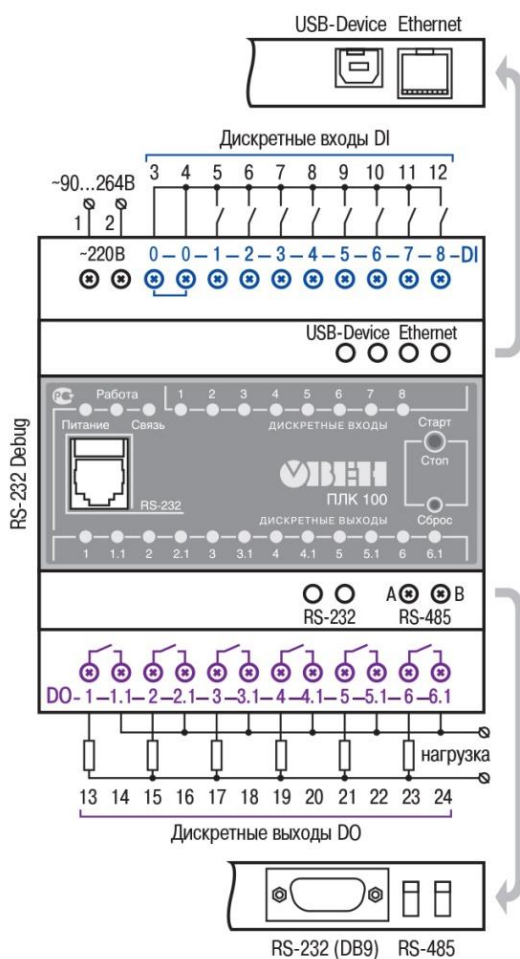


Рисунок 3.1 – Внешний вид ПЛК100

С помощью системы программирования CoDeSys 2.3.8.1 будет запрограммирован ПЛК100. Особенность данной среды является возможность написания программы на шести языках. Логика работы ПЛК100 определяется написанной программой.

Для позиционирования элементов крана использовались концевые выключатели. Благодаря тому, что датчики стоят как вдоль комнат, так и вглубь получаем сетку к точкам, пересечениям которых будет двигаться кран. Ниже на рисунке 3.2 показана структурная схема мостового крана, вместе с сеткой концевых выключателей.

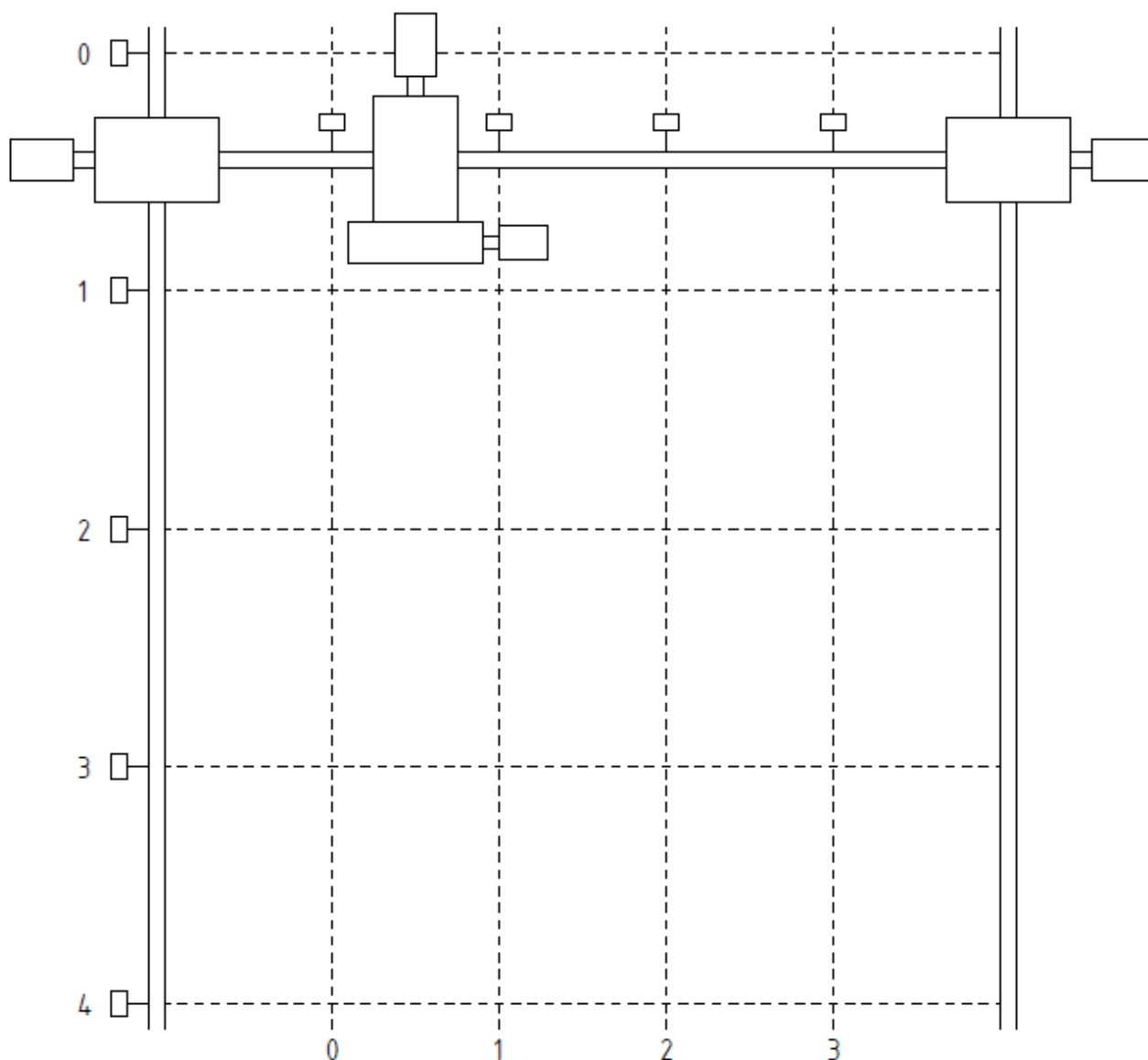


Рисунок 3.2 – Структурная схема мостового крана с намеченной сеткой

Релейно-контакторная система управления была выбрана на том основании что является одной из самых распространенных систем. И в наше время данный способ управления является актуальным. Для автоматизации релейные выходы ПЛК DO1 и DO2 подключаются параллельно кнопкам SB1

и SB2. Тем самым вовремя выполнения программы ПЛК может запускать систему. На рисунке 3.3 показана автоматизированная релейно-контакторная схема. Как мы видим схема управления остается абсолютно такой же.

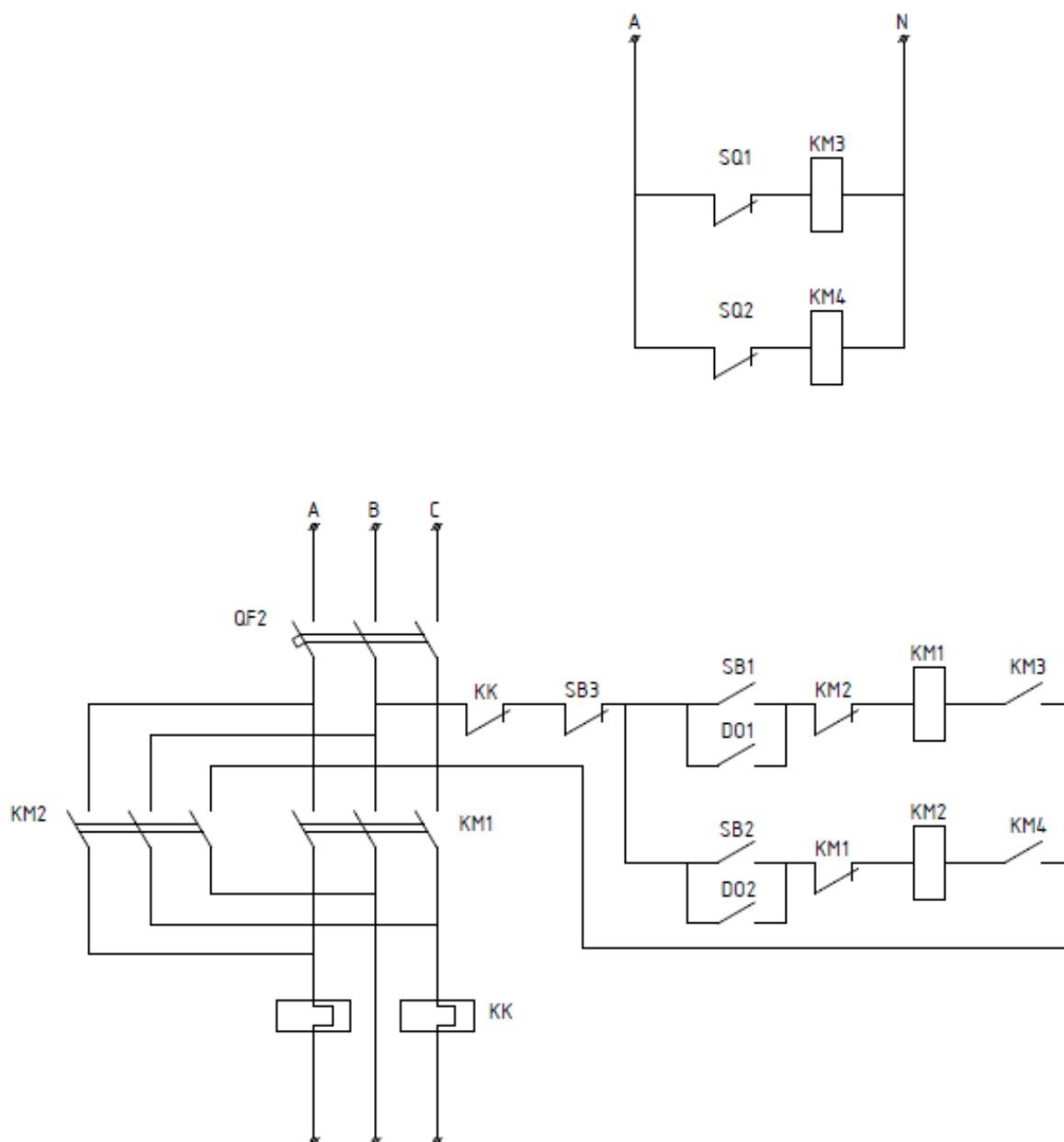


Рисунок 3.3 – Автоматизированная релейно-контакторная схема

В приложении Б представлена программа написанная для ПЛК на двух языках FBD и LAD. В программе имеется восемь подпрограмм, по четыре для каждого из двух режимов. Два режима «Пуск» и «Реверс». Минусом данной системы является то, что мост постоянно должен находиться на одном из концевиков. Иначе программа не будет знать где находится мост. Программа так же сможет быть адаптирована под различный ввод данных. И так же будет защищать от случайного запуска двух подпрограмм. Так же предусматривается аварийная остановка.

### 3.2 Построение системы управления на основе панели оператора СПК207

Для взаимодействия студентов со стендом была выбрана панель оператора СПК207. Устройство имеет сенсорный экран для ввода данных и также цветной экран для отображения необходимой информации. Так как панель сенсорная управление осуществляется нажатием пальцем по экрану. У панели имеется подсветка, для включения необходимо запустить выполнение программы.

Панель имеет 32-х разрядный RISC процессор. Который основан на архитектуре ARM926. Особенностью процессора является возможность работать с высокоскоростным потоком данных по последовательным интерфейсам. Так же может по заданному пользователю алгоритму проводить обработку данных, и отображать заданную пользователем информацию на экране. Сама программа хранится в постоянно запоминающем устройстве. При старте проект переносится и исполняется из оперативного запоминающего устройства. Структурная схема изображена на рисунке 3.4.

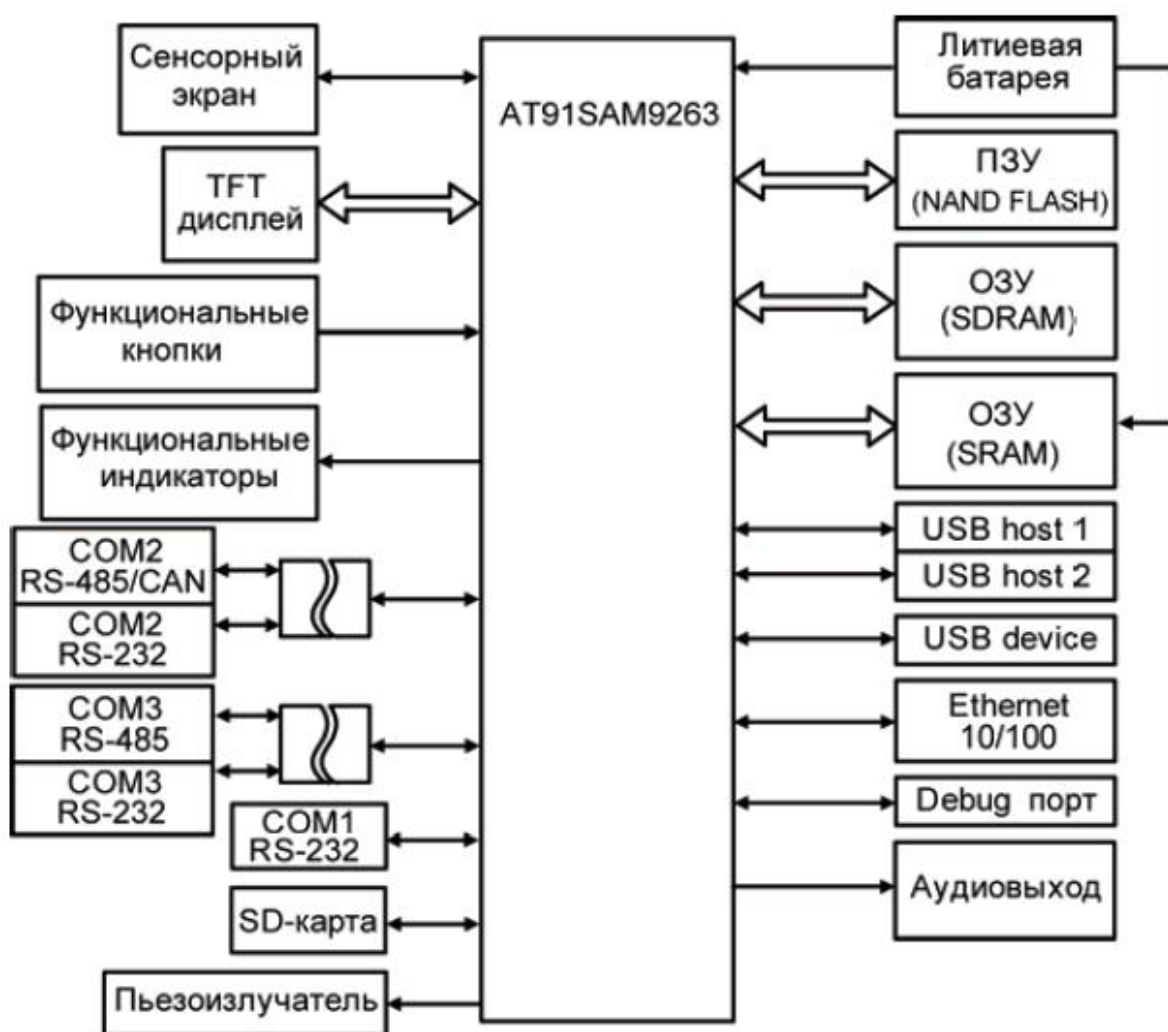


Рисунок 3.4 Структурная схема панели

Оперативно запоминающее устройство является энергозависимым. В СПК207 оно имеет резервное питание и может хранить некоторые данные после отключение питания. На экране могут отображаться диалоговые окна. Управление которой полностью аналогично вводу с помощью механической клавиатуры. Так же имеется функциональные клавиши, которые можно использовать в виде служебных функций проекта. Так же в панели имеется маломощное звуковое устройство, так же можно использовать для звуковых сигналов панели. Внешний вид лицевой панели СПК207 показан на рисунке 3.5.

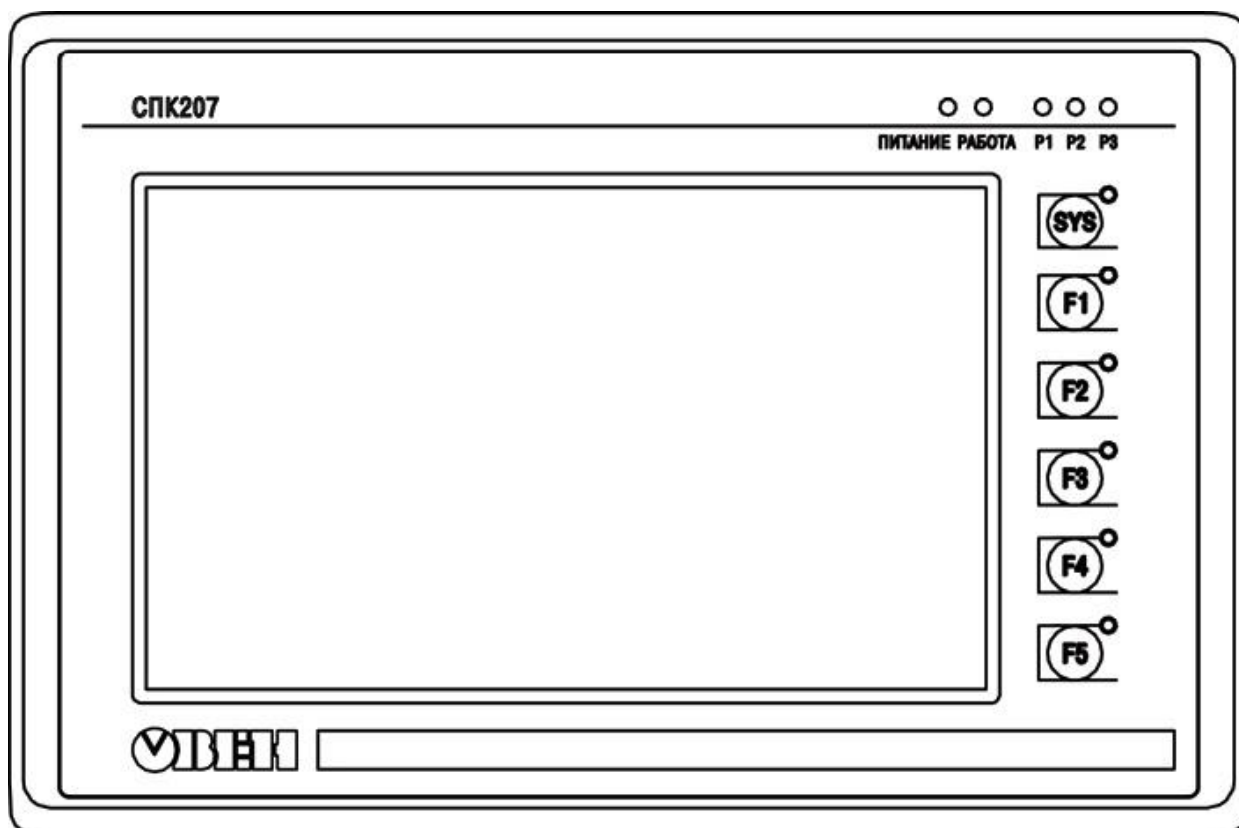


Рисунок 3.5 – Внешний вид лицевой панели СПК207

## **4 Безопасность жизнедеятельности труда**

### **4.1 Анализ условий труда**

В данной части производится анализ оборудования и работы мостового крана. Используются три номинала напряжения 380, 220 вольт переменного тока и 24 постоянного. Все управляющие оборудование располагается за стендом. В лаборатории уже имеется рассчитанное заземление. Используется 4 электропривода. Лаборатория показана на рисунке 4.1.

Как уже было отмечено ранее используется два асинхронных двигателя с фазным ротором:

тип	ФТТ 0,4-0,16;
мощность, Вт	180
число оборотов, об/мин	1400
Сos φ	0,88
КПД	0,92

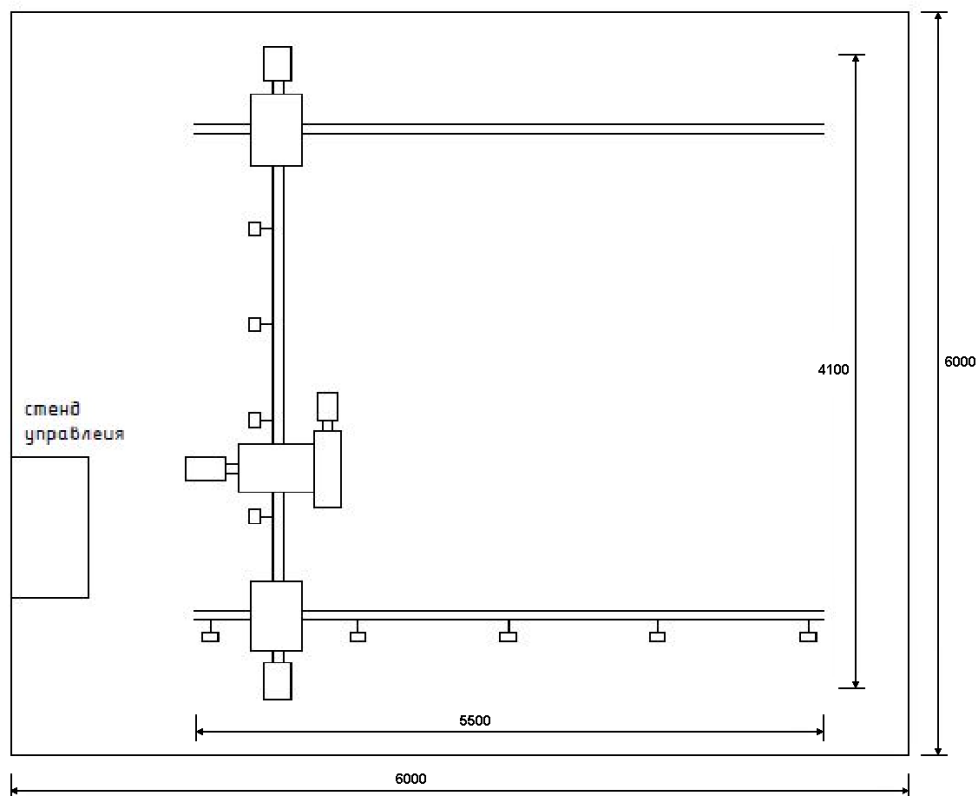


Рисунок 4.1 – Чертеж мостового крана вид сверху

Лабораторный кабинет имеет следующие габариты: высота 3,3 метра, длина и ширина по 6 метров. Мостовой кран является основной частью лабораторного стенда и всей дипломной работы. Мост имеет три степени свободы движения. Движение вперед-назад, вдоль комнаты, вверх и вниз. Мостовой кран состоит из трех балок, две расположены по длине комнаты и крепятся к потолку анкерными болтами. Общий вес крана составляет 500 кг. Длина мостового крана составляет 5,5 метров, вдоль комнаты 4,1 метров. Чертеж мостового крана приложен на рисунке 4.1.

Условия искусственного освещения в лабораторных кабинетах оказывают большое влияние на зрительную работоспособность, физическое и моральное состояние студентов. Необходимо провести расчет освещения, для проверки соответствия. Для организации общего искусственного освещения были выбраны лампы типа ЛБ40. Как известно люминесцентные лампы более энергоэффективны. Имеют долгий срок службы. Но основной недостаток заключается в том, что газ внутри лампы загрязняет окружающую среду

больше чем лампы накаливания. Нормой средней горизонтальной освещенности лабораторного кабинета образовательного учреждения составляет  $500 \frac{\text{лк}}{\text{м}^2}$ . В кабинете лаборатории стоят 4 светильника по 2 люминесцентные лампы. Мощность каждой составляет 36 Вт. Световой поток равен 2850 лм. Площадь кабинета составляет  $36 \text{ м}^2$ . Тогда:

Общий световой поток всех ламп:

$$\Phi_{\text{общ}} = \Phi_{\text{лам}} \cdot N, \quad (4.1)$$

$$\Phi_{\text{общ}} = 2850 \cdot 8 = 22800 \text{ лм},$$

Найдем фактическую величину горизонтальной освещенности:

$$E_{v\text{общ}} = \frac{\Phi_{\text{общ}}}{S}, \quad (4.2)$$

$$E_{v\text{общ}} = \frac{\Phi_{\text{общ}}}{S} = \frac{22800}{36} = 633,33 \frac{\text{лк}}{\text{м}^2},$$

Делаем вывод:

$$E_{v\text{общ}} > E_v, \quad (4.3)$$

Освещение соответствует требованиям.

Так же в работе мостового крана необходимо учитывать производимый шум. В зависимости от назначения и технических параметров электродвигателей уровень их шума может быть весьма различным от 30–40 до 100–120 дБ. Для электродвигателей общепромышленного назначения характерен уровень шума 60–95 дБ, причем преобладают обычные средние частоты (200–2000 Гц). Далее будет произведен расчет по шуму.

## 4.2 Расчет шума

Необходимые для расчета данные:

габариты комнаты:

Д.=6 м;

Ш.=6 м;

В.=3,3 м;

объем комнаты  $118,8 \text{ м}^3$ ;

расстояния от двигателей до измеряемой точки:

$r_1 = 2 \text{ м}$ ;

$r_2 = 2,2 \text{ м}$ ;

$r_3 = 4,5 \text{ м}$ .

Данные об уровнях звукового давления представлены в таблице 4.1.  
 Наибольший габаритный размер источников шума:  $l_{max} = 0,2$  м;

Таблица 4.1 – Уровни звукового давления, создаваемые электроприводом.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{pi}$	56	56	58	58	60	61	60	59

В помещении с двумя и более источниками шума уровни звукового давления следует определять по формуле:

$$L_{ож} = 10 \cdot \lg \left( \sum_{i=1}^m \frac{\Delta i \cdot x_i \cdot \Phi_i}{S_i} + \frac{4\psi}{B} \sum_{i=1}^n \Delta i \right), \quad (4.4)$$

где  $\Delta i = 10^{0,1 \cdot L_{pi}}$ ;

$L_{pi}$  – уровень звуковой мощности каждым источником шума;

$n$  – сумма всех источников шума;

$m$  – ближайшие источники шума у измеряемой точки;

Расстояние от измеряемой точки до акустического центра:

$$r_{min} = 2 \text{ м,}$$

и ближайший к ней источник:

$$5 \cdot r_{min} = 10 \text{ м,}$$

Сумма всех источников шума, принимаемых в расчет и расположенных вблизи расчетной точки, когда, будет равно 3 ( $m=3$ ), т. е. учитываются все данные источники, расположенные на расстояниях  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_3$ ;

$x_i$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от отношения  $r_i/l_{max}$  которые показана на рисунке 4.2;

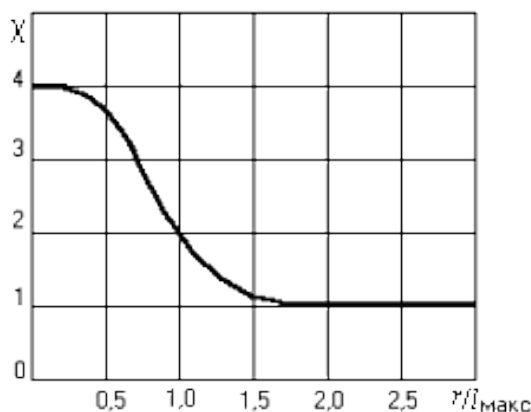


Рисунок 4.2 – Зависимость эмпирического коэффициента  $x_i$  от отношения  $r_i/l_{max}$



$l_{max}$  – наибольший габаритный размер источников шума.  
 Данный коэффициент учитывает влияние ближайшего акустического поля.

Рассчитаем:

$$\frac{r_i}{l_{max}} = \frac{2}{0,2} = 10,$$

т.к.  $r_i/l_{max} > 2$  принимаем  $x_i = 1$ ;

$\Phi$  – фактор направленности источника шума, принят равным единице;  
 $S$  – площадь воображаемой поверхности проходящий через измеряемую точку и источники шума;

Если  $r > 2l_{max}$ , следует принимать площадь находящую:

- а) на поверхности пола, стены, перекрытия  $S = 2\pi r^2$ ;
- б) в пространстве  $S = 4\pi r$ ;
- в) в двухгранном углу, образованном ограждающими поверхностями  $S = \pi r^2$ ;
- г) в трехгранном углу, образованном ограждающими поверхностями  $S = \pi r / 2$ ;

Следующий параметр постоянная помещения:

$$B = B_{1000} \cdot \mu, \tag{4.5}$$

где  $B_{1000}$  – постоянная помещения зависит от объема помещения. Которая зависит от типа помещения.

Для лаборатории стоит принять  $B_{1000} = \frac{V}{10}$ .

Тогда:

$$B_{1000} = \frac{V}{10} = \frac{118,8}{10} = 11,88.$$

Частотный множитель  $\mu$ , определил по таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Значения частотного множителя

Объем помещения, м <sup>3</sup>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
V<200	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5
V=200/1000	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
V>1000	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6

Коэффициент « $\psi$ », учитывающий нарушение диффузности звукового поля определяем графика на рисунке 4.3, из отношения  $\frac{B}{S_{общ}}$  и таблице 4.3;

$S_{общ}$  – сумма всех площадей поверхности комнаты ( $S_{общ} = 151,2 \text{ м}^2$ );

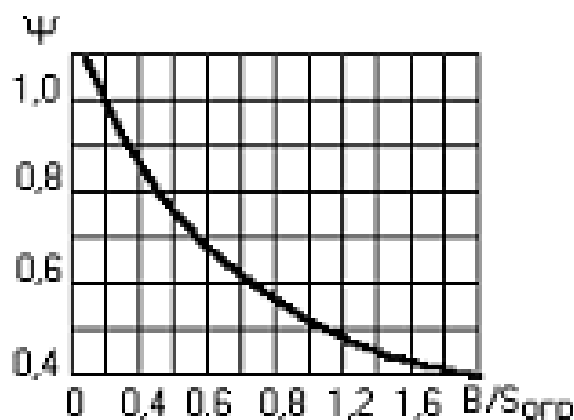


Рисунок 4.3 – Коэффициент нарушения диффузности звукового поля  $\psi$

Таблица 4.3 – Значение коэффициент нарушения диффузности звукового поля

Величина	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$B$	9,504	8,91	8,316	9,504	11,88	16,632	21,384	29,7
$B/S_{\text{общ}}$	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,11	0,14	0,20
$\psi$	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1	1	1

$$\Delta L_{\text{ТР}} = L_{\text{общ}} - L_{\text{доп}}, \text{ дБ} \quad (4.6)$$

где  $L_{\text{общ}}$  – октавный уровень звукового давления в расчетной точке;  
 $L_{\text{доп}}$  – указаны в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Допустимые уровни звукового давления

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	63	25	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{\text{доп}}$	99	92	86	83	80	78	76	74

Проведем расчет для частоты в 63 Гц.

Для частоты 63 Гц,  $L_{pi} = 56$  дБ;

Рассчитываю  $\Delta_1$ :

$$\Delta_1 = 10^{0,1 \cdot 56} = 398107,17;$$

Считаю площадь по формуле  $S = 2\pi r^2$ :

$$S_1 = 2\pi \cdot 2^2 = 25,13 \text{ м}^2,$$

$$S_2 = 2\pi \cdot 2,2^2 = 30,41 \text{ м}^2,$$

$$S_3 = 2\pi \cdot 4,5^2 = 127,23 \text{ м}^2$$

Затем по формуле  $\sum_{i=1}^m \frac{\Delta_i \cdot x_i \cdot \Phi_i}{S_i}$  получаем:

$$\sum_{i=1}^3 \frac{\Delta i \cdot x_i \cdot \Phi_i}{S_i} = \frac{3,98 \cdot 10^5}{25,13} + \frac{3,98 \cdot 10^5}{30,41} + \frac{3,98 \cdot 10^5}{127,23} = 32062,26$$

Далее произведем расчет по формуле:  $B_{63} = B_{1000} \cdot \mu_{63}$

Значение коэффициента  $\mu$  – найдем из таблицы 2, где для  $V < 200 \text{ м}^3$  и для частоты 63 Гц  $\mu = 0,8$ ;

Тогда:

$$B_{63} = 11,88 \cdot 0,8 = 9,504$$

Далее считаем следующее:

$$\frac{4\psi}{B} \sum_{i=1}^3 \Delta i = \frac{4 \cdot 1,1}{9,504} \cdot 3 \cdot 3,98 \cdot 10^5 = 5,52 \cdot 10^5$$

Затем просуммируем значения:

$$\sum_{i=1}^m \frac{\Delta i \cdot x_i \cdot \Phi_i}{S_i} + \frac{4\psi}{B} \sum_{i=1}^n \Delta i = 32062,26 + 5,52 \cdot 10^5 = 584062,26$$

Теперь можно найти:

$$L_{\text{ож}} = 10 \cdot \lg(584062,26) = 57,66 \text{ дБ}$$

После этого по таблице 4 выбираем для частоты 63 Гц значение  $L_{\text{доп}} = 99 \text{ дБ}$ .

Окончательным расчетом является определение значения:

$$\Delta L_{\text{ТР}} = L_{\text{общ}} - L_{\text{доп}} = 57,66 - 99 = 41,33$$

Результаты расчета всех остальных данных сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты расчета

№	Величина	Единицы изм-ния	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	$L_{pi}$	дБ	56	56	58	58	60	61	60	59
2	$\Delta_1=10^{(0,1*L_{pi})}$	-	398107,2	398107,2	630957,3	630957,3	1000000	1258925	1000000	794328,2
3	$S_1=2*\pi*r1^2$	м <sup>2</sup>	25,12	25,12	25,12	25,12	25,12	25,12	25,12	25,12
4	$S_2=2*\pi*r2^2$	м <sup>2</sup>	30,3952	30,3952	30,3952	30,3952	30,3952	30,3952	30,3952	30,3952
5	$S_3=2*\pi*r3^2$	м <sup>2</sup>	127,17	127,17	127,17	127,17	127,17	127,17	127,17	127,17
6	$\Delta_1/S_1$		31696,43	31696,43	50235,46	50235,46	79617,83	100232,9	79617,83	63242,69
7	$\Delta_1/S_2$		13097,7	13097,7	20758,45	20758,45	32899,93	41418,56	32899,93	26133,34
8	$\Delta_1/S_3$		3130,512	3130,512	4961,527	4961,527	7863,49	9899,547	7863,49	6246,192
9	Сумма "6", "7", "8"		47924,64	47924,64	75955,44	75955,44	120381,3	151551	120381,3	95622,23
10	$V_{1000}(V=3200\text{м}^3)$	-	-	-	-	-	11,88	-	-	-
11	$\mu$	-	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,50
12	$V_i=V_{1000}*\mu$	-	9,504	8,91	8,316	9,504	11,88	16,632	21,384	29,7
13	$4*\psi/V_i$		0,462963	0,493827	0,529101	0,462963	0,37037	0,2405	0,187056	0,13468
14	$\sum_{i=1}^3 \Delta_i = 3 \cdot \Delta_i$		1194322	1194322	1892872	1892872	3000000	3776776	3000000	2382985
15	Произв. "13" и "14"		552926,6	589788,4	1001520	876329,6	1111111	908315,6	561167,2	320940,7
16	Сумма "9" и "15"		600851,3	637713	1077475	952285,1	1231492	1059867	681548,5	416562,9
17	$L_{ож}=10\lg("16")$	дБ	57,78767	58,04625	60,32407	59,78767	60,90432	60,25251	58,33497	56,19681
18	$L_{доп}$	дБ	99	92	86	83	80	78	76	74
19	$\Delta L_{тр}=L_{ож}-L_{доп}$	дБ	-41,2123	-33,9537	-25,6759	-23,2123	-19,0957	-17,7475	-17,665	-17,8032

По результатам расчетов получается фактическое значение уровня шума ниже фактического. Шум установленных электродвигателей соответствует требованиям.

## 5 Экономическая часть

В данном проекте рассмотрены три варианта системы управления электроприводами:

- а) Силовыми контроллерами;
- б) Автоматизированная система с силовыми контроллерами;
- в) Посредством частотного преобразования.

Приведен расчет капитальных затрат и определена экономическая эффективности. Капитальные вложения определяются из свободной оптовой цены на оборудование и транспортно-монтажных расходов, приведены в таблицах 5.1, 5.2, 5.4. А итоговая смета затрат в таблицах 5.3, 5.5.

### 5.1 Расчет капитала вложений и эксплуатационных издержек

Таблица 5.1 – Расчет капиталов вложений первого варианта

№	Основных производственных фонды	Кол-во штук	Оптовая цена за ед., тыс.тенге	Общая стоим., тыс.тенге	Транспортно-монтажные расходы тыс.тенге	Полная первоначальная стоимость тыс.тенге
1	Электродвигатель	4	216	864	22	886
2	Контакты	3	66	198	2	200
3	Тепловое реле	3	22	66	2	68
7	Кольцевые выключатели	4	3	12	2	14
				200	13	213

Таблица 5.2 – Расчет капиталов вложений второго варианта

№	Основных производственных фонды	Кол-во штук	Оптовая цена за ед., тыс.тенге	Общая стоим., тыс.тенге	Транспортно-монтажные расходы тыс.тенге	Полная первоначальная стоимость тыс.тенге
1	Электродвигатель	4	216	864	22	886
2	Контакты	3	66	198	2	200
3	Датчик позиционирования	2	124	248	2	250
4	ПЛК	1	58	58	7	65
5	СПК	1	76	76	7	83
6	Реле для цепей управления	10	7	70	2	72
7	Кольцевые выключатели	4	3	12	2	14
				1526	44	1570

Эксплуатационные расходы, включают в себя амортизационные отчисления  $I_a$ , стоимость потребляемой электроэнергии электропривода  $I_{\text{п}}$ , стоимость ремонта всего электрооборудования  $I_{\text{р}}$ , годовая заработная плата  $I_{\text{зп}}$  за год нормальной эксплуатации, прочих расходов  $I_{\text{пр}}$ :

$$И = И_a + И_{п} + И_{зп} + И_{пр} + И_{ос}, \quad (5.1)$$

Амортизационные отчисления  $И_a$  можно определить по формуле:

$$И_a = \frac{(Н \cdot \Phi)}{100\%}, \quad (5.2)$$

где  $Н$  – среднегодовая норма амортизации (12%);

$\Phi$  – первоначальная стоимость оборудования, тенге.

$$И_a = \frac{(12\% \cdot 1570000)}{100\%} = 188400 \text{ тенге,}$$

Стоимость потребляемой электроэнергии  $И_{п}$  определяю по формуле:

$$И_{п} = \Delta Э \cdot Т, \quad (5.3)$$

где  $\Delta Э$  – годовые потери электроэнергии, кВт.ч;

$Т$  – тариф за 1 кВт.ч энергии (21,64 тенге/ кВт.ч).

Годовые потери электроэнергии  $\Delta Э$  определяются по формуле:

$$\Delta Э = P_2 \cdot Т, \quad (5.4)$$

где  $P_2$  – номинальная потребляемая мощность стенда в час (10 кВт);

$Т$  – действующий фонд учебного времени (4000 ч.).

$$\Delta Э = 10 \cdot 4000 = 40000 \text{ кВт} \cdot \text{ч,}$$

$$И_{п} = 40000 \cdot 21,64 = 865600 \text{ тенге,}$$

Зарплата обслуживающего персонала и отчисления на социальный налог:

$$И_{зп} = ТC_{ср} \cdot \Phi \cdot N \cdot РК \cdot K_d, \quad (5.5)$$

где  $ТC_{ср}$  – среднечасовая ставка (313 тенге);

$\Phi$  – эффективный фонд рабочего времени одного рабочего (264 час/чел);

$N$  – количество рабочих (1 человек);

$РК$  – районный коэффициент показатель относительного увеличения заработной платы с целью компенсации дополнительных расходов и повышенных затрат труда, связанных с выполнением работы и проживанием в регионах с тяжелыми климатическими условиями ( $РК=1$ ); [10]

$K_d$  – коэффициент, учитывающий размер дополнительной заработной платы ( $K_d = 1,3$ ).

$$I_{зп} = 313 \cdot 264 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 107422 \text{ тенге};$$

Заработная плата после отчисления в пенсионный фонд:

$$I_{оп} = I_{зп} - 10\% \cdot I_{зп}, \quad (5.6)$$

$$I_{оп} = 90\% \cdot 107422 = 96679 \text{ тенге},$$

Отчисления на социальный налог:

$$I_{ос} = 11\% \cdot I_{оп}, \quad (5.7)$$

$$I_{ос} = 11\% \cdot 96679 = 10635 \text{ тенге}$$

Прочие расходы  $I_{пр}$  определяются по формуле:

$$I_{пр} = 0,05 \cdot (I_a + I_{п} + I_{р} + I_{зп}), \quad (5.8)$$

$$I_{пр} = 0,05 \cdot (188400 + 865600 + 384957 + 107422) = 77319 \text{ тенге},$$

Сумма всех эксплуатационных издержек:

$$I = 188400 + 865600 + 77319 + 107422 + 10635 = 1249375 \text{ тенге},$$

Расчет общих затрат на техническое обслуживание и ремонт электрооборудования

$$I_p = I_{обс} + I_{ос} + C_{мат} + N_p, \quad (5.9)$$

где  $I_{обс}$  – заработная плата рабочих, занятых в обслуживании и ремонте;

$I_{ос}$  – отчисления на социальный налог;

$C_{мат}$  – стоимость материалов для ремонта;

$N_p$  – накладные расходы (60% от  $I_{зп}$ ).

$$I_{обс} = I_{доп} + I_{зп}, \quad (5.10)$$

где  $I_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

$$I_{доп} = I_{зп} \cdot K_d, \quad (5.11)$$

$$I_{\text{доп}} = 107422 \cdot 1,3 = 139648 \text{ тенге,}$$

$$I_{\text{обс}} = 139648 + 107422 = 247070 \text{ тенге,}$$

$C_{\text{мат}}$  составляет 3-5% от первоначальной стоимости оборудования:

$$C_{\text{мат}} = 0,04 \cdot \Phi, \quad (5.12)$$

$$C_{\text{мат}} = 0,04 \cdot 1570000 = 62800 \text{ тенге,}$$

Накладные расходы составляют 60% от заработной платы персонала:

$$H_p = 60\% \cdot I_{\text{зп}}, \quad (5.13)$$

$$H_p = 0,6 \cdot 107422 = 64453 \text{ тенге,}$$

Общие затраты на ремонт и техническое обслуживание электрооборудования:

$$I_p = 139648 + 247070 + 62800 + 64453 = 384957 \text{ тенге,}$$

Таблица 5.3 – Смета затрат второго варианта

Наименование затрат	Сумма затрат, в тенге
Амортизационные отчисления	188400
Стоимость потерь энергии	865600
Расход на ремонт электрооборудования	384957
Заработная плата персонала	107422
Отчисления на социальный налог	10635
Прочие расходы	77319
Итого	1634333

Таблица 5.4 – Расчет капиталовложений третьего варианта

№	Основных производственные фонды	Кол-во штук	Оптовая цена за ед., тыс.тенге	Общая стоим., тыс.тенге	Транспортно-монтажные расходы тыс.тенге	Полная первоначальная стоимость тыс.тенге
1	Электродвигатель	4	216	864	22	886
2	ПЧВ	4	131	524	11	535
3	ПЛК	1	58	58	7	65
4	СПК	1	76	76	7	83
5	Реле для цепей управления	4	7	28	2	30
6	Кольцевые выключатели	4	3	12	2	14
7	Датчик позиционирования	2	124	248	2	250
				1810	53	1863



Амортизационные отчисления  $I_a$  второго варианта:

$$I_a = \frac{(12\% \cdot 1863000)}{100\%} = 223560 \text{ тенге,}$$

Стоимость потерь электроэнергии  $I_{\Pi}$ :

$$\Delta \mathcal{E} = 6 \cdot 4000 = 24000 \text{ кВт} \cdot \text{ч,}$$

$$I_{\Pi} = 24000 \cdot 21,64 = 519360 \text{ тенге,}$$

Зарплата обслуживающего персонала и отчисления на социальный налог:

$$I_{\text{зп}} = 313 \cdot 264 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 107422 \text{ тенге,}$$

Заработная плата после отчисления в пенсионный фонд:

$$I_{\text{оп}} = 90\% \cdot 107422 = 96679 \text{ тенге,}$$

Отчисления на социальный налог:

$$I_{\text{ос}} = 11\% \cdot 96679 = 10635 \text{ тенге,}$$

Прочие расходы  $I_{\text{пр}}$ :

$$I_{\text{пр}} = 0,05 \cdot (223560 + 519360 + 396677 + 107422) = 62351 \text{ тенге,}$$

Сумма всех эксплуатационных издержек:

$$I = 223560 + 519360 + 10635 + 107422 + 62351 = 923327 \text{ тенге,}$$

Расчет общих затрат на техническое обслуживание и ремонт электрооборудования:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{зп}} \cdot K_d = 107422 \cdot 1,3 = 139648 \text{ тенге,}$$

$$I_{\text{обс}} = 139648 + 107422 = 247070 \text{ тенге,}$$

где  $C_{\text{мат}}$  составляет 3-5% от первоначальной стоимости оборудования

$$C_{\text{мат}} = 0,04 \cdot \Phi = 0,04 \cdot 1863000 = 74520 \text{ тенге,}$$

Накладные расходы составляют 60% от заработной платы персонала:

$$H_p = 60\% \cdot I_{зп} = 0,6 \cdot 107422 = 64453 \text{ тенге,}$$

Общие затраты на ремонт и техническое обслуживание электрооборудования:

$$I_p = 139648 + 247070 + 74520 + 64453 = 396677 \text{ тенге,}$$

Таблица 5.5 – Смета затрат третьего варианта

Название затрат	Сумма затрат, в тенге
Амортизационные отчисления	223560
Стоимость потерь энергии	519360
Расход на ремонт электрооборудования	396677
Заработная плата персонала	107422
Отчисления на социальный налог	10635
Прочие расходы	62351
Итого	1320005

## 5.2 Расчет экономической эффективности

Для сравнения двух вариантов используется метод минимума приведенных затрат.

Приведенные затраты составляет:

$$ПЗ = C + E_n \cdot K, \quad (5.14)$$

где  $C$  – сумма ежегодных эксплуатационных расходов;

$K$  – капитальные вложения;

$E_n$  – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности капитальных вложений ( $E_n = 0,15$ ).

$$ПЗ_1 = 1634333 + 0,15 \cdot 1570000 = 1869833 \text{ тенге,}$$

$$ПЗ_2 = 1320005 + 0,15 \cdot 1863000 = 1599455 \text{ тенге,}$$

Исходя из расчетов, более эффективным является второй вариант.

Экономический эффект определяется путем сравнения приведенных затрат по двум вариантам по формуле:

$$\mathcal{E} = ПЗ_1 - ПЗ_2, \quad (5.15)$$

Тогда:

$$\mathcal{E} = 1869833 - 1599455 = 270378 \text{ тенге,}$$

Экономический эффект от внедрения второго варианта составит:

$$\mathcal{E} = \Delta C + E_n \cdot \Delta \Phi, \quad (5.16)$$

$$\mathcal{E} = (1634333 - 1320005) + 0,15 \cdot (1863000 - 1570000) = 358278 \text{ тенге,}$$

Второй вариант за счет экономии электроэнергии, является более выгодным в окупаемости и в дальнейшей работе. Можем определить окупаемость проекта:

$$T = \frac{\Phi}{\mathcal{E}} = \frac{1863000}{358278} = 5,19 \text{ лет,} \quad (5.17)$$

Окупаемость составила 5 лет и около 3 месяцев, что является показателем целесообразного использования третьего варианта как систему управления мостовым краном.

## Заключение

В заключение дипломного проекта можно отразить основные выводы и результаты:

а) по первой главе:

– Рассмотрены основные требования, предъявляемые к электроприводу и системе управления;

– Разработана функциональная схема мостового крана, где отражены все основные элементы и описана основная конструкция грузоподъемного механизма;

– Далее рассматриваются основные способы синхронизация вращения электродвигателей. Связь с помощью механического вала, электрического вала и в системе ПЧ-АД. Сделан вывод, что механический вал не целесообразно реализовывать на модели мостового крана. И был выбран электрический вал с двумя машинами. Вторым вариантом была выбрана синхронизация двигателей с помощью ПЧ с датчиком обратной связи по скорости;

б) по второй главе:

– Произведен проверочный расчет мощности установленных электродвигателей. В результате необходима мощность составляет 160 Вт. Установленные двигатели имеют мощность равную 180 Вт., что полностью соответствует требованию;

– Была разработана схема релейно-контакторного управления электрического вала. Полностью описаны элементы и работа данной схемы. Далее было выбрано оборудование для реализации ее на стенде;

– Для схемы управления ПЧ-АД был выбран ПЧВ101 компании ОВЕН. К особенностям данного устройства можно отнести наличие интерфейса связи RS-485, возможность подключения датчиков обратной связи и работы в схеме ведомого-ведущего;

– Разработана структурная схема стенда. Показано как подается питания элементам стенда и их связи между ними;

– Так же в приложение А имеется чертеж размещения всех элементов стенда на ее лицевой панели, с указанием геометрических размеров;

в) по третьей главе:

– Рассмотрен принцип позиционирования моста, используя концевые выключатели, под управлением ПЛК100 компании ОВЕН. Показана схема автоматизации релейно-контакторной схемы;

– В приложение Б показан пример программы, написанная для ПЛК;

– Рассмотрено устройство панели оператора СПК207;

г) по четвертой главе:

– Проведен анализ условий труда лаборатории. Рассчитана фактическая величина горизонтальной освещенности для искусственного освещения. Установленное освещение соответствует требованиям;

– Произведен расчет шума от работы электродвигателей. Полученные значения сравнивались с допустимыми. На всех среднегеометрических частотах уровень звукового давления оказался ниже допустимых;

д) по пятой главе:

– Рассчитаны капиталовложения трех систем и эксплуатационные двух основных систем управления. Расчет проводил на примере реального объекта;

– Сравнивалось два варианта системы управления. Была рассчитана экономическая эффективность внедрения более нового варианта. В итоге окупаемость составила 5,19 лет.

## Список используемой литературы

- 1 Садовский И. М. Согласованное вращение асинхронных двигателей, “Электрический вал”. – М.: Государственное энергетическое изд-во, 1948. – 135с.
- 2 Чиликин М. Г. , Сандлер А. С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
- 3 Кацман М. М. Электрические машины. – М.: Высшая школа, 1990. – 463с.
- 4 Сагитов П. И. Учебное пособие. Электропривод промышленных механизмов. – А.: АУЭС 2012. – 67 с.
- 5 Терехов В. М. Элементы автоматизированного электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 223 с.
- 6 Садовский И. М. Согласованное вращение асинхронных двигателей, “Электричество”. – М.: Государственное энергетическое изд-во, 1935.
- 7 Кустанович М. И. Электрический вал для подъемного устройства. – М.: Динамо, 1937.
- 8 Электропривод. Учебно-методический комплекс // [Персональная страница Воронина С. Г.] / Россия. 2011. URL: <http://model.exponenta.ru/epivod/index.htm> (дата обращения 20.02.2016).
- 9 Чиликин М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С. Теория автоматизированного электропривода. – М.: Энергия, 1979. 616 с.
- 10 Жакупов А. А. Методические указания по экономической части дипломного проекта. – А.: АУЭС, 2015.
- 11 Дюсебаев М. К. , Бегимбетова А.С. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выпускной работе. – А.: АИЭС, 2008.
- 12 ГОСТ 12.1.003 - 83. Шум. Общие требования безопасности. - М.: Изд-во стандартов, 1984.
- 13 Дюсебаев М. К. , Абдимуратов Ж. С. Охрана труда и безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие. – А.: АУЭС, 2011.
- 14 Айзенберг Ю. Б. Справочная книга по светотехнике. – М.: Энергоатомиздат, 1995.
- 15 Руководство по эксплуатации оборудования // Официальный сайт компании ОВЕН / Россия. 2016. URL: <http://www.owen.ru/> (дата обращения 15.04.2016).
- 16 Каталог продукции // Группа компании ИЕК / Россия. 2016. URL: <http://www.iek.ru/> (дата обращения 17.04.2016).