

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Электротехнические комплексы и системы»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ В.И.Пантелеев

подпись      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02.10 – Электроэнергетика и электротехника

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОСТА РОТОРНОЙ ПОГРУЗОЧНОЙ  
МАШИНЫ РПМЗ600-42/90

Пояснительная записка

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

должность, ученая степень

А.А. Федоренко

инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.А. Болелый

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

должность, ученая степень

А.А. Федоренко

инициалы, фамилия

Красноярск 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	9
1 Краткая характеристика технологического процесса станции.....	13
1.1 Тепломеханическая часть станции.....	13
1.2 Топливное хозяйство.....	19
1.3 Подача угля на склад .....	22
1.4 Описание технологического механизма роторной погрузочной машины РПМ 3600-42/90.....	23
1.5 Устройство и работа основного оборудования.....	25
1.5.1 Общие сведения.....	25
1.5.2 Электроснабжение.....	27
1.5.3 Электроприводы механизмов роторного колеса.....	29
1.5.4 Электроприводы механизмов хода консоли.....	30
1.5.5 Электроприводы механизмов хода моста.....	33
1.5.6 Электроприводы механизмов лебёдки роторной стрелы.....	42
1.5.7 Электроприводы механизмов транспортной линии.....	43
1.6 Обоснование необходимости модернизации электроприводов. Требования к системе электроприводов.....	44
2 Выбор двигателя и преобразовательного устройства.....	46
2.1 Определение момента статического сопротивления механизма, приведённого к валу двигателя, и скорости его вращения в рабочем режиме....	46
2.2 Расчёт мощности и выбор электродвигателя хода моста.....	51
2.3 Выбор преобразователя частоты.....	56

3 Анализ рабочих и пусковых режимов электропривода. Оценка их соответствия требованиям.....	58
3.1 Определение суммарного момента инерции, приведённого к валу двигателя.....	58
3.2 Разработка цифровой математической модели системы электропривода..	59
3.2.1 Библиотека блоков Simulink.....	59
3.2.2 Структурная схема имитационной модели двигателя.....	59
3.3 Анализ рабочих и пусковых режимов. Определение уставок устройства плавного пуска.....	62
4 Разработка электрической схемы включения электроприводов в схему общего технологического процесса.....	75
4.1 Разработка принципиальной схемы. Выбор элементов необходимых блокировок и защит. Определение их уставок.....	75
4.2 Выбор и расчёт кабелей силовых цепей.....	76
Заключение.....	85
Список использованных источников.....	86
Приложение А.....	88

## ВВЕДЕНИЕ

Использование микропроцессоров определяет новый этап развития систем управления электроприводов. При этом обеспечивается не аппаратная, а программная реализация систем управления, что значительно расширяет функциональные возможности электроприводов, улучшая их характеристики. Микропроцессор включают в систему обработки информации контура обратных связей для получения необходимых характеристик. В основные функции микропроцессора в системах обратной связи входит прием информации (о значении тока, скорости и т.п.), вводимой через устройства ввода, обработка информации – линеаризация, сглаживание, вычисление результатов косвенных измерений, сравнение результатов с заданными значениями, статистическая обработка, прогнозирование, контроль предельных значений и некоторые другие. Кроме того микропроцессор может выполнять более сложные ПД- и ПИ-алгоритмы, которые соответствуют работе привода не только по рассогласованию, но и по производной или интегралу от рассогласования. В первом случае увеличивается демпфирование в системе электропривода, а во втором уменьшается статическая скоростная ошибка. Микропроцессорная коррекция позволяет программно учесть практически все процессы, происходящие в тракте прямого преобразования электропривода, включая такие, как нелинейность и насыщение магнитной системы, внутреннее механическое трение и т.п.

В настоящее время происходит повсеместное вытеснение двигателей постоянного тока асинхронными двигателями. Асинхронные электродвигатели превосходят двигатели постоянного тока по многим параметрам: они просты по устройству и надёжны, так как не имеют подвижных контактов, они имеют меньшие по сравнению с двигателями постоянного тока размеры, массу и

стоимость при той же мощности. Асинхронные двигатели просты в изготовлении и эксплуатации.

Плавный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором возможно осуществить двумя основными способами: плавным подъёмом напряжения и плавным увеличением частоты питания.

Наиболее дешёвым вариантом для реализации плавного безударного пуска является электронное либо электротехническое устройство, обеспечивающее плавный пуск двигателя – устройство плавного пуска. Принцип работы данной системы основан на поддержании рабочих параметров асинхронного двигателя в определённых пределах, гарантирующих безопасную и надёжную работу электропривода. Устройство плавного пуска ограничивает пусковой ток и уменьшает ударные моменты двигателя во время разгона. Ограничение этих параметров осуществляется за счёт плавного увеличения напряжения, подаваемого на обмотки двигателя, в заданный промежуток времени. Мягкий пуск электродвигателя исключает возможность механических повреждений подвижных деталей оборудования и препятствует падению напряжения в сети. Тем самым устройства плавного пуска позволяют продлить срок службы механизмов, сократить производственные расходы, повысить надёжность оборудования.

Регулирование частоты вращения исполнительных механизмов можно осуществлять при помощи различных устройств: механических вариаторов, гидравлических муфт, дополнительно вводимыми в статор или в ротор резисторами, электромеханическими преобразователями частоты, статическими преобразователями частоты. Наиболее совершенными из них являются статические преобразователи частоты. Именно они могут обеспечить высокое качество регулирования скорости в широком диапазоне, механические характеристики обладают большой жёсткостью, экономичные, не требуют

больших затрат при монтаже и эксплуатации, а их относительно высокая стоимость окупается уже после года активной эксплуатации.

Управление асинхронным двигателем в частотном режиме до недавнего времени было большой проблемой, хотя теория частотного регулирования была разработана ещё тридцатых годах. Развитие частотно регулируемого электропривода сдерживалось высокой стоимостью и низкой надёжностью преобразователей частоты. Появление силовых схем с IGBT-транзисторами, разработка высокопроизводительных микропроцессорных систем управления позволило различным фирмам создать современные преобразователи частоты доступной стоимости.

Частотный пуск осуществляется с помощью преобразователя частоты, который во время пуска постепенно увеличивает частоту и амплитуду питающего напряжения, подводимого к обмоткам двигателя, по заданному закону. При этом ударные моменты будут отсутствовать, поскольку преобразователь частоты изменяет выходную частоту и напряжение по определенному закону от задатчика интенсивности, а пусковой ток двигателя ограничивается на уровне  $I_n = 1,5 \dots 2,5 I_n$ , где  $I_n$  – номинальный ток двигателя. В настоящее время это наиболее совершенный способ пуска двигателя, имеющий только один недостаток – высокую стоимость преобразователей частоты, что также в нашем случае не будет являться недостатком ввиду большей (почти в 9 раз) стоимости двигателя постоянного тока по сравнению с асинхронным двигателем.

Частотный преобразователь в комплекте с асинхронным двигателем позволяет заменить электропривод постоянного тока. Применение частотно управляемого электропривода позволит реализовать все необходимые характеристики механизма. Преобразователь частоты позволит регулировать производительность в на много более широких пределах, с сохранением коэффициента мощности и меньшими потерями энергии, осуществлять пуск с

необходимым ускорением, пропорциональным затратам энергии, а также он не искажает форму напряжения питающей сети.

Принцип работы частотного преобразователя или как его еще называют – инвертора: переменное напряжение промышленной сети выпрямляется блоком выпрямительных диодов и фильтруется батареей конденсаторов большой ёмкости для минимизации пульсаций полученного напряжения. Это напряжение подаётся на мостовую схему, включающую шесть управляемых IGBT или MOSFET транзисторов с диодами, включенными антипараллельно для защиты транзисторов от пробоя напряжением обратной полярности, возникающем при работе с обмотками двигателя. Кроме того, в схему иногда включают цепь «слива» энергии – транзистор с резистором большой мощности рассеивания. Эту схему используют в режиме торможения, чтобы гасить генерируемое двигателем напряжение и обезопасить конденсаторы от перезарядки и выходе из строя.

Регулирование выходной частоты и напряжения осуществляется в инверторе за счёт высокочастотного широтно-импульсного управления. Широтно-импульсное управление характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора электродвигателя подключается поочерёдно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя по синусоидальному закону. При высоких (обычно 2...15 кГц) тактовых частотах широтно-импульсной модуляции вследствие большой индуктивности замкнутого контура по цепи электродвигателя протекают синусоидальные токи.

# 1 Краткая характеристика технологического процесса станции

## 1.1 Тепломеханическая часть станции

На Берёзовской ГРЭС-1, которая является головной электростанцией КАТЭКа, проектом предусмотрено 8 энергетических блоков мощностью по 800 МВт, в состав каждого из которых входит паровой пылеугольный котёл типа П-67 ЗиО производительностью 2650 т/час на закритические параметры и паровая конденсационная турбина типа К-800-240-5 ЛМЗ номинальной мощностью 800 МВт [1].

Топливом для энергетических котлов служит бурый уголь Берёзовского месторождения Канско-Ачинского угольного бассейна. С разреза «Берёзовский-1», расположенного в 14 км от промплощадки электростанции, доставка угля производится двумя внешними конвейерами производительностью по 5000 т/час, один из которых резервный.

Расчётный состав берёзовского угля характеризуется низкой калорийностью (в среднем  $Q_n^p=3740$  и минимально 3570 ккал/кг), высоким выходом летучих веществ и содержанием влаги, низкой зольностью (в среднем  $A^p=4,7\%$  и максимально 9%). Годовой расход угля – 24,8 млн.т натурального топлива при максимально возможной часовой потребности около 4000 т.

Котельный агрегат П-67 подольского машиностроительного завода имени «Орджаникидзе» (ЗиО) – подвесного типа, Т-образной компоновки, однокорпусный, в газоплотном исполнении с уравновешенной тягой. Котёл подвешивается к специальным хребтовым балкам, опирающимся на каркас котельной, колонны каркаса приближены к котлу.

Параметры пара после первичного перегрева независимо от нагрузки: давление – 262 кгс/см<sup>2</sup> и температура - 545°С; после вторичного перегрева при производительности 2650 т/час: давление 37,8 кгс/см<sup>2</sup> и температура 545°С.



Коэффициент полезного действия котлоагрегата при номинальной нагрузке составляет 91%.

Котёл предназначен для низкотемпературного сжигания угля с твёрдым шлакоудалением, система пылеприготовления его – с прямым вдуванием в топку. В качестве размолочных устройств использованы 8 мельниц-вентиляторов типа МВ 3300/800/490 производительностью по 70 т/час с газовой сушкой. Для поддержания безшлаковочного режима работы топки предусматривается рециркуляция газов в район горелок и верхнюю часть топки.

С каждым котлоагрегатом установлены:

- два дутьевых вентилятора типа ВВД-36х2;
- два дымососа рециркуляции типа ДРГ-29х2;
- два основных дымососа типа ДОД-43-500;
- двухъярусные электрофильтры новой конструкции типа ЭДГ-2152-9-6-5-200-5 с общей высотой электродов 18 м и КПД 99-99,5% при температуре уходящих газов - 140°С.

Сочетание малой сернистости и зольности топлива, низких теплонапряжений в топке, рециркуляция газов в зону горения, эффективная работа золоуловителей и дымовой трубы высотой 370 м обеспечивает незначительное влияние вредных выбросов сернистого ангидрида, окислов азота и летучей золы на окружающую среду.

Турбоустановка Ленинградского машиностроительного завода (ЛМЗ) К-800-240-5 включает 5-ти цилиндровую одновальную турбину с одним цилиндром высокого давления, одним цилиндром среднего давления и 3-мя цилиндрами низкого давления и имеет 8 нерегулируемых отборов пара для регенеративного подогрева питательной воды, теплофикации и собственных нужд блока.

Параметры пара при номинальной мощности турбины 800 МВт составляют: перед цилиндром высокого давления – давление 240 кгс/см<sup>2</sup> и

температура 540°C, перед цилиндром среднего давления – давление 34,1 кгс/см<sup>2</sup> и температура 540°C.

Основными особенностями турбоустановки К-800-240-5 по сравнению с её прототипом установкой типа К-800-240-3 Запорожской и Углегорской ГРЭС являются:

- наличие нового усовершенствованного конденсатора 800-КЦС-5 продольного типа с разным вакуумом в каждом из двух корпусов;
- блочная теплофикационная установка производительностью 140 Гкал/час за счёт рационального использования отборов турбины сверх нужд регенерации и без снижения номинальной мощности турбоагрегата.

Удельный расход тепла на турбоустановку при мощности 800 МВт и расчётном режиме составляет 1825 ккал/кВт·час (без учёта затрат на турбопривод ПТН) с допуском +1%.

В качестве рабочей жидкости для систем регулирования и смазки турбины, генератора и питательных насосов применено огнестойкое синтетическое масло ОМТИ-4. Отсос несконденсировавшихся газов из конденсатора турбоустановки осуществляется водоструйными эжекторами.

В состав водопитательной установки каждого энергоблока входят:

- деаэратор производительностью 2800 т/час при давлении 7,5 кгс/см<sup>2</sup> с одной вертикальной деаэрационной колонкой и одним аккумуляторным баком питательной воды ёмкостью 185 м<sup>3</sup>;
- два питательных турбонасоса типа ПН-1500-300, два бустерных насоса типа ПД-1600-180М и их две приводные конденсационные турбины типа ОК-18ПУ-800 мощностью по 17, 15 МВт.

При выборе вспомогательного оборудования, как котельного, так и турбинного отделений использован принцип максимального их укрупнения.

Тепловая схема станции выполнена по блочному принципу, без поперечных связей по основным трубопроводам пара и воды.

К основным особенностям тепловой схемы энергоблоков Берёзовской ГРЭС-1 следует отнести:

- использование двух самостоятельных пуско-сбросных устройств (ПСБУ): основного производительностью 1000 т/ч и собственных нужд производительностью 600 т/ч при давлении 255 кгс/см<sup>2</sup> и температуре 545°С;

- упрощённую схему паропроводов собственных нужд блока с двумя «горячими» общестанционными коллекторами 13 кгс/см<sup>2</sup> 440°С, питающихся от трёх отборов турбин цилиндров низкого давления, либо от пусковой котельной с котлами 40 кгс/см<sup>2</sup> и 440°С;

- двухниточные трубопроводы высокого давления: острого пара, питательной воды, горячего и холодного промперегрева.

Конфигурация трубопроводов острого пара и горячего промперегрева принята максимально простой с минимальным числом промежуточных пружинных подвесок за счёт использования жёстких шарнирных подвесок большой грузоподъёмности.

Компоновка главного корпуса выполнена, исходя из ширины ячейки блока 72 м, продольного расположения турбоагрегатов в машинном зале, двух продольных галерей топливоподачи и совмещённой бункерно-деаэрационной этажерки.

Пролёт машинного зала – 54 м с расположением распределительного устройства собственных нужд вдоль ряда А. Монтаж либо демонтаж статора генератора осуществляется с помощью трёх мостовых кранов г/п по 125 т.

Пролёт котельной составляет 57 м (12+33+12), шаг колонн каркаса принят 12 м, опирание хребтовых балок пролётом 33 м осуществляется на продольные подхребтовые балки.

Со стороны машзала к котельной примыкает бункерно-деаэрационная этажерка пролётом 12 м и помещение трубчатых воздухоподогревателей пролётом 36 м.

Таким образом, главный корпус Берёзовской ГРЭС-1 представляет собой семи пролётное здание общей шириной 171 м, с числом осей 59, общей длиной 696 м.

Компоновка главного корпуса характерна тремя основными особенностями:

- расположением блочных щитов управления вне главного корпуса и, следовательно, вдали от источников угольной пыли и вибрации, что обеспечивает надёжность работы АСУ ТП;

- сдвигом ячеек турбоустановок и котлоагрегатов относительно друг друга на 24 м для совмещения паровпусков турбин с осями котлов и снижения длины основных трубопроводов высокого давления;

- наличием приближенных колонн каркаса котельной, что в сочетании с Т-образной конфигурацией котла приводит к умеренной длине хребтовых балок.

С разрывом 17 м к помещению ТВП примыкает здание электрофильтров пролётом 24 м. Затем, с разрывом 13 м, размещено здание дымососной пролётом 24 м.

Для восполнения потерь в цикле ГРЭС предусмотрена водоподготовительная установка (ВПУ) производительностью 525 т/ч, обеспечивающая обессоленной водой все режимы работы станции, включая предпусковые и эксплуатационные водно-химические очистки теплоэнергетического оборудования и пусковые операции.

Схема ВПУ: известкование с коагуляцией в осветлителях, трёхступенчатое обессоливание (третья ступень обессоливания осуществляется на блочных обессоливающих установках - БОУ), - определена качеством исходной воды и требованиями, предъявляемыми к качеству подпиточной воды котлов блоков 800МВт.

Использован блочный принцип включения ионитовых фильтров в схему ВПУ («цепочки»). Всего предусмотрено 5 блоков фильтров, в том числе один ремонтный блок.

Для подпитки теплосети с открытым водоразбором предусмотрена водоподготовительная установка производительностью 500 т/ч по схеме водород-катионирование с «голодной» регенерацией, буферное катионирование, декарбонизация. При этом обеспечивается требуемое качество подпиточной воды, соответствующее также ГОСТ «Вода питьевая».

Для поддержания требуемых по ПТЭ параметров водного режима станции проектом предусмотрены:

- блочные обессоливающие установки (БОУ) на каждом блоке производительностью 2000 т/ч;
- автономная обессоливающая установка (АОУ) для очистки стационарных конденсатов производительностью 450 т/ч;
- установки для гидразинно-аммиачной обработки питательной воды и конденсатов (одна установка на два блока);
- установки подачи реагентов для водно-химической очистки теплоэнергетического оборудования и консервации его;
- антикоррозийная защита оборудования и трубопроводов;
- баковое хозяйство для сбора и хранения чистого и загрязнённого конденсата;
- экспресс-лаборатории (одна на два блока), оснащённые необходимым оборудованием и приборами для ручного и автоматического контроля водного режима.

Для приёма, хранения реагентов, приготовления рабочих растворов для водоподготовительных установок; химических очисток и поддержания параметров водного режима предусматривается склад реагентов.

Склад реагентов и водоподготовительные установки располагаются в отдельно стоящих зданиях, соединенных между собой и с главным корпусом галереями трубопроводов.

Всё оборудование, включая баковое хозяйство, располагается в здании; компоновка фильтров принята двухъярусная.

Технические решения предусматривают максимальное повторное использование промышленных, сточных вод и сокращение их количества.

Для очистки промышленных стоков и их повторного использования предусматривается ряд мероприятий.

Сбросные воды от химической очистки оборудования и трубопроводов подвергаются регенерации для повторного.

Замасленные и замазученные воды станции очищаются на установке; очищенная вода используется в качестве исходной на ВПУ подпитки цикла.

## **1.2 Топливное хозяйство**

На рисунке А.1 изображена проектная двухниточная схема топливоподочи. В настоящее время возведена только одна нитка с одним угольным складом (правый).

Топливо, доставленное внешним конвейером с разреза «Берёзовский-1» на промплощадку Берёзовской ГРЭС-1, поступает в узел пересыпки №1, который предназначен для «небалансового» топлива при переключении, либо аварийном отключении конвейеров топливного хозяйства станции, а также для сбора всего топлива, находящегося на рабочем внешнем конвейере перед выводом его из работы [1].

Узел пересыпки №1 представляет собой монолитный железобетонный цилиндр, выполняемый в скользящей опалубке, в котором размещено основное электротехническое оборудование и четыре металлических бункера. Рядом с

основным зданием узла пересыпки размещается здание щита управления топливоподачи и вентиляционных систем, выполняемые в сборном железобетоне.

Здание узлов пересыпки №2 и №4, дробильно-распределительный корпус и подземные галереи арочного типа выполнены из сборных железобетонных конструкций. Надземные эстакады выполняются из индивидуально разработанных проектом металлических конструкций с использованием облегчённых керамзитобетонных панелей и ограждающих арочных конструкций (гнутые профили и стальной профилированный лист с утеплителем).

Склад топлива радиальной формы ёмкостью 700 тыс.т выполнен по индивидуальному проекту механизирован машиной непрерывного действия, используемой как для приёма и отсыпки угля на склад, так и для выдачи его со склада в главный корпус. Сооружения угольного склада с узлами пересыпки и галереями конвейеров выполнены из монолитных и сборных железобетонных конструкций.

После того, как уголь пришел с угольного разреза на узел пересыпки №1, по конвейерам №1А,1Б он подаётся в дробильный корпус.

В дробильном корпусе установлены 4 дробилки М20х30 типа СМД-98 производительностью до 1200 т/ч каждая, которые подготавливают топливо, дробя до необходимой фракции. Для отсева мелочи перед дробилками предусмотрены веерные решётки.

Далее топливо поступает в бункер башни пересыпки №1 главного корпуса по конвейерам №2А,2Б, расположенным в самостоятельных галереях, производительность каждого 2500 т/ч, углом наклона боковых роликов 30°, скоростью движения ленты 2,5 м/с, один из которых рабочий, другой резервный.

Места пересыпок угля и его дробления на тракте подачи топлива оборудованы системами аспирации с очисткой воздуха в коагуляционных мокрых пылеуловителях (КМП). Общее количество установок коагуляционных

мокрых пылеуловителей по тракту углеподачи – 32. Они показывают высокую эффективность в работе – степень очистки достигает 97,5%.

Конвейеры №2А,2Б оборудованы устройствами по удалению из топлива магнитных и немагнитных металлов. Магнитные металлы удаляются из слоя топлива при помощи электромагнитных шкивных сепараторов в сочетании с одновременной работой подвесных сепараторов, установленных над конвейером.

Удаление из топлива металлов, которые не относятся к магнитным, осуществляется дробилкой барабанной типа ДБ-28 (всего две дробилки: рабочая и резервная). При появлении сигнала от металлоискателей импульс поступает к плужковому сбрасывателю, с помощью которого часть топлива с металлом сбрасывается в специальный промежуточный бункер и с помощью дозирующего устройства направляется в барабанную дробилку. С целью сокращения расхода угля через дробилку перед промежуточным бункером установлен веерный грохот с максимальным размером ячейки 40 мм. Мелкие фракции топлива после веерного грохота, минуя дробилку, сбрасываются на конвейер №3/1.

Дробилка барабанная представляет собой конструкцию, объединяющую в себе: барабан, кожух, привод. Вращение основного органа – барабана производится от электродвигателя. Работа машины заключается в следующем: топливо с включениями через загрузочный желоб поступает в барабан, поднимается полками барабана и, падая с них, дробится от ударов о внутреннюю поверхность решет барабана. Дробленный до размеров отверстий в решетке – 0-20 мм уголь просеивается через отверстия решет в приёмную воронку кожуха, соединённой течкой с конвейером №3/1.

Металл перемещается полками вдоль оси барабана и выбрасывается разгрузочными лопатками барабана в жёлоб, откуда поступает на специально предназначенный контейнер удаления металла.



После основных дробилок М20х30 дробленный уголь с конвейера №3/1 поступает на конвейер 3/2 и далее на конвейеры №4 бункерного отделения. В бункерном отделении с помощью стационарных плужковых сбрасывателей топливо распределяется по бункерам сырого угля четырьмя конвейерами №4 - по два конвейера на каждое бункерное отделение. В каждой бункерной галерее главного корпуса установлены транспортёры с лентой 2000 мм. Для контроля качества угля, поступающего в главный корпус, на башне пересыпки №2 на конвейерах №3 предусмотрены пробоотборники типа МПЛ-150. Подача топлива с бункерного отделения башни пересыпки №1 в бункерное отделение башни пересыпки №2 осуществляется посредством конвейеров №3А,3Б (2000 мм), и по конвейерам №4А,4Б в бункера сырого угля мельниц-вентиляторов МВ 3300/800/490 производительностью 70 т/ч.

С башни пересыпки №2 по конвейерам №4В,4Г уголь подаётся в бункера сырого угля мельниц-вентиляторов, расположенных с противоположной стороны котлоагрегата.

На один котлоагрегат установлено 8 мельниц-вентиляторов и соответственно 8 бункеров сырого угля ёмкостью по 900 м<sup>3</sup> (из расчёта работы на 10 часов).

### **1.3 Подача угля на склад**

После дробления в дробильно-распределительном корпусе по конвейерам №6/1,6/2 уголь поступает с загрузочных бункеров с качающимися питателями типа КТ-14 производительностью 700 т/ч на узел пересыпки №3 и с помощью роторной погрузочной машины непрерывного действия отсыпается в штабель на склад.

Для подачи угля на главный корпус роторная погрузочная машина с помощью роторных ковшей осуществляет выемку угля со склада. Вначале по

конвейеру 5/2 уголь с узла пересыпки №3 поступает на узел пересыпки №2, затем по конвейеру 5/1 в дробильно-распределительный корпус, далее на бункер башни пересыпки №1 по конвейерам №2А,2Б.

#### 1.4 Описание технологического механизма РПМ (ротаторной погрузочной машины)

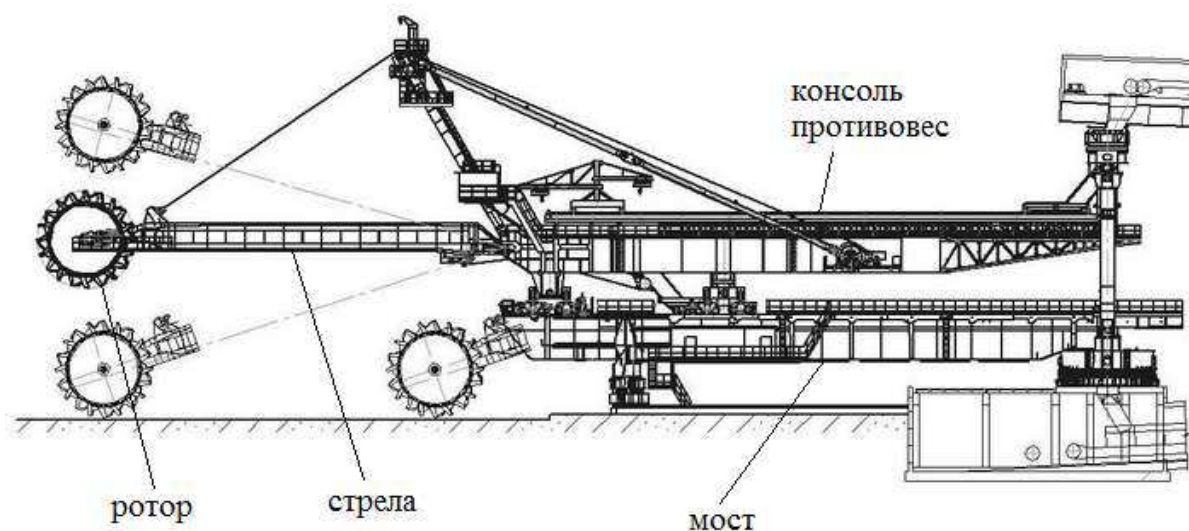


Рисунок 1.1 – Ротаторная погрузочная машина

На рисунке 1.1 изображена ротаторная машина РПМ 3600, она предназначена для механизации работ по складированию угля в штабель, забора его из штабеля и перемещению по системе конвейеров в пределах кольцевого склада. Она является не полноповоротной машиной погрузочно-разгрузочного действия на колесно-рельсовом ходу, состоит из трех основных частей:

- верхней части;
- моста;
- центральной опоры.

Верхняя часть состоит из консоли противовеса, с опорной конструкцией, установленной на механизм передвижения (консоль) и шарнирно связанной с ней стрелой ротора, которая подвешена на полиспастной подвеске.

Мост представляет собой металлоконструкцию, на которой расположены рельсовый путь, по которому перемещается верхняя часть, а так же кабина машиниста, мастерская, комната отдыха, электропомещения, конвейер моста ( $L = 38$  м).

Конвейер моста состоит из привода, натяжной станции, транспортной ленты и роlikоопор. Работа конвейера моста осуществляется только в режиме "ЭКСКАВАЦИЯ".

Мост одним концом опирается на кольцевой рельсовый путь посредством двух ходовых тележек, каждая из которых состоит из трех приводных и двух неприводных тележек. Скорость передвижения моста в диапазоне 5-15 м/мин. Второй конец моста опирается на центральную опору.

Центральная опора является геометрическим центром кольцевого пути и служит для опоры моста и транспортной эстакады (галереи ленточного конвейера 5/2). Опора состоит из рамы опорной, на которую через опорно-поворотное устройство опирается портал. В верхней части портала смонтировано опорно-поворотное устройство, на которое опирается транспортная эстакада (галерея ленточного конвейера 5/2).

Механизм передвижения верхней части (консоли) по мосту осуществляется при помощи четырех приводных тележек по рельсовому пути. Скорость передвижения 10 м/мин. На консоли находится ленточный конвейер консоли ( $L = 38$  м) состоящий из привода, натяжной станции, транспортной ленты и роlikоопор. Работа конвейера консоли осуществляется только в режиме "ОТСЫПКА".

Стрела ротора представляет собой металлоконструкцию, на которой расположен ленточный конвейер стрелы и роторное колесо. Ленточный

конвейер стрелы состоит из приводной станции, состоящей из двух приводов, натяжной станции, транспортной ленты и роlikоопор. Работа конвейера стрелы возможна как в режиме "ОТСЫПКА", так и в режиме "ЭКСКАВАЦИЯ". В процессе работы ленточного конвейера стрелы, при переходе с одного яруса на другой, при экскавации или отсыпке, регулируется величина натяжения ленты, при помощи двух винтовых натяжителей натяжной станции. Роторное колесо закреплено на головной части стрелы. Диаметр ротора 8,5 м. По окружности роторного колеса закреплены 10 рабочих ковшей емкостью 0,95 м<sup>3</sup> и 10 промежуточных режущих поясов. Подъем и опускание стрелы ротора производится при помощи двух лебёдок и двух полиспастов. Скорость подъёма стрелы ротора до 4,2 м/мин. Угол подъёма стрелы от горизонта до 16°. Угол опускания стрелы от горизонта до 18°.

Узлы пересыпок роторной погрузочной машины (приемный бункер ротора, течка с ленточным конвейером консоли на ленточном конвейере стрелы и течка с ленточным конвейером стрелы на ленточном конвейере моста) оборудованы форсунками системы гидрообеспыливания, к которым по системе трубопроводов подается вода из ёмкости  $V = 5\text{ м}^3$ , расположенной на консоли. Подача воды в систему с бака осуществляется насосом ИВ 5/105. Включение насоса гидрообеспыливания производится с местного управления помощником машиниста по распоряжению машиниста роторной погрузочной машины.

## **1.5 Устройство и работа основного оборудования РПМ**

### **1.5.1 Общие сведения**

Роторная погрузочная машина комплектуется электрооборудованием, серийно выпускаемым заводами электропромышленности, поэтому соединение электрических машин с основными механизмами производится на заводе-изготовителе [2]. Точность сопряжения электродвигателей с механизмами

должна проверяться (в период монтажа и ревизии) перед пуском механизма в работу. Электроприёмники, установленные на движущихся друг относительно друга частях машины, запитаны с помощью гибких кабельных подвесок.

Ввиду того, что все основные потребители энергии машины питаются напряжением переменного тока промышленной частоты 50 Гц напряжением 380 В и 220 В, здесь установлены два силовых трансформатора:

- мощностью 1000 кВа, напряжением 6000/400 В – для питания электроприводов механизмов;
- мощностью 100 кВа, напряжением 6000/230 В – для питания осветительных приборов, обогрева, средств связи и др.

Для включения, отключения и защиты силовых трансформаторов на машине установлено комплектное устройство КРУЭПЭ-6П-400-10А, исполнения ШВМП-Ш, с допустимым током короткого замыкания 10кА (эффективное значение). Низковольтные электрические аппараты включения электроприводов дистанционного и автоматического управления, контроля и защиты смонтированы в шкафах и станциях управления одностороннего обслуживания:

- станции главных приводов;
- станции вспомогательных приводов;
- релейном шкафу;
- станции лебёдки.

Станции, шкафы управления и комплектные устройства управления установлены в закрытых вентилируемых и обогреваемых помещениях.

Выдача команд управления электроприводами механизмов, контроль за режимом работы главных электроприводов, сигнализация о состоянии и положении отдельных механизмов, автоматизация отработки заданного угла откоса и набора заданных параметров стружки выполняется при помощи комплекта аппаратуры управления роторным экскаватором АУРЭ-М. Из этого комплекта в кабине управления машиной установлены:

- колонка пульта правая КПП-3;
- колонка пульта левая КПЛ-3;
- колонка машиниста приборная КМП-3;
- шкаф управления и сигнализации ШУС-3;
- шкаф логических устройств.

Универсальный блок питания БПУ-3 из комплекта АУРЭ-М установлен в помещении высоковольтного оборудования. Комплект АУРЭ-М является опытным изделием. Для лучшего обзора места работы машина оборудована промышленной телевизионной установкой.

### **1.5.2 Электроснабжение**

Электроснабжение машины осуществляется от трёхфазной линии электропередач напряжением 6000 В, частотой 50 Гц [2]. Питающий кабель от отдельного переключательного пункта прокладывается по эстакаде к установленной на ней высоковольтной коробке ЯК-1. От коробки ЯК-1 через высоковольтное токопередающее устройство прокладывается гибким шлейфом кабель КШВГ 3х25+1х10 к установленной на портале высоковольтной коробке ЯК-2. От коробки ЯК-2 по металлоконструкциям портала и моста прокладывается кабель к высоковольтному распределительному устройству КРУЭПЭ-6П-400-10А, установленному в помещении высоковольтного оборудования. Для питания силовых токоприёмников через масляный выключатель ячейки подключен трансформатор ТСЗУ-1000 мощностью 1000 кВА, напряжением 6000/400 В, а для питания освещения, обогрева, кондиционирования, связи, сигнализации через высоковольтные предохранители подключен трансформатор ТМЭ-100, мощностью 100 кВА, напряжением 6000/400 В. На стороне напряжения 380 В защита выполняется индивидуальными автоматическими выключателями приводов. Группа

автоматов с ограниченной отключающей способностью подключена к сети 380 В через выключатель УЗ-В8 и токоограничивающий реактор L1.

Управление приводом масляного выключателя У1-В осуществляется дистанционно кнопками У12-Кн1, У12-Кн2 на «ячейке» на шкафу управления и сигнализации У12. Аварийное отключение выполняется кнопкой У9-Кн1 «Авар. стоп» на колонке пульта правой У9 и кнопками Кн1-Кн10, установленными по машине. Местное отключение выполняется кнопкой, установленной непосредственно на выключателе, механически воздействующей на привод выключателя.

Для максимальной токовой защиты силового трансформатора Т<sub>р1</sub> используются токовые реле У1-РТМ1, У1-РТМ2. Защита трансформатора цепей освещения, управления и пр. реализована с помощью предохранителей У1-ПВ. Защита измерительного трансформатора У1-ТН выполняется предохранителями У1-1ПВ. Максимальная защита низковольтных цепей управления распредустройства выполняется автоматическими выключателями У1-АВ, У1-1АВ, У1-2АВ. Для защиты сети сети ~220 В используется автоматический выключатель У4-В1. Минимальная защита сети 380 В выполняется катушкой нулевого реле У1-РНВ. Защита цепей низкого напряжения от попадания высокого напряжения при пробое изоляции трансформаторов выполняется пробивными предохранителями Рр1, Рр2, встроенными в трансформатор Тр1, Тр2.

Для защиты людей от поражения электрическим током и отключения трехфазной сети переменного тока напряжением 220 В и 380 В при снижении общего сопротивления изоляции до опасной величины, на машине установлены: устройство автоматического контроля изоляции в сети 380 В – РУ1 и реле утечки в сети 220 В – РУ2. При прикосновении человека или снижении изоляции цепей 380 В до опасной величины срабатывает устройство РУ1, включает реле Р1 релейного шкафа У4, которое замыкает свой контакт в цепи

отключающего электромагнита ЭО выключателя В распределительного устройства У1. Выключатель У1-В отключается, размыкая цепь питания трансформатора Тр1. Реле утечки РУ2 отключает сеть 220 В, воздействуя через промежуточное реле Р2 релейного шкафа У4 на отключающую катушку автомата В1 станции вспомогательных приводов У3 и нулевую катушку реле РНВ шкафа У1.

При отсутствии утечки устройство РУ2 замыкает свой контакт Р в цепи реле У4-Р2. Реле У4-Р2 включается, размыкает свой контакт в цепи расцепителя В1 автомата У3-В1 и замыкает свой контакт в цепи нулевой катушки У1-РНВ. При появлении утечки в цепи 220 В размыкается контакт Р устройства РУ2, отключается реле У4-Р2, замыкает свой контакт в цепи расцепителя У3-В1 и размыкает свой контакт в цепи катушки У1-РНВ, при этом отключается автомат В1 устройства У3 и выключатель В устройства У1.

Блокировка закрытого состояния крышки высоковольтных коробок ЯК1 и ЯК2 выполняется конечными выключателями ВК94, ВК95, воздействующими при попытке открывания крышек на отключение внешнего переключательного пункта; механическая блокировка разъединителя У1-Р с тележкой выключателя У1-В, позволяет отключить разъединитель только при выкаченной тележке и препятствует вкатыванию тележки в рабочее положение при отключенном разъединителе; механическая блокировка привода разъединителя У1-Р с боковыми крышками шкафа У1, обеспечивающими доступ в отсек силовых предохранителей, не позволяет открыть крышки включенного разъединителя при открытых боковых крышках.

### **1.5.3 Электроприводы механизмов роторного колеса**

К электроприводам механизмов роторного колеса относятся: электропривод роторного колеса, электропривод маслонасоса и электропривод тормоза [2]. Все они выполнены с применением асинхронных двигателей с



короткозамкнутым ротором. Релейно-контакторная аппаратура управления электроприводами установлена в станции главных приводов У2 и релейном шкафу У4. Включение и отключение электроприводов производится со шкафа управления и сигнализации У12. Контроль за нагрузкой двигателя привода роторного колеса осуществляется с помощью амперметра А1, установленного на станции главных приводов У2 и прибора V4, установленного на приборной колонке машиниста У11.

Работа электропривода роторного колеса возможна в двух режимах: индивидуальное включение и комплексное включение (режим копания). В режиме копания включению привода должны предшествовать включения электроприводов конвейеров, а в каждом из режимов работы включению двигателя роторного колеса должно предшествовать включение маслососа смазки редуктора.

#### **1.5.4 Электроприводы механизмов хода консоли**

К электроприводам механизмов хода консоли относятся: электроприводы хода консоли, электроприводы тормозов, электроприводы механизмов укрытий конвейеров консоли и моста, электроприводы рельсозахватов хода консоли [2].

Электроприводы хода консоли, тормозов и рельсозахватов выполнены с применением асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, электроприводы механизмов укрытий – с применением асинхронных двигателей с фазным ротором.

Электропривод хода консоли четырёх двигательный, реверсивный, режим работы – повторнократковременный. Электрогидравлические тормоза включены параллельно приводным двигателям. Электроприводы механизмов укрытий однодвигательные, неревверсивные, работают совместно с электроприводами хода консоли и конвейеров; параллельно приводным двигателям включены

двигатели вентиляторов обдува основных двигателей. В статорную и роторную цепь приводных двигателей механизмов укрытий включены дополнительные сопротивления для получения необходимых рабочих механических характеристик. Включаются эти двигатели всегда в сторону намотки, т.е. работают в режиме выбирания слабины лент укрытий: при движении консоли противовеса «вперёд» двигатели механизмов укрытий создают подтормаживающий момент в режиме противовключения, предотвращая появление слабины, что обеспечивается шунтированием части сопротивлений в роторных цепях двигателей; при движении консоли назад двигатели механизмов укрытий вращаются со скоростью, исключающей появление слабины в процессе намотки ленты. При индивидуальном включении электроприводов механизмов укрытий намотка ленты осуществляется с помощью двигателей, а размотка – посторонним механизмом.

Электроприводы рельсозахватов хода консоли однодвигательные, неререверсивные с двумя электрогидравлическими тормозами, один из которых подключен параллельно приводному двигателю и при снятии питающего напряжения создаёт подтормаживающий момент, а другой включается через отдельный пускатель и при снятии напряжения не создаёт тормозного момента. Включаются они независимо от других электроприводов хода консоли и при нормальной работе должны быть расторможены.

Электроприводы хода консоли совместно с электроприводами хода моста и лебёдки наклона роторной стрелы осуществляют подачу рабочего органа машины в забое. Пускорегулирующая аппаратура электроприводов механизмов хода консоли установлена в станции главных приводов У2 и релейном шкафу У4. Включение и отключение электроприводов производится с помощью аппаратов управления, установленных на шкафу управления и сигнализации У12, на колонке пульта правой У9, на шкафу логических устройств У13 и на релейном шкафу У4; контроль за нагрузкой двигателей хода консоли

осуществляется с помощью амперметра А2, установленного на двери станции главных приводов.

Режимы работы механизмов:

- режим копания – электропривод хода консоли включается только при работающем электроприводе роторного колеса для отработки необходимых параметров стружки в процессе копания. Электроприводы механизмов укрытий конвейеров и вентиляторы обдува при работающих конвейерах включены постоянно на намотку лент укрытия; нормальный тепловой режим двигателей механизмов укрытий, работающих в режиме «электрического тормоза», т.е. в режиме стояния, обеспечивается вентиляторами внешнего обдува этих двигателей. Рельсозахваты расторможены и не препятствуют работе приводов;

- режим отсыпки в штабель – электропривод хода консоли включается периодически для формирования штабеля. Электроприводы механизмов укрытий конвейеров и вентиляторов обдува при работающих конвейерах включены постоянно на намотку лент. Рельсозахваты расторможены и не препятствуют работе приводов хода консоли;

- режим индивидуального включения – электроприводы хода консоли включаются совместно с электроприводами механизмов укрытий конвейеров. Электроприводы механизмов укрытий конвейеров включаются с местного поста только на намотку. Электроприводы рельсозахватов включаются и отключаются с местных постов управления.

Выбор режимов управления осуществляется установкой переключателя У9-ВУ1 «режим работы» в одно из следующих положений: при режиме копания – в положение «экскавация», при режиме отсыпки в штабель – в положение «отсыпка», при индивидуальном режиме – в положение «подача» или «0»; переключатель У4-ВУ1 устанавливается в положение «работа» или «опробование». Взаимодействие аппаратов в схемах управления

электроприводов хода консоли и механизмов укрытия конвейеров аналогичны для всех режимов.

### **1.5.5 Электроприводы механизмов хода моста**

К электроприводам механизмов хода моста относятся электроприводы хода моста, электроприводы тормозов, электроприводы вентиляторов ходовых двигателей и электроприводы рельсозахватов хода моста [2]. Привод хода моста выполнен с применением шести двигателей постоянного тока закрытого обдуваемого исполнения. Питание якорных цепей и цепей возбуждения приводных двигателей осуществляется от двух тиристорных агрегатов серии АТРК. К каждому агрегату подключаются по три двигателя и по три обмотки возбуждения, соединённых параллельно. Для согласования механических характеристик двигателей в рабочей зоне в якорную цепь каждого двигателя включены подстроечные элементы сопротивлений R3.1, R3.2, R3.3, R4.1, R4.2, R4.3, R5.1, R5.2, R5.3, R6.1, R6.2, R6.3. Работа электроприводов рельсозахватов происходит аналогично рельсозахватам хода консоли.

Пускорегулирующая аппаратура управления электроприводами механизмов хода моста установлена в шкафах тиристорных агрегатов У6, У7 и станции управления У4. Включение и отключение электроприводов производится со шкафа управления и сигнализации У12, колонки пульта правой У9, шкафа логических устройств У13 и релейного шкафа У4. Контроль за нагрузкой агрегатов осуществляется с помощью амперметров РА1, установленных на дверях тиристорных агрегатов У6, У7 и амперметра А3, установленного на приборной колонке машиниста У11. Контроль за нагрузкой двигателей осуществляется с помощью амперметров А1 – А6, установленных на релейном шкафу У4. Включение электроприводов может производиться в

сблокированном и несблокированном режиме. Режим включения выбирается переключателем У9-ВУ1 «режим работы» и имеет три режима:

- «экскавация» - электропривод хода моста можно включить только при включенном электроприводе роторного колеса;
- «отсыпка» - электропривод хода моста включается без блокировки с другими приводами;
- «подача» - электропривод хода моста включается без блокировки с другими приводами.

Тиристорные агрегаты в функциональном отношении имеют в своём составе два преобразователя:

- преобразователь для якорной цепи;
- регулируемый источник возбуждения – РИВ.

Силовые части преобразователя подключаются к питающей сети автоматическими выключателями У6-Ф1 и У7-Ф1 через токоограничивающие реакторы. На выходе преобразователя установлены автоматические выключатели постоянного тока У6-Ф4 и У7-Ф4.

Преобразователи состоят из двух симметричных трёхфазных мостов на тиристорах с естественным воздушным охлаждением, включенных по встречно-параллельной схеме. Система управления и регулирования содержит следующие функциональные узлы:

- задатчик интенсивности ЗИ;
- регулятор скорости РС;
- датчик напряжения ДН;
- система регулирования тока СРТ;
- логическое переключающее устройство ЛПУ;
- датчик нулевого тока ДНТ;
- система импульсно-фазового управления СИФУ;

Агрегаты обеспечивают разгон и торможение двигателей в функции времени с помощью задатчика интенсивности ЗИ, который преобразовывает скачкообразный сигнал от командоаппарата в сигнал с плавным изменением величины напряжения. Полное время интегрирования можно изменить методом перестройки от 1 с до 14 с. Задатчик интенсивности агрегата У6 используется для сигнала задания положительной полярности, а задатчик интенсивности агрегата У7 – для сигнала задания противоположной полярности. Для предотвращения одновременной работы задатчиков интенсивности обоих агрегатов при быстром переводе рукоятки из одного крайнего положения в другое, в схему питания командоаппарата КА1 вводят контакты ввели реле времени У4-РВ3 и У4-РВ4. Для согласования полярности сигнала задания, поступающего на вход ЗИ и полярности сигнала обратной связи по скорости, поступающего на вход регулятора скорости РС, последовательно с этими сигналами соответственно введены диоды Д9 – Д12, а на входе задатчика интенсивности – диоды Д25, Д26.

Система импульсно-фазового управления предназначена для генерирования управляющих импульсов и осуществления их фазового сдвига в зависимости от величины управляющего сигнала на её входе. Управление тиристорными группами отдельное от одной системы импульсно-фазового управления. Переключение тиристорных групп производится логическим переключающим устройством ЛПУ.

Источником управляющего напряжения для СИФУ является система автоматического регулирования, состоящая из регулятора скорости и регулятора тока. Система регулирования предназначена для осуществления автоматического регулирования электроприводов, обеспечения устойчивости работы во всех режимах. В её состав входит контур скорости с использованием отрицательной обратной связи через датчик напряжения ДН с гальванической развязкой и контур тока СРТ.

В зоне рабочих токов применена гибкая обратная связь по току. Жёсткая обратная связь применена в зоне токовой отсечки. Применение жесткой обратной связи по току позволяет применить экскаваторные характеристики с высоким коэффициентом заполнения. Применение гибкой обратной связи в контуре тока позволяет предотвратить возникновение автоколебаний тока (форма тока определяется только характером нагрузки), и это не оказывает влияния на стабилизирующие естественные свойства электродвигателей благодаря наличию в нём противоЭДС. Таким образом в данной системе используется естественная жёсткость механической характеристики электродвигателей и задачей регулятора скорости является её повышение (а не формирование вновь), что позволяет существенно упростить регулятор скорости.

Регулятор скорости представляет собой реверсивный суммирующий усилитель на интегральных дифференциальных усилителях и состоит из двух каскадов: прямого усилителя и инверсного. Переключение с одного на другой производится логическим переключающим устройством ЛПУ, которое осуществляет переключение тиристорных групп при реверсе, реверсирование суммирующего усилителя и специальным воздействием на регулятор тока осуществляет приведение системы регулирования к единым начальным условиям при реверсе тока. На входы логического переключающего устройства поступает сигнал с выхода прямого усилителя регулятора скорости и сигнал запрета от датчика нулевого тока ДНТ.

Регулятор тока РТ представляет собой нелинейный адаптивный регулятор с переменной структурой. Регулятор тока выполняет следующие функции:

- пропорционально-интегрального регулятора;
- быстродействующего ограничителя тока на уровне заданной величины при набросах нагрузки с любой скоростью вплоть до ударной (наложение тормоза);

- быстрый отвод импульсов при полном снятии сигнала на входе РТ на угол, пропорциональный величине входного сигнала;

- адаптивного регулятора тока, обеспечивающего работу привода как в режиме непрерывного, так и к режиму прерывистого тока;

- специальное управление при реверсе тока заключается в том, что с целью сокращения времени реверса тока, управляющие импульсы, отведённые в область максимальных углов регулирования в период переключения тиристорных групп, выводятся ускоренно до появления минимального тока в силовой цепи.

Если в контуре тока в зоне рабочих токов действует только гибкая обратная связь, то сам рабочий ток оказывает непосредственное влияние на изменение структуры регулятора тока, придавая ему свойства самоприспосабливающегося устройства. Правильно настроенный регулятор тока обеспечивает устойчивую работу привода и оптимальные переходные процессы при любых изменениях задания, любых возмущениях со стороны нагрузки (включая и ударное приложение нагрузки), реверсированиях тока и скорости во всём диапазоне скоростей и нагрузок.

Регулируемый источник возбуждения (РИВ) представляет собой однофазный несимметричный мост, подключенный к сети через токоограничивающие реакторы R13 – R16 и автоматический выключатель F5. Система управления РИВ состоит из суммирующего усилителя СУВ и СИФУ. Регулируемый источник возбуждения работает в режиме обеспечения заданного постоянного потока возбуждения.

В схеме управления предусмотрены узлы задания скорости привода хода, контроля скорости, обратной связи по производительности машины и контроля баланса нагрузки. Узел задания скорости состоит из сигнального командоаппарата У9-КА1 и фазочувствительного устройства, состоящего из трансформатора Тр1, выпрямителя У9-Д1 – Д4, сопротивлений У9-Р1, У9-Р5 и



конденсатора У9-С3. Фазочувствительное устройство предназначено для преобразования переменного напряжения сигнала сельсина в постоянное, полярность которого определяется сдвигом фаз между напряжением сигнала сельсина и коммутирующим напряжением трансформатора. Работа фазочувствительного устройства основана на однополупериодном выпрямлении выходного напряжения сельсина диодами У9-Д1 – У9-Д4 и изменении фазы этого напряжения относительно напряжения вторичной обмотки трансформатора. При полярности этого напряжения, соответствующей прямому включению диодов, через них протекает ток, величина которого ограничена сопротивлением У9-Р5. При этом диоды У9-Д1 – У9-Д4 открыты. При обратной полярности напряжения диоды закрыты и ток через них не протекает. В интервале времени, когда диоды открыты, через сопротивление нагрузки протекает ток, величина и направление которого зависят от величины и полярности напряжения вторичной обмотки сельсина. Полярность и величина напряжения вторичной обмотки сельсина, в свою очередь, зависят от положения ротора сельсина относительно «нулевого положения». Конденсатор У9-С3 служит для сглаживания пульсаций выходного напряжения фазочувствительного устройства.

Дополнительно к узлам тиристорных агрегатов, обеспечивающих повышение жёсткости внешней характеристики, непосредственно самих преобразователей, в схеме управления предусмотрен узел контроля скорости привода, состоящий из указателя скорости и схемы жёсткой отрицательной обратной связи по скорости привода, обеспечивающей повышение жёсткости механических характеристик электропривода. Указатель скорости состоит из тахогенератора ТГ, выпрямительного моста У11-ВД2, сопротивлений У11-Р3, У4-Р2, У4-Р14 и индикатора У 11-В2. Сопротивления У11-Р2 и У11-Р4 служат для согласования выхода тахогенератора с выходом регулятора скорости тиристорных агрегатов. Сигналы противоположной полярности от задатчика

интенсивности и узла контроля скорости подаются на входы регулятора скорости.

Узел обратной связи по производительности выполнен в двух вариантах:

- весовая производительность машины измеряется специальным устройством, и сигнал, пропорциональный этой производительности, подаётся на вход магнитного усилителя МУ;

- производительность машины измеряется косвенно по току нагрузки двигателя конвейера моста и соответствующий сигнал подаётся на магнитный усилитель МУ.

В схему управления включается обратная связь по одному из вариантов. Выбор варианта производится тумблером У4-ВУ2. Обратная связь по производительности предназначена для ограничения производительности машины на требуемом уровне и действует на снижение скорости привода хода моста. При производительности машины, превышающей номинальную, уменьшается скорость привода хода, т.к. сигнал по производительности вычитывается из сигнала задания, и при производительности машины равной 1,3 номинальной привод хода должен остановиться.

В качестве весоизмерительного устройства используется весовая платформа, воздействующая на датчик усилия. Датчик усилия состоит из корпуса, упругого кольца, деформация которого пропорциональна величине действующего на него усилия, потенциометрического преобразователя, преобразующего деформацию кольца в пропорциональную величину электрического сигнала, деталей, с помощью которых усилие, воспринимаемое датчиком, передаётся упругому кольцу. Зависимость величины электрического сигнала от усилия линейная. Сигнал с датчика усилия, пропорциональный производительности, подаётся на показывающий прибор У11-В5, установленный на приборной колонке и через сопротивление У4-Р5, У9-Р11 на

обмотку 3н-3к магнитного усилителя МУ. Сигнал на выходе усилителя появляется при производительности превышающей номинальную.

При контроле производительности по току нагрузки двигателя конвейера моста соответствующий сигнал снимается с трансформатора тока и через диоды У4-Д13 – Д16 и сопротивления У4-Р6, У4-Р12 подаётся на обмотку 4н-4к усилителя МУ.

Узел контроля баланса нагрузки предназначен для контроля за равномерной нагрузкой тиристорных агрегатов и выполнен на базе прибора электроизмерительного контактного М333К с трёхпозиционным контактным устройством. Обозначается У4-МА.

При равномерной загрузке приводных электродвигателей хода моста М15 – М21 тиристорные агрегаты загружены равномерно, стрелка прибора У4-МА находится в нулевом положении и контакты К1, К2 замкнуты. При изменении нагрузки одного из агрегатов (обрыв якорной цепи приводного двигателя, перегрузка одного из двигателей и т.п.) появляется ток разбаланса, один из контактов размыкается и загорается сигнальная лампа У11-ЛС19 «разбаланс нагрузки» на приборной колонке.

Регулирование скорости привода хода моста производится изменением напряжения на якорных зажимах двигателей. Для улучшения теплоотдачи при малой частоте вращения двигателя снабжены вентиляторами принудительного обдува, которые устанавливаются непосредственно на них. Двигатели вентиляторов включаются при установке переключателя У9-ВУ1 «режим работы» в одно из положений: «экскавация», «отсыпка» либо «подача» и работают длительно.

Включение привода хода моста производится переводом ручки командоаппарата У9-КА1 в положение «влево» или «вправо», при этом включаются реле У4-Р6 либо У4-Р7 и соответственно реле У4-РВ3 и У4-РВ4. Реле У4-Р6 либо У4-Р7 производят переключения в схеме автоматических

устройств, а реле У4-РВ3 либо У4-РВ4 включает привод тормоза, механизм хода растормаживается и размыкает свой контакт в цепи питания командоаппарата У9-КА1. Величина скорости хода моста задаётся углом поворота ручки командоаппарата У9-КА1. Переключатель У9-ВП1 должен находиться в одном из крайних положений.

Отключение привода хода осуществляется либо установкой ручки командоаппарата У9-КА1 в положение «0» (при работе в ручном режиме и установке переключателя У13-В5 в положение «индикат»), либо размыканием контакта реле У13-Р1 (при работе с автоматическими устройствами и установке переключателя У13-В5 в положение «автом»). Тормоза накладываются с выдержкой времени, определяемой реле У4-РВ3 либо У4-РВ4. При отключении контактора У4-КЛ11 и затормаживании привода происходит снятие импульсов с систем импульсно-фазового управления агрегатов У6 и У7.

Максимальная защита и защита от длительных перегрузок электродвигателей и максимальная защита цепей управления осуществляются комбинированными расцепителями автоматов У6-QF1, У6-QF4, У6-QF5, У7-QF1, У7-QF4, У7-QF5, У4-В6, У4-В7 и тепловыми реле У4-РТ9 – У4-РТ14. Нулевая блокировка, предотвращающая самопроизвольный запуск двигателей после исчезновения и восстановления напряжения либо после срабатывания одной из защит, осуществляется параллельно включенными контактами У9-КА1 и У4-Р5. Блокировки предотвращают включение реле защиты У4-Р5 при не взведённых тепловых реле (контакты У4-РТ9 – У4-РТ14), при обрыве цепей возбуждения приводных двигателей (контакты У4-РМ1, У4-РМ2), при отключенных автоматах силовых цепей (контакты У6-Ф1, У6-Ф4, У7-Ф1, У7-Ф4, У4-В6), при не взведённых рельсозахватах (контакты У4-КЛ14, У4-КЛ16), при установке переключателя У4-ВУ1 в положение «опроб», при обрыве цепей включения вентиляторов приводных двигателей (контакт У4-КЛ12), при не включенном электроприводе электроприводе роторного колеса (контакт У4-Р3),

запрещают включение привода хода моста при скорости ветра, превышающей допустимую величину (замыкающий контакт У35-Р2 в цепях управления рельсозахватами и контакты У4-КЛ14, У4-КЛ16 в цепи реле У4-Р5). Ограничение углов поворота машины в зоне рабочего сектора осуществляется с помощью выключателей ВК8 – ВК11. Контроль превышения допустимой величины бокового усилия привода хода осуществляется с помощью выключателей ВК14, ВК15, ВК56, ВК59. Контроль верхнего положения клинов рельсозахватов осуществляется с помощью выключателей ВК12, ВК13. Загрузка тиристорных агрегатов контролируется по амперметрам У6-РА1, У7-РА1 и У11-А3. Загрузка двигателей хода контролируется по амперметрам У4-А1 – У4-А6.

При нахождении клина рельсозахватов в нижнем положении горит лампа У11-ЛС18 «захваты моста», в предельных углах поворота при срабатывании выключателей ВК8 – ВК11 загорается лампа У11-ЛС13 «схождение стрел», при превышении допустимой величины бокового усилия копания при срабатывании выключателей ВК14, ВК15, ВК56, ВК59 загорается лампа У11-ЛС20 «боковое усилие».

### **1.5.6 Электроприводы механизмов лебёдки роторной стрелы**

Привод лебёдки роторной стрелы выполнен с применением двух двигателей постоянного тока, соединённых последовательно. Питание якорных цепей и цепей возбуждения приводных двигателей осуществляется от тиристорного агрегата [2]. Пускорегулирующая аппаратура управления электроприводов лебёдки роторной стрелы установлена в тиристорном агрегате У8 и станции лебёдки У5. Включение и отключение электроприводов производится с левой колонки пульта У10. Контроль за нагрузкой двигателей и скоростью опускания стрелы осуществляется с помощью приборов,

установленных на тиристорном агрегате У8 и приборной колонке машиниста У11.

### **1.5.7 Электроприводы механизмов транспортной линии**

К электроприводам механизмов транспортной линии относятся [2]:

- электроприводы роторного конвейера, тормозов и щёток очистки ленты;
- электроприводы консоли, тормоза и щёток очистки ленты;
- электроприводы конвейера моста, тормоза и щёток очистки ленты;
- электропривод стенки бункера роторного конвейера;
- электропривод стенки течи роторного конвейера;
- электропривод центрирующего устройства.

Электроприводы механизмов транспортной линии выполнены с применением асинхронных двигателей переменного тока с короткозамкнутым ротором. Электроприводы роторного конвейера, стенки бункера, стенки течи и центрирующего устройства роторного конвейера реверсивные, остальные нереверсивные. Пускорегулирующая аппаратура управления электроприводами механизмов транспортной линии установлена частично в станции главных приводов У2, частично в релейном шкафу У4 и станции лебёдки У5. Включение и отключение электроприводов производится с правой колонки пульта У9, шкафа управления и сигнализации У12 и местных постов управления.

Электроприводы тормозов и щёток очистки ленты включаются при включении приводных двигателей соответствующих конвейеров. Электроприводы стенки бункера, стенки течи и центрирующего устройства роторного конвейера включаются перед включением электроприводов конвейеров, перемещаясь в положение, соответствующее технологическому режиму работы машины. Она может работать в режиме отсыпки угля на склад (режим «отсыпка») и в режиме забора угля со склада (режим «экскавация»). В

зависимости от режима работы электроприводы механизмов транспортной линии включаются в определённой последовательности и с определённым направлением вращения (последнее касается только роторного конвейера), при этом переключатель У9-ВУ1 «режим работы», определяющий режимы включения электроприводов, устанавливается в положение «отсыпка» либо «экскавация».

## **1.6 Обоснование необходимости модернизации электроприводов.**

### **Требования к системе электроприводов**

Тиристорный преобразователь серии АТРК160/460, питающий электродвигатели хода моста, является устаревшей моделью тиристорных выпрямителей. Потери энергии в нём составляет около 10% от общего количества преобразуемой энергии. Для обслуживания его необходим персонал с высокой инженерно-технической подготовкой. Большие габаритные размеры и большой вес усложняют ремонтные и монтажные работы. Регулирование скорости происходит в малом диапазоне. К сожалению недостатками даже современных тиристорных выпрямителей являются пульсации выпрямленного напряжения и тока на выходе, особенно при регулировании скорости, повышающие нагрев и ухудшающие коммутацию двигателя, что требует установки сглаживающих реакторов, при глубоком регулировании напряжения сильно падает коэффициент мощности, что требует разработки и установки специальных компенсирующих устройств, и при работе тиристорного преобразователя искажается форма напряжения в сети переменного тока и возникают помехи. Большая стоимость системы «двигатель постоянного тока-тиристорный преобразователь» так же является значимым недостатком, что нельзя сказать про систему «частотный преобразователь-асинхронный двигатель».

На приводных тележках хода моста установлены двигатель постоянного тока серии 2ПО-200ЛГ. В отличие от асинхронного двигателя серьёзные недостатки его заключаются в очень высокой стоимости и низкой надёжности, обусловленной наличием в нём щёточно-коллекторного узла, который к тому же является источником пожароопасности из-за переходных процессов, происходящих в обмотках ротора, приводящих к искрению на коллекторе, а также в необходимости частого профилактического обслуживания и ограниченном сроке эксплуатации из-за износа коллектора. Поэтому асинхронный двигатель лучше подойдёт для приведения вала редуктора хода моста.

Двигатели должны разогнать тележки хода моста до максимальной скорости 15 м/мин. Номинальное напряжение двигателя 380 В, режим работы S1, тип защиты минимум IP54 взрывозащищённый и должно быть встроено тепловое реле.

Система управления должна обеспечить регулировку разгона привода в пределах от 1 до 14 секунд, а так же осуществлять плавное замедление пропорциональное превышению производительности от 1 до 1,3 номинальной до полной остановки по линейной зависимости. Также по мере того, как импульс, посылаемый весоизмерительным прибором конвейера стрелы, уменьшится, система управления должна разогнать двигатель до необходимых оборотов за установленное время. Тип защиты должен быть минимум IP21. Питающее напряжение трёхфазное частотой 50 Гц линейным напряжением 380 В с изолированной нейтралью.



## 2 Выбор двигателя и преобразовательного агрегата

### 2.1 Определение момента статического сопротивления механизма, приведённого к валу двигателя, и скорости его вращения в рабочем режиме

На рисунке 2.1 схематично изображена роторная погрузочная машина. Для определения силы давления моста на тележки найдём реакцию опоры  $R_A$ , возникающую в месте соприкосновения колёс с рельсом (рисунок 2.2). Для расчета нагрузки заменим механизмы действием сил, построим расчетную модель, заменив сразу распределённые нагрузки силами  $F_1, F_2$ .

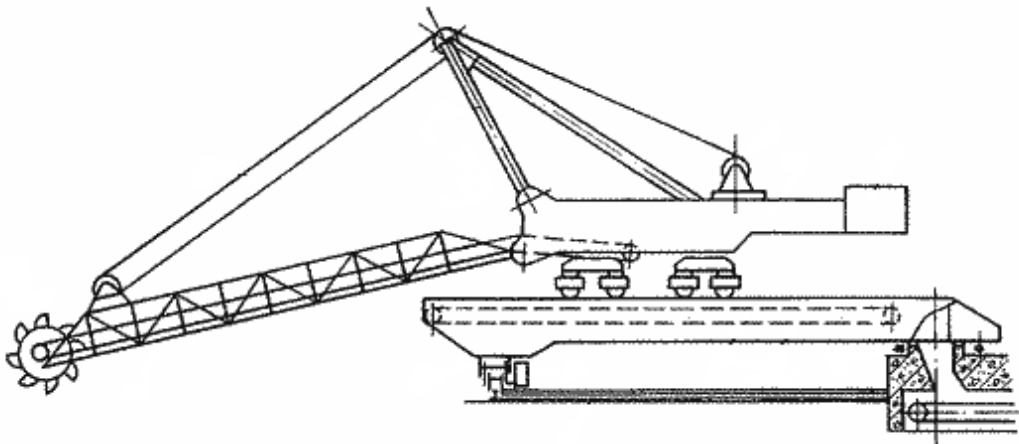


Рисунок 2.1 – Роторная погрузочная машина

На рисунке 2.2 изображена расчётная модель роторной погрузочной машины с действующими на неё силами. Поскольку в массу консоли-противовеса  $m_k$  входит масса стрелы и каждый их конвейер загружен номинальной массой угля  $m_y$ , силу давления консоли-противовеса определим по формуле

$$F_1 = (m_k + m_y + m_y) \cdot g, \quad (2.1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения Земли. Массы консоли-противовеса  $m_k$  и угля  $m_y$  даны в задании.

$$F_1 = (500000 + 600 + 600) \cdot 9.8 = 4911760 \text{ Н.}$$

Силу давления моста с учётом номинального веса угля, находящегося на его конвейере определим по формуле

$$F_2 = (m_m + m_y) \cdot g, \quad (2.2)$$

где  $g$  – то же, что и в формуле (2.1). Массы моста  $m_k$  и угля  $m_y$  даны в задании.

$$F_2 = (1000000 + 600) \cdot 9,8 = 9805880 \text{ Н.}$$

Чтобы найти  $R_A$  воспользуемся уравнением равновесия

$$\sum M_B = 0; R_A \cdot L_1 - F_1 \cdot L_2 - F_2 \cdot L_3 = 0, \quad (2.3)$$

где  $L_1=100$  м – расстояние от рельсы до поворотной оси;

$L_2=100-30/2=85$  м – среднее расстояние действия силы давления консоли;

$L_3=120/2=60$  м – среднее расстояние действия силы давления моста.

Расстояния  $L_1, L_2, L_3$  даны в задании

$$R_A = \frac{4911760 \cdot 85 + 9805880 \cdot 60}{100} = 10058524 \text{ Н.}$$

Реакция опоры, возникающая на рельсе равна силе давления всей машины на тележки  $R_A = G_M = 10058524$  Н. Вся конструкция опирается на тележки. Сила давит на каждую тележку одинаково и поэтому сила, приходящаяся на одно колесо

$$G_k = \frac{G_M}{n_m n_{к.м.}}, \quad (2.4)$$

где  $n_m$  – количество тележек,

$n_{к.м.}$  – количество колёс на одной тележке.

$$G_k = \frac{11283524}{10 \cdot 2} = 502926,2 \text{ Н.}$$

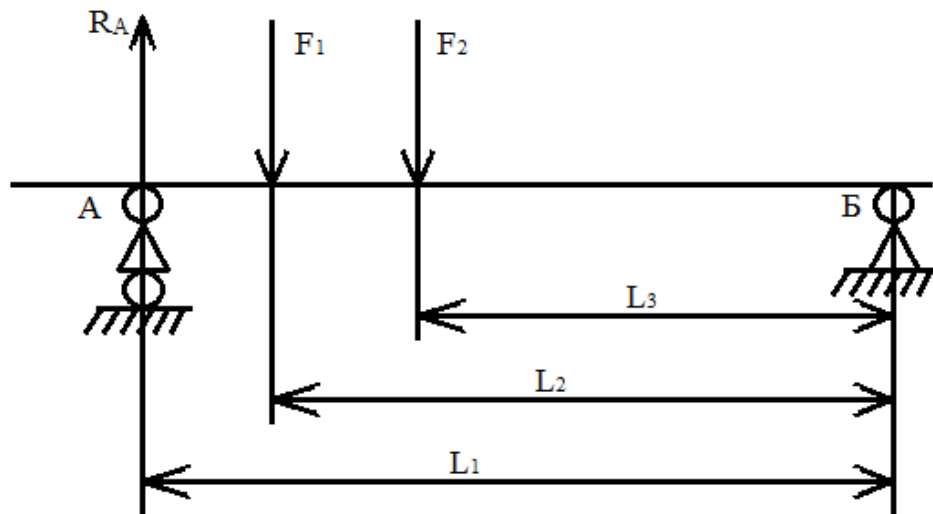


Рисунок 2.2 – Расчётная модель роторной погрузочной машины

Далее используя литературу [3] рассчитываем силы сопротивления движению электропривода.

Момент сопротивления тележки с приводными колёсами определяется силами, обусловленными трением в её ходовых частях. При качении колёс, нагруженных силами веса механизма  $G_k$ , в двух подшипниках колеса тележки возникает сила трения качения  $\mu_c G_k$ , которая создаёт момент качения, определяемый по формуле [3]

$$M_{mp1} = \mu_c G_k \frac{d_u}{2}, \quad (2.5)$$

где  $\mu_c$  – коэффициент скольжения подшипника качения;

$d_u$  – диаметр цапфы (участка вала, опирающегося на подшипник) колеса.

Для расчёта  $M_{mp1}$  коэффициент  $\mu_c$  дан в литературе [3], а диаметр  $d_u$  в задании.

$$M_{mp1} = 0,11 \cdot 502926,2 \cdot \frac{0,15}{2} = 4150 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Кроме того, в зоне контакта колеса с рельсом имеет место упругая деформация и происходит смещение точки приложения реактивной силы  $G_k$  в сторону вращения колеса, в результате чего возникает момент сопротивления от трения качения, который определяется по формуле [3]

$$M_{mp2} = G_k f_k, \quad (2.6)$$

где  $f_k$  – плечо реактивной силы или коэффициент трения качения [3].

Для расчёта  $M_{mp2}$  значение  $f_k$  приведено в литературе [3].

$$M_{mp2} = 502926,2 \cdot 0,0011 = 553 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Трение на торцевых поверхностях колёс включает в себя трение реборд колёс о рельсы и трение от поперечного скольжения колёс по рельсам. Эти виды трения теоретически определить затруднительно, поэтому они учитываются на основе экспериментальных данных увеличением моментов сопротивления  $M_{тр1}$  и  $M_{тр2}$  пропорционально коэффициенту  $k_p$ , значение которого приведено в литературе [3]. Момент сил трения относительно оси колеса определяем по формуле [3]

$$M_{тр.к} = k_p (M_{тр1} + M_{тр2}) \quad (2.7)$$

$$M_{тр.к} = 2 \cdot (4150 + 553) = 9407 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Суммарный момент от десяти тележек, Н·м

$$M_{общ} = M_{тр.к} n_m n_{к.т.}, \quad (2.8)$$

где  $n_m$ ,  $n_{к.т.}$  – то же, что и в формуле (2.2).

$$M_{общ} = 9407 \cdot 10 \cdot 2 = 188140 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Поскольку приводных тележек  $n_{н.т.}=6$  штук, то для преодоления суммарного момента от десяти тележек  $M_{общ}$  каждая приводная тележка должна преодолеть момент приведённый к валу двигателя, который рассчитываем по формуле

$$M_{пр} = \frac{M_{общ}}{n_{н.т.} \cdot i_p}, \quad (2.9)$$

где  $i_p$  – передаточное число редуктора.

Для расчёта  $M_{np}$  значение  $i_p$  дано в задании.

$$M_{np} = \frac{188140}{6 \cdot 314} = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Скорость вращения вала двигателя определяем по формуле

$$\omega_{\partial} = \frac{2V_m i_p}{D_k 60}, \quad (2.10)$$

где  $V_m$  – скорость тележек хода моста;

$D_k$  – диаметр колеса

Для расчёта  $\omega_{\partial}$  значение  $V_m$  приведено в пункте 1.6, а  $D_k$  дано в задании.

$$\omega_{\partial} = \frac{2 \cdot 15}{1 \cdot 60} = 157 \text{ с}^{-1}.$$

## 2.2 Расчёт мощности и выбор электродвигателя хода моста

Расчётную мощность двигателя определяем по формуле

$$P_p = M_{np} \omega_{\partial}, \quad (2.11)$$

где  $\omega_{\partial}$  – угловая скорость вала двигателя (2.8);

$M_{np}$  – момент, приведённый к валу двигателя (2.7).

$$P_p = 100 \cdot 157 = 15700 \text{ Вт}.$$

Из справочника [5] выбираем двигатель типа АИР160М4. Данные для расчёта двигателя из справочника [5] приведены в таблице 2.1.

Номинальный фазный ток статора определим по формуле

$$I_{нс} = \frac{P_{\delta}}{\sqrt{3}U_c \eta_{\delta} \cos \varphi}, \quad (2.12)$$

где  $U_c$  – напряжение статора.

Таблица – 2.1 Параметры двигателя

Параметр двигателя	Численное значение
Активная мощность $P_{\delta}$ , кВт	18,5
Максимальная скорость вращения вала $n$ , об/мин	1500
Номинальное скольжение $s_n$ , о.е.	0,0267
Номинальный момент $M_n$ , Н·м	118
КПД $\eta_{\delta}$	0,9
Момент инерции ротора $J_{\delta}$ , кг·м <sup>2</sup>	0,065
Коэффициент мощности $\cos \varphi$	0,88
Кратность пускового тока $I_n/I_n$	7
Кратность пускового момента $M_n/M_n$	1,1
Кратность максимального момента $M_{max}/M_n$	2,7
Главное индуктивное сопротивление $X_{\mu}$ , о.е.	4,3
Активное сопротивление статора $R_1$ , о.е.	0,042
Индуктивное сопротивление рассеяния статора $X_1$ , о.е.	0,085
Приведённое к обмотке статора активное сопротивление ротора $R'_2$ , о.е.	0,024
Приведённое к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния ротора $X'_2$	0,13

Расчёт  $I_{нс}$  выполняем с использованием таблицы 2.1 для определения коэффициентов  $\eta_{\delta}$ ,  $\cos \varphi$ , а  $U_c$  приведено в пункте 1.6.

$$I_{нс} = \frac{18500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,895 \cdot 0,88} = 36 \text{ А.}$$

Главное индуктивное сопротивление определяем по формуле

$$x_{\mu} = \frac{X_{\mu} U_{\phi c}}{I_{нс}}, \quad (2.13)$$

где  $U_{\phi c}$  – фазное напряжение статора,

$I_{нс}$  – номинальный ток статора (2.12).

Расчёт  $x_{\mu}$  выполняют с использованием таблицы 2.1 для определения значения  $X_{\mu}$ .

$$x_{\mu} = \frac{4,3 \cdot 220}{36} = 26,278 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление обмотки статора определяем по формуле

$$r_1 = \frac{R_1 U_{\phi c}}{I_{нс}}, \quad (2.14)$$

где  $I_{нс}$ ,  $U_c$  – то же, что и в формуле (2.11).

Расчёт  $r_1$  выполняют с использованием таблицы 2.1 для определения значения  $R_1$ .

$$r_1 = \frac{0,042 \cdot 220}{36} = 0,257 \text{ Ом.}$$



Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора определим по формуле

$$x_1 = \frac{X_1 U_{\phi c}}{I_{нс}}, \quad (2.15)$$

где  $I_{нс}$ ,  $U_c$  – то же, что и в формуле (2.13).

Расчёт  $x_1$  выполняют с использованием таблицы 2.1 для определения значения  $X_1$ .

$$x_1 = \frac{0,085 \cdot 220}{36} = 0,519 \text{ Ом.}$$

Приведённое активное сопротивление ротора определяем по формуле

$$r'_2 = \frac{R'_2 U_{\phi c}}{I_{нс}}, \quad (2.16)$$

где  $I_{нс}$ ,  $U_c$  – то же, что и в формуле (2.13).

Расчёт  $r'_2$  выполняют с использованием таблицы 2.1 для определения значения  $R'_2$ .

$$r'_2 = \frac{0,024 \cdot 220}{36} = 0,147 \text{ Ом.}$$

Приведённое индуктивное сопротивление рассеяния ротора определяем по формуле

$$x'_2 = \frac{X'_2 U_{\phi c}}{I_{nc}}, \quad (2.17)$$

где  $I_{nc}$ ,  $U_c$  – то же, что и в формуле (2.13).

Расчёт  $x'_2$  выполняют с использованием таблицы 2.1 для определения значения  $X'_2$ .

$$x'_2 = \frac{0,13 \cdot 220}{36} = 0,794 \text{ Ом.}$$

Угловую скорость напряжения питающей сети определим по формуле

$$\omega_{0эл} = 2\pi f, \quad (2.18)$$

где  $f$  - частота питающей сети (дана в задании).

$$\omega_{0эл} = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1}.$$

Полную индуктивность от потоков рассеяния статора  $L_1$  и ротора  $L_2$  определяем по формуле

$$L_1 = \frac{x_1 + x_\mu}{\omega_{0эл}}, \quad (2.19)$$

$$L_2 = \frac{x'_2 + x_\mu}{\omega_{0эл}}, \quad (2.20)$$

где  $\omega_{0эл}$  – угловая скорость напряжения питающей сети (2.18).

$x_1$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора (2.15);

$x'_2$  – приведённое индуктивное сопротивление рассеяния ротора(2.17);

$x_\mu$  – главное индуктивное сопротивление (2.13).

$$L_1 = \frac{0,519 + 26,278}{314} = 0,0853 \text{ Гн},$$

$$L_2 = \frac{0,794 + 26,278}{314} = 0,0862 \text{ Гн}.$$

Взаимная индуктивность статора и ротора, Гн

$$L_{12} = \frac{x_\mu}{\omega_{0эл}}, \quad (2.21)$$

где  $x_\mu$ ,  $\omega_{0эл}$  – то же, что и в (2.19)

$$L_{12} = \frac{26,278}{314} = 0,0837 \text{ Гн}.$$

### 2.3 Выбор преобразователя частоты

Мощность силового преобразователя должна быть минимум определяемой по формуле

$$P_{np} = \frac{P_\delta n_{n.m.}}{\eta_d \cos\varphi}, \quad (2.22)$$

где  $P_\delta$ ,  $\eta$ ,  $\cos\varphi$  – то же, что и в (2.12);

$n_{n.m.}$  – то же, что и в (2.9).

$$P_{np} = \frac{18500 \cdot 6}{0,9 \cdot 0,88} = 140200 \text{ Вт.}$$

Применяем частотный преобразователь ВЕСПЕР серии EI-9011-200H 160 КВТ 302А P00059 в металлическом корпусе. Данные преобразователя приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические данные преобразователя

Параметр	Числовое значение
Активная мощность $P_{np}$ , кВт	160
Полная мощность $S_{np}$ , кВА	200
Диапазон управления по частоте $f_{np}$ , Гц	0,1-400
Номинальный ток $I_{н. np}$ , А	302
Входное напряжение $U_{н. вх}$ 3ф, В	380-460
Выходное напряжение $U_{н. вых}$ 3ф, В	380-460
Защитные функции	Защита двигателя от перегрузки/Мгновенная перегрузка по току/Перегрузка/Перегрузка по напряжению/Недостаточное напряжение/Кратковременное отключение питания/Перегрев радиатора-теплоотвода/Предотвращение срыва вращения/Защита от токов утечки/Индикация заряда шины
Температура окружающей среды, °С	От -10 до +45

### 3 Анализ рабочих и пусковых режимов электропривода. Оценка их соответствия требованиям

#### 3.1 Определение суммарного момента инерции, приведенного к валу двигателя

Момент инерции создаваемый колесами определим по формуле

$$J_{\kappa} = \frac{n_m n_{\kappa.m.} m_{\kappa} D_{\kappa}^2}{8}, \quad (3.1)$$

где  $D_{\kappa}$  – то же, что и в (2.10);

$n_m, n_{\kappa.m.}$  – то же, что и в (2.4);

$m_{\kappa}$  – масса колеса тележки (дано в задании).

$$J_{\kappa} = \frac{10 \cdot 2 \cdot 245 \cdot 1^2}{8} = 612,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Суммарный момент инерции, приведённый к валу двигателя определяем по формуле [4]

$$J_{\text{сум}} = \frac{m_m D_{\kappa}^2 + J_{\kappa}}{i_p^2 n_{n.m.} n_{\kappa.m.}} + J_{\text{дв}}, \quad (3.2)$$

где  $m_m$  – масса всей машины;

$D_{\kappa}, i_p$  – то же, что и в (2.10);

$J_{\kappa}$  – момент инерции, создаваемый колёсами(3.1);

$J_{\text{дв}}$  – момент инерции вала двигателя (таблица 2.1);

$n_{n.m.}$  – то же, что и в (2.9);

$n_{\kappa.m.}$  – то же, что и в формуле (2.4).

$$J_{\text{сум}} = \frac{1500000 \cdot 1 + 612,5}{314^2 \cdot 6 \cdot 4} + 0,065 = 0,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

## **3.2 Разработка цифровой математической модели системы электропривода**

### **3.2.1 Библиотека блоков Simulink**

Simulink является одним из разделов библиотеки функций средств математического моделирования систем электропривода MATLAB. Для удобства работы пользователя библиотека блоков Simulink разбита на разделы, содержащие наборы блоков для имитационного моделирования электротехнических устройств. С их помощью пользователь может не только имитировать работу устройств во временной области, но и выполнять различные виды анализа.

Блоки Simulink отражают алгоритм работы системы. Он позволяет значительно упростить всю модель, а значит повысить её работоспособность и скорость работы. Simulink в настоящее время может считаться одним из лучших пакетов для моделирования электротехнических устройств. Используя блоки разделов Simulink пользователь в состоянии за короткое время создать полноценную модель электротехнической системы. Для этого необходимо выполнить расстановку блоков на схеме, задать их параметры, соединить блоки и установить параметры расчёта модели в целом.

### **3.2.2 Структурная схема имитационной модели двигателя**

Режимы работы частотноуправляемого асинхронного электропривода подразделяют на статические и динамические [6]. Под статическими режимами понимают режимы, в которых отсутствуют большие отклонения управляющих и возмущающих воздействий. Целью управления в этом режиме является обеспечение минимума потерь энергии, минимума тока статора и т.д.

В динамических режимах прежде всего должна быть обеспечена устойчивая работа электропривода. Это можно сделать только на основе глубокого анализа процессов в асинхронном электроприводе с учётом влияния на них параметров и электромагнитных явлений в преобразователе энергии и двигателе.

Математическое описание электромеханических переходных процессов в асинхронной машине выполним при следующих условиях: все фазные обмотки машины симметричны, т.е. активные и индуктивные сопротивления фазных обмоток равны, параметры машины постоянны, т.е. не учитываются изменения параметров вследствие насыщения магнитной цепи, вытеснение тока, изменения температуры, соединения обмоток статора в звезду без вывода нулевой точки, ротор короткозамкнутый, магнитная индукция распределена вдоль воздушного зазора синусоидально при синусоидальном напряжении питания, момент статического сопротивления и момент инерции постоянны.

Имитационное моделирование является наиболее удобным и наглядным методом исследования процессов, происходящих в электромеханических системах. При принятых допущениях анализ динамических свойств асинхронного двигателя наиболее удобно осуществить на основе структурной схемы, изображённой на рисунке 3.1, используя с этой целью символический способ записи дифференциальных уравнений, приведённых к системе координат  $x, y$ , вращающейся со скоростью  $\omega_{эл}$  равной частоте питающего напряжения, подведённого к обмоткам статора,  $\vec{i}_s$

$$\begin{aligned}
u_{xs} &= (r_3 T_3 p + r_3) i_{xs} - r_3 T_3 \omega_{\text{эл}} i_{ys} - \frac{k_r}{T_r} \psi_{xr} - K_r Z_p \omega_{\text{дв}} \psi_{yr} \\
u_{ys} &= (r_3 T_3 p + r_3) i_{ys} + r_3 T_3 \omega_{\text{эл}} i_{xs} - \frac{k_r}{T_r} \psi_{yr} + K_r Z_p \omega_{\text{дв}} \psi_{xr} \\
i_{xs} &= \frac{1}{K_r T_r r_1} (T_r p + 1) \psi_{xr} - \frac{1}{K_r r_1} (\omega_{\text{эл}} - Z_p \omega_{\text{дв}}) \psi_{yr} \\
i_{ys} &= \frac{1}{K_r T_r r_1} (T_r p + 1) \psi_{yr} + \frac{1}{K_r r_1} (\omega_{\text{эл}} - Z_p \omega_{\text{дв}}) \psi_{xr} \\
\omega_{\text{дв}} &= \frac{1}{Jp} (M_3 - M_c) \\
M_3 &= \frac{3Z_p K_r}{2} (\psi_{xr} i_{ys} - \psi_{yr} i_{xs})
\end{aligned} \tag{3.3}$$

где  $k_r = \frac{L_{12}}{L_1} = \frac{0,0837}{0,0853} = 0,981,$

$$r_3 = r_1 + k_r^2 r'_2 = 0,257 + 0,981^2 \cdot 0,147 = 0,398 \text{ Ом},$$

$$L_3 = \sigma L_1 = \left(1 - \frac{L_{12}^2}{L_1 L_2}\right) L_1 = 0,0853 - \frac{0,0837^2}{0,0862} = 0,004 \text{ Гн},$$

$$T_3 = \frac{L_3}{r_3} = \frac{0,004}{0,398} = 0,01 \text{ с},$$

$$T_r = \frac{L_2}{r'_2} = \frac{0,0862}{0,147} = 0,586 \text{ с}.$$

На рисунке 3.1 блок `step` нужен для задания амплитуды питающего напряжения, а блок `step1` для задания частоты сети. Блок `scope1` показывает изменение момента  $M_3$  и скорости вращения ротора  $\omega_p$ , а блок `scope2` – изменение тока. Поскольку ток имеет амплитудное значение, для перевода его в абсолютное значение, нужно разделить его на  $\sqrt{2}$ . Для этого перед блоком `scope2` помещаем блок `gain7`.



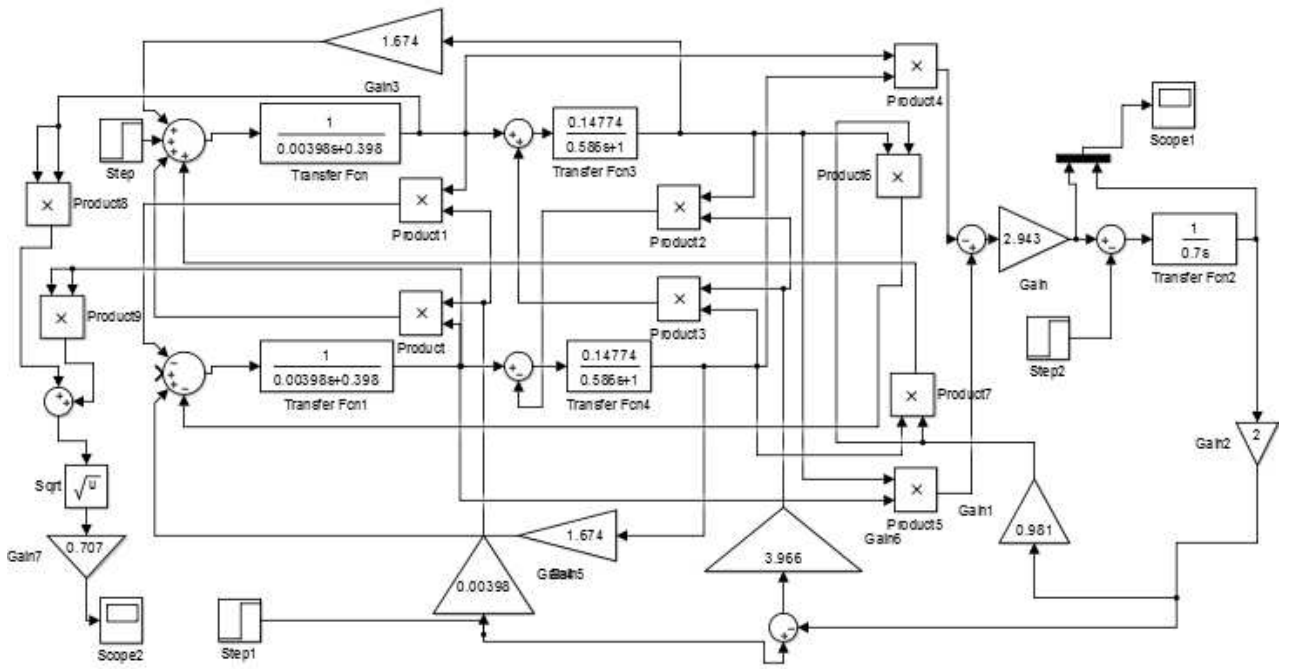


Рисунок 3.1 – Структурная схема асинхронного двигателя серии АИР160М4 при прямом пуске

### 3.3 Анализ рабочих и пусковых режимов. Определение уставок устройства плавного пуска

На рисунке 3.2 – 3.5 приведены результаты моделирования прямого пуска двигателя. Как видим, прямой пуск характеризуется сравнительно большими значениями ударных моментов (3,5 – 4,5 номинальных), которые уменьшают срок службы механизмов, и пусковых токов (около 7 номинальных).

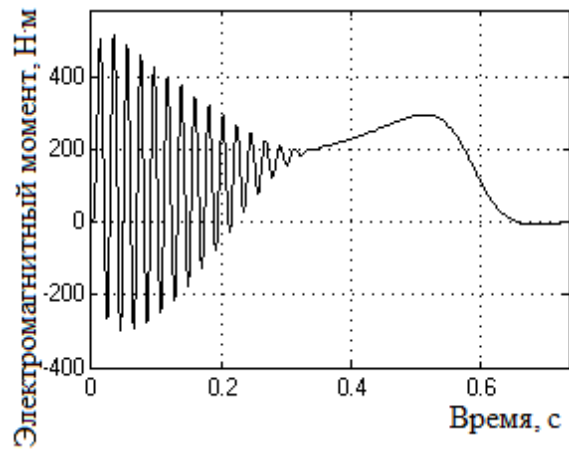


Рисунок 3.2 – Изменение электромагнитного крутящего момента  $M_e$  двигателя во времени при прямом пуске без нагрузки

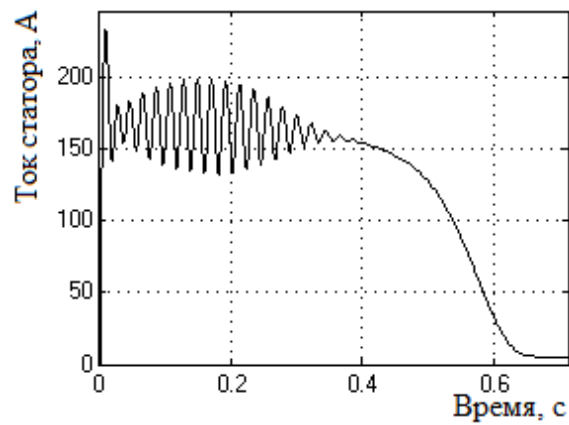


Рисунок 3.3 – Изменение тока двигателя  $I_0$  во времени при прямом пуске без нагрузки

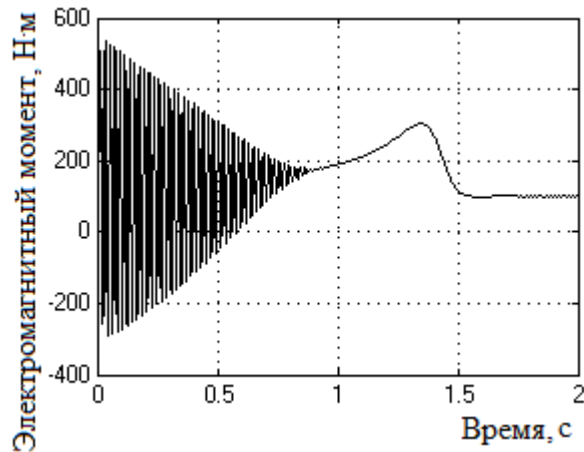


Рисунок 3.4 – Диаграмма электромагнитного крутящего момента  $M_e$  двигателя при прямом пуске с нагрузкой

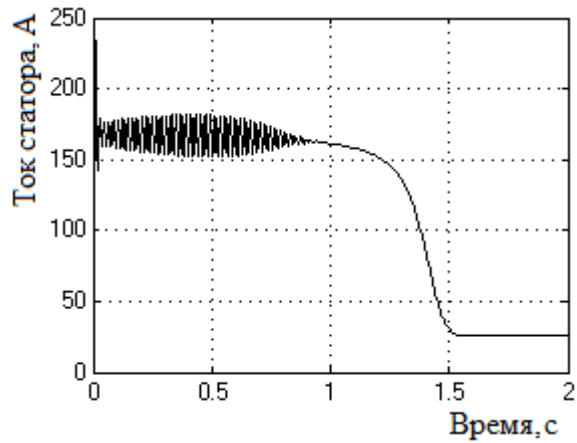


Рисунок 3.5 – Диаграмма тока двигателя  $I_d$  при прямом пуске с нагрузкой

Статическая механическая характеристика прямого пуска без нагрузки приведены на рисунке 3.6.

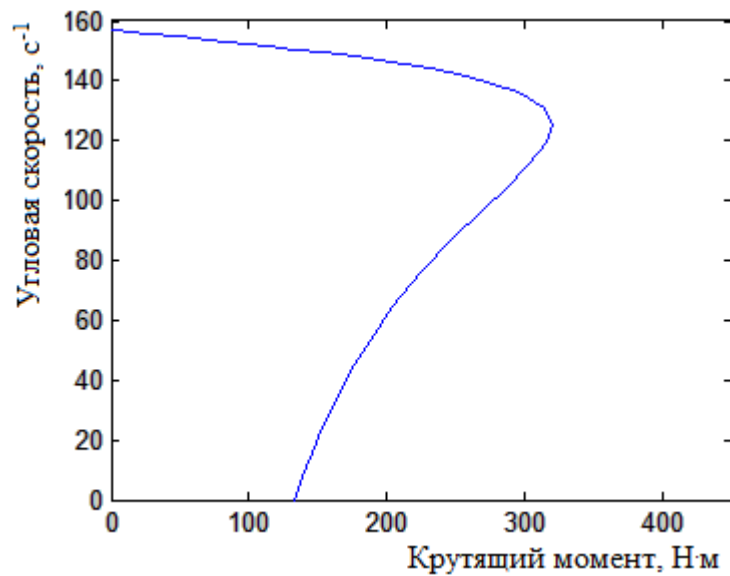


Рисунок 3.6 – Статическая механическая характеристика прямого пуска без нагрузки

На рисунке 3.7 изображена структурная схема асинхронного двигателя с моделью задатчика интенсивности. Блок `step` задаёт темп интегрирования, блок `integrator` осуществляет интегрирование входного сигнала, блок `saturation` ограничивает сигнал на уровне 314 (угловая частота питающего напряжения),

блок gain7 имитирует модель амплитуды питающего напряжения. Так как двигатель будет работать под постоянной нагрузкой, то далее моделировать пуски будем под нагрузкой. Статический момент привода является реактивным, а значит при разности моментов  $(M_s - M_c) < 0$  двигатель будет сохранять состояние покоя, для этого в схеме модели двигателя после  $(M_s - M_c)$  мы помещаем блок product10 и relay, который при  $(M_s - M_c) < 0$  равен нулю, и скорость не возрастает, а при  $(M_s - M_c) > 0$  становится равным единице и скорость начинает возрастать.

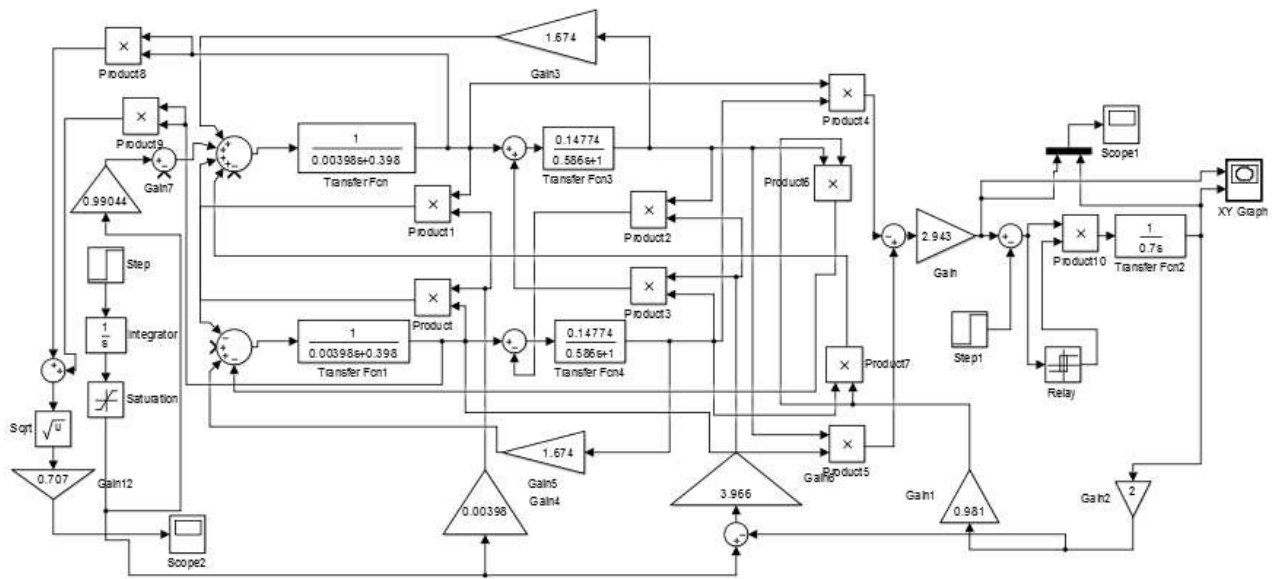


Рисунок 3.7 – Структурная схема частотно управляемого асинхронного двигателя, работающего по закону  $U/f=const$

На рисунках 3.8, 3.9 приведены результаты моделирования частотного пуска от задатчика интенсивности по закону  $U/f=const$ . Как видим, вследствие плавного нарастания частоты и напряжения при пуске с нагрузкой ударные моменты исчезают, а ток становится в два раза меньше.

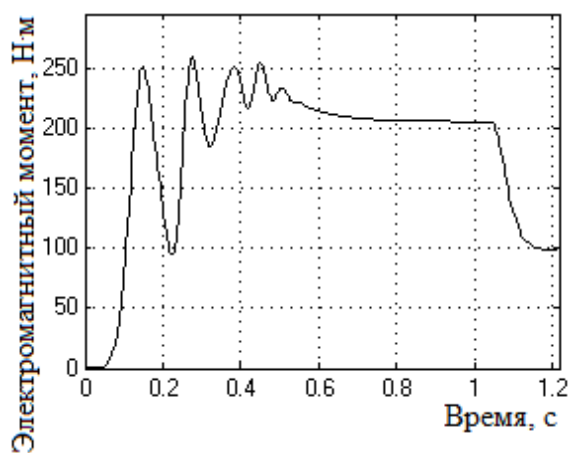


Рисунок 3.8 – Диаграмма момента  $M_s$  двигателя при частотном пуске от задатчика интенсивности по закону  $U/f=const$  с нагрузкой

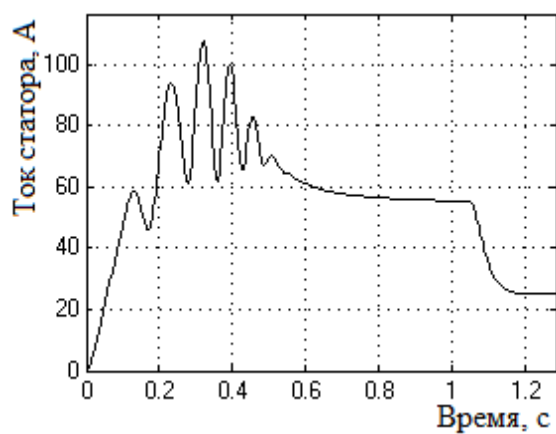


Рисунок 3.9 – Диаграмма тока статора  $i_s$  при частотном пуске по закону  $U/f=const$  с нагрузкой

Динамическая механическая характеристика пуска с нагрузкой приведена на рис 3.10.

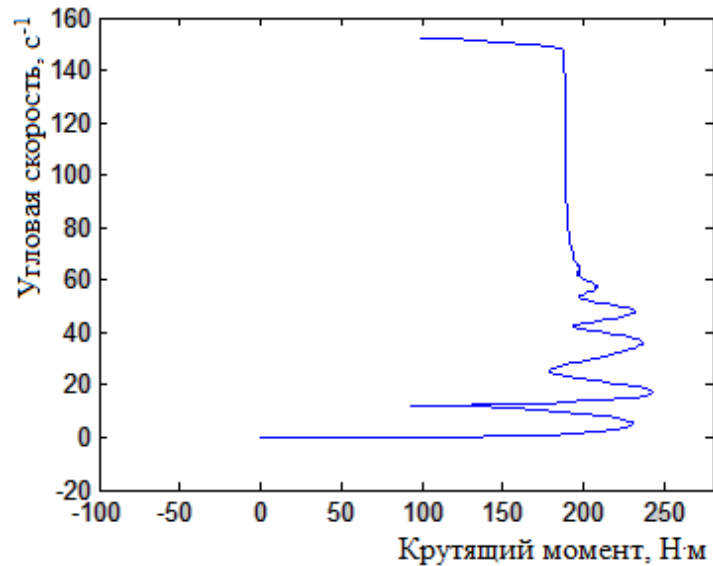


Рисунок 3.10 – Динамические механические характеристики частотного пуска по закону  $U/f=const$

На рисунках 3.11, 3.12 изображены результаты моделирования пуска от задатчика интенсивности с минимальным требуемым нарастанием частоты и напряжения по закону  $U/f=const$ . Как видим вначале двигатель наберёт незначительную скорость, а затем вследствие кратковременного падения момента  $M$ , остановится на 0,1 с. и далее продолжит разгоняться равномерно. Ток статора практически на протяжении всего времени разгона, за исключением 0,5 с. в начале, держится на уровне номинального  $i_s=I_n$ . Динамические механические характеристики представлены на рисунке 3.13.

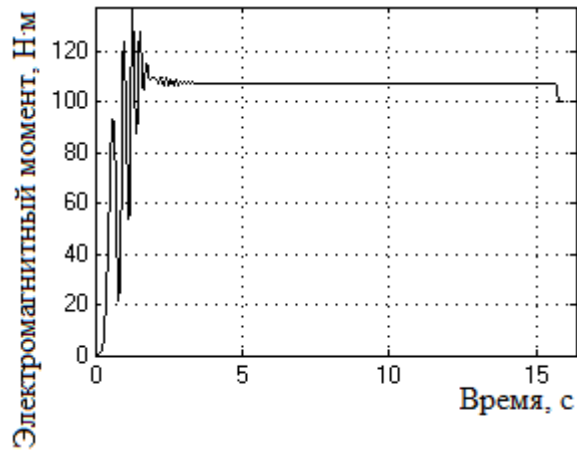


Рисунок 3.11 – Диаграмма момента  $M_e$  пуска по закону  $U/f=const$  с минимальным темпом нарастания частоты и напряжения с нагрузкой

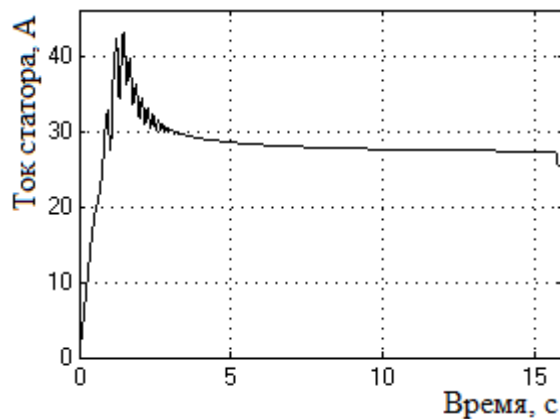


Рисунок 3.12 – Диаграмма тока статора  $i_s$  пуска по закону  $U/f=const$  с минимальным темпом нарастания частоты и напряжения с нагрузкой

На рисунке 3.14 изображена структурная схема модели асинхронного двигателя с частотным пуском по закону  $(U+IR)/f=const$ . Вследствие введения положительной обратной связи по току в результате сильных автоколебаний система выходит из состояния равновесия. Для её стабилизации в обратную связь по току вводим апериодическое звено первого порядка (блок transfer fcn5).

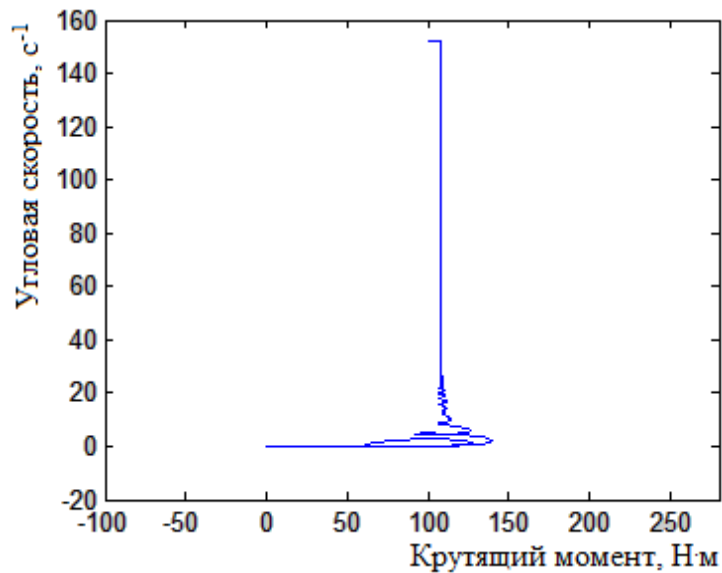


Рисунок 3.13 – Динамические механические характеристики частотного пуска по закону  $U/f=const$

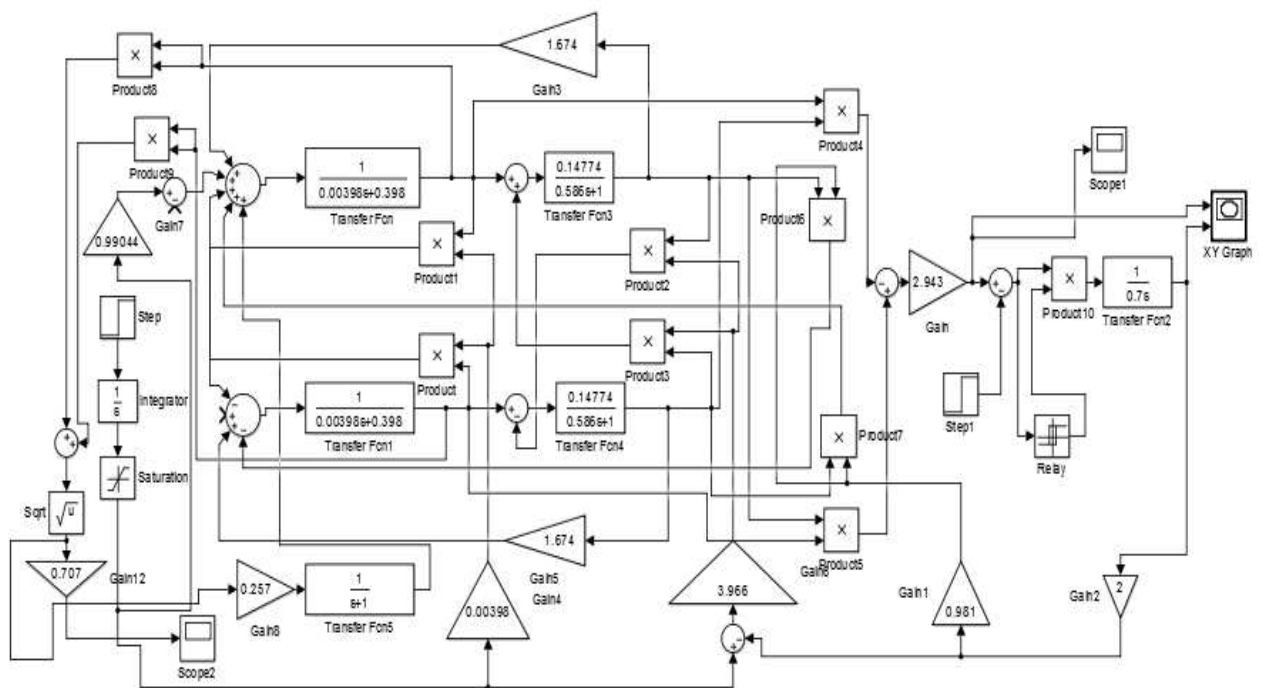


Рисунок 3.14 – Структурная схема частотно управляемого двигателя, работающего по закону  $(U+IR)/f=const$

На рисунках 3.15, 3.16 изображены результаты моделирования частотного пуска двигателя по закону  $(U+IR)/f=const$ . В этом случае момент  $M$ , двигателя не



опускается ниже момента статического  $M_c$ , ток двигателя практически не изменился. Динамические механические характеристики представлены на рисунке 3.17. Ось  $x$  – это крутящий момент  $M_s$  двигателя, а ось  $y$  – это угловая скорость  $\omega_{\text{дв}}$ .

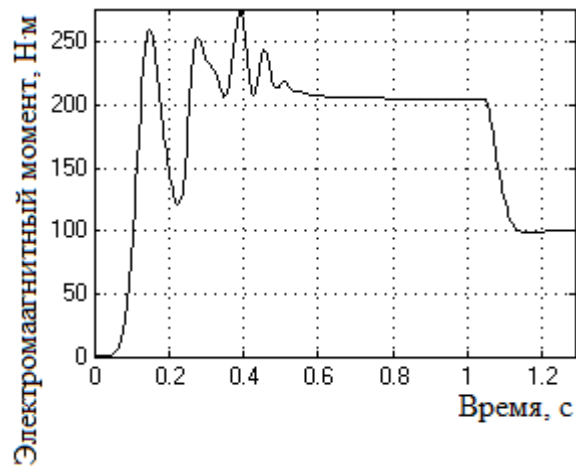


Рисунок 3.15 – Диаграмма момента  $M_s$  двигателя при частотном пуске по закону  $(U+IR)/f=const$  с нагрузкой

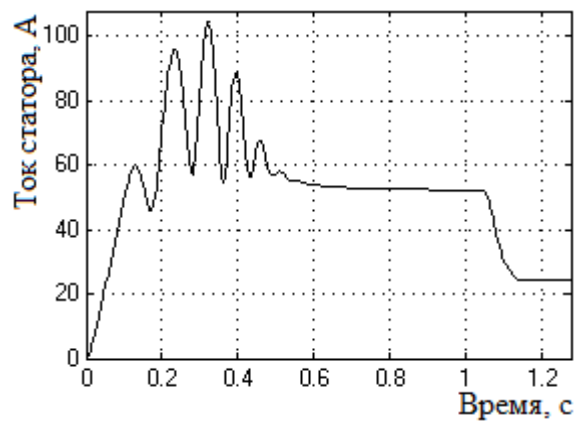


Рисунок 3.16 – Диаграмма тока статора  $i_s$  при частотном пуске по закону  $(U+IR)/f=const$  с нагрузкой

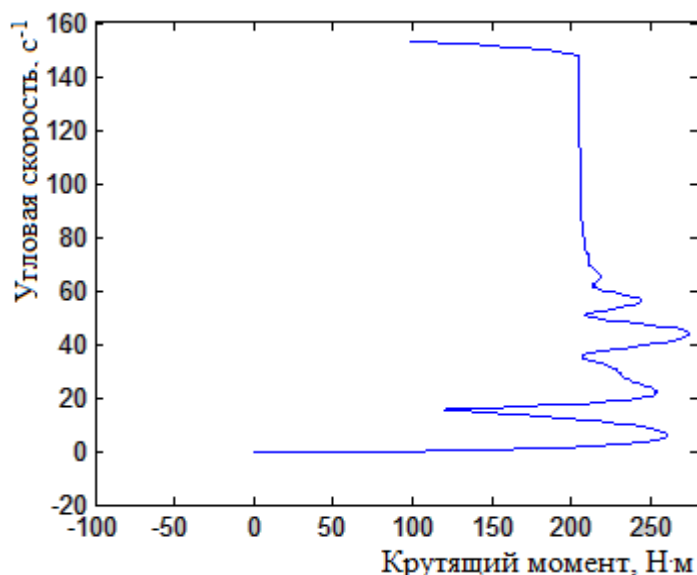


Рисунок 3.17 – Динамические механические характеристики частотного пуска по закону  $(U+IR)/f=const$

На рисунках 3.18, 3.19 изображены результаты моделирования частотного пуска двигателя по закону  $(U+IR)/f=const$  при минимальном темпе интегрирования. Как видим момент  $M_s$  двигателя испытывает меньшее падение момента в начале пуска, но в случае нашей нагрузки особой разницы по сравнению с пуском по закону  $U/f=const$  нету.

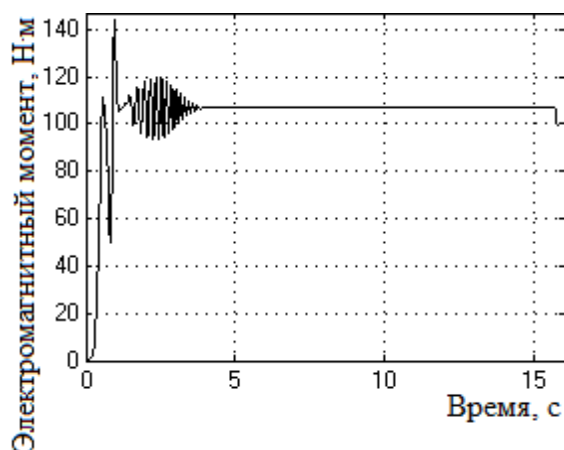


Рисунок 3.18 – Диаграмма момента  $M_s$  двигателя при частотном пуске с минимальным темпом интегрирования по закону  $(U+IR)/f=const$  с нагрузкой

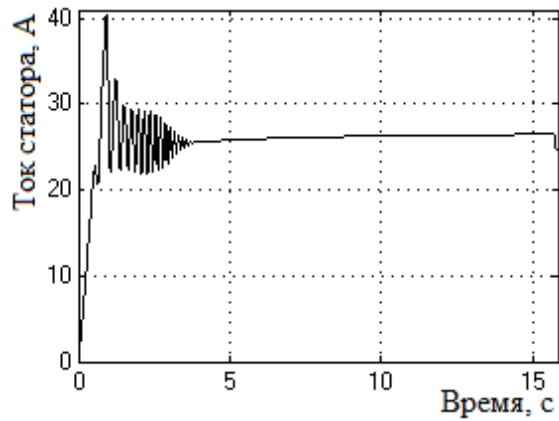


Рисунок 3.19 – Диаграмма тока статора  $i_s$  при частотном пуске с минимальным темпом интегрирования по закону  $(U+IR)/f=const$  с нагрузкой

Динамические механические характеристики представлены на рисунке 3.20.

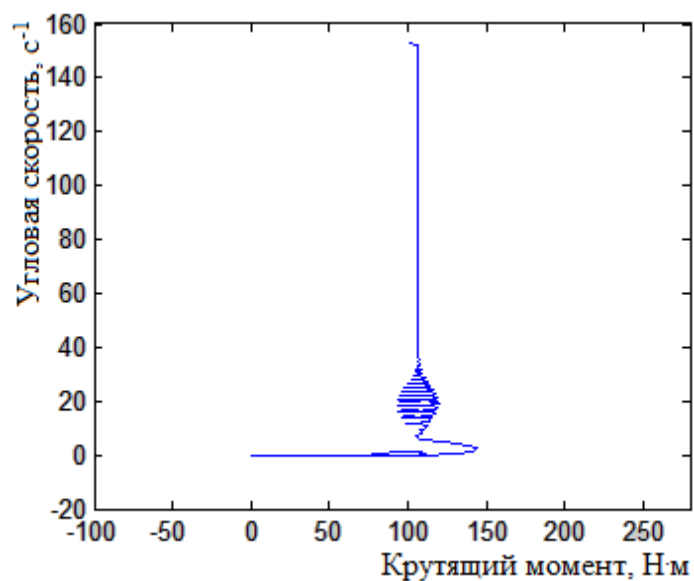


Рисунок 3.20 – Динамические механические характеристики частотного пуска с минимальным темпом интегрирования по закону  $(U+IR)/f=const$

На рисунке 3.21 изображена структурная схема модели асинхронного двигателя, работающего по закону  $(U-IR)/f=const$ .

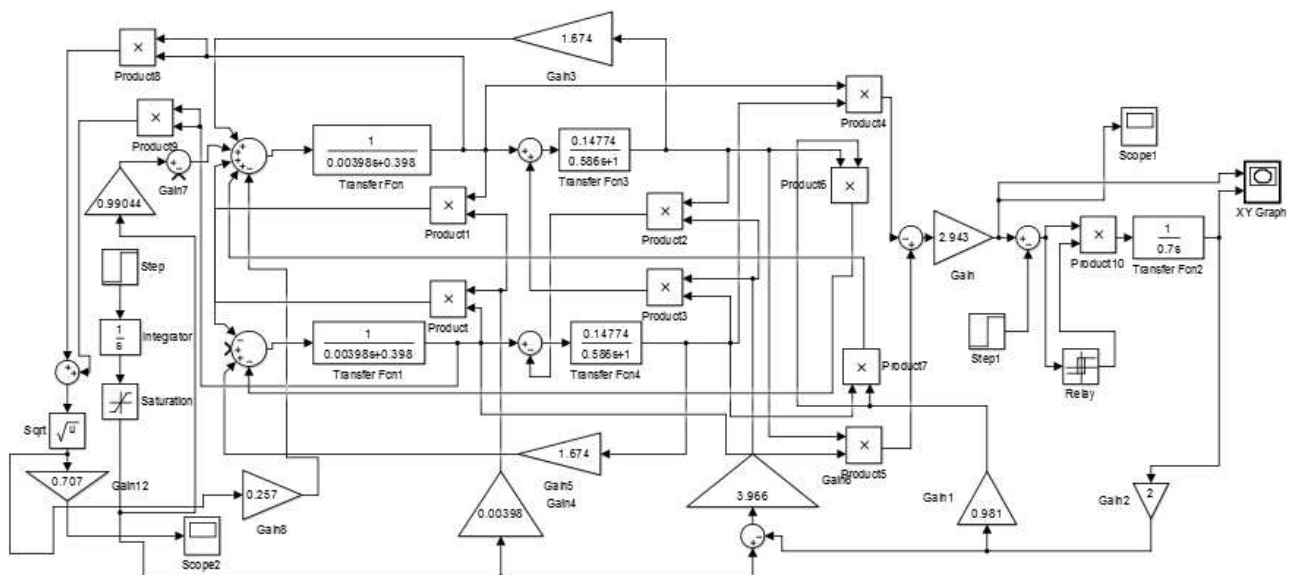


Рисунок 3.21 – Структурная схема частотно управляемого асинхронного двигателя, работающего по закону  $(U-IR)/f=const$

На рисунках 3.22, 3.23 изображены результаты моделирования частотного пуска двигателя по закону  $(U-IR)/f=const$ . Как видим момент  $M_e$  испытывает частые колебания большой амплитуды, время пуска затягивается в два раза, а ток во время всего разгона превышает номинальный больше чем в 3 раза. Динамические механические характеристики представлены на рисунке 3.24.

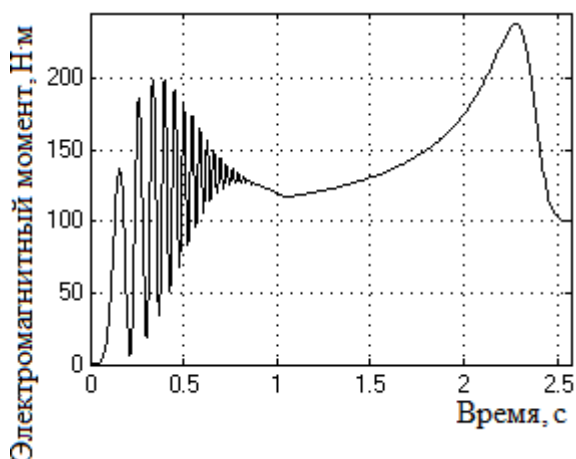


Рисунок 3.22 – Диаграмма момента  $M_e$  двигателя при частотном пуске по закону  $(U-IR)/f=const$  с нагрузкой

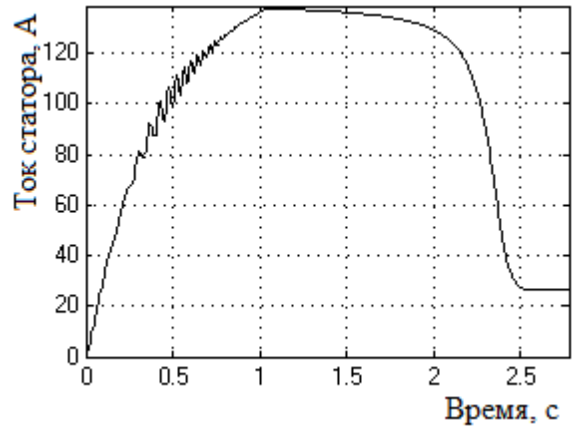


Рисунок 3.23– Диаграмма тока статора  $i_s$  при частотном пуске по закону  $(U-IR)/f=const$  с нагрузкой

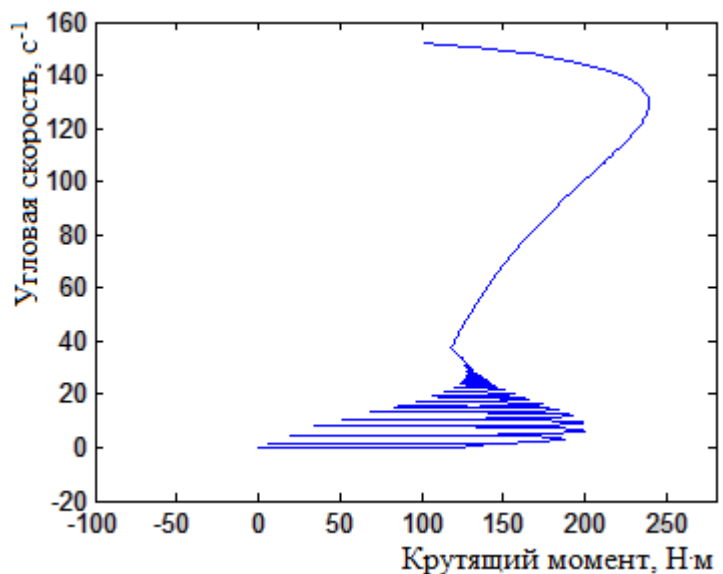


Рисунок 3.24 – Динамические механические характеристики частотного пуска по закону  $(U-IR)/f=const$

Для управления двигателями подходят два закона частотного управления практически не имеющие разницы в нашем случае – это  $U/f=const$  и  $(U-IR)/f=const$ .

## 4 Разработка электрической схемы включения электроприводов в схему общего технологического процесса

### 4.1 Разработка принципиальной схемы. Выбор элементов необходимых блокировок и защит. Определение их уставок

На рисунке 4.1 изображена схема управления электроприводами хода моста.

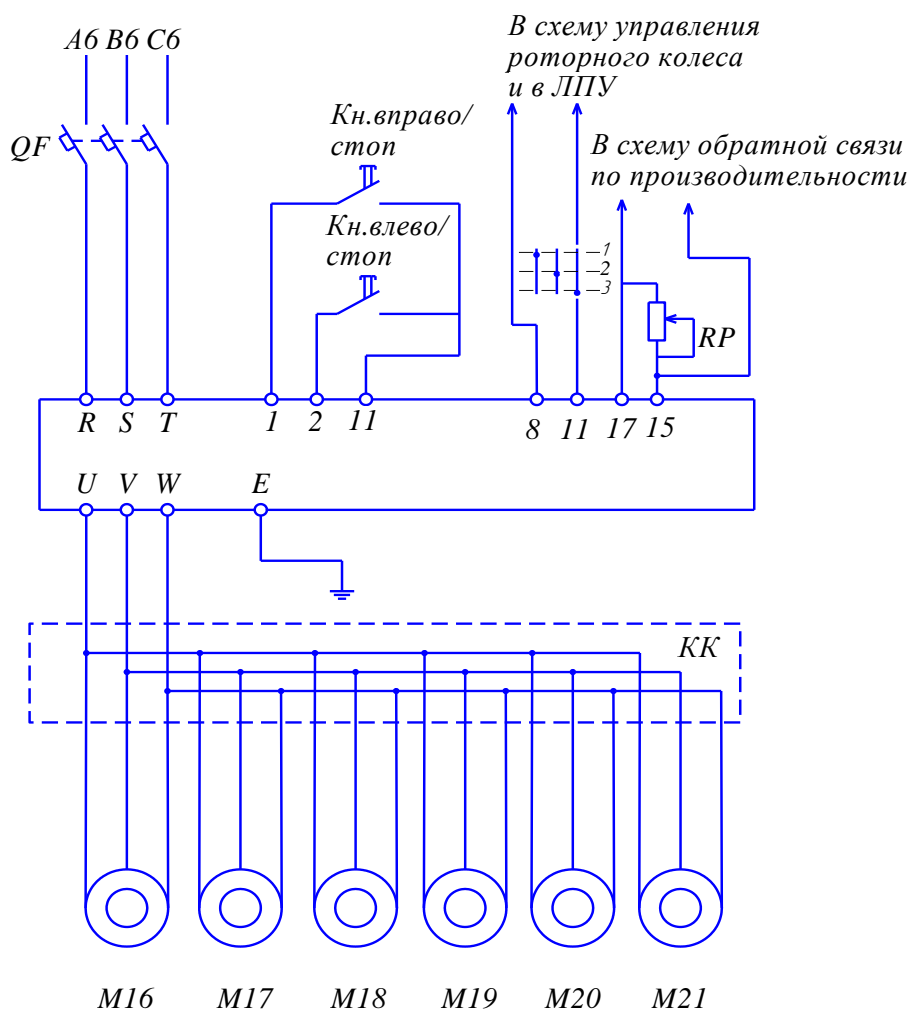


Рисунок 4.1 – Схема управления электроприводами хода моста

На входы частотного преобразователя R S T подаётся питающее напряжение трёхфазной сети A6 B6 C6 через автоматический выключатель QF, защищающий питающий трансформатор от короткого замыкания

преобразователя. Для того, чтобы не допустить включение привода в режиме «экскавация» (на схеме режим «3») при отключенном роторном колесе входы 8 и 11 замкнуты; при включении роторного колеса входы 8 и 11 размыкаются и привод хода моста запустится. Для пуска привода используются кнопки пуска Кн.вправо/стоп и Кн.влево/стоп. Для остановки необходимо нажимать кнопку противоположного направления движения. Максимальные обороты регулируются с помощью потенциометра RP, подключенного к многофункциональному аналоговому входу 15 и общему 17, регулировка скорости по производительности происходит с помощью весоизмерительного прибора, согласованного с многофункциональным входом 15 (максимальное напряжение 10 В) и общим 17 (0 В). Автоматический выключатель QF выбираем на 550 А согласно таблице выбора автоматических выключателей [6, с. 84].

#### 4.2 Выбор и расчёт кабелей силовых цепей

Для расчёта площади поперечного сечения жилы кабеля питающего преобразователь воспользуемся формулой

$$S_{к.н.} > \frac{S_{np}}{\sqrt{3}U_c J_m}, \quad (4.1)$$

где  $U_c$  – то же, что и в (2.12),

$J_m$  – максимально допустимая плотность тока в меди,

$S_{np}$  – полная мощность преобразователя (таблица 2.2).

$$S_{к.н.} > \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 10} = 60,8 \text{ мм}^2$$

Напряжения от преобразователя подходит к клемной коробке КК (рисунок 4.1). Удельное сопротивление меди  $\rho_m=0,018 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ . Расчётная длина кабеля от преобразователя частоты (ПЧ) до КК  $l_1=50 \text{ м}$ , от КК до двигателей  $l_2=20 \text{ м}$ . При номинальном токе двигателя  $I_{nc}$  (2.10) расчётное сечение провода от преобразователя частоты что до КК определим по формуле

$$S_1 > K_3 \frac{6I_{nc}}{J_m}, \quad (4.2)$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса,

$J_m$  – то же, что и в формуле (4.1).

$$S_1 > \frac{2 \cdot 6 \cdot 36}{10} = 43,2 \text{ мм}^2$$

Расчётное сечение провода от КК до двигателей,  $\text{мм}^2$

$$S_2 = K_3 \frac{I_n}{J_m}, \quad (4.3)$$

где  $K_a, I_{nc}$  – то же, то и в формуле (4.2),

$J_m$  – то же, что и в формуле (4.1),

$$S_2 > \frac{2 \cdot 36}{10} = 7,2 \text{ мм}^2$$

Суммарное активное сопротивление всего провода от преобразователя частоты до двигателя определим по формуле



$$R_{n-\partial} = \frac{\rho_M l_1}{S_1} + \frac{\rho_M l_2}{S_2} \quad (4.4)$$

$$R_{n-\partial} = \frac{0,018 \cdot 50}{43,2} + \frac{0,018 \cdot 20}{7,2} = 0,0708$$

Для проверки работоспособности системы в схему с пуском от задатчика интенсивности по закону  $U/f=const$  вводим дополнительно звено отрицательной обратной связи по току, имитирующую падение напряжения на кабелях (рисунок 4.2).

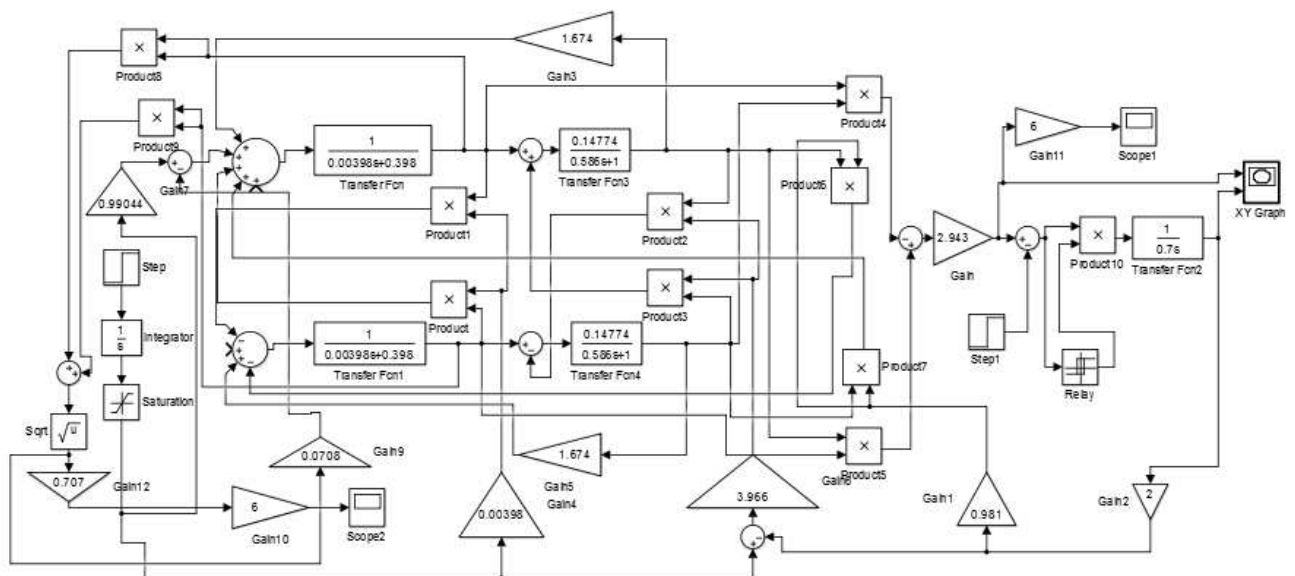


Рисунок 4.2 – Структурная схема частотно управляемого асинхронного двигателя, работающего по закону  $U/f=const$

Блок gain9 имитирует сопротивление всего кабеля от преобразователя частоты до двигателя. Так как все двигатели условно работают с одинаковыми параметрами, то для проверки характеристики всей системы устанавливаем блоки gain10, gain11 для снятия рабочих характеристик пуска шести двигателей.

Из произведённого моделирования делаем вывод, что данные кабели не вызовут срабатывания защиты преобразователя. На работу систему кабель

влияния не оказывает. Диаграмма момента и тока при пуске шести электродвигателей с максимальным ускорением изображена на рисунке 4.3,4.4, а с минимальным на рисунках 4.5, 4.6.

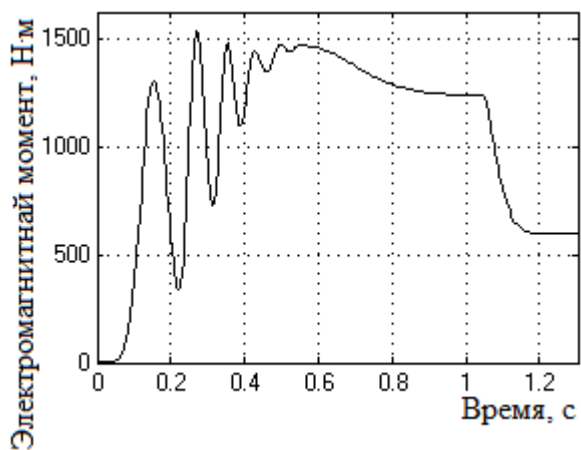


Рисунок 4.3 – Момент 6-ти двигателей  $M_{бэл}$  при частотном пуске по закону

$$U/f=const$$

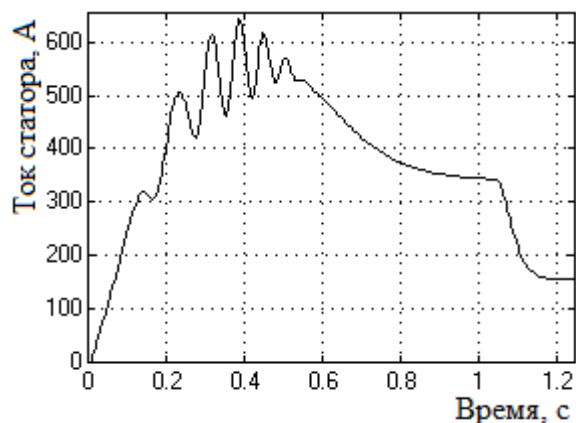


Рисунок 4.4 – Ток 6-ти двигателей  $i_{6s}$  при частотном пуске по закону  $U/f=const$

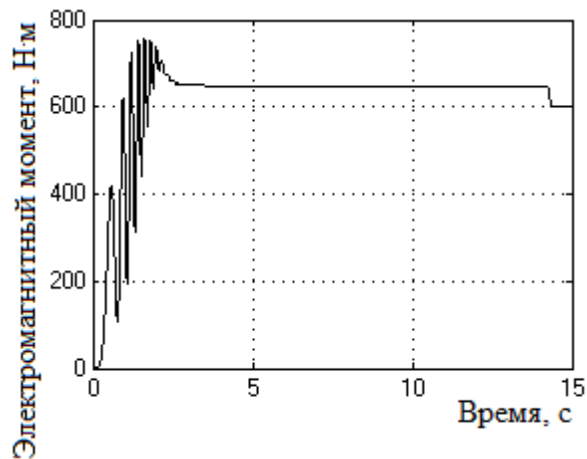


Рисунок 4.5 – Момент 6-ти двигателей  $M_{6эл}$  при частотном пуске с минимальным темпом интегрирования по закону  $U/f=const$

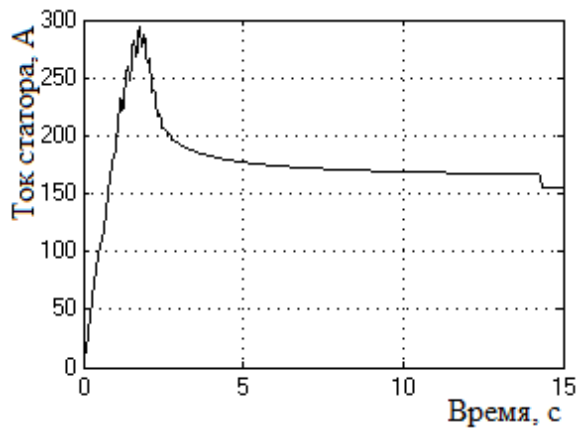


Рисунок 4.6 – Ток 6-ти двигателей  $i_{6с}$  при частотном пуске с минимальным темпом интегрирования по закону  $U/f=const$

Для проверки работоспособности системы с пуском от задатчика интенсивности по закону  $(U+IR)/f=const$  введём дополнительно звено отрицательной обратной связи по току, имитирующую падение напряжения на кабелях с схеме с компенсацией  $IR$  как показано на структурной схеме на рисунке 4.7.

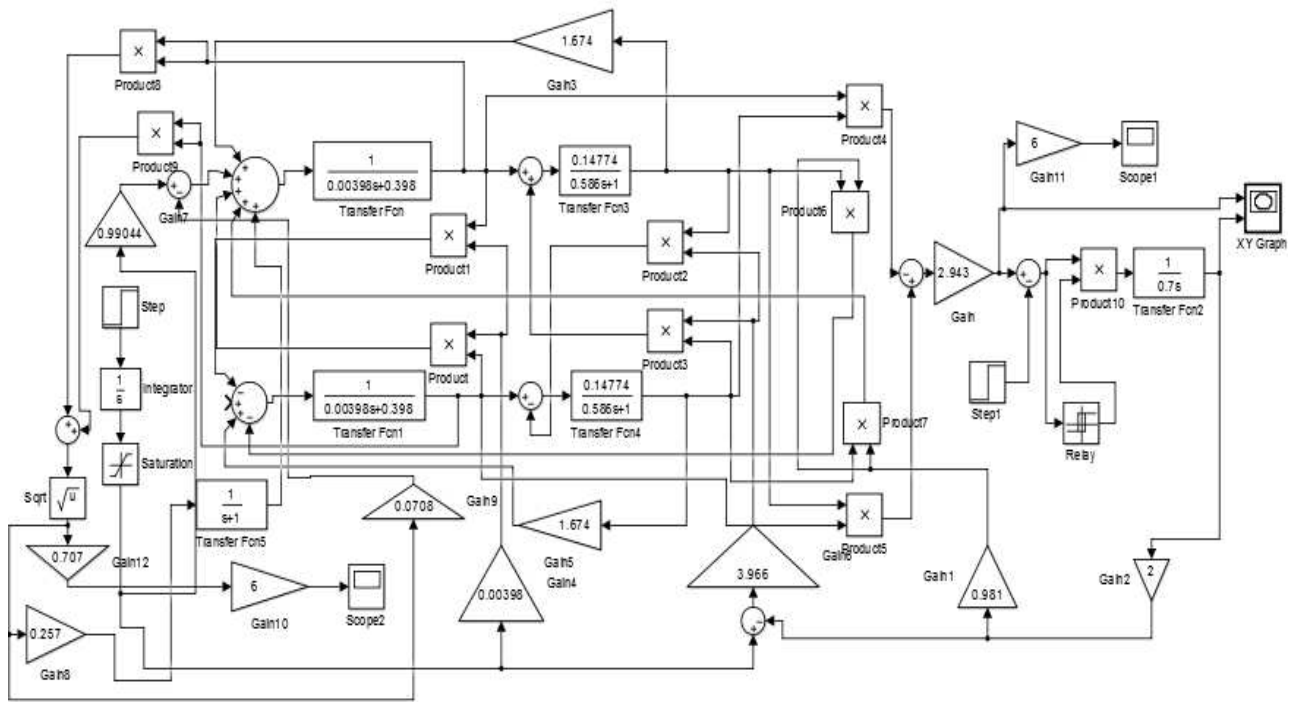


Рисунок 4.7 – Структурная схема частотно управляемого асинхронного двигателя, работающего по закону  $(U+IR)/f=const$

Из произведённого моделирования делаем вывод, что данные кабели не вызовут срабатывания защиты преобразователя. На работу систему кабель влияния оказывает незначительно. Но при пуске без компенсации  $IR$  при минимальном ускорении двигатель потребляет почти на 50 А больше тока и крутящий момент  $M_{бэл}$  испытывает большие колебания. Диаграмма момента и тока при пуске шести электродвигателей с максимальным ускорением изображена на рисунке 4.8,4.9, а с минимальным на рисунках 4.10, 4.11.

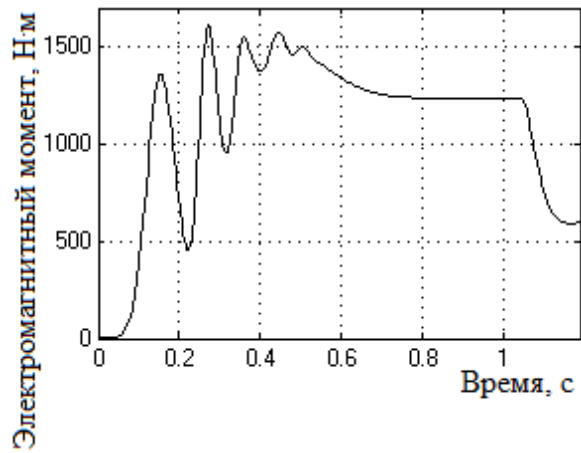


Рисунок 4.8 – Момент 6-ти двигателей  $M_{6эл}$  при частотном пуске по закону  $(U+IR)/f=const$

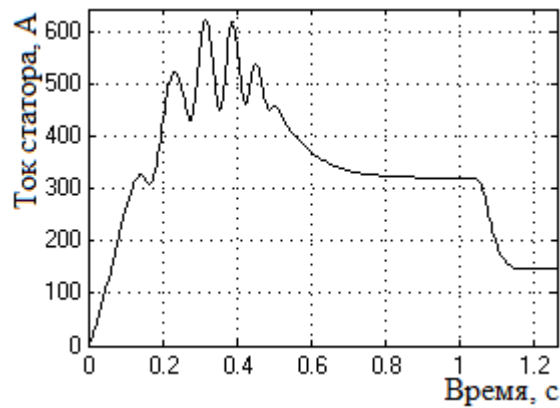


Рисунок 4.9 – Ток 6-ти двигателей  $i_{6с}$  при частотном пуске по закону  $(U+IR)/f=const$

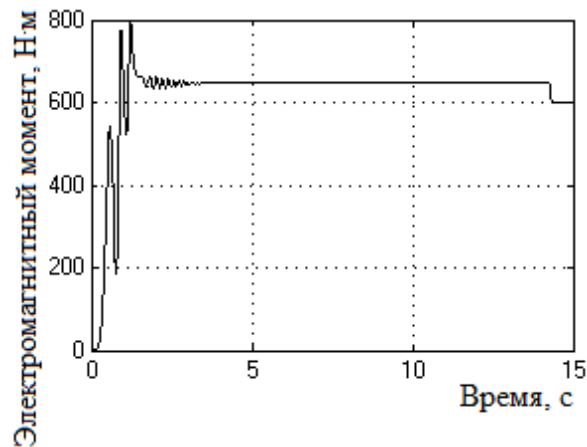


Рисунок 4.10 – Момент 6-ти двигателей  $M_{6эл}$  при частотном пуске с минимальным темпом интегрирования по закону  $(U+IR)/f=const$

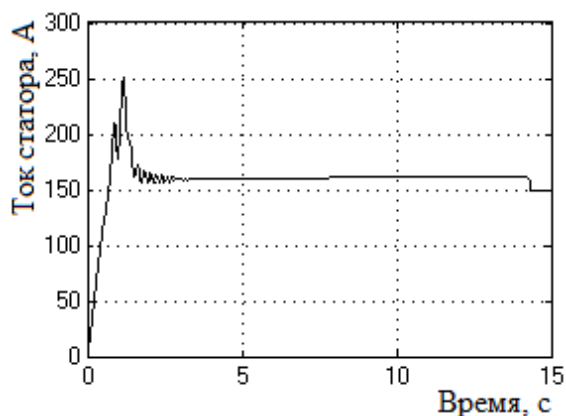


Рисунок 4.11 – Ток 6-ти двигателей  $i_{\sigma s}$  при частотном пуске с минимальным темпом интегрирования по закону  $(U+IR)/f=const$

На рисунке 4.12 изображена диаграмма угловой скорости  $\omega_{\sigma\delta}$  двигателей без компенсации  $IR$ , а на рисунке 4.13 с компенсацией  $IR$  при минимально требуемом разгоне. Из графиков видно, что при разгоне без компенсации  $IR$  двигатели не могут тронуться с места в два раза дольше, чем с компенсацией  $IR$ .

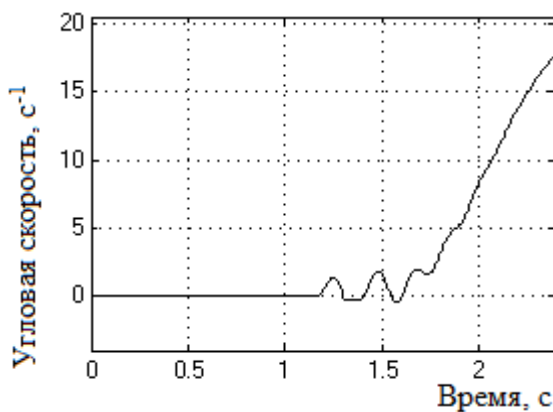


Рисунок 4.12 – Угловая скорость валов двигателей  $\omega_{\sigma\delta}$  при частотном пуске с минимальным темпом интегрирования по закону  $U/f=const$

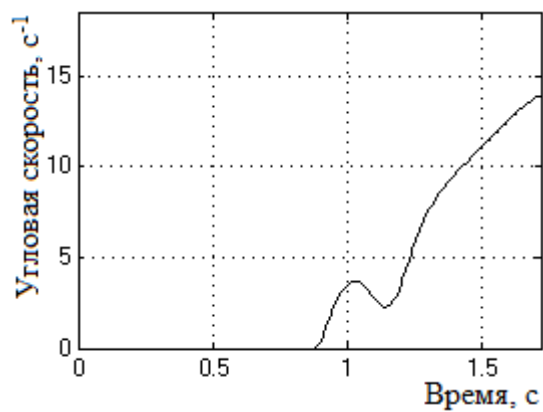


Рисунок 4.12 – Угловая скорость валов двигателей  $\omega_{dv}$  при частотном пуске с минимальным темпом интегрирования по закону  $(U+IR)/f=const$

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В дипломном проекте проанализированы основные достоинства частотных преобразователей, а также показана необходимость модернизации электроприводов хода моста.

Произведён расчёт нагрузки. Для этой нагрузки были выбраны электродвигатели, на основе выбранных электродвигателей выбран преобразователь частоты. Построена имитационная модель электропривода, определён закон, по которому частотный преобразователь будет выполнять разгон привода за требуемое время ускорения. По диаграммам тока, снятым с модели двигателя в режимах разгона, уточнен преобразователь частоты.

Частотно управляемый привод позволит рабочим, обслуживающим роторную машину, на много реже обслуживать данный электропривод.

Применение частотно управляемого электропривода позволит реализовать все требуемые технические характеристики механизма.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Д.Г. Калганов, А.В. Кашкаха, Ю.Ю. Пивненко, В.И. Цыплёнков. Берёзовская ГРЭС-1. Справочник по проектированию и строительству. Ростовское отделение института теплоэлектропроект.

2 Родиенко. Роторная погрузочная машина РПМ-3600/42,5/90. Техническое описание. Ростовское отделение института теплоэлектропроект.

3 Масандилов Л.Б. Электропривод подъёмных кранов. – М.: Издательство МЭИ, 1998. – 100 с.

4 Теория автоматизированного электропривода: Учеб пособие для вузов/ Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. – М.: Энергия, 1979, - 616с.

5 Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник/ А90 А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982 – 504 с., ил.

6 Карагодин М.С., Федоренко А.А. Уравнения динамики частотно управляемых электроприводов: Учеб. Пособие: КпПИ. – Красноярск, 1985. – 92 с.

7 Веспер. Преобразователь частоты векторного типа EI-9011. Каталог применений.

8 ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. - М.: Изд-во стандартов, 1992.- 68 с.

9 ГОСТ 12.2.061-81. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам. - М.: Изд-во стандартов, 1982.- 34 с.

10 ГОСТ 12.2.064-81. ССБТ. Органы управления производственным оборудованием. Общие требования безопасности. - М.: Изд-во стандартов, 1982.- 27 с.

11 ГОСТ 12.3.002-75. ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности. - М.: Изд-во стандартов, 1976.- 44 с.

12 ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. - М.: Изд-во стандартов, 1988.- 75 с.

13 ГОСТ 12.1.019-79 . ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. Введён 01.07.80.-М.: Изд-во стандартов, 1989.- 6 с.

14 ГОСТ 12.2.007.0-75. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. - М.: Изд-во стандартов, 1981.- 16 с.

15 НПБ 105-2003. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности

16 Найфельд М.Р. Заземление и другие защитные меры. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1975, - 104 с. с ил.

17 Дипломное проектирование: Метод. Указания для студентов специальности 180400 – «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов»/ Сост. Е.В. Бочарова, В.М Бычков, А.Л. Встовский. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. 55 с.

18 [http://krsk-sbit.ru/router.php?doc=home\\_tarif](http://krsk-sbit.ru/router.php?doc=home_tarif)

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Рисунки не вошедшие в пояснительную записку

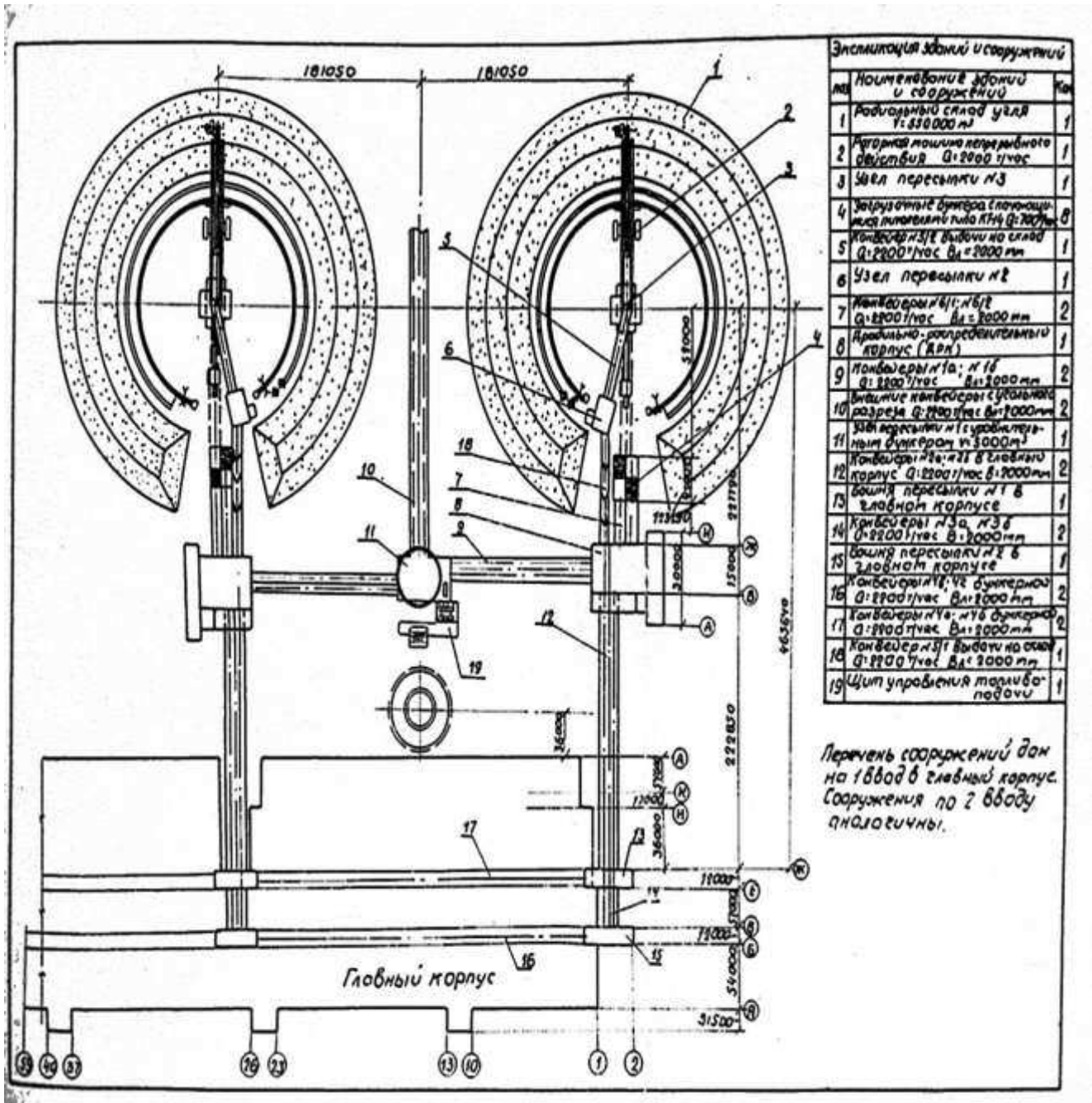


Рисунок А.1 – Двухниточная схема топливоподачи

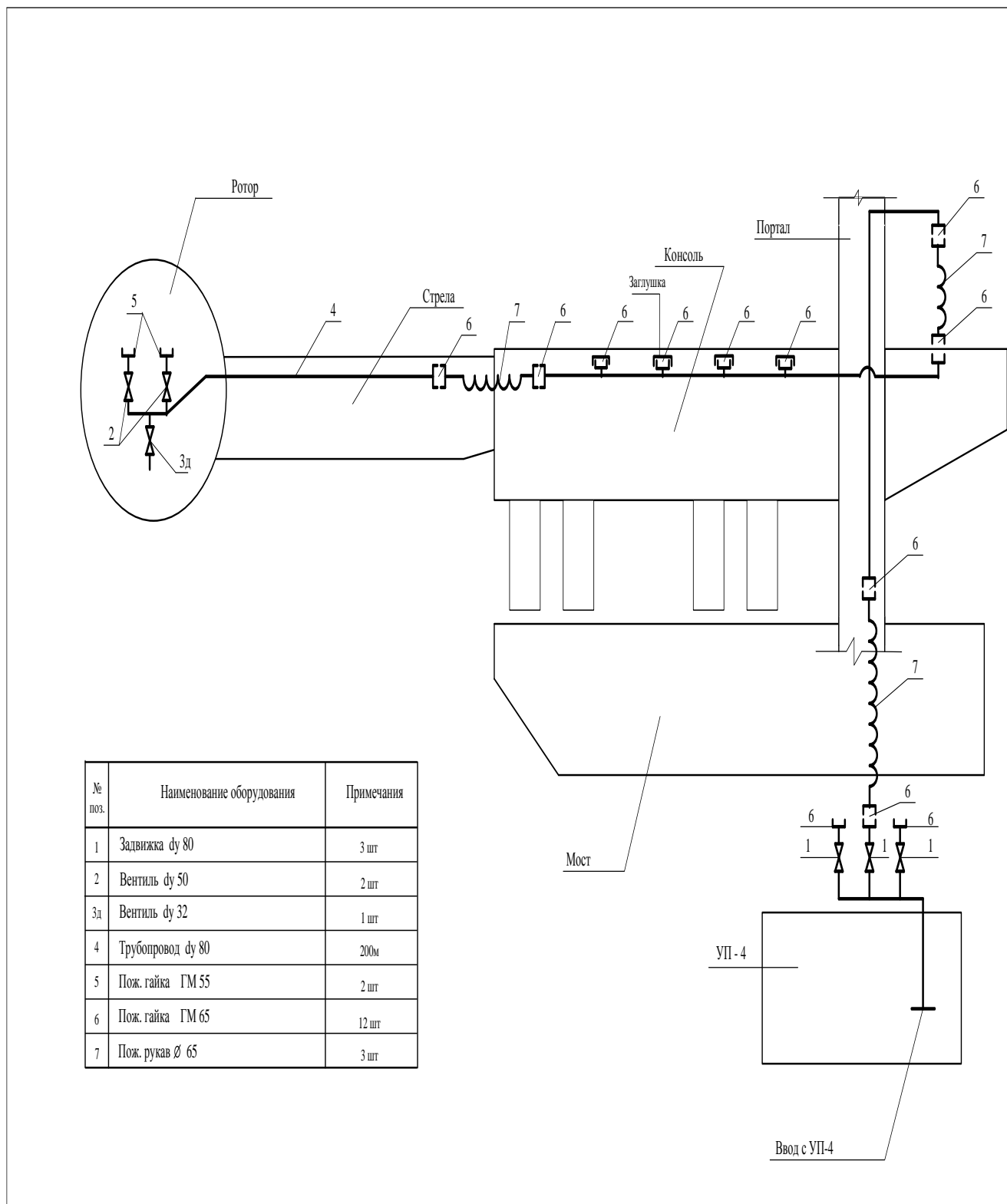



Рисунок А.2 – Система пожаротушения бульдозерной техники

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
Электротехнические комплексы и системы

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
 В.И. Пантелеев  
«   2   » июня 2019 г.

**Бакалаврская работа**

13.03.02.10 Электроэнергетика и электротехника

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОСТА РОТОРНОЙ ПОГРУЗОЧНОЙ  
МАШИНЫ РРМ 3600-42/90  
Пояснительная записка

Руководитель  \_\_\_\_\_ доцент, канд. техн. наук А.А. Федоренко

Выпускник  \_\_\_\_\_ А.А. Болелый

Нормоконтролер \_\_\_\_\_  А.А. Федоренко

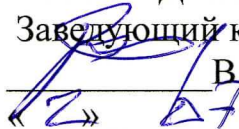
Красноярск 2019

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Электротехнические комплексы и системы»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

  
В. И. Пантелеев

2019 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме дипломного проекта**

Студенту Болелому А.А.

Группа ФЭ15-06Б Направление (специальность) 13.03.02.10

Электроэнергетика и электротехника

Тема выпускной квалификационной работы «Система электропривода моста роторной погрузочной машины РПМ 3600-42/90»

Утверждена приказом по университету № 633/с от 23.01.2019 г.

Руководитель ВКР Федоренко А.А., к.т.н., доцент кафедры «ЭТКиС»

Исходные данные для ВКР

1	Передаточное число редуктора.....	314
2	Диаметр колеса тележки.....	1 м
3	Диаметр цапфы подшипника колеса тележки.....	0,15 м
4	Скорость передвижения моста.....	15 м/мин
5	Длина моста.....	130 м
6	Расстояние между геометрическим центром склада и рельсой.....	100 м
7	Расстояние между крайними по ходу колёсами консоли противовеса.....	30 м
8	Масса консоли противовеса.....	500 т
9	Масса моста .....	1000 т
10	Масса колеса тележки.....	245 кг
11	Всего тележек.....	10
12	Количество приводных тележек.....	6
13	Количество колёс на тележке.....	2
14	Номинальная масса <u>угла</u> на конвейерах.....	600 кг
15	Питающее напряжение.....	380 В
16	Частота сети.....	50 Гц

Перечень разделов ВКР:

- 1 Краткая характеристика технологического процесса станции
- 2 Выбор двигателя и преобразовательного устройства
- 3 Анализ рабочих и пусковых режимов электропривода. Оценка их соответствия требованиям
- 4 Разработка электрической схемы включения электроприводов в схему общего технологического процесса

Руководитель ВКР

Задание принял к исполнению



А.А. Федоренко

А.А. Болелый

«25»

2019 г.



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Система плавного пуска электроприводов хода моста роторной погрузочной машины РПМ 3600-42,5/90» содержит 89 страниц текстового документа, 1 приложение, 17 использованных источников, 10 листов графического материала.

Топливное хозяйство, угольный склад, электропривод хода моста, статическое сопротивление, анализ пусковых режимов, закон частотного пуска.

Объект модернизации – роторная погрузочная машина РПМ 3600-42,5/90 «Берёзовской ГРЭС-1».

Цель дипломного проекта:

- формирование требований к электроприводу;
- расчёт нагрузок;
- подобрать двигатель и преобразователь;
- использовать методику исследования плавного пуска асинхронного двигателя с применением программного комплекса MatLab;
- с помощью разработанного программного комплекса в пакете MatLab провести сравнение качества переходных процессов, провести исследования и определить графики переходных процессов в заданных режимах работы;
- провести соответствующий анализ полученных графиков

Произведён расчёт нагрузки. Для этой нагрузки были выбраны электродвигатели, на основе выбранных электродвигателей выбран преобразователь частоты. Построена имитационная модель электропривода, определён закон, по которому частотный преобразователь будет выполнять разгон привода за требуемое время ускорения. По диаграммам тока, снятым с модели двигателя в режимах разгона, уточнен преобразователь частоты.