

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»
Институт инженерно-педагогического образования
Кафедра электрооборудования и энергоснабжения

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:
Заведующая кафедрой ЭС
_____ А.О. Прокубовская
« _____ » _____ 2017 г.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГЛАВНОГО ПРИВОДА ПРОШИВНОГО СТАНА

Выпускная квалификационная работа бакалавра
направление подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)
профиль подготовки «Энергетика»
профилизация «Энергохозяйство предприятий, организаций, учреждений и
энергосберегающие технологии»

Идентификационный код ВКР: 882

Исполнитель:

студент(ка) группы ЗЭС-403С _____ Д.С. Романов

Руководитель:

Главный инженер

ООО ПФ Тяжпромэлектропривод _____ В.П. Чудновский

Нормоконтролер:

ст. преподаватель кафедры ЭС _____ Т.В. Лискова

Екатеринбург 2017

БР.44.03.04.882.2017

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 94 страницах, содержит 17 рисунков, 13 таблиц, 20 источников литературы, а также 6 приложений на 6 страницах.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПРОШИВНОЙ СТАН, ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, СИЛОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ПРИВОДНОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, КОМПЛЕКТНЫЙ ТИРИСТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ТРАНС - ФОРМАТОР, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.

Объектом исследования является прошивной стан трубопрокатного агрегата - 220 мм.

Предметом исследования является электропривод прошивного стана трубопрокатного агрегата - 220 мм (ТПА - 220)

Цель: разработка и расчёт электропривода и системы автоматического управления прошивного стана ТПА - 220.

Описание технологического процесса основного оборудования.

Произведён расчёт и выбор силовой части электропривода, а именно выбор электродвигателя и преобразователя электроэнергии.

Произведён расчёт математической модели электродвигателя и синтезирована система автоматического регулирования электропривода на основе принципа подчинённого регулирования с последовательной коррекцией.

Произведен технико-экономический расчёт для обоснования и внедрения спроектированного электропривода.

Разработано руководство по эксплуатации электропривода прошивного стана трубопрокатного агрегата (ТПА - 220).

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	7
1.1 Технология работы прошивного стана.....	7
1.2 Конструкция и технические данные стана.....	12
2. ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ДВИГАТЕЛЯ И СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....	15
2.1 Требования к электроприводу.....	15
2.2 Выбор системы электропривода.....	16
2.3 Выбор и проверка двигателя.....	17
2.4 Выбор приводного преобразователя.....	23
3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	29
3.1 Выбор системы автоматического регулирования.....	29
3.2 Разработка модели силовой части.....	30
3.3 Расчёт регуляторов.....	41
3.4 Разработка принципиальной схемы.....	51
4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА.....	55
4.1 Расчёт затрат при действующем оборудовании.....	56
4.2 Расчёт затрат при спроектированном оборудовании.....	58
4.3 Оценка экономической эффективности инвестиций.....	59
5. РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПО РУКОВОДСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОШИВНОГО СТАНА.....	62
5.1. Общие сведения.....	62
5.2. Структура условного обозначения.....	62
5.3. Условия эксплуатации и принцип действия.....	63
5.4. Эксплуатация электропривода.....	65
6. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	80
6.1. Охрана труда при работе на прошивном стане.....	80

6.2. Описание вредных факторов.....	81
6.3. Методы защиты.....	83
6.4. Вывод.....	85
7. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	92
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	93
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	95

ВВЕДЕНИЕ

Учитывая большую потребность всех отраслей промышленности в стальных трубах, в нашей стране построены и строятся высокопроизводительные агрегаты по трубному производству. Таким является трубопрокатный агрегат ТПА-220.

Повышение скоростей проката, значительный рост величины разовых деформаций, улучшение качества прокатного инструмента, комплексная механизация и автоматизация прокатных станов - все это мероприятия обеспечивают повышение качества горячекатаных труб при одновременном росте производительности труда. Современные нагревательные прокатные станы имеют электроприводы большой мощности и сложные схемы управления, при этом они должны обладать высокой надёжностью, быстродействием, точностью регулирования.

В настоящее время промышленность располагает большим разнообразием средств автоматизации, применение которых позволит создать системы управления электроприводов в соответствии с поставленными требованиями технологии. Создание новых электрических аппаратов для управления электродвигателями, автоматических регуляторов, выпрямительных устройств, а также специальных программных устройств и микропроцессоров приводит к решению задачи автоматизации электропривода.

В результате автоматизации тяжёлый физический труд рабочих ликвидируется, их участие в рабочем процессе сводится к настройке механизмов и машин и контролю их бесперебойной работы.

Разработка электропривода и системы автоматического регулирования прошивного стана ТПА-220 в соответствии с современными требованиями с использованием достижений науки и техники является темой выпускной квалификационной работы.

Объектом исследования является прошивной стан трубопрокатного агрегата - 220 мм.

Предметом исследования является электропривод прошивного стана трубопрокатного агрегата - 220 мм (ТПА - 220)

Цель: разработка и расчёт электропривода и системы автоматического управления прошивного стана ТПА - 220.

Задачи: описать технологический процесс основного оборудования.

Произвести расчет и выбор силовой части электропривода, а именно выбрать электродвигателя и преобразователь электроэнергии.

Произвести расчёт математической модели электродвигателя и синтезированной системы автоматического регулирования электропривода на основе принципа подчинённого регулирования с последовательной коррекцией.

Произвести технико-экономический расчёт для обоснования и внедрения спроектированного электропривода.

Разработать руководство по эксплуатации электропривода прошивного стана трубопрокатного агрегата (ТПА - 220).

Разработать систему охраны труда и экологичность данного прошивного стана.

1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Технология работы прошивного стана

Трубопрокатная установка 220 состоит из двух нагревательных печей, валкового прошивного стана, автоматического стана, двух обкатных машин, калибровочного стана, охлаждающего стола, трубопрокатного стана.

К каждой печи заготовки подают краном и укладывают на стеллажи перед загрузочными окнами. Загрузка их в печь и кантовка производится вручную.

Нагретые до заданной температуры в методических печах заготовки выдаются по очереди из каждой печи фрикционными выталкивателями в общий желоб выдачи, расположенный между обеими печами. Из желоба заготовки пневматическими сбрасывателями, имеющимися у каждой печи, выдаются на наклонную решетку, затем они скатываются на рольганг перед пневматическим зацентровщиком.

В случае некачественного нагрева или длительной задержки перед прошивкой заготовка в стан не задается, а отводится рольгангом в обратном направлении и сбрасывается в карман. Центрованная заготовка передается пневматическим сбрасывателем на наклонную решётку, расположенную перед прошивным станом, с которой она скатывается в приемный жёлоб прошивного стана. Чтобы избежать сильного биения заднего конца заготовки при прошивке, жёлоб закрывается специальной крышкой. Заготовка задается в валки прошивного стана пневматическим вталкивателем через вводную воронку, установленную между шпинделями на передней стороне рабочей клетки. Для ограничения предварительной задачи заготовок в воронке установлен убирающийся упор.

На выходной стороне стана размещены следующие механизмы: роликовые и секторные центрователи, крышки проводок, приводной оттаскивающий ролик, круговой выбрасыватель и упорный подшипник, который перемещается от канатного электропривода.

Прошитые гильзы перекатываются по наклонной решётке в приёмный желоб автоматического стана.

Автоматический стан раскатывает гильзы в трубы с заданной толщиной стенки. Раскатка гильзы до требуемой толщины стенки производится, как правило, в два прохода в одном и том же калибре. Трубы, не требующие калибровки, и трубы повышенной точности по стенке прокатываются в три прохода.

В комплекс механизмов автоматического стана входят: рабочая клеть, главный привод, передний и задний столы, механизм роликов обратной подачи с приводом и вспомогательное оборудование (пневматический выбрасыватель, заталкиватель, клиновое устройство подъема валка).

На переднем столе размещен длинноходовой пневматический вталкиватель. Средняя секция желоба выполнена подъемно-поворотной для того, чтобы можно было задать трубу в валки другим концом. Подъем этой секции вместе с трубой осуществляется пневматическим цилиндром. Стол вдоль калибров валков передвигается от самостоятельного электропривода.

В конце заднего стола расположен упор для закрепления стержня. После каждого прохода оправка снимается от стержня вручную. Перед задачей для второго прохода трубу кантуют на 90° также вручную. Прокатанная на автоматическом стане труба выбрасывателем выдается на наклонную решетку к обкатным машинам.

Обкатные машины предназначены для раскатки наружных и внутренних пороков на трубах, главным образом риск. В результате раскатки на обкатных машинах диаметр трубы увеличивается на 2...3 мм, а труба приобретает

правильную круглую форму. При обкатке уменьшается разнотолщность стенки трубы.

Перед вводным желобом первой обкатной машины установлен механизм для выравнивания скатывающихся по наклонной решётке труб, а также для последующего подталкивания их к вводному желобу второй обкатной машины. Задача труб в обкатные машины производится поочередно. Если вводной желоб первой обкатной машины перекрыт перекрывателем, то очередная труба перекачивается по наклонной решётке в приёмный желоб второй машины. В комплекс механизмов обкатной машины входит фрикционный вталкиватель, рабочая клеть, главный привод, упорный подшипник, центрователи, крышки проводок, сбрасыватель, приводной отгаскивающий ролик, замковая клеть. Регулировку обжатия на машине производят вручную по показаниям амперметра, изменяющего нагрузку двигателя главного привода.

После обкатки трубы с обеих машин выдаются выбрасывателями по решеткам на общий отводной рольганг, по которому они транспортируются в калибровочный стан для калибровки на заданный диаметр.

После калибровки трубы поступают по отводящему рольгангу к сбрасывателю, которым передаются на первую секцию охлаждающего стола цепного типа, после чего промежуточным рольгангом они передаются на вторую секцию.

Для задачи заготовки в прошивной стан установлен длинноходовой пневматический цилиндр. Подача заготовки в валки прошивного стана осуществляется пневматическим вталкивателем, управляемым вальцовщиком стана с помощью дистрибутора (направляющего аппарата). Валки стана конусообразные, оси вращения которых находятся под углом друг к другу. Валки вращаются в одну сторону, сообщая заготовке вращательно-поступательное движение. Двигаясь вдоль оси прошивки, заготовка обжимается валками и встречает на своем пути оправку, которая внедряется в заготовку и прошивает ее, образуя из заготовки полу гильзу. Для

возможности прокатки на автоматической установке широкого сортамента труб как по размерам, так и по маркам стали, валки прошивного стана имеют возможность изменять угол наклона к оси прошивки.

Прошивка заготовки из углеродистых и легированных марок стали производится на несменяемой оправке, устанавливаемой в наконечник стержня упорного подшипника. Прошивка заготовки из высоколегированных, нержавеющей марок стали и сплавов производится на несменяемой оправке, устанавливаемой в наконечник стержня упорного подшипника после каждой прошивки заготовки.

Прошитая заготовка (гильза) отводится от валков рабочей клетки подъемным приводным роликом, с оправкой выводится из гильзы обратным ходом упорного подшипника. Освобожденная от стержня гильза круговыми выбрасывателями выдается на наклонную решетку, по которой выкатывается в выравнивающий рольганг, а оттуда передается в желоб автомат стана.

С целью сокращения времени задачи заготовки в валки необходимо сразу же после ее падения в желоб вталкивателем подать как можно больше к клети стана. При готовности стана к приему заготовки время окончательной задачи ее в валки с близкого расстояния составит значительно меньшую величину. При возврате поршня вталкивателя в исходное положение нельзя допускать удара поршня о крышку цилиндра. Поэтому вместо глухой задней крышки цилиндра была установлена специальная демпфирующая головка, имеющая два выхлопных отверстия с редукционным клапаном.

Чтобы зафиксировать предварительную остановку вталкивателя с заготовкой перед клетью стана, на вводной воронке установлен механический исчезающий упор с пневматическим приводом.

Во время предварительной подачи заготовки упор перекрывает ручей воронки, поэтому заготовка останавливается. После подготовки стана к приему заготовки упор поднимается для окончательной задачи ее в валки.

На выходной стороне прошивного стана реконструкции подверглись три механизма: привод упорного подшипника, сбрасыватель гильз и оттаскивающий ролик. Для передвижения упорного подшипника предусмотрен электрический привод с канатной передачей. Для быстрого и надежного извлечения прошитой гильзы за пределы клетки прошивного стана установлен приводной оттаскивающий ролик.

До реконструкции и автоматизации установки трубы после автоматического стана выбрасывались на наклонную решётку перед обкатными машинами и свободно по ней перекатываясь, попадали поочередно во вводные желоба первой и второй обкатки машин. Значительная часть труб после автоматического стана несколько искривится. При перекатывании таких труб по наклонной решетке один конец их обычно «заносится», поэтому трубы катаются неровно и часто попадают в желоб одним концом. Для ускорения этого недостатка перед желобом первой обкатной машины установлен специальный механизм, представляющий собой стальной вал длиной 16 м, на котором укреплено восемь двуплечих рычагов разной длины. В плоскости, перпендикулярной оси вала, короткий и длинный рычаги расположены по отношению друг к другу под углом 120° .

При реконструкции вместо пневматических выталкивателей были установлены фрикционные на электроприводе. Конструктивно фрикционный выталкиватель представляет собой два желобчатых ролика, в калибрах которого под действием сил трения, возникающих между роликами и штангой, перемещается штанга. Нижний ролик приводится во вращение электрическим двигателем постоянного тока; верхний ролик - нажимной, холостой. На переднем конце штанги закреплена выталкивающая головка, которая свободно может вращаться вокруг штанги. Это необходимо для того, чтобы при захвате вращение трубы не передавалось штанге.

Пневматические приводы упорных подшипников при реконструкции были заменены электрическими, подобно приводам упорных подшипников

прошивного стана. Однако на упорном подшипнике прошивного стана привод имеет два электродвигателя, а привод на обкатной машине - один двигатель.

На выходной стороне обкатных машин установлены такие же приводные оттаскивающие ролики, как и на выходной стороне прошивного стана. До реконструкции загрузка труб в печь промежуточного нагрева редукционного стана производилась с помощью фрикционного вталкивателя. Ввиду того, что автоматизация этого вталкивателя оказалась невозможной, он был заменен рольгангом.

Для механизации процесса сталкивания труб на подину промежуточной печи нагрева установлен специальный механизм - боковой сталкиватель, состоящий из четырех штанг. Штанги могут входить в рабочее пространство через окна в боковой стене печи на уровне, соответствующем уровню приемной площадки подины. Штанги крепятся шарнирами к четырем рычагам, укрепленным на одном валу, который совершает реверсивный поворот с помощью кривошипно-рычажного механизма и электропривода на угол $60...70^\circ$.

1.2 Конструкция и технические данные стана

Прошивной стан предназначен для прошивки в нагретом состоянии заготовок круглого сечения из углеродистых, шарикоподшипниковых и легированных сталей в толстостенные гильзы. Прошивной стан состоит из рабочей клетки с двумя валками, каждый из которых имеет максимальный диаметр $D = 1050$ мм, длину $B = 650$ мм, вес $Q = 3650$ кг, шестеренной клетки с передаточным числом $i = 2$, двух передаточных шпинделей.

Кинематическая схема прошивного стана показана на рисунке 1, где цифрой 1 обозначен двигатель, цифрой 2 - редуктор, цифрой 3 - валки, 4 - датчик скорости.

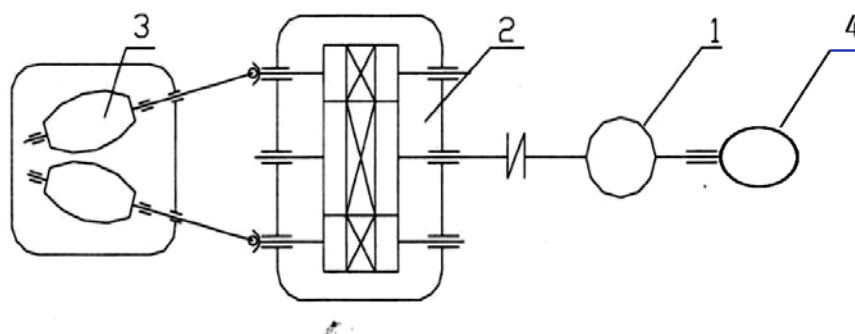


Рисунок 1 - Кинематическая схема прошивного стана

Общий вид прошивного стана представлен на рисунке 2. Основные технические характеристики стана приведены в таблице 1.

Исходные данные, необходимые для предварительного расчета мощности электродвигателя: $M_{пр} = 132 \text{ кН}\cdot\text{м}$; $M_{тр} = 0,96 \text{ кН}\cdot\text{м}$; $M_{хх} = 3,96 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Таблица 1 - Технические данные прошивного стана

Наименование	Величина	Единица измерения
Диаметр заготовки	210	мм
Длина заготовки	2350	мм
Вес заготовки	575	кг
Температура заготовки	1150...1200	°С
Скорость задачи заготовки в стан	1,2...1,5	м/с
Скорость прокатки	0,4...0,8	м/с
Наружный диаметр гильзы	206	мм
Внутренний диаметр	146	мм
Толщина стенки	30	мм
Диаметр оправки	142	мм
Длина оправки	285	мм

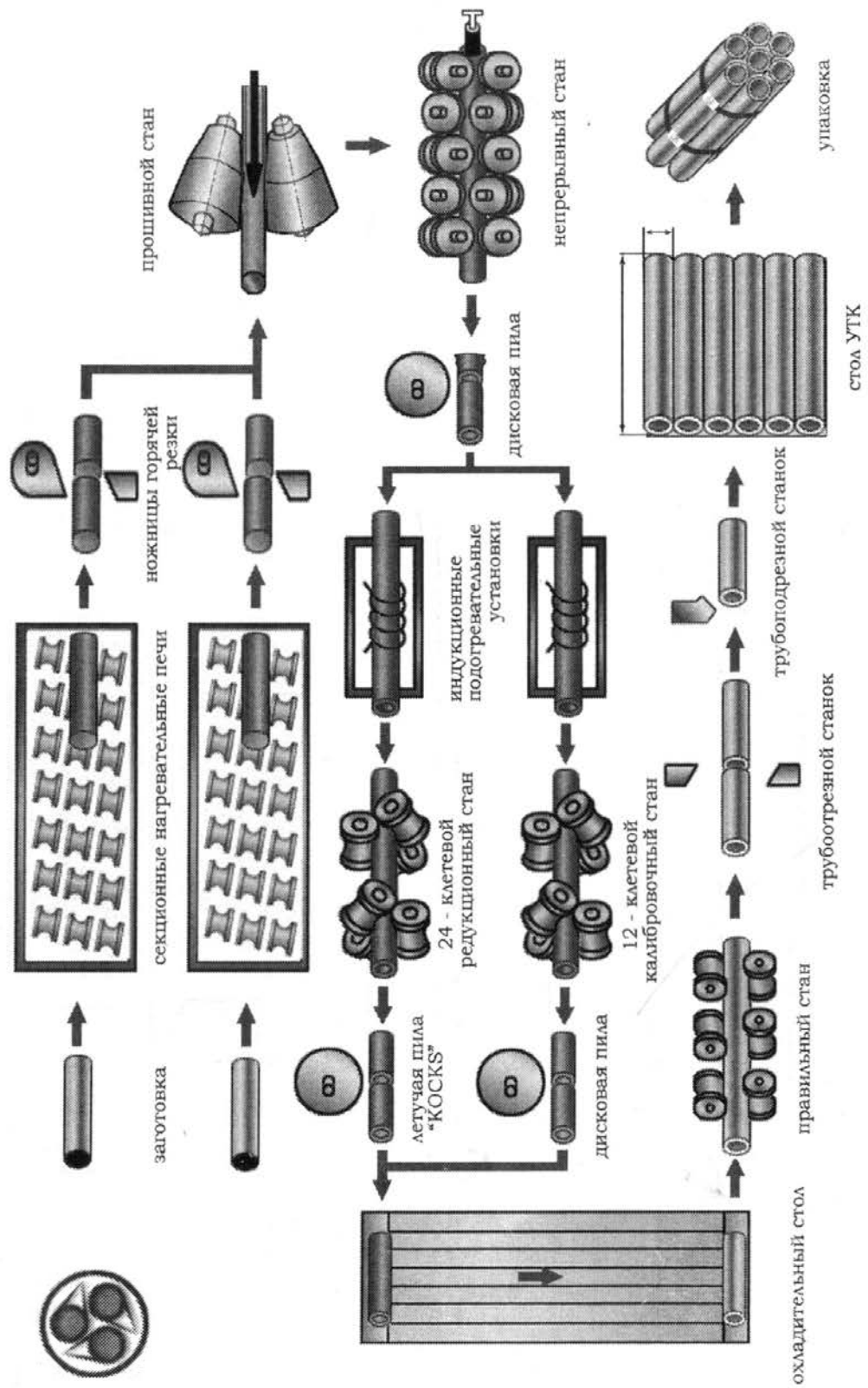


Рисунок 2 - Общий вид участка прошивного стана

2. ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ДВИГАТЕЛЯ И СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

2.1 Требования к электроприводу

Особенность непрерывной прокатки, ударный выброс и сброс нагрузки при рабочей скорости, а также совершенная технология трубопрокатного производства по увеличению объемов производительности стана получается за счет.

Максимального использования скорости прокатных двигателей и улучшения качества переходных процессов определяет следующие требования к электроприводу прошивного стана:

- обеспечение устойчивой работы при всех нагрузках, которые определяются технологической картой прошивки заготовок;
- широкий диапазон и плавность регулирования скорости. Технология прошивки заготовок на прошивном стане при широком сортаменте труб, как углеродистых, так и легированных, требует регулирование скорости в диапазоне 1:2;
- жесткость механических характеристик, чем обеспечивается независимость скорости прошивки от нагрузки двигателя;
- привод должен быть быстродействующим. Время переходного процесса, то есть восстановление скорости при набросе нагрузки: 0,3...0,5 с;
- динамическая просадка скорости в переходном режиме не должна превышать 5% от скорости холостого хода;
- надежность работы и простота обслуживания - является неременным условием безаварийной прокатки и малых затрат на эксплуатацию электрооборудования.

2.2 Выбор системы электропривода

Учитывая требования, предъявляемые к электроприводу стана, можно было бы применить в качестве приводного асинхронный двигатель, которые широко применяются благодаря своим качествам: дешевизна двигателя; простота конструкции и надежность; высокий коэффициент полезного действия. Но асинхронные приводные двигатели уступают двигателю постоянного тока, работающие по системе ТП-Д, лишь в приводах требующих плавного регулирования скорости вращения - это главные приводы прокатных станов и т.п. Поэтому для электропривода прошивного стана предлагается использовать двигатель постоянного тока независимого возбуждения, который позволяет получить хорошее качество переходных процессов и широкий диапазон изменения скорости от 0 до $n_{ном}$ изменением напряжения на якоре, а свыше $n_{ном}$ ослаблением потока возбуждения.

Двигатель работает в условиях, где окружающая среда невзрывоопасна и не содержит вредных примесей, но имеется повышенное содержание тонкой металлической пыли и повышенная температура окружающей среды. Выбираем в качестве приводного двигателя прошивного стана двигатель типа П2 для металлургического производства.

В настоящее время наиболее широкое распространение получила система ТП-Д, которая является прогрессивной для питания двигателей постоянного тока вследствие следующих преимуществ:

- высокая надежность и более длительный срок службы;
- высокие энергетические показатели;
- постоянная готовность к работе;
- малые габариты и вес.

Но полупроводниковые вентили имеют свои недостатки: низкая перегрузочная способность и чувствительность к большим перегрузкам, поэтому в настоящее время изготавливаются тиристоры на большие токи и

разработаны методы защиты от токов короткого замыкания и перенапряжения, что позволяет применить их для широкого круга приводов.

Следовательно, для управления приводом прошивного стана применяем систему ТП-Д.

2.3 Выбор и проверка двигателя

Момент сопротивления для привода двух валков, приведенный к валу двигателя (с учетом КПД шестеренной клетки):

$$M_{ср} = \frac{j \cdot (M_{np} + M_{mp} + M_{xx})}{i \cdot \eta_{шк} \cdot \eta_{ш}} = \frac{2 \cdot (132 + 0,96 + 3,96)}{2 \cdot 0,96 \cdot 0,98} = 145,5 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (1)$$

где $j = 2$ - количество валков; $i = 2$ - передаточное число шестеренной клетки; $\eta_{шк} = 0,96$ - КПД шестеренной клетки; $\eta_{ш} = 0,98$ - КПД шпинделя.

Номинальная частота вращения шпинделя, приведенная к валу двигателя:

$$\omega_{ном} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30} = 13,1 \text{ с}^{-1}, \quad (2)$$

где $n_{ном} = 125$ об/мин - номинальная скорость вращения валков стана.

Рассчитанная минимальная мощность двигателя:

$$P = M_{дв} \omega_{ном} = 145,5 \cdot 13,1 = 1906,1 \text{ кВт}. \quad (3)$$

По расчетному моменту и мощности предварительно выбираем двигатель постоянного тока типа П2-20/40-2,5 УХЛ с независимым возбуждением. Двигатели подобного исполнения изготавливаются заводом «Электротяжмаш» по специальному заказу. В таблице 2 приведены номинальные данные двигателя.

Таблица 2 - Номинальные данные электродвигателя П2-20/40-2,5 УХЛ

Обозначение	Величина	Ед. измерения
1	2	3
$P_{ном}$	2500	кВт
$I_{ном}$	2870	А

Окончание таблицы 2

1	2	3
$U_{\text{ном}}$	930	В
$I_{\text{в}}$	100	А
$U_{\text{в}}$	110	В
$M_{\text{ном}}$	190	кН·м
$\omega_{\text{ном}}$	13,1	с^{-1}
ω_{max}	33	с^{-1}
λ_{max}	2	
$\lambda_{\text{ном}}$	1,8	

На основании расчета нагрузочной диаграммы проверим соответствие выбранной мощности двигателя главного привода заданному режиму работы исполнительного механизма по условиям нагрева и по перегрузочной способности.

В проектируемом приводе, в отличие от действующего, с целью улучшения условий захвата заготовки рабочей клетки, захват должен вестись на пониженной скорости, которая на 20...30% ниже номинальной, а захваченную заготовку прошивают на скорости 20...30% выше номинальной.

Скорость вращения вала двигателя при пониженной скорости:

$$n_{\text{п}} = 0,8 n_{\text{ном}} = 0,8 \cdot 125 = 100 \text{ об/мин.} \quad (4)$$

Скорость вращения вала при прошивке (рабочая скорость):

$$n_{\text{р}} = 1,2 n_{\text{ном}} = 1,2 \cdot 125 = 150 \text{ об/мин.} \quad (5)$$

Коэффициент ослабления поля:

$$K_o = n_{\text{р}} / n_{\text{ном}} = 150 / 125 = 1,2.$$

(6)

Принимаем ускорение при разгоне $a = 60 \text{ об/мин/с}$, равным замедлению при торможении.

Момент инерции привода:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{\text{мех}} = 9850 + 3100 = 12950 \text{ кг}\cdot\text{м}^2,$$

(7)

где $J_{\text{дв}} = 9850 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ - момент инерции двигателя; $J_{\text{мех}} = 3100 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ - момента инерции механизма.

Динамический момент при разгоне и торможении:

$$M_{\text{дин.р}} = M_{\text{дин.т}} = J \sum \alpha / 9,55 = 12950 \cdot 60 / 9,55 = 81 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (8)$$

Пусковой момент:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{спр}} + M_{\text{дин.р}} = 145,5 + 81 + 226,5 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (9)$$

Тормозной момент:

$$M_{\text{т}} = -M_{\text{дин.т}} + M_{\text{х.х}} = -81 + 3,96 = -77 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (10)$$

При работе на скорости выше основной действительный момент увеличивается с учетом коэффициента ослабления поля. Фиктивный максимальный момент при пуске на скорости выше основной:

$$M_{\text{п}}' = K_o M_{\text{п}} = 1,2 \cdot 226,5 = 271 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (11)$$

Фиктивный максимальный момент при торможении на скорости выше основной:

$$M_{\text{т}}' = K_o M_{\text{т}} = 1,2 \cdot (-77) = -92,4 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (12)$$

По данным таблицы проката время прошивки составляет 7 секунд, а время паузы 8 секунд.

Время разгона при полном потоке:

$$t_1 = (n_{\text{ном}} - n_{\text{п}}) / a = (125 - 100) / 60 = 0,42 \text{ с}.$$

Фиктивный момент при прошивке на рабочей скорости:

$$M_{\text{р}}' = K_o M_{\text{спр}} = 1,2 \cdot 145,5 = 175 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (13)$$

Время разгона при ослабленном потоке:

$$t_2 = (n_{\text{р}} - n_{\text{ном}}) / a = (150 - 125) / 60 = 0,42 \text{ с}. \quad (14)$$

Время прошивки на рабочей скорости:

$$t_{\text{р}} = t_{\text{пр}} - t_1 - t_2 = 7 - 0,42 - 0,42 = 6,16 \text{ с}. \quad (15)$$

Время торможения при ослабленном потоке:

$$t_3 = (n_{\text{р}} - n_{\text{ном}}) / a = (150 - 125) / 60 = 0,42 \text{ с}. \quad (16)$$

Время торможения при полном потоке:

$$t_4 = (n_{\text{ном}} - n_{\text{п}}) / a = (125 - 100) / 60 = 0,42 \text{ с}. \quad (17)$$

Магнитный поток двигателя при рабочей скорости:

$$\Phi = \Phi_{\text{ном}} / K_o = 26,3 \cdot 10^{-2} / 1,2 = 21,9 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}, \quad (18)$$

где $\Phi_{\text{ном}} = 26,3 \cdot 10^{-2}$ Вб - номинальный поток двигателя.

Время работы двигателя на пониженной скорости (х.х.):

$$t_{\text{х.х.}} = t_{\text{п}} - (t_3 + t_4) = 8 - (0,5 + 0,4) = 7,1 \text{ с.} \quad (19)$$

Время рабочего цикла:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{п}} = 7 + 8 = 15 \text{ с.} \quad (20)$$

Проверка двигателя по нагреву и по перегрузочной способности:

Проведём проверочный расчёт на соответствие выбранной мощности двигателя главного привода заданному режиму работы исполнительного механизма по условиям нагрева и по перегрузочной способности. Условие правильного выбора двигателя по нагреву:

$$M_{\text{экв}} \leq M_{\text{ном}}.$$

(21)

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_g^2 t_1 + M_n^2 t_2 + M_p^2 t_p + M_r^2 t_3 + M_r^2 t_4 + M_{\text{х.х.}}^2 t_{\text{х.х.}}}{t_{\text{ц}}}} = \quad (22)$$

$$\sqrt{\frac{227^2 \cdot 0,42 + 271^2 \cdot 0,42 + 175^2 \cdot 6,16 + 92,4^2 \cdot 0,42 + 77^2 \cdot 0,42 + 3,96^2 \cdot 6,46}{15}}$$

$$= 134,2 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

$$M_{\text{экв}} = 134,2 \text{ кН}\cdot\text{м} < M_{\text{ном}} = 190 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Откуда следует, что условие выполняется и двигатель проходит по нагреву.

Коэффициент загрузки двигателя:

$$K_3 = M_{\text{экв}} / M_{\text{ном}} = 134,2 / 190 = 0,71.$$

При ослаблении потока возбуждения перегрузочная способность равна $\lambda = 1,8$.

Условием проверки двигателя по перегрузочной способности является соблюдение условия.

$$\lambda_p \leq \lambda_{\text{макс}}, \quad (23)$$

где λ_p - коэффициент расчетной нагрузки:

$$\lambda_p = M_{\text{мах}} / M_{\text{ном}} = 271 / 190 = 1,4, \quad (24)$$

где $M_{\max} = M_{\Pi}' = 271 \text{ кН}\cdot\text{м}$ - максимальный момент за рабочий цикл.

$\lambda_p = 1,4 < \lambda_{\max} = 2$, следовательно, двигатель проходит по перегрузочной способности. На основании полученных данных построим нагрузочную диаграмму рисунок 3.

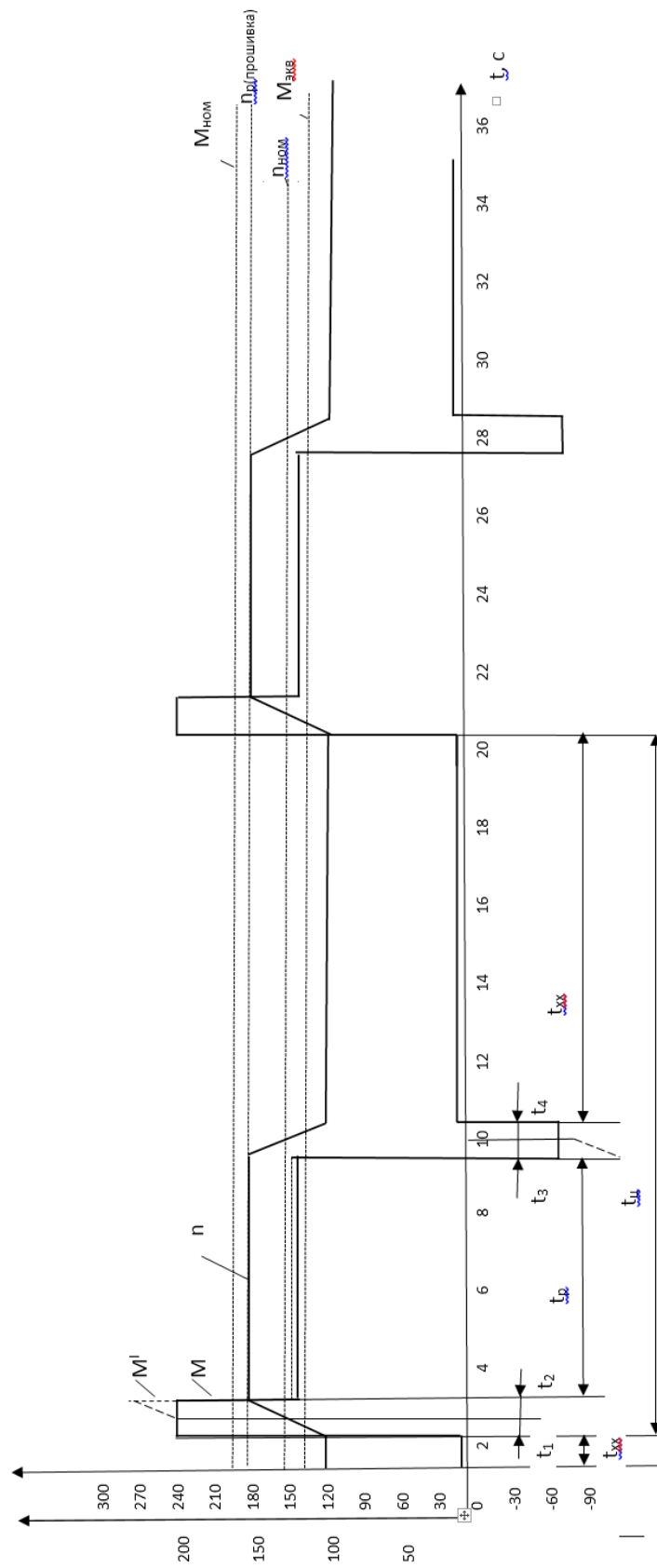


Рисунок 3 - Тахограмма и нагрузочная диаграмма электропривода

2.4. Выбор приводного преобразователя

Нагрузка тиристорных агрегатов выбирается из двух условий: ограничение по среднеквадратичному току и ограничение максимальной температуры структуры тиристора в рабочих режимах.

Для двигателя постоянного тока при постоянном потоке справедливо соотношение:

$$I_{\text{ср.кв}} = \frac{M_{\text{ср.кв}} \cdot I_{\text{ном}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{134,2 \cdot 2870}{190} = 2027 \text{ А.} \quad (25)$$

Ограничение максимальной температуры тиристоров связано с перегрузками. Из нагрузочной диаграммы $M_{\text{п}} = 226 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Определяем $I_{\text{С max}}$:

$$I_{\text{С max}} = \frac{M_{\text{п}} \cdot I_{\text{ном}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{227 \cdot 2870}{190} = 3415 \text{ А.} \quad (26)$$

Напряжение, необходимое для питания якоря двигателя $U_{\text{ном}}=930\text{В}$.

При выборе тиристорного преобразователя необходимо соблюдать условия: номинальный выпрямленный ток должен быть больше $I_{\text{ср.кв}}$: $I_{\text{дн}} > I_{\text{ср.кв}}$ и максимальный ток тиристорного преобразователя должен быть больше $I_{\text{Сmax}}$.

Учитывая вышеназванные условия, применяем для питания двигателя постоянного тока комплектный тиристорный электропривод унифицированный типа КТЭУ-4000/930Е-12Т208ДТ54-УХЛ4.

Номинальный выпрямленный ток: $I_{\text{дн}} = 4000 \text{ А.}$

Номинальное выпрямленное напряжение: $U_{\text{ном}} = 930 \text{ В.}$

Напряжение питающей сети: $U_{\text{с}} = 6000 \text{ В.}$

Проверяем выбранный тиристорный преобразователь:

$$I_{\text{дн}} = 4000 \text{ А} > I_{\text{ср.кв}} = 2027 \text{ А};$$

$$I_{\text{max}} = 7200 \text{ А} > I_{\text{Сmax}} = 3415 \text{ А},$$

где $I_{\text{max}} = \lambda_{\text{Ином}} = 1,8 \cdot 4000 = 7200 \text{ А.}$

Необходимые условия выполняются, тиристорный преобразователь по условиям проверки проходит.

Электрический расчет силового трансформатора выполняется с целью определения необходимых параметров трансформатора, по которым можно произвести все остальные расчеты.

Номинальный вторичный ток трансформатора:

$$I_{2н} = K_2 I_{дн} = 4000 \cdot 0,816 = 3266 \text{ А}, \quad (27)$$

где $K_2 = 0,816$ - коэффициент линейного вторичного тока трансформатора.

Приближенное номинальное вторичное напряжение трансформатора определяется из требуемой наибольшей ЭДС преобразователя:

$$U_{2н} = \frac{K_R \cdot K_\alpha \cdot U_{ном}}{K_c \cdot K_e} = \frac{1,05 \cdot 1 \cdot 930}{0,9 \cdot 1,35} = 900 \text{ В}, \quad (28)$$

где $K_c = 0,9$ - коэффициент снижения напряжения сети; $K_\alpha = 1$ - коэффициент, учитывающий падение напряжения в реверсивных преобразователях; $K_e = 1,35$ - коэффициент выпрямленного напряжения; $K_R = 1,05$ - коэффициент, учитывающий падение напряжения на внутренних сопротивлениях преобразователя и реакторов.

ЭДС преобразователя при номинальных напряжениях и угле управления $\alpha = 0$:

$$E_{d0} = K_c U_{2н} = 1,35 \cdot 900 = 1215 \text{ В}. \quad (29)$$

Габаритная мощность трансформатора:

$$S_T = K_T E_{d0} \cdot 10^{-3} = 1,047 \cdot 1215 \cdot 4000 = 5088 \text{ кВА}, \quad (30)$$

где $K_T = 1,047$ - коэффициент типовой мощности.

Принимаем трансформатор ТМПД-6300/10 У2. Номинальные данные трансформатора приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Номинальные данные трансформатора ТМПД-6300/10 У2

Номинальные данные	Обозначение	величина	Ед.изм.
1	2	3	4
Номинальная мощность трансформатора	S_T	5090	кВА
Номинальное выпрямленное напряжение преобразователя	$U_{дн}$	930	В

Окончание таблицы 3

1	2	3	4
Номинальный ток сетевой обмотки	$I_{1н}$	389	А
Номинальное напряжение сетевой обмотки	$U_{1н}$	6000	В
Номинальный ток вентиляльной обмотки	$I_{2н}$	3270	А
Номинальное напряжение вентиляльной обмотки	$U_{2н}$	900	В
Коэффициент снижения напряжения питающей сети	K_c	0,93	
ЭДС короткого замыкания трансформатора	e_k	6,6	%
Потери короткого замыкания трансформатора	$\Delta P_{кз}$	30	кВт
Выпрямленный нормативный ток преобразователя	$I_{дн}$	4000	А
Напряжение управления, соответствующее ЭДС холостого хода преобразователя	U_y	8	В
Коэффициент выпрямления по напряжению	$K_{вU}$	1,35	
Коэффициент выпрямления по току	$K_{вI}$	0,471	

ЭДС холостого хода преобразователя ($\alpha=0$):

$$E_{d0} = K_{вU} U_{2н} = 1,35 \cdot 900 = 1215 \text{ В.} \quad (31)$$

Коэффициент передачи преобразователя по напряжению:

$$K_n = \frac{E_{d0}}{U_y} = \frac{1215}{8} = 152. \quad (32)$$

Индуктивное X_Δ и активное R_Δ сопротивление фазы трансформатора, приведенное к вторичной обмотке:

$$X_\Delta = \frac{U_{2н}}{K_{вI} \cdot I_{дн}} \cdot \frac{e_k}{100} = \frac{900}{0,471 \cdot 4000} \cdot \frac{7}{100} = 0,035 \text{ Ом.} \quad (33)$$

$$R_\Delta = \frac{\Delta P_{кз}}{3 \cdot (K_{вI} \cdot I_{дн})^2} = \frac{30 \cdot 10^3}{3 \cdot (0,471 \cdot 4000)^2} = 0,0052 \text{ Ом.} \quad (34)$$

Индуктивное X_λ и активное R_λ сопротивление фазы трансформатора, приведенное к вторичной обмотке в эквивалентной звезде:

$$X_\lambda = \frac{X_\Delta}{3} = \frac{0,035}{3} = 0,0117 \text{ Ом.} \quad (35)$$

$$R_\lambda = \frac{R_\Delta}{3} = \frac{0,0052}{3} = 0,0017 \text{ Ом.} \quad (36)$$

Эквивалентное сопротивление преобразователя:

$$R_{ЭП} = \frac{3}{\pi} \cdot X_\lambda + 1,75 \cdot R_\lambda = \frac{3}{\pi} \cdot 0,0117 + 1,75 \cdot 0,0017 = 0,014 \text{ Ом.} \quad (37)$$

Индуктивность трансформатора:

$$L_{ГР} = \frac{3 \cdot X_{\lambda}}{2 \cdot \omega_c} = \frac{3 \cdot 0,0117}{2 \cdot 314} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}, \quad (38)$$

где $\omega_c = 314 \text{ с}^{-1}$ - угловая частота сети.

Индуктивность реактора в цепи выпрямленного тока выбирается наибольшей, исходя из удовлетворения одного из нижеперечисленных условий:

Ограничение пульсаций тока якоря; Ограничение зоны прерывистого тока; Ограничение скорости нарастания тока короткого замыкания.

Для того, чтобы величина действующего значения переменной составляющей тока якоря не превышала допустимой величины, индуктивность якорной цепи должна быть:

$$L_{яц} = \frac{E_{d(p)}^* \cdot E_{d0}}{p \cdot \omega_c I_{я(p)}^* I_{ном}} = \frac{0,13 \cdot 1215}{12 \cdot 314 \cdot 0,02 \cdot 2870} = 710 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}, \quad (39)$$

где $E_{d(p)}^* = 0,13$ - относительная величина действующего значения ЭДС низшей гармоники преобразователя; $p = 12$ - пульсность преобразователя; $I_{я(p)}^* = 0,02$ - относительная величина действующего значения тока низшей гармоники преобразователя.

Для того, чтобы ток якоря был непрерывным при значениях тока, превышающих $I_{я.гр.макс} = 0,11 \text{ А}$, необходима индуктивность якорной цепи:

$$L_{яц} = \frac{K_{Г} E_{d0}}{\omega_c I_{я.гр.макс} I_{ном}} = \frac{0,096 \cdot 1215}{314 \cdot 0,11 \cdot 2870} = 690 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}, \quad (40)$$

где $K_{Г} = 0,096$ - коэффициент, зависящий от пульсности схемы.

Принимаем наибольшее: $L_{яц} = 0,71 \text{ мГн}$.

Индуктивность якоря двигателя:

$$L_{яд} = \frac{C_k \cdot U_{ном}}{\omega_{ном} \cdot p_n \cdot I_{ном}} = \frac{0,1 \cdot 930}{13,1 \cdot 5 \cdot 2870} = 35 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}, \quad (41)$$

где $C_k = 0,1$ - коэффициент компенсации; $p_n = 5$ - число пар полюсов.

Индуктивность реактора:

$$L_p = L_{яц} - L_{яд} - L_{п} = 0,71 - 0,35 - 0,05 = 0,31 \text{ мГн}. \quad (42)$$

Для ограничения скорости нарастания тока при коротком замыкании необходима индуктивность реактора:

$$L_p = 2,1U_{2H} / [\omega_c(I_{TSMm} - I_{дн})] - L_{\Pi} = \quad (43)$$
$$= 2,1716 / [314 (16000 - 4000)] - 50 \cdot 10^{-6} = 350 \cdot 10^{-6} \text{ Гн},$$

где $I_{TSMm} = 16 \text{ кА}$ - допускаемое значение ударного неповторяющегося тока тиристора в открытом состоянии при длительности протекания 10 мс и максимально допустимой температуре перехода.

Принимаем наибольшее: $L_p = 0,35 \text{ мГн}$.

Принимаем реактор СРОС-1800: 4000 А; 0,377 мГн.

Активное сопротивление реактора:

$$R_p = 78L_p / I_{дн}^{0,52} = 780,377 \cdot 10^{-3} / 4000^{0,52} = 0,39 \text{ мОм}. \quad (44)$$

Силовые цепи якоря и возбуждения представлены на рисунке 4.

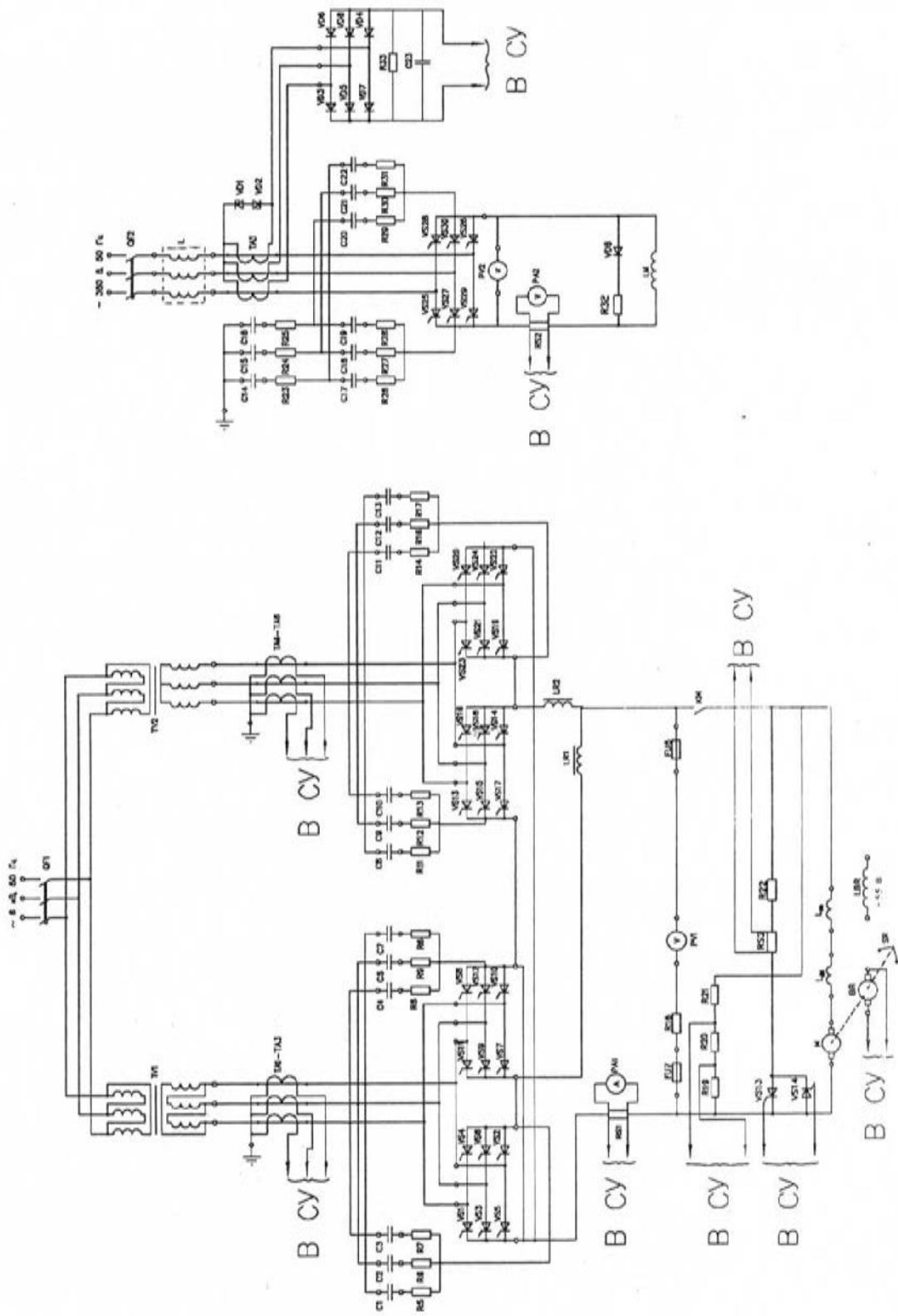


Рисунок 4 - Электрическая принципиальная схема силовых цепей

3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

3.1 Выбор системы автоматического регулирования.

Повышение требования к точности поддержания заданной скорости прокатки, а также ограниченное время восстановления скорости при ее динамических просадках являются основными особенностями электропривода прошивного стана.

Для реализации этих требований применим унифицированную систему подчиненного регулирования. Достоинством систем выполненных на операционных усилителях, является возможность реализации с высокой точностью желаемых передаточных функций, малая мощность управления, что позволяет применить датчики и задатчики регулируемых параметров с небольшими потерями, сравнительная легкость и простота настройки электроприборов.

Для рассматриваемого электропривода такими параметрами являются: ток якоря двигателя, ток обмотки возбуждения, скорость и ЭДС двигателя. На входе регулятора каждого из контуров сравниваются сигналы, пропорциональные заданному и действующему значениям, а выходное напряжение регулятора является заданием для последующего контура регулирования. Достоинством данной системы является также возможность простейшими средствами ограничивать любую из координат системы.

Каждый контур САР включает два структурных звена: регулятор и звено объекта регулирования. Синтез системы регулирования производится путем последовательной оптимизации отдельных контуров из условия получения заданного времени реакции на ступенчатое управляющее воздействие и допустимой статической ошибки.

В целом система управления электроприводом с реверсом напряжения якоря реализуется, как двух зонная система подчиненного регулирования.

3.2 Разработка модели силовой части

Технические данные двигателя типа П2-20/40-2,5 УХЛ приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Технические данные двигателя типа П2-20/40-2,5 УХЛ

Наименование	Обозначение	Величина	Ед. Измер.
Номинальная мощность двигателя	$P_{\text{НОМ}}$	2500	кВт
Номинальный ток двигателя	$I_{\text{НОМ}}$	2870	А
Номинальное напряжение двигателя	$U_{\text{НОМ}}$	930	В
Номинальное напряжение обмотки возбуждения	$U_{\text{В.НОМ}}$	110	В
Номинальный ток возбуждения	$I_{\text{В.НОМ}}$	100	А
Номинальный момент двигателя	$M_{\text{НОМ}}$	190	кН·м
Номинальная частота вращения	$n_{\text{НОМ}}$	125	об/мин
Максимальная частота вращения двигателя	$n_{\text{МАХ}}$	250	об/мин
Число пар полюсов	p	5	
Число витков обмотки возбуждения на полюс	$w_{\text{ОВ}}$	360	в/п
Сопротивление обмотки якоря (15°C)	$R_{\text{ЯО}}$	0,00843	Ом
Сопротивление обмотки дополнительных полюсов (15°C)	$R_{\text{ДП}}$	0,00073	Ом
Сопротивление обмотки возбуждения (15°C)	$R_{\text{ОВ}}$	1,798	Ом
Сопротивление компенсационной обмотки	$R_{\text{КО}}$	0,0026	Ом
Падение напряжения на щетках	$\Delta U_{\text{Щ}}$	2500	кВт
Момент инерции двигателя	$J_{\text{Д}}$	9850	кг·м ²
Перегрузочная способность	λ	2,0	

Максимально допустимая производная тока якоря:

$$\left(\frac{di_{\text{я}}}{dt} \right)_{\text{доп}} = 60c^{-1}.$$

Отношение числа активных проводников якоря к числу пар параллельных ветвей обмотки якоря:

$$\frac{N}{a} = \frac{675}{5} = 135.$$

Технические данные преобразователя якорной цепи:

Используемый комплектный тиристорный однодвигательный преобразователь КТЭУ-4000/930-12Т-УХЛ4.

Основной регулируемый параметр - скорость, двух зонное регулирование. Данный тиристорный преобразователь с линейным контактором и динамическим торможением.

Номинальные данные приведены КТЭУ-4000/930-12Т-УХЛ4 в таблице 5.

Таблица 5 - Номинальные данные КТЭУ - 4000/930 - 12Т - УХЛ4

Наименование	Обозначение	Величина	Ед. измер.
Номинальное выпрямленное напряжение преобразователя	$U_{\text{дном}}$	930	В
Номинальный выпрямленный ток	$I_{\text{дном}}$	4000	А
Линейное напряжение вентильной обмотки	$U_{2\text{п}}$	900	В
Номинальный ток вентильной обмотки	$I_{2\text{ном}}$	3270	А

Схема преобразователя: реверсивная, двенадцатипульсная. Каждый комплект выполнен по трехфазной мостовой схеме, СИФУ выполнено по вертикальному принципу с линейным опорным напряжением с отдельным управлением.

Пульсность: $m = 12$; коэффициент передачи СИФУ: $k_{\alpha} = \frac{d\alpha}{dU} = 11 \text{град/В}$.

Для выбранного преобразователя используется стандартный дроссель СРОС-1800: 4000 А; 0,377 мГн, имеющий следующие номинальные данные:

$I_{\text{дн}} = 4000 \text{ А}$; $L_{\text{р}} = 0,377 \text{ мГн}$; $R_{\text{р}} = 0,39 \text{ мОм}$.

Технические данные тиристорного преобразователя цепи возбуждения:

Используемый встроенный возбудитель входит в комплект тиристорного преобразователя КТЭУ-4000/930-12Т-УХЛ4. Возбудитель неререверсивный с изменением полярности напряжения на якоре, имеет реакторное питание. На стороне переменного тока имеет автоматический выключатель А3726Б.

Номинальное выпрямленное напряжение преобразователя: $U_{\text{пном}} = 440 \text{ В}$. Номинальный выпрямленный ток: $I_{\text{пном}} = 100 \text{ А}$. Действующее значение линейного номинального вторичного напряжения: $U_{2\text{ном}} = 380 \text{ В}$. Пульсность: $m = 6$. Максимальное опорное напряжение $U_{\text{оп.макс}} = 10 \text{ В}$.

Для выбранного преобразователя используется токоограничивающий реактор РСТ-10,5-1,08УЗ, имеющий следующие номинальные данные приведенные в таблице 6.

Таблица 6 - Номинальные данные токоограничивающего реактора РСТ-10,5-1,08УЗ

Наименование	Обозначение	Величина	Ед. измер.
Номинальное линейное напряжение питающей сети	$U_{л\text{ ном}}$	380	В
Номинальный фазный ток	$I_{ф\text{ ном}}$	82	А
Активное сопротивление обмотки	$R_{то}$	175	мОм
Номинальная индуктивность фазы	$L_{то}$	1,08	мГн

Параметры якорной цепи двигателя:

Активное сопротивление якорной цепи двигателя:

$$R_{яд} = K_t (R_{яо} + R_{ко} + R_{щ}) + R_{ш} = \quad (45)$$

$$1,24 (0,0032 + 0,0026 + 0,00073) + 0,0007 = 0,014 \text{ Ом},$$

где $K_t = 1,24$ - коэффициент, учитывающий изменение сопротивления при нагреве, зависит от класса изоляции и материала проводников;

$R_{ш} = 0,0007 \text{ Ом}$ - активное сопротивление щеточного контакта.

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи:

$$T_{яд} = \frac{L_{яд}}{R_{яд}} = \frac{0,35}{0,014} = 0,041 \text{ с}. \quad (46)$$

Максимальная ЭДС преобразователя:

$$E_{дм\text{ макс}} = \sqrt{2} \cdot U_{2п} \frac{m}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{m} = \sqrt{2} \cdot 900 \cdot \frac{12}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{12} = 1264 \text{ В}. \quad (47)$$

Активное сопротивление шин принимается:

$$R_{ш} = 0,1 R_{я} = 0,1 \cdot 0,014 = 0,0014 \text{ Ом}. \quad (48)$$

Активное сопротивление трансформатора:

$$R_{ТР} = \frac{\Delta P_{М.ТР}}{I_{дн}^2} = \frac{40000}{4000^2} = 0,0024 \text{ Ом}, \quad (49)$$

где $\Delta P_{М.тр} = 40 \text{ кВт}$ - потери в меди трансформатора.

Активное сопротивление сглаживающего реактора:

$$R_P = \frac{\Delta P_{М.Р.}}{I_{дн}^2} = \frac{10700}{4000^2} = 0,0004 \text{ Ом}, \quad (50)$$

где $\Delta P_{\text{м.р.}} = 10,7$ кВт - потери в меди реактора.

Активное (эквивалентное) сопротивление главной цепи:

$$R_{\Sigma} = R_{\text{яд}} + R_{\text{ш}} + R_{\text{тр}} + R_{\text{o}} + R_{\text{эл}} = 0,014 + 0,0014 + 0,0024 + 0,004 + 0,014 = 0,0358 \text{ Ом.}$$

Индуктивность главной цепи:

$$L_{\Sigma} = L_{\text{яд}} + L_{\text{тр}} + L_{\text{др}} = (0,35 + 0,056 + 0,5) \cdot 10^{-3} = 0,906 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.} \quad (51)$$

Электромагнитная постоянная времени главной цепи:

$$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{0,906 \cdot 10^{-3}}{0,0358} = 0,025 \text{ с,} \quad (52)$$

Номинальная ЭДС двигателя:

$$E_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} - I_{\text{ном}} R_{\text{яд}} - \Delta U_{\text{м}} = 930 - 2870 \cdot 0,014 - 2 = 888 \text{ В.}$$

(53)

$$k\Phi_{\text{ном}} = E_{\text{ном}} / \omega_{\text{ном}} = 888 / 13,1 = 68,88 \text{ В.} \quad (54)$$

Электромеханическая постоянная времени:

$$T_{\text{м}} = \frac{J_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma}}{(k\Phi_{\text{ном}})^2} = \frac{12950 \cdot 0,0358}{68,88^2} = 0,097 \text{ с.} \quad (55)$$

Система базисных величин: За основные базисные величины для силовой части приняты:

- номинальная ЭДС якоря $U_{\delta} = E_{\text{дн}} = 888 \text{ В;}$
- номинальный ток якоря двигателя $I_{\delta} = I_{\text{ном}} = 2870 \text{ А;}$
- номинальная скорость двигателя $\omega_{\delta} = \omega_{\text{ном}} = 13,1 \text{ с}^{-1};$
- номинальный электромагнитный момент двигателя

$$M_{\delta} = M_{\text{ном}} = 190 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

$$\text{Базисное сопротивление: } R_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{I_{\delta}} = \frac{888}{2870} = 0,309 \text{ Ом.} \quad (56)$$

Параметры главной цепи в системе относительных единиц:

Активное сопротивление главной цепи:

$$r_{\Sigma} = \frac{R_{\Sigma}}{R_{\delta}} = \frac{0,0358}{0,309} = 0,116 \quad (57)$$

Механическая постоянная времени:

$$T_j = \frac{J\omega_\delta}{M_\delta} = \frac{12950 \cdot 13,1}{190 \cdot 10^3} = 0,89 \text{ с.} \quad (58)$$

Коэффициент усиления преобразователя:

$$k_{\Pi} = K_{\Pi} \frac{U_{\delta.p}}{U_\delta} = 152 \cdot \frac{7}{888} = 1,198 \text{ о.е.} \quad (59)$$

Коэффициент передачи датчика тока:

$$K_{\text{дт}} = k_{\text{дс}} \frac{U_{\delta.p}}{I_\delta} = 1 \cdot \frac{7}{2870} = 0,002 \text{ В / А,} \quad (60)$$

где $k_{\text{дт}} = 1$ - коэффициент передачи датчика тока в относительных единицах.

Коэффициент передачи датчика скорости:

$$K_{\text{дс}} = k_{\text{дс}} \frac{U_{\delta.p}}{\omega_\delta} = 1 \cdot \frac{7}{13,1} = 0,6 \text{ В} \cdot \text{с,} \quad (61)$$

где $k_{\text{дс}} = 1$ - коэффициент передачи датчика скорости в относительных единицах.

Коэффициент передачи датчика ЭДС:

$$K_{\text{дэ}} = k_{\text{дэ}} \frac{U_{\delta.p}}{U_\delta} = 1 \cdot \frac{7}{888} = 0,0097, \quad (62)$$

где $k_{\text{дэ}} = 1$ - коэффициент передачи датчика ЭДС в относительных единицах.

Параметры цепи возбуждения системы двух зонного регулирования:

Ток возбуждения по кривой намагничивания при ослабленном потоке

$$I_{\text{в}}, 0,8\Phi_{\text{ном}} = 0,55I_{\text{в.ном}} = 0,55 \cdot 100 = 55 \text{ А.} \quad (63)$$

Номинальное значение потока рассеяния:

$$\Phi\sigma_{\text{ном}} = \sigma\Phi_{\text{ном}} = 0,18 \cdot 0,216 = 0,048 \text{ Вб,} \quad (64)$$

где $\sigma = 0,18$ - коэффициент рассеяния.

Номинальное значение главного потокосцепления:

$$\Psi_{\text{м.ном}} = \frac{2p w_{\text{в}} \Phi_{\text{ном}}}{m_{\text{в}}} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 266 \cdot 0,267}{2} = 355 \text{ В} \cdot \text{с.} \quad (65)$$

где $w_{\text{в}} = 266$ - число витков обмотки возбуждения; $m_{\text{в}} = 2$ - число

параллельных ветвей обмотки возбуждения.

Значение главного потокосцепления при ослабленном поле:

$$\Psi_{\text{м.0,8}\Phi_{\text{ном}}} = 0,8 \Psi_{\text{ном}} = 0,8 \cdot 355 = 284 \text{ В}\cdot\text{с}. \quad (66)$$

Значение потока намагничивания при ослабленном поле:

$$I_{\text{м.0,8}\Phi_{\text{ном}}} = 0,55 I_{\text{м.ном}} = 0,55 \cdot 100 = 55 \text{ А}.$$

(67)

Номинальное значение потокосцепления рассеяния:

$$\Psi_{\sigma_{\text{ном}}} = \sigma \Psi_{\text{м.ном}} = 0,18 \cdot 355 = 63,9 \text{ В}\cdot\text{с}. \quad (68)$$

Активное сопротивление обмотки возбуждения:

$$R_{\text{об}} = KtR'_{\text{об}} = 1,24 \cdot 1,45 = 1,798 \text{ Ом}. \quad (68)$$

Активное сопротивление эквивалентного контура вихревых токов:

$$R_{\text{вт}} = \frac{R_{\text{об}}}{\alpha_{\text{вт}}} = \frac{1,798}{0,05} = 35,96 \text{ Ом}, \quad (69)$$

где $\alpha_{\text{вт}} = 0,05$ - коэффициент, зависящий от конструкции машины.

Система базисных величин для цепи возбуждения:

За основные базисные величины для цепи возбуждения приняты:

- номинальный ток возбуждения $I_{\text{б.в}} = I_{\text{в.ном}} = 100 \text{ А};$

- сопротивление цепи возбуждения двигателя $R_{\text{б.в}} = R_{\text{о.в}} = 1,798$

Ом;

- номинальный ток возбуждения $\Phi_{\text{б}} = \Phi_{\text{ном}} = 0,267$

Вб;

- номинальное главное потокосцепление обмотки возбуждения

$$\Psi_{\text{б.в}} = \Psi_{\text{м.ном}} = 355 \text{ В}\cdot\text{с}.$$

Базисное напряжение возбуждения:

$$U_{\text{б.в}} = R_{\text{б.в}} I_{\text{б.в}} = 1,798 \cdot 100 = 179,8 \text{ В}. \quad (70)$$

Базисная индуктивность возбуждения:

$$L_{\text{б.в}} = \frac{\Psi_{\text{б.в}}}{I_{\text{б.в}}} = \frac{355}{100} = 3,55 \text{ Гн}. \quad (71)$$

Постоянная рассеяния:

$$T_{\delta.6} = \frac{\Psi_{\delta.6}}{U_{\delta.6}} = \frac{355}{179,8} = 1,97 \text{ с.} \quad (72)$$

Индуктивность, обусловленная главным потоком машины в точке номинального режима и при ослаблении потока:

$$L_M^0 = (d\Psi_M/dI_M)I_{M0} = I_{M.ном}. \quad (73)$$

$$l_M^0 = (d\Psi_M/dI_M)i_{M0} = 1 = (\Delta\Psi_M/\Delta I_M)i_{M0} = 1. \quad (74)$$

Согласно этой формуле, приращение потока машины и ее тока намагничивания в относительных единицах можно найти по кривой намагничивания $\Psi_M(I_M)$ предварительно рассчитанной и затем пересчитанной в относительные единицы для данного двигателя. Но существует и аналитический метод определения, используя аналитические выражения для кривой намагничивания $i_M = a\Psi_M + b\Psi_M^n$, где n – показатель степени, принимаемый равным $n = 7$ для двигателей постоянного тока. Он позволяет отыскать нужную величину, не прибегая к кривой намагничивания.

Составим систему уравнений для двух интересующих нас значений потокосцепления:

$$l = a \cdot l + b \cdot 17. \quad (75)$$

$$0,55 = a \cdot 0,8 + b \cdot 0,87. \quad (76)$$

Решив эту систему относительно a и b , получим: $a = 0,577$; $b = 0,423$.

Тогда относительные значения потокосцеплений, обусловленных главным потоком машины:

$$l_M^0 = 1 / (a + nb\Psi_M^{n-1}). \quad (77)$$

$$\text{При } i_M^0 = 1 \quad l_M^0 = 0,27;$$

$$\text{При } i_M^0 = 0,55 \quad l_M^0 = 0,708.$$

Найдем абсолютные значения потокосцеплений, обусловленных главным потоком машины:

$$L_M^0 = L_{\delta.6} l_M^0. \quad (78)$$

$$\text{При } i_M^0 = 1 \quad L_M^0 = 0,96 \text{ Гн};$$

При $i_M^0 = 0,55$ $L_M^0 = 2,5$ Гн.

Индуктивности рассеяния обмотки возбуждения:

$$L_{об}^0 = L_{б.в} l_{об}^0 = 3,55 \cdot 0,18 = 0,639 \text{ Гн}, \quad (79)$$

где $l_{об}^0 = d\Psi_{\sigma}/di_B = 0,18,$ (80)

Полная индуктивность обмотки возбуждения при номинальном и ослабленном поле:

$$L_B^0 = L_{б.в} l_B^0, \quad (81)$$

где $l_B^0 = l_M^0 + l_{об}^0,$ (82)

При $i_M^0 = 1$: $l_M^0 = 0,27$, $l_{об}^0 = 0,18$, $l_B^0 = 0,27 + 0,18 = 0,45$.

$$L_B^0 = 3,55 \cdot 0,45 = 1,597 \text{ Гн.}$$

При $i_M^0 = 0,55$: $l_M^0 = 0,708$, $l_{об}^0 = 0,18$, $l_B^0 = 0,708 + 0,18 = 0,888$.

$$L_B^0 = 3,55 \cdot 0,888 = 3,15 \text{ Гн.}$$

Активное сопротивление обмотки возбуждения в относительных единицах:

$$r_{об} = \frac{R_{об}}{R_{б.в}} = \frac{1,798}{1,798} = 1. \quad (83)$$

Активное сопротивление фиктивной короткозамкнутой обмотки в относительных единицах:

$$r_{вт} = \frac{R_{вт}}{R_{б.в}} = \frac{35,96}{1,798} = 20. \quad (84)$$

Параметры преобразователя цепи возбуждения:

Максимальная выпрямленная ЭДС:

$$E_{дov} = K_c U_{2н.в} = 1,35 \cdot 380 = 513 \text{ В}, \quad (85)$$

где $U_{2н.в} = 380$ В - номинальное напряжение вентильной обмотки трансформатора цепи возбуждения.

Активное сопротивление вентильного преобразователя цепи возбуждения:

$$R_{п.в} = 2R_{р.в} = 2 \cdot 0,175 = 0,35 \text{ Ом.} \quad (86)$$

Индуктивность вентильного преобразователя цепи возбуждения:

$$L_{пв} = 2L_{р.в} = 2 \cdot 1,08 \cdot 10^{-3} = 2,16 \text{ мГн.} \quad (87)$$

Эквивалентные параметры цепи возбуждения:

$$R_B = R_{об} + R_{пв} = 1,798 + 0,35 = 2,148 \text{ Ом.} \quad (88)$$

$$L_B^\sigma = L_{об}^\sigma + L_{пв} = 0,639 + 0,00216 = 0,641 \text{ Гн.} \quad (89)$$

Постоянные времени модели цепи возбуждения:

$$T_{\sigma}^{\sigma} = T_{\sigma.в} \frac{l_{ог}^{\sigma}}{r_{ог}}, T_{\sigma}^{ом} = T_{\sigma.в} \frac{l_{м}^{\sigma}}{r_{см}}, T_{\sigma}^{\sigma} = T_{\sigma.в} \frac{l_{\sigma}^{\sigma}}{r_{ог}}. \quad (90)$$

$$T_{\sigma.в}^{\sigma} = 1,97 \text{ с}; \quad r_{об} = 1; \quad r_{вт} = 20.$$

$$\text{При } i_M^{\sigma} = 1: \quad l_{об}^{\sigma} = 0,18; \quad l_M^{\sigma} = 0,27; \quad l_B^{\sigma} = 0,45;$$

$$T_{\sigma.в}^{\sigma} = 0,35 \text{ с}; \quad T_{вт}^{\sigma} = 0,026 \text{ с}; \quad T_B^{\sigma} = 0,886 \text{ с.}$$

$$\text{При } i_M^{\sigma} = 0,55: \quad l_{об}^{\sigma} = 0,18; \quad l_M^{\sigma} = 0,27; \quad l_B^{\sigma} = 0,45;$$

$$T_{\sigma.в}^{\sigma} = 0,35 \text{ с}; \quad T_{вт}^{\sigma} = 0,069 \text{ с}; \quad T_B^{\sigma} = 1,75 \text{ с.}$$

Регулировочная характеристика преобразователя:

Выражение регулировочной характеристики:

$$E_d = E_{d0} \sin\left(\frac{K_{\alpha} U_y}{57,3}\right) = 513 \sin\left(\frac{11 \cdot U_y}{57,3}\right) = 513 \sin(0,192 U_y). \quad (91)$$

Найдем максимальное напряжение управления $U_{y, \text{макс}}$:

$$E_{п, \text{макс}} = E_{d0} \sin(0,192 U_{y, \text{макс}}).$$

После решения этого выражения получим $U_{y, \text{макс}} = 8,2 \text{ В}$.

Регулировочная характеристика преобразователя в системе относительных единиц:

Коэффициент угла управления:

$$k_{\alpha} = \frac{K_{\alpha} U_{\sigma.п}}{57,3} = \frac{11 \cdot 7}{57,3} = 1,344. \quad (92)$$

ЭДС преобразователя:

$$e_{d0} = \frac{E_{d0}}{U_{\sigma.в}} = \frac{513}{179,8} = 3,48. \quad (93)$$

$$e_d = e_{d0} \sin(k_{\alpha} u_y). \quad (94)$$

Найдем максимальное напряжение управления, которое обеспечивает e_{d0} :

$$\sin(1,344u_{y \cdot \text{макс}}) = 1.$$

$$1,344 \cdot u_{y \cdot \text{макс}} = \arcsin 1 = 1,57.$$

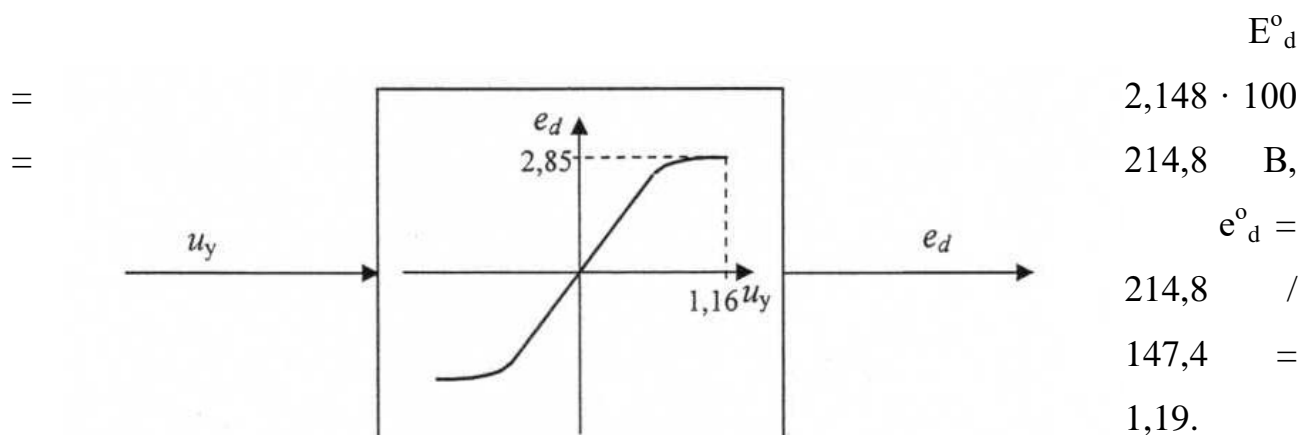
$$u_{y \cdot \text{макс}} = 1,168.$$

Значения ЭДС преобразователя, обеспечивающие $\phi^{\circ} = 1$ и $\phi^{\circ} = 0,8$:

$$e_d^{\circ} = \frac{E_d^{\circ}}{U_{\delta, \epsilon}}, \quad (95)$$

где $E_{\Pi}^{\circ} = R_B I_B$. (96)

При $i_M^{\circ} = 1$:



При

$i_M^{\circ} = 0,55$:

$$E_d^{\circ} = 2,148 \cdot 55 = 118,14 \text{ В}, \quad e_d^{\circ} = 118,14 / 147,4 = 1,19.$$

Регулировочная характеристика преобразователя в системе относительных единиц представлена на рисунке 5.

Рисунок 5 - Регулировочная характеристика

Напряжения управления, обеспечивающие $\varphi^0 = 1$ и $\varphi^0 = 0,8$:

$$u^0_y = 1/1,344 \cdot \arcsin (e^0_d / e_{d0}).$$

(96)

$$U^0_y = u^0_y U_{б.р}. \quad (97)$$

При $i^0_m = 1$:

$$u^0_y = 1/1,344 \cdot \arcsin (1,19 / 2,85) = 0,32.$$

$$U^0_y = 0,32 \cdot 7 = 2,24 \text{ В.}$$

При $i^0_m = 0,55$:

$$u^0_y = 1/1,344 \cdot \arcsin (0,66 / 2,85) = 0,174.$$

$$U^0_y = 0,174 \cdot 7 = 1,218 \text{ В.}$$

Коэффициент усиления вентильного преобразователя в окрестностях точек $\varphi^0 = 1$ и $\varphi^0 = 0,8$:

$$k^0_{пв} = e_{d0} k_{\alpha} \cos(k_{\alpha} u_y). \quad (98)$$

При $\varphi^0 = 1$; $u_y = 0,32$:

$$k^0_{п.в} = 2,85 \cdot 1,344 \cdot \cos (1,34 \cdot 0,32) = 3,48.$$

$$K_{п.в} = 3,48 \cdot 179,8 / 7 = 89,39.$$

При $\varphi^0 = 0,8$; $u_y = 0,174$:

$$k^0_{п.в} = 2,85 \cdot 1,344 \cdot \cos (1,344 \cdot 0,174) = 3,726.$$

$$K_{п.в} = 3,726 \cdot 179,8 / 7 = 95,7.$$

Коэффициент передачи датчика тока возбуждения:

$$K_{дмс} = \frac{k_{дмс} U_{б.р.}}{I_{б.с}} = \frac{1 \cdot 7}{100} = 0,07. \quad (99)$$

Линеаризованная эквивалентная модель цепи возбуждения представлена на рисунке 6.

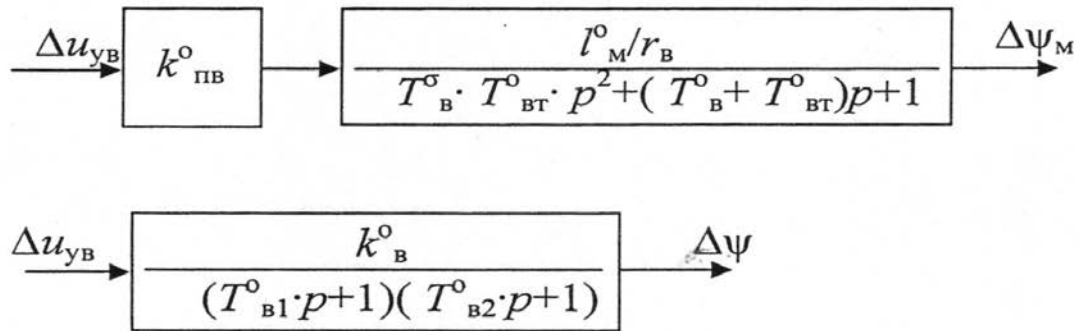


Рисунок 6 - Модель цепи возбуждения

Значение результирующего коэффициента передачи и постоянных времени цепи возбуждения определяются формулами:

$$k_B^0 = k_{п.в}^0 l_M^0 / r_B.$$

$$T_{\sigma 1,2} = \frac{T_1}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{T_1}{2}\right)^2 - T_2^2}. \quad (100)$$

$$T_1 = T_B^0 + T_{BT}^0.$$

$$T_2^2 = T_B^\sigma \cdot T_{BT}^0.$$

При $\varphi^0 = 1$:

$$T_1 = 0,912 \text{ с}; T_2^2 = 0,0091 \text{ с}^2; T_{B1}^0 = 0,9 \text{ с}; T_{B2}^0 = 0,1 \text{ с}; k_B^0 = 0,94.$$

При $\varphi^0 = 0,8$:

$$T_1 = 1,819 \text{ с}; T_2^2 = 0,024 \text{ с}^2; T_{B1}^0 = 1,8 \text{ с}; T_{B2}^0 = 0,013 \text{ с}; k_B^0 = 2,64.$$

Составим таблицу результатов расчета модели двухзонной системы управления главного электропривода прошивного стана (см. таблицу 7 и 8).

Таблица 7 – Цепь якоря

Цепь якоря	$k_{п}/K_{п}$	r_{Σ}	$T_{\Sigma}, [c]$	$T_M, [c]$	$T_i, [c]$	$k_{дт}/K_{дт}$	$k_{дс}/K_{дс}$	$k_{дэ}/K_{дэ}$
$\varphi^0=1$	1,178/160	0,6	0,064	0,04	0,89	1/0,002	1/0,6	1/0,0097
$\varphi^0=0,8$	-	-	-	0,0957	-	-	-	-

Таблица 8 – Цепь возбуждения

Цепь возбуждения	$T_{B\sigma}, [c]$	$T_{B\sigma}, [c]$	$T_{B\sigma}, [c]$	l_{M0}	l_{B0}	r_B	r_{BT}	$k_{пв}^0 / K_{пв}^0$	$k_{дт} / K_{дт} / K_{длв}$	$T_{B1}^0, [c]$	$T_{B2}^0, [c]$	k_B^0

$\varphi_0=1$	0,886	0,35	0,026	0,27	0,45	1,0	20	3,48/ 89,39	1/ 0,07	0,9	0,1	0,94
$\varphi_0=0,8$	1,75	-	0,069	0,708	0,888			3,72/ 95,7		1,8	0,015	2,64

3.3 Расчет регуляторов

В данном проекте структура управления электропривода базируется на критериальных оценках динамических процессов и требований к системе в установившихся режимах ее работы. Здесь применена система управления электроприводами с каскадным соединением основного и вспомогательного контуров регулирования, так как структура каскадного соединения контуров регулирования характеризуется лучшим качеством управления по сравнению с другими структурами СУЭП.

Преимущества подчинённого регулирования по сравнению с параллельной коррекцией заключается в упрощении решения задач ограничения координат, облегчении наладки и, следовательно, сокращении сроков пуска объекта, в широких возможностях унификации узлов управления различными объектами.

Принцип подчинённого регулирования значительно облегчает поиск передаточных функций регуляторов и реализацию желаемого управления.

Двухзонные САР позволяют регулировать скорость как ниже, так и выше основной. Преимуществом двухзонных САР в сравнении с однозонными является лучшее использование установленной мощности основного оборудования.

Для рационального управления процессами электромеханического преобразования энергии в цепях питания обмоток якоря и возбуждения двигателя постоянного тока предусматриваются управляемые преобразователи. В регулирующей части устанавливаются регуляторы: тока якоря РТ, скорости РС, магнитного потока РМП, электродвижущей силы РЭ; датчики: напряжения

ДН и тока якоря ДТ, тока возбуждения ДТВ, скорости ДС, электродвижущей силы ДЭ; фильтры: в канале якоря Ф и в канале возбуждения ФВ.

Канал воздействия по цепи якоря представляет собой систему регулирования скорости с подчиненным контуром регулирования тока якоря. В данном случае используется однократная САР скорости, которая имеет внутренний контур регулирования тока якоря и внешний контур регулирования скорости, так как нам не требуется по условиям технологического процесса иметь абсолютно жесткие механические характеристики двигателя.

Так как ослабление магнитного поля двигателя неглубокое (0,8) и существенного влияния на коэффициент регулятора скорости не оказывает, от множительного элемента в цепи регулятора скорости можно отказаться.

Канал воздействия по цепи возбуждения выполняется также в виде двухконтурной САР, но содержащей внутренний контур регулирования магнитного потока и внешний контур регулирования ЭДС.

Связующим звеном для функционирования данных каналов является ЭДС якоря, то есть данные каналы управления связаны между собой через внутренние связи объекта регулирования.

Представление тиристорного преобразователя безынерционным звеном справедливо лишь до определенных частот при не слишком быстрых изменениях управляющего напряжения $U_y(t)$. При очень быстрых изменениях начинает проявляться ряд факторов, из которых основным является дискретность преобразователя. Параметром, определяющим быстродействие контура, является постоянная времени T_μ . Анализ устойчивости в малом с учетом дискретности ТП показывает, что граничные значения постоянных

времени составляют $T_\mu = \frac{\pi}{2m\omega_c}$; при меньших значениях T_μ САР оказывается неустойчивой, в ней могут возникнуть незатухающие колебания. Чтобы САР была работоспособной, необходим определенный запас устойчивости. Как показывает опыт, здесь достаточно двукратного запаса и минимально

допустимое значение постоянной времени T_μ может быть принято для цепи якоря:

$$T_\mu = \frac{\pi}{m\omega_c} = \frac{\pi}{12 \cdot 314} \approx 0,001c, \quad (101)$$

где m - пульсность.

Для цепи возбуждения:

$$T_{\mu\delta} = \frac{\pi}{m\omega_c} = \frac{\pi}{6 \cdot 314} = 0,0167c. \quad (102)$$

При синтезе регуляторов рассматриваются следующие задачи:

Своим действием регулятор должен компенсировать влияние того звена, которое попадает в данный контур. Для решения этой задачи в передаточную функцию вводят сомножитель, представляющий следующее выражение:

$$R_{ki}(p) = W_i^{-1}(p). \quad (103)$$

Регулятор должен обеспечить астатизм контура по управляющему воздействию, то есть обеспечить нулевую статическую ошибку по управлению. Для этого в регуляторе должна присутствовать передаточная функция интегрирующего звена:

$$R_{vi} = \frac{1}{T_i p}. \quad (104)$$

Тем самым мы обеспечиваем определенные свойства

$$R_i(p) = R_{ki}(p) \cdot R_{vi}(p) = (T_i p W_i(p))^{-1}, \quad (105)$$

где T - постоянная интегрирования регулятора.

Синтез регулятора тока якоря рисунок 7.

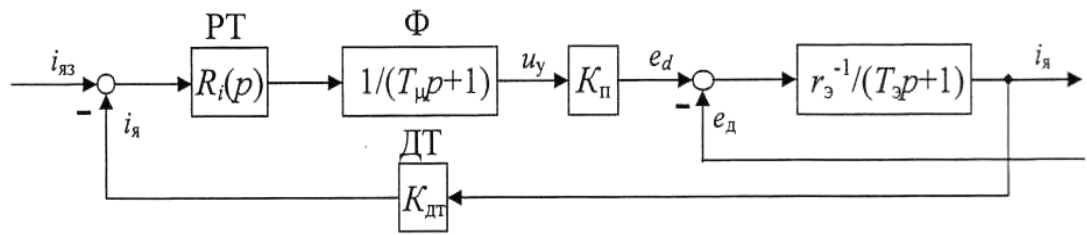


Рисунок 7 - Контур тока якоря

При синтезе принимается $e_d = 0$.

Настройка САР на модульный оптимум:

$$T_i = 2T_\mu = 2 \cdot 0,001 = 0,002 \text{ с.} \quad (106)$$

Передаточная функция регулятора тока:

$$R_i(p) = \frac{(T_\varepsilon p + 1)r_\varepsilon}{k_n T_i p}. \quad (107)$$

В итоге получаем ПИ-регулятор.

Коэффициент усиления регулятора тока якоря:

$$K_{pm} = \frac{T_\varepsilon r_\varepsilon}{k_n T_i} = \frac{0,025 \cdot 0,1}{1,198 \cdot 0,002} = 1,04. \quad (108)$$

Постоянная времени регулятора:

$$T_{pm} = \frac{T_i k_n}{r_\varepsilon} = \frac{0,002 \cdot 1,198}{0,1} = 0,024 \text{ с.} \quad (109)$$

Оценка влияния ЭДС: так как в реальной система $e_d \neq 0$, то ЭДС вращения оказывает влияние на САР, то есть по отношению к заданию имеется установившаяся ошибка, которая зависит от электромеханических свойств и быстродействия контура.

Влиянием ЭДС можно пренебречь при соблюдении следующего условия:

$$T_M \geq 20T_\mu. \quad (110)$$

$$0,097 > 20 \cdot T_\mu = 20 \cdot 0,001 = 0,02 \text{ с.}$$

Условие выполняется, следовательно, влиянием ЭДС можно пренебречь.

Проверим условие ограничения производной тока якоря:

$$\left(\frac{di_{я}}{dt}\right)_{\text{макс}} \leq \left(\frac{di_{я}}{dt}\right)_{\text{доп}} = 60 \text{ с}^{-1}. \quad (111)$$

При условии установки на входе контура скорости задатчика интенсивности:

$$\left(\frac{di_{я}}{dt}\right)_{\text{макс}} = \frac{0,21i_{я\text{макс}}}{T_{\mu}} = \frac{0,21 \cdot 1,4}{0,001} = 294 \text{ с}^{-1}.$$

$294 \text{ с}^{-1} > 60 \text{ с}^{-1}$. Условие не выполняется, необходимо принять следующие меры: перед регулятором скорости установим фильтр, постоянную времени которую найдем из соотношения:

$$\left(\frac{di_{я}}{dt}\right)_{\text{макс}} = \frac{0,21i_{я\text{макс}}}{T_{\mu\text{в}}} = 60 \text{ с}^{-1}. \quad (112)$$

$$\text{Откуда } T_{\mu\text{в}} = \frac{0,21i_{я\text{макс}}}{60} = 0,0049 \text{ с}.$$

Зная $T_{\mu\text{в}}$, найдем $T_{\text{фс}}$:

$$T_{\text{фс}} = 2T_{\mu\text{в}} - T_1 = 2 \cdot 0,0049 - 0,002 = 0,0078 \text{ с}.$$

Синтез регулятора скорости рисунок 8.

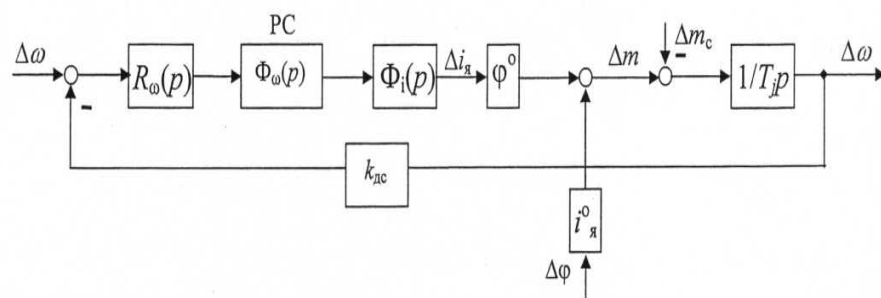


Рисунок 8 - Контур скорости

Синтез ведется при $m_c = 0$ и $\Delta_{\varphi} = 0$.

Передаточная функция регулятора скорости:

$$R_{\omega}(\rho) = \frac{T_j}{\varphi^0 T_{\omega}} = \frac{0,89}{1 \cdot 0,0196} = 44,5, \quad (113)$$

где $T_{\omega} = 4T_{\muз} = 4 \cdot 0,0049 = 0,0196$ с.

Таким образом, регулятор скорости представляет собой П-регулятор.

Синтез регулятора магнитного потока рисунок 9.

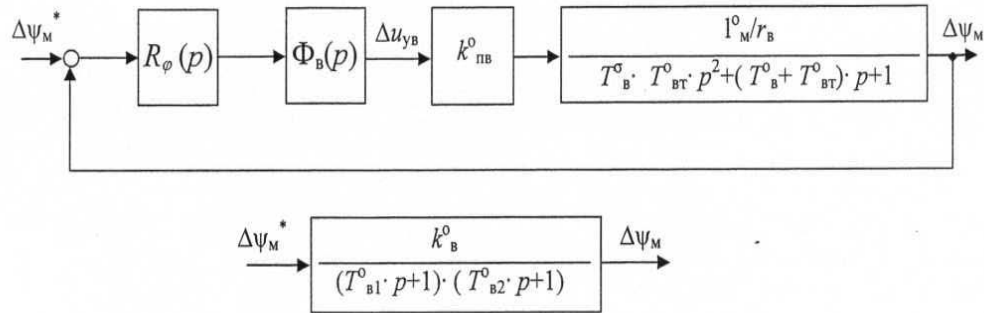


Рисунок 9 - Контур магнитного потока

Величина T_{B2}^0 настолько мала, что может быть отнесена к числу не компенсируемых постоянных времени САР потока возбуждения.

Тогда в соответствии со стандартной методикой синтеза передаточная функция регулятора потока принимает вид:

$$R_{\varphi}(\rho) = \frac{T_{\varepsilon 1}^0 \rho + 1}{k_{\varepsilon}^0 T_{\varphi} \rho}, \quad (114)$$

где $T_{\varphi} = 2(T_{\muв} + T_{B2}^0) = 2 \cdot (0,00167 + 0,013) = 0,029$ с.

В результате получаем ПИ-регулятор магнитного потока.

Коэффициент усиления регулятора:

$$K_{p\varphi} = \frac{T_{\varepsilon 1}^0}{k_{\varepsilon}^0 T_{\varphi}} = \frac{1,8}{2,64 \cdot 0,029} = 26. \quad (115)$$

Постоянная времени:

$$T_{p\varphi} = k_{\varepsilon}^0 T_{\varphi} = 2,64 \cdot 0,029 = 0,07 \text{ с.}$$

Синтез регулятора ЭДС рисунок 10.

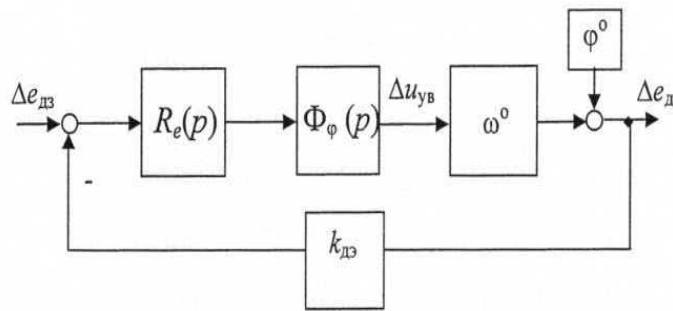


Рисунок 10 - Контур ЭДС

В соответствии с типовой методикой получаем интегральный регулятор ЭДС с передаточной функцией:

$$R_e(p) = \frac{1}{\omega^0 T_e p}, \quad (116)$$

где $T^0 = 2T_\phi = 2 \cdot 0,029 = 0,058$ с.

В соответствии с полученным выражением в структуре регулятора ЭДС выделим интегрирующее звено с переменным параметром T_e и делительное звено с переменным параметром ω^0 . Блок деления в структуре регулятора компенсирует влияние изменения скорости на характеристики контура ЭДС.

Постоянная времени И-регулятора:

$$T_{pz} = \omega^0 T_e = 1,25 \cdot 0,058 = 0,07 \text{ с.} \quad (117)$$

Для исключения операции дифференцирования тока в структуру вычислителя ЭДС вводится апериодический фильтр с постоянной времени:

$$T_{фз} = T_{зд} = 0,04 \text{ с.} \quad (118)$$

Функциональная и структурная электрические схемы представлены на рисунке 11 и рисунке 12.

В реальных САР фильтр с постоянной времени T_μ устанавливается не на входе СИФУ, а на выходах регулятора тока в цепях задания и обратной связи по току.

В канал обратной связи регулятора скорости включен нелинейный элемент НЭ1 для ограничения тока якоря $i_{я}$, и пропорционального ему

электромагнитного момента двигателя $m = i_{я}\phi$. Для ограничения ЭДС преобразовательного агрегата установим аналогичный ограничитель НЭ2 в цепь обратной связи регулятора тока. В цепи обратной связи по ЭДС установлен нелинейный элемент - блок выделения модуля ВМ1 для компенсации инерционности вычислителя ЭДС (ДЭ и Ф). Регулятор ЭДС (РЭ) выполняется с выделенным блоком деления на компенсирующую функцию $f_2(\omega)$. В цепи формирования компенсирующего сигнала установлен нелинейный элемент ВМ2, выделяющий модуль сигнала датчика скорости и ограничивающий сигнал по минимуму. Это компенсирует влияние изменения скорости двигателя на характеристики контура ЭДС. Узел регулирования модуля ЭДС снабжен нелинейным элементом НЭ3, обеспечивающим двухсторонне ограничение сигнала задания потока ϕ^* .

Уровень ослабления поля может быть различным, поэтому в структуре регулятора скорости выделяем делительное звено с переменным параметром ϕ . Блок деления в структуре регулятора компенсирует влияние изменения параметра ϕ .

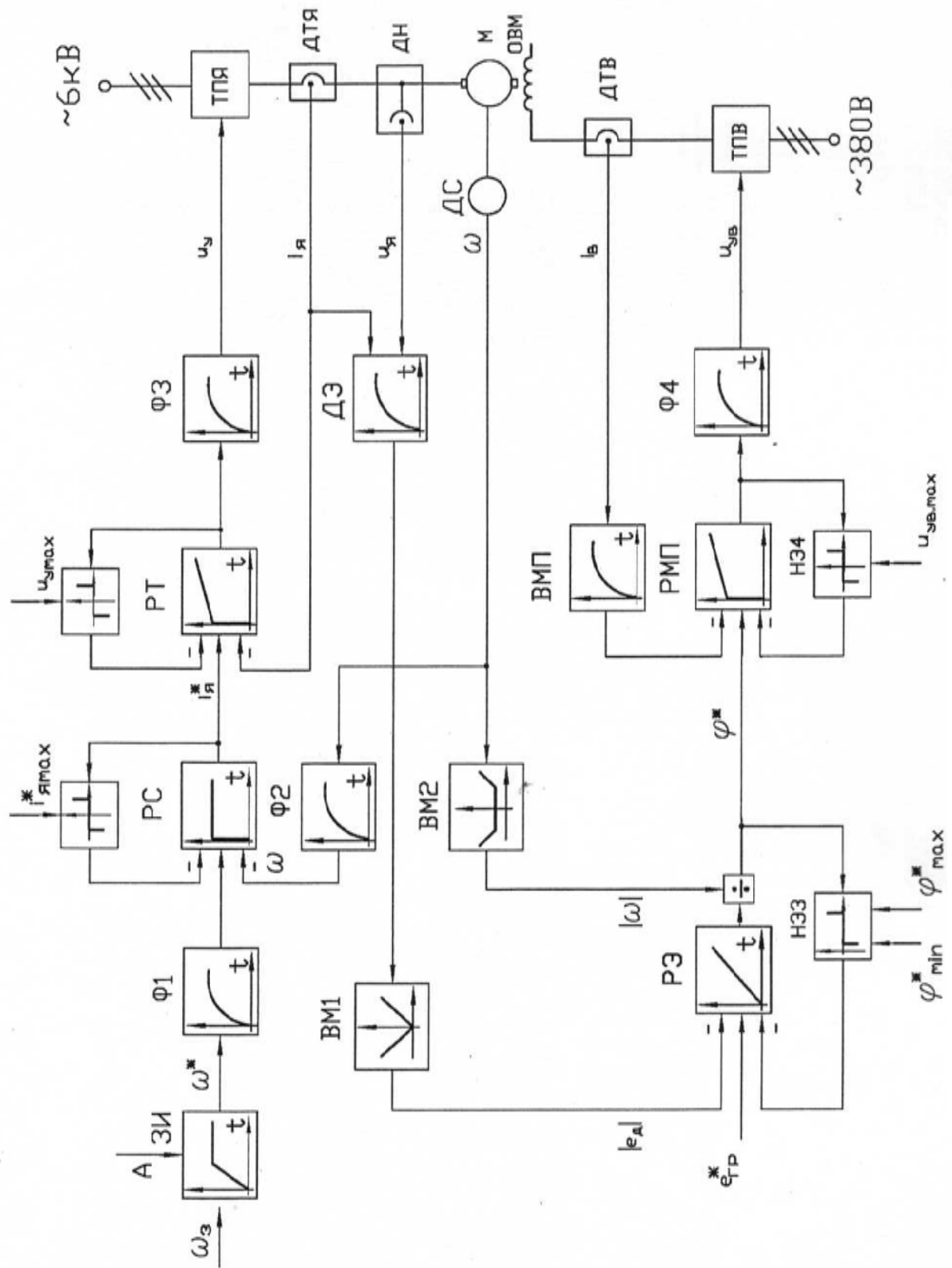


Рисунок 11 - Функциональная схема САУ

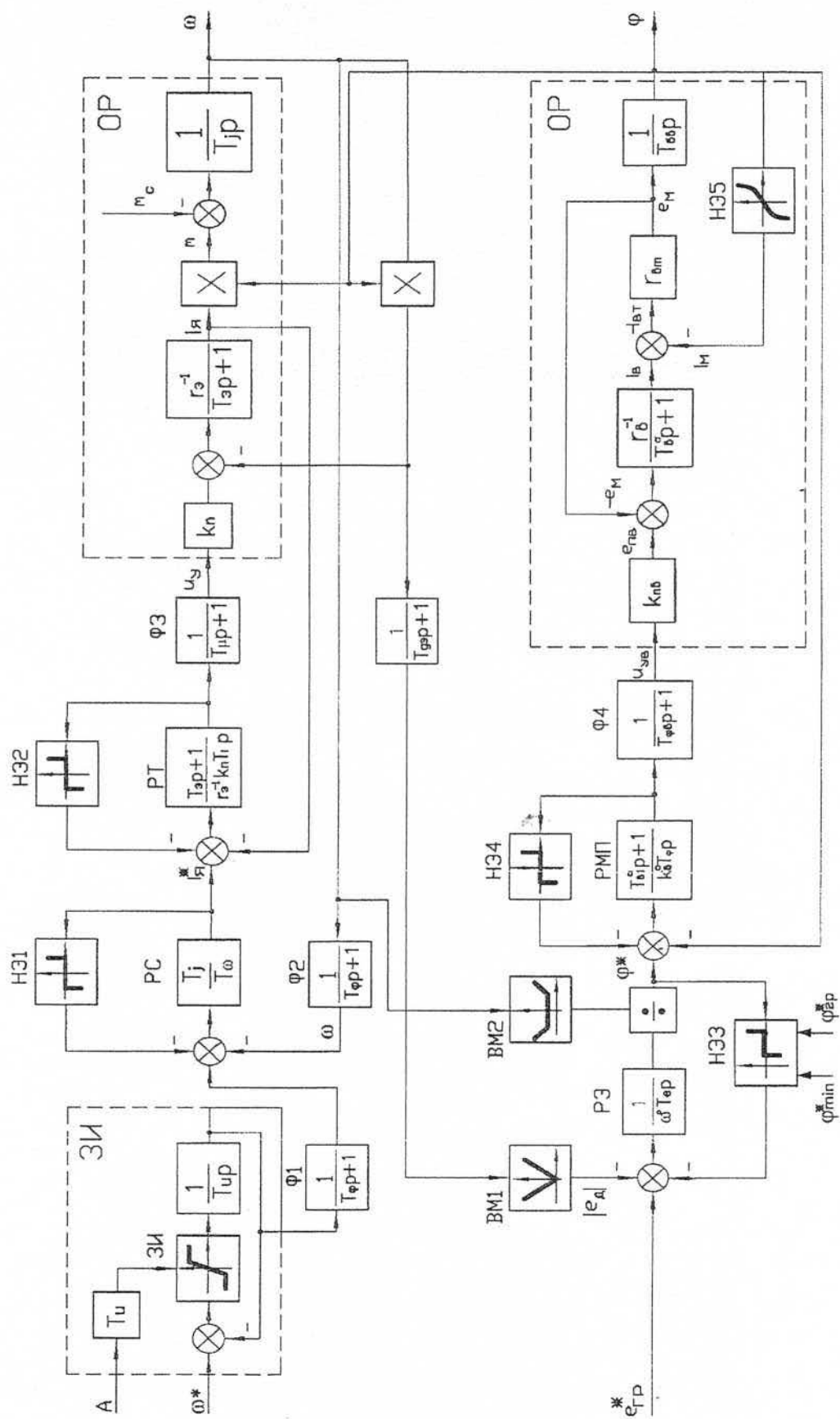


Рисунок 12 - Структурная схема САУ

3.4 Разработка принципиальной схемы

Краткая техническая характеристика датчиков информации.

В качестве датчика скорости выбирается прецизионный тахогенератор ПТ-42.

Основные параметры тахогенератора ПТ-42 приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры тахогенератора ПТ-42

Номинальные данные	Обозначение	Величина	Ед. изм.
мощность номинальная	$P_{н.тг}$	0,115	Вт
напряжение номинальное	$U_{н.тг}$	230	В
ток якоря номинальный	$I_{н.тг}$	0,5	А
скорость номинальная	$n_{н.тг}$	400	об/мин
напряжение возбуждения номинальное	$U_{в.н.тг}$	55	В
ток возбуждения номинальный	$I_{в.н.тг}$	1	А
зубцовые пульсации	$\delta_{з.тг}$	1,4	%
полосные пульсации	$\delta_{п.тг}$	0,5	%
коллекторные пульсации	$\delta_{к.тг}$	1,4	%
оборотные пульсации	$\delta_{о.тг}$	1,4	%

В качестве датчика тока используется ячейка РГ8. Данный датчик первичную информацию получает от шунта. Выбираем шунт 75 ШСМ:

- ток шунта $I_{ш.ном} = 4000$ А;
- напряжение шунта $U_{ш.ном} = 75$ мВ.

Коэффициент шунта:

$$K_{ш} = U_{ш.н} / I_{ш.н} = 0,075 / 4000 = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ В/А.} \quad (119)$$

Коэффициент передачи ячейки датчика тока:

$$K_{ядт} = K_{дт} / K_{ш} = 0,002 / 1,8 \cdot 10^{-5} = 106. \quad (120)$$

В качестве датчика напряжения используется ячейка РГ8 данный датчик первичную информацию получает с делителя.

В качестве датчика тока возбуждения используется ячейка РГ8 данный датчик первичную информацию получает с шунта. Выбираем шунт 75 ШСМ:

- ток шунта $I_{ш.в.н} = 100$ А;
- напряжение шунта $U_{ш.в.н} = 75$ мВ.

Коэффициент шунта:

$$K_{шв} = U_{ш.в.н} / I_{ш.в.н} = 0,075 / 100 = 75 \cdot 10^{-5} \text{ В/А.} \quad (121)$$

Коэффициент передачи ячейки датчика тока:

$$K_{ядтв} = K_{дтв} / K_{шв} = 0,07 / 75 \cdot 10^{-5} = 93. \quad (122)$$

Базисные величины для системы автоматического управления.

В системе САР-08-М1 используют следующие виды операционных усилителей (ОУ): К553 УД2 и К140 УД7.

Приведенная погрешность САР в номинальном режиме $\delta = 0,005$.

Коэффициент усиления операционного усилителя $K_{ОУ} = 2 \cdot 10^4$.

Ток цепи ограничения регулятора $I_{огр.макс} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ А.}$

Максимальное напряжение на выходе ОУ $U_{оумакс} = \pm 10 \text{ В.}$

Входящее сопротивление $R_{вх} = 400 \text{ кОм.}$

Базовый ток САР:

$$I_{б.р} \geq \frac{1}{\delta} \cdot \frac{U_{оумакс}}{K_{ОУ} R_{вх}} + I_{огр.макс} = \quad (123)$$

$$= \frac{1}{0,005} \cdot \frac{10}{2 \cdot 10^4 \cdot 400 \cdot 10^3} + 2 \cdot 10^{-6} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

Принимаем:

$$I_{б.р} = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ А;} \quad U_{б.р} = 7 \text{ В.}$$

$$R_{б.р} = U_{б.р} / I_{б.р} = 7 / 0,7 \cdot 10^{-3} = 10 \text{ кОм.} \quad (124)$$

Структурная схема регулятора тока представлена на рисунке 13.

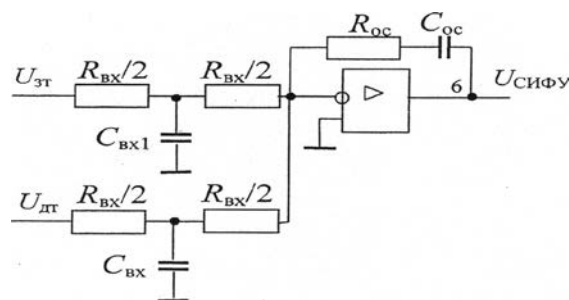


Рисунок 13 - Регулятор тока

Принимаем:

$$R_{вх} / 2 = 10 \text{ кОм.} \quad (125)$$

$$R_{oc} = K_{pt} R_{bx} = 1,4 \cdot 20 = 280 \text{ кОм.} \quad (126)$$

$$C_{oc} = T_{pt} / R_{bx} = 0,024 / 20 = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.} \quad (127)$$

Структурная схема регулятора скорости представлена на рисунке 14.

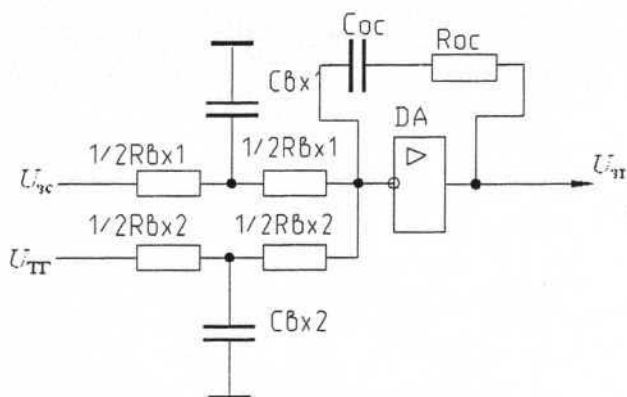


Рисунок 14 - Регулятор скорости

Принимаем:

$$R_{bx} / 2 = 10 / 2 = 5 \text{ кОм.} \quad (128)$$

$$R_{oc} = K_{pc} R_{bx} = 44,5 \cdot 5 = 222,5 \text{ кОм.} \quad (129)$$

Структурная схема регулятора тока возбуждения представлена на рисунке 15.

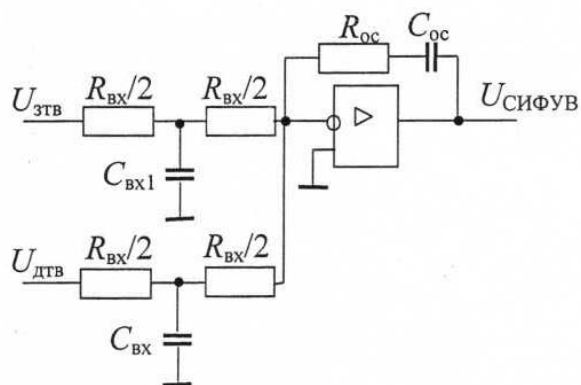


Рисунок 15 - Регулятор тока возбуждения

Принимаем:

$$R_{bx} / 2 = R_{б.р} = 50 \text{ кОм.} \quad (130)$$

$$R_{oc} = K_{pf} R_{bx} = 26 \cdot 100 = 2600 \text{ кОм.} \quad (131)$$

$$C_{bx} = 4T_{ф} / R_{bx} = 4 \cdot 0,0017 / 100 = 0,06 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.} \quad (132)$$

$$C_{oc} = 4T_{pp} / R_{bx} = 4 \cdot 0,07 / 100 = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.} \quad (133)$$

Структурная схема регулятора ЭДС представлена на рисунке 16.

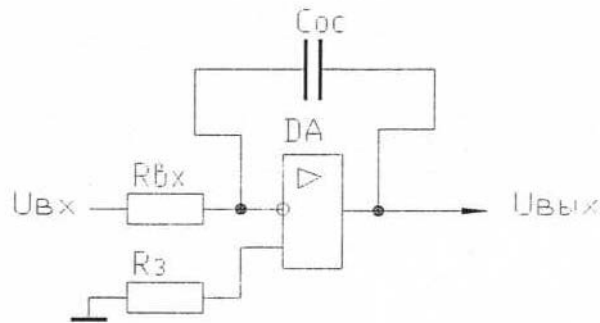


Рисунок 16 - Регулятор ЭДС

Принимаем:

$$R_{bx} / 2 = R_{б,р} = 50 \text{ кОм.} \quad (134)$$

$$R_{oc} = K_{pэ} R_{bx} = 1 \cdot 300 = 300 \text{ кОм.} \quad (135)$$

$$C_{bx} = 4T_{фэ} / R_{bx} = 4 \cdot 0,04 / 300 = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.} \quad (136)$$

$$C_{oc} = 4T_{pэ} / R_{bx} = 0,07 / 300 = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.} \quad (137)$$

4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

Правильность выбора той или иной схемы сказывается на электроснабжении всего цеха и на стоимости готовой продукции. Для этой цели и проводится технико-экономический расчет, который позволяет выяснить правильность выбора силовой части главного привода прошивного стана.

Расчет экономического эффекта при применении такой схемы для главного привода прошивного стана ТПА-220 выполнен на основе сравнения реверсивного тиристорного преобразователя $KUB \frac{3200 \times 6}{10 \times 2} AM$ и комплектного тиристорного электропривода КТЭУ-4000/930-12Т-УХЛ4.

В настоящее время на трубопрокатном стане для питания якорной цепи двигателя главного привода установлен реверсивный тиристорный преобразователь $KUB \frac{3200 \times 6}{10 \times 2} AM$. Замена на современные тиристорные преобразователи приводит к повышению надежности электрооборудования и дает ощутимый экономический эффект, так как это оборудование имеет меньшую стоимость и значительно удобней и надежней в эксплуатации.

В данном проекте осуществлена замена тиристорного преобразователя $KUB \frac{3200 \times 6}{10 \times 2} AM$ на комплектный тиристорный электропривод серии КТЭУ-4000/930-12Т-УХЛ4, который обладает рядом преимуществ: высокое быстродействие; высокая надежность; малые габариты; возможность применения прогрессивных технологических методов; применим ряд технологических решений, обеспечивающих высокое качество управления, удобство эксплуатации и настройки.

Для анализа эффективности проектируемого оборудования в сравнении с действующим необходимо выбрать такой показатель, который учитывал бы все затраты.

Состав капитальных затрат:

1. стоимость основного электрооборудования;
2. транспортные расходы;
3. стоимость монтажных и наладочных работ.

Для экономического обоснования вариантов необходимо рассматривать только изменяющиеся статьи эксплуатационных расходов. При расчете вариантов стоимость двигателя главного привода и вспомогательных механизмов принимается одинаково для обоих вариантов и учитываться не будет. При расчете капитальных затрат не учитываем стоимость повторяющихся в каждом варианте элементов и аппаратов, имеющих одинаковые параметры и стоимость.

Эксплуатационные расходы

1. Амортизационные отчисления
2. Расходы на ремонт оборудования

Стоимость потерь электроэнергии и расходы на обслуживание не учитываем, так как они одинаковы для обоих вариантов.

4.1 Расчет затрат при действующем оборудовании

Капитальные затраты приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Капитальные затраты

Наименование	Руб.
1. Преобразователь $KUB \frac{3200 \times 6}{10 \times 2} AM$	72431
2. Преобразователь для питания цепи возбуждения ВУК 50/500	914
3. Шкаф с блоками	13716
4. Масляный выключатель	3317
5. Сглаживающий реактор	21070
Итого:	113448

В таблице 11 приведена стоимость монтажа и наладки.

Таблица 11 - Монтаж и наладка

Наименование	Руб.
1. Установка $KUB \frac{3200 \times 6}{10 \times 2} AM$	5432
2. Установка ВУК 50/500	523
3. Монтаж шкафов с блоками УБСР-АИ	602
4. Монтаж выключателя	498
5. Установка сглаживающего реактора	130
6. Наладочные работы	15331
Итого:	22016

Транспортные расходы:

Транспортные расходы принимаем в размере 50: от стоимости оборудования:

$$K_{\text{тр1}} = 0,05 \cdot 113448 = 5672,4 \text{ руб.} \quad (138)$$

Общие капитальные затраты:

$$K_{\text{о1}} = K_{\text{н}} + K_{\text{21}} + K_{\text{тр1}} = 113448 + 22016 + 5672,4 = 141136,4 \text{ руб.} \quad (139)$$

Эксплуатационные расходы:

Амортизационные отчисления. Затраты на амортизацию оборудования определяются исходя из его балансовой стоимости и нормы амортизационных отчислений на реновацию:

$$A_1 = K_{\text{о1}} \cdot a_p = 141136,4 \cdot 0,1 = 14113,64 \text{ руб.} \quad (140)$$

где $a_p = 0,1$ - средневзвешенная норма годовых амортизационных.

Расходы на ремонт. Затраты на ремонт и содержание оборудования складываются из основной и дополнительной заработной платы, стоимости материалов и определяются согласно единой системы ППР:

$$P_1 = (T_{\Sigma} \cdot Z_{\text{н}} \cdot K) \cdot R, \quad (141)$$

где T_{Σ} - трудоемкость ремонта в нормо-часах;

$Z_{\text{н}} = 13,3$ руб. - часовая тарифная ставка 5 тарифного разряда рабочих ремонтной бригады;

K - коэффициент, учитывающий премию, дополнительную заработную плату, ремонтный коэффициент и отчисления;

$R = 20$ - ремонтная сложность электрооборудования.

$$T_{\Sigma} = T_{1\text{мт}} + T_{2\text{мсп}} = 1,2 \cdot 3 + 7 \cdot 1 = 10,6 \text{ чел/час}, \quad (142)$$

где T_1, T_2 - нормативная трудоемкость;

$m_T = 3$ - количество текущих ремонтов в год;

$m_{\text{сп}} = 1$ - количество средних ремонтов в год.

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 1,35 \cdot 1,15 \cdot 1,356 = 2,105, \quad (143)$$

где $K_1 = 35\%$ - дополнительная заработная плата;

$K_2 = 15\%$ - районный коэффициент;

$K_3 = 35,6\%$ - отчисления во внебюджетные фонды.

$$P_1 = 10,6 \cdot 13,3 \cdot 2,105 \cdot 20 = 5933,258 \text{ руб.}$$

Суммарные эксплуатационные расходы:

$$C_{\Sigma 1} = A_1 + P_1 = 14113,64 + 5935,258 = 20048,899 \text{ руб.} \quad (144)$$

4.2 Расчет затрат при спроектированном оборудовании

Капитальные затраты при спроектированном оборудовании приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Капитальные затраты

Наименование	Руб.
1. Комплектное тиристорное устройство со встроенным возбудителем, шкафами	108322,0
2. Стоимость монтажа и наладки	2317,0
3. Транспортные расходы	5416,1

$$K_{\text{тр}2} = 0,05 \cdot 108322 = 5416,1 \text{ руб.}$$

Общие капитальные затраты:

$$K_{\text{о}2} = K_{12} + K_{22} + K_{\text{тр}2} = 108322 + 2317 + 5416,1 = 116055,1 \text{ руб.}$$

Эксплуатационные расходы.

Амортизационные отчисления. Затраты на амортизацию оборудования определяются исходя из его балансовой стоимости и нормы амортизационных отчислений на реновацию:

$$A_2 = 0,1 \cdot K_{o2} = 0,1 \cdot 116055,1 = 11605,51 \text{ руб.} \quad (145)$$

Расходы на ремонт:

$$P_2 = (T_{\Sigma} \cdot Z_{и} \cdot K) \cdot R = 9,4 \cdot 13,3 \cdot 2,105 \cdot 20 = 5263,342 \text{ руб.}, \quad (146)$$

где $T_{\Sigma} = T_{1мг} + T_{2мсп} = 1,2 \cdot 2 + 7 \cdot 1 = 9,4$ чел/час.

Суммарные эксплуатационные расходы:

$$C_{\Sigma 2} = A_2 + P_2 = 11605,51 + 5263,342 = 16868,852 \text{ руб.}$$

4.3 Оценка экономической эффективности инвестиций

В настоящее время стан ТПА-220 осуществляет прошивку труб из требуемой марки стали 12Х18Н10Т производительностью 120 м/час.

По технической характеристике стана прошивка заготовки осуществляется при различной скорости прошивки. От скорости прошивки зависит производительность стана. В данном дипломном проекте сравниваем и производим расчет прошивки заготовки на скорости номинальной и на 20% выше номинальной, из опытов - увеличение скорости прошивки на повышенной не понижает качества трубы, не приводит к увеличению ее брака и расхода инструмента. Величина необходимого тягового усилия и механические свойства металла тоже мало зависят от скорости прошивки.

В данном дипломном проекте осуществлено увеличение скорости прошивки за счет увеличения мощности главного привода стана. Прошивка заготовки всех труб производится на повышенной скорости, производительность стана увеличивается.

Исходя из часовой производительности стана и процентного соотношения производства труб при разной скорости прошивки на стане, определим производительность проектируемого стана при прошивке заготовки на номинальной скорости.

Прошивка заготовки на номинальной скорости производится со скоростью 120 м/час, а прошивка заготовки на повышенной скорости

составляет 132 м/час. Следовательно, производительность стана увеличивается на 9,4 %. Фактическое время работы: $T_{\phi} = 5760$ часов.

Годовая производительность стана:

$$P_{Г1} = P_1 \cdot T_{\phi} = 120 \cdot 5760 = 691200 \text{ метров.}$$

Годовая производительность стана после увеличения скорости волочения:

$$P_{Г2} = P_2 \cdot T_{\phi} = 132 \cdot 5760 = 760320 \text{ метров.}$$

Экономия достигается в результате повышения производительности стана за счет сокращения условно-постоянных расходов:

$$\Delta C_{у.п.} = (C_{у.п.} - C_{у.п.} \cdot P_{Г1} / P_{Г2}) \cdot P_{Г2}. \quad (147)$$

$$\Delta C_{у.п.} = (0,288 - 0,288 \cdot 691200 / 760320) \cdot 760320 = 199065,3 \text{ руб.,}$$

где $C_{у.п.} = 0,288$ - условно-постоянные расходы (по данным ОАО «ПНТЗ»)

Дополнительные капитальные затраты:

$$K_{доп} = K_{02} + K_{лик}, \quad (148)$$

где $K_{лик}$ - потери от ликвидации старого оборудования:

$$K_{лик} = K_{01} (1 - a_p T) = 141136,4 \cdot (1 - 0,1 \cdot 5) = 70568,2 \text{ руб.,} \quad (149)$$

где $T = 5$ - число лет, отработанных выбывающими фондами.

$$K_{доп} = 116055,1 + 70568,2 = 186623,3 \text{ руб.}$$

$$\Delta C = K_{01} - K_{02} = 25081,3 \text{ руб.} \quad (150)$$

Срок окупаемости:

$$T_{ок} \equiv \frac{K_{доп}}{\Delta C_{у.п.}} + \Delta C = \frac{186623}{199065,3} + 25081,3 = 0,83 \text{ года.} \quad (151)$$

Вывод. Экономические расчеты показали эффективность проведения реконструкции, после которой ожидается снижение эксплуатационных расходов за счет роста производительности прошивного стана.

Ниже приводится таблица 13 по технико-экономическим показателям.

Таблица 13 - Техничко-экономические показатели

Наименование показателей	Единицы измерений	Существующее оборудование	Проектируемое оборудование
1	2	3	4
1. Капитальные затраты	руб.	141136,400	186623,30

Окончание таблицы 13

1	2	3	4
2. Эксплуатационные расходы	руб.	20048,899	16868,85
3. Амортизационные отчисления	руб.	14113,640	11605,51
4. Стоимость ремонта	руб.	5935,260	4640,74
5. Рост производительности	%	-	9,40
6. Экономия на эксплуатационных расходах	руб.	-	25081,30
7. Экономия на условно-постоянных расходах	руб.	-	199065,30
8. Срок окупаемости	год	-	0,83

5. РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПО РУКОВОДСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОШИВНОГО СТАНА ТПА-220

5.1. Общие сведения

Назначение: Устройство из серии комплектного тиристорного электропривода постоянного тока четвертого поколения представляет собой преобразующую систему тиристорного типа применяемую для выполнения регулировки рабочего напряжения, величины тока, скорости вращения, момента на валу, мощности и других параметров электрического двигателя

Применение: комплектный тиристорный электропривод КТЭУ применяется в промышленности, в том числе металлургической, бумажной, машиностроительной и других отраслях. Применение новой элементной базы (тиристоры, выключателей, предохранителей, интегральных микросхем, программируемых средств) и конструктивных решений позволили снизить массогабаритные показатели электроприводов, повысили эксплуатационную надежность.

5.2. Структура условного обозначения

Условное обозначение: КТЭУ-4000/930-12Т-УХЛ4.

КТЭУ – комплектный тиристорный электропривод унифицированный.

4000 – номинальный ток.

930 – номинальное напряжение.

12 – двенадцатипульсная система.

Т – трансформаторное исполнение.

УХЛ4 – размещение только в электротехнических помещениях с температурой окружающей среды от +5 до +40 градусов Цельсия.

5.3. Условия эксплуатации и принцип действия

Номинальные значения климатических факторов по ГОС 15150-69 и ГОС 15543.1-89; высота на уровне моря до 1000 м; верхнее рабочее значение температуру окружающего воздуха 40 °С; содержание пыли в окружающем воздухе до 4 мг/м³. Электропривод не предназначен для эксплуатации при непосредственном воздействии солнечной радиации, во взрывоопасной среде и в передвижных установках; группа механического исполнения М39 по ГОС 17516.1-90; степени защиты электроприводов IP21 по ГОС 14254-96, кроме мест выхода силовой ошиновки, резисторов динамического торможения вентиляторов, устанавливаемых на высоту 2200 мм, где степень защиты IP00. Электропривод отвечает требованиям техники безопасности по ГОС 12.2.007.0-75, ГОС 12.2.007.7-83, ГОС 12.2.007.11-75, а также требованиям действующих „Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей" и „Правил технической безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", утвержденные государственной инспекцией по энергетическому надзору.

По способу защиты человека от поражения электрическим током электропривод относится электрическим изделиям класса 01 по ГОС 12.2.007.0-75. Электропривод отвечает требованиям Т 16—88 ИАВК.654473.003 ТУ

Номинальные данные приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Номинальные данные КТЭУ-4000/930Е-12Т208ДТ54-УХЛ4

Наименование	Обозначение	Величина	Ед. измер.
1	2	3	4
Номинальное выпрямленное напряжение преобразователя	$U_{\text{дном}}$	930	В

Окончание таблицы 14

1	2	3	4
Номинальный выпрямленный ток	$I_{\text{дном}}$	4000	А
Линейное напряжение вентильной обмотки	$U_{2п}$	900	В
Номинальный ток вентильной обмотки	$I_{2ном}$	3270	А

Принцип действия: обеспечивает пуск и торможение двигателей с заданными значениями тока, момента, ускорения, времени. Поддержание заданной частоты вращения или ее регулирование по определенному алгоритму, ограничение максимальных значений тока, частоты вращения, напряжения, момента, ускорения.

Электропривод функционально представляет собой комплекс взаимосвязанных узлов: выпрямитель для питания якорной цепи двигателя; устройств для питания обмотки возбуждения двигателя; устройств для питания электромагнитного тормоза; устройств аварийного динамического торможения двигателя; комплекс реактивного и трансформаторного оборудования, а также релейно-контакторной аппаратуры и автоматических выключателей, обеспечивающих максимальную заводскую готовность электропривода; средств управления и сигнализации, обеспечивающие взаимосвязанное управление всем составным частям электропривода и решение задач регулирования защиты и автоматизации объекта, где используется электропривод; розетки для подключения паяльников и измерительных приборов; разъем для подключения устройств питания обмотки возбуждения тахогенератор и устройств для организации сетей переменного тока напряжение 42 и 220 В для подключения приборов, используемы при наладке электропривода.

Включает в себя следующие функциональные узлы и устройства: Силовую часть с трёхфазной мостовой схемой выпрямления; систему автоматического регулирования, защиты и сигнализации фирмы Siemens; устройство питания обмотки возбуждения двигателя; устройство питания электромагнита механического тормоза; устройство питания обмотки возбуждения тахогенератора; устройство динамического торможения; входной

преобразовательный трансформатор или сетевой реактор; сглаживающий или токоограничивающий реактор в цепи выпрямленного тока; силовую коммутационную и защитную аппаратуру в цепях переменного и постоянного тока, систему автоматической диагностики состояния элементов электропривода.

5.4. Эксплуатация электропривода

В процессе эксплуатации на промышленном объекте необходимо проводить техническое обслуживание электроприводов с целью обеспечения надежной работы и предотвращения отказов в соответствии с графиками планово-предупредительных ремонтов. Если на каком-либо электроприводе будет зафиксировано частое срабатывание защит, то он должен пройти профилактический осмотр в первую очередь.

Рекомендуется 1 раз в две недели проверять форму и значение напряжений источников питания, установку нулей датчиков, операционных усилителей, 1 раз в квартал необходимо проверять установку ограничения задания тока в ячейке регулятора скорости, уровни срабатывания компаратора AU в схеме задания скорости, компараторов защит, работу узлов задания скорости, работу узла переключения выпрямительных групп, а также датчика нулевого тока этого узла.

С такой же периодичностью проводят внешний осмотр электропривода, обтирку и продувку деталей и аппаратов от пыли, осматривают разъемы блоков и ячеек и проверяют затяжку болтовых соединений и контактного крепежа.

Один раз в 3 - 6 мес рекомендуется проверять настройку СИФУ и регуляторов, особенно регулятора тока при работе преобразователя на невозбужденный двигатель, а также сопротивление изоляции силовых цепей и цепей управления.

Комплектующая электропривод аппаратура (автоматические

выключатели, контакторы, силовые трансформаторы, двигатель вентилятора и др.) подвергается профилактическим осмотрам и ревизии в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

Выключатели серии ВАТ-48 осматриваются 1 раз в 3 - 4 месяца, с них удаляется пыль. После отключения аварийного тока или после 10 отключений тока, превышающего 0,5 /ном, выключатель подлежит внеочередной ревизии (без разборки), при которой очищаются дугогасительные контакты, рога, внутренние перегородки камеры от налета меди и копоти.

При обгаре более чем на 2 мм дугогасительные контакты и рога неподвижного контакта заменяют запасными. Проверяют и регулируют узел дугогасительного контакта, зазор между рогом и дугогасительным контактом.

При ревизии выключателей 1 раз в год необходимо зачистить или при необходимости заменять дугогасительные контакты, зачищать внутренние перегородки камеры, осматривать оси неподвижного контакта и заменять смазку, заменять смазку поверхности прилегания якоря к сердечнику и зуба защелки, проверять крепление рогов, гибкой связи дугогасительного и подвижного контактов и всех регулировочных элементов, проверять изоляцию элементов выключателя, проверять все регулировки выключателя.

Ремонтировать выключатель следует 1 раз в два года. Ремонт включает в себя выполнение всех работ, предусмотренных при ревизии.

Шарнирные соединения выключателя ЛЗ700 и электромагнитного привода периодически, примерно через две-три тысячи отключений, но не реже 1 раза в год, следует смазывать приборным вазелиновым маслом, выключатель и электромагнитный привод - веретенным маслом. Необходимо обращать внимание на затяжку винтов крепления выключателя, его крышки, пламегасителя, блока управления и крышки, прикрывающей зажимы, а также крепежных деталей электрического монтажа.

Выключатель следует осматривать после каждого отключения тока короткого замыкания, а при редких коммутациях 1 раз в год. Если сразу после

отключения тока короткого замыкания выключатель по условиям работы осмотреть нельзя, то можно снова его включить с обязательным условием, что осмотр будет произведен при первой же возможности или после повторного отключения короткою замыкания. После отключения выключателем тока короткого замыкания необходимо снять крышку и дугогасительные камеры, тщательно очистить выключатель от копоти во всех доступных местах чистой тряпкой, увлажненной бензином, а дугогасительные камеры от попавшего внутрь металла (пластины камеры не должны быть электрически замкнуты попавшим между ними металлом).

После отключении выключателем рабочих токов и токов короткого замыкания поверхность контактов становится неровной с наплывами металла. Запрещается опиливать контакты для придания им гладкой поверхности.

При осмотрах выключателя необходимо проверни, провалы контактов и толщину их металлокерамического слоя, а при наличии электромагнитного привода - правильность его установки. Ваш провал контактов или толщина металлокерамического слоя контактов окажутся менее 0,5 мм, то выключатель к дальнейшей работе непригоден. Провал контактов определяется разницей уровня неподвижного контакта относительно основания его во включенном и в отключенном положениях выключателя.

Так как в электроприводах серии КТЭУ контакторы при нормальной работе ток не коммутируют, то их достаточно осматривать 1 раз и 3 мес. а также после каждого отключения аварийного тока. При осмотре следует очистить контактор от пыли и загрязнения, проверить надежность всех резьбовых соединений, проверить отсутствие механических затираний.

При обнаружении повреждения какой-либо детали ее следует заменить на запасную.

Закопченные поверхности контактных колодок, дугогасительной камеры, контактных траверс и самих контактов следует протирать хлопчатобумажной ветошью. При осмотре магнитной системы необходимо обратить внимание на

то, чтобы якорь легко поворачивался и имел минимальное перемещение вдоль оси призмы; встречные призмы должны быть установлены так, чтобы не было затирания подвижной системы.

Когда катушка контактора подключена, якорь должен плотно прилегать к шляпке сердечника. Допускается зазор между якорем и концом шляпки сердечника со стороны оси вращения якоря не более 0,5 мм. Необходимо внимательно следить за состоянием контактного устройства и регулярно его осматривать. При осмотре контактов необходимо проверять отсутствие перекосов и линию соприкосновения контактов, суммарная длина которой должна равняться не менее 75% ширины подвижного контакта. При включении подвижный контакт должен перекатываться по неподвижному. Если контакты обгорели или на них образовались застывшие капельки, то поверхность необходимо слегка зачистить бархатным напильником и протереть чистой ветошью. Не разрешается чистить контакты наждачным полотном, так как кристаллы наждака врезаются в материал контактов, что ухудшает надежность контактирования. Смазка контактов не допускается. Раствор контактов, провал и начальное нажатие на контакт являются основными параметрами контактного устройства и не должны выходить за пределы допустимых, поэтому в условиях промышленной эксплуатации аппаратов они подлежат периодической проверке к настройке. После каждого осмотра контактной системы следует следить за установкой и фиксацией камер, проверять отсутствия затирания в них неподвижных контактов. Проверять при необходимости счищать с камер копоть и нагар.

При осмотре силовых трансформаторов проверяется затягивание болтовых соединений, характер гудения и уровень наполнения негорючей жидкостью. У масляных трансформаторов дополнительно проверяется уровень заполнения и цвет масла, отсутствие течи. Ревизию масляного трансформатора рекомендуется проводить 1 раз в год.

У вентилятора проверяется отсутствие затирания и перегрева

подшипников двигателя с разборкой к замене смазки 1 раз в год.

После аварийного отключения основная задача эксплуатационного персонала - скорейшее обнаружение неисправного узла, замена или ремонт его и включение электропривода в работу. Поиск неисправностей облегчается системой сигнализации электропривода и другими устройствами, позволяющими локализовать неисправность. Для обнаружения неисправного узла эксплуатационный персонал должен иметь необходимое оборудование: электронно - лучевые осциллографы, комбинированные измерительные приборы, мегаомметр, электрощуп, инструмент для съема силовых блоков, удлинители, обеспечивающие возможность измерения напряжения в различных точках ячеек и субблоков при их подключении к шкафу электропривода. Необходимо иметь резервные проверенные ячейки и силовые блоки. Ячейки управления некоторых типов используются в нескольких блоках и могут иметь разные параметры и даже схемы за счет установки перемычек внутри ячейки. Поэтому при установке в блок управления схема включения перемычек ячейки должна быть приведена в соответствие с заменяемой. Для наиболее ответственных электроприводов желательно иметь заранее налаженный 100%-ный резерв ячеек.

Электроприводы снабжаются устройствами запоминания и индикации аварийного сигнала. Соответствие между номером загоревшегося светодиода и аварийным сигналом указывается в таблице на дверях шкафа управления. В таблице 15 приведен список аварийных сигналов электропривода типа КТЭУ-4000/930 (ПМ1, ПМ2. ПМ3 - ячейки памяти).

Таблица 15 – Список аварийных сигналов

Светодиод	Авария
1	2
Пми	Отключен масляный выключатель
ПМ1.2	Нет готовности тиристорного преобразователя
ПМ1.3	Аварийное отключение силового автомата
ПМ1.4	Отключен рубильник силовой цепи
ПМ1.5	Отключен источник постоянного тока 220 В

Окончание таблицы 15

1	2
ПМ1.6	Отключено возбуждение тахогенератора
ПМ1.7	Превышение максимальной скорости
ПМ1.8	Перегрузка двигателя (для двухдвигательных приводов)
ПМ1.9	Отключен линейный контактор
ПМ1.10	Переключатель режимов в положении "проверка"
ПМ2.1	Недопустимое уменьшение тока возбуждения
ПМ2.2	Напряжение двигателя выше допустимого
ПМ2.3	Превышение времени стоянки двигателя иод током
ПМ2.4	Отключены НСТОЧШІКІ питания блоков
ПМ2.5	Неисправность цеп»! динамического торможения
ПМ2.7	Защита высоковольтного ввода
ПМ2.8	Газовая защита трансформатора
ПМ2.9	Ток возбуждения двигателя выше допустимого
ПМ3.1	Открыта дверь вентиляционной секции при работе
ПМ3.4	Перегрев подшипников двигателя
ПМ3.5	Температура масла трансформатора выше допустимой
ПМ3.6	Сгорел один предохранитель
ПМ3.7	Отсутствует вентиляция преобразователя
ПМ3.8	Недопустимый уровень масла трансформатора
ГТМ3.9	Снижение изоляции главной цепи
ПМ3.10	Отсутствует вентиляция двигателя

Аварийные сигналы ПМ1.1, ПМ1.4, ИМ1.5. ПМ1.6. ПМ1.10. ПМ2.8. ПМ3.1. ПМ3.4, М.Ч3.5. ПМ3А. ПМ3.10 определяют неисправное устройство однозначно. В других случаях появление аварийного сигнала может вызываться несколькими причинами. Рассмотрим наиболее характерные из них.

При сигнале «нет готовности преобразователя» могут быть отключены источники силового, оперативного и опорного напряжений, может отсутствовать вентиляция преобразователя, сработать ячейка ДИА, могут быть сгоревшие предохранители. Конкретная причина аварии устанавливается осмотром табло на дверях шкафов и светодиода на ячейке ДИА.

Аварийное отключение сигналов с ячейки ДИА может иметь место при неисправностях преобразователя или регулятора тока. Исправность регуляторов тока проверяется наблюдением прохождения сигналов на

осциллографе или с помощью встроенной в систему управления модели двигателя. В преобразователе проверяется форма импульсов управления и смещение их при изменении u_y , правильность работы узла реверса, наличие без токовой паузы, работа датчика нулевого тока, а также исправность силовых тиристоров.

Сигнал «аварийное отключение силового автомата» формируется по логической схеме: выключатель отключен, а управляющий им переключатель находится в положении «включено». Отключение выключателя происходит под действием аварийных сигналов, контролируемых светодиодами. Если ни один светодиод, кроме ПМ1.3, не горит, это означает, что отключение произошло под действием максимального (или теплового) расцепителя выключателя в результате длительной работы с током, превышающим номинальный. При отключении под действием максимального расцепителя без срабатывания ячейки ДНА необходимо проверить исправность ячейки, и если она исправна, то произвести повторно калибровку установок ДНА и максимального расцепителя (например, реле РДШ выключателей типа ВАТ-48).

Превышение максимальной скорости, как правило, происходит при неисправностях в цепи возбуждения, причина неисправности обнаруживается по сигнализации ПМ2.1 и по проверке за прохождением сигналов на регуляторе тока. В некоторых случаях сигнал превышения скорости может появиться при работе с минимальным током возбуждения и неисправности регуляторов скорости или тока, что обнаруживается наблюдением сигналов этих регуляторов.

Аварийный сигнал «перегрузка двигателя» используется только в двухдвигательных электроприводах, у которых в цепи якоря каждого двигателя установлено максимальное реле. Установка срабатывания этих реле выбирается несколько выше половины значения тока отключения выключателя. Поэтому отключение этих реле (или одного из них) без срабатывания ячейки ДНА указывает на неисправность регулятора возбуждения одного двигателя или узла

выравнивания нагрузки.

Сигнал «отключен линейный контактор» формируется в случае отключения его при наличии напряжения на якоре двигателя. Такое отключение запрещено логикой управления, так как контактор размещен таким образом, что его отключающая способность ограничена. Обычно отключение контактора происходит из-за разрыва цепей его катушек или промежуточного реле РКЛ или из-за отключения РКЛ вследствие неисправности ячейки усиления УЛ. Недопустимое уменьшение тока возбуждения может иметь место при неисправности регулятора тока возбуждения, возбудителя ТПВ. при неточной настройке нуль-органа, фиксирующего «обрыв поля». Нуль-орган настраивается таким образом, чтобы при минимальном токе возбуждения, имеющем место при отключении выключателя нагрузки, сигнал "обрыв поля" не формировался. Исправность регулятора тока возбуждения отыскивается при наблюдении за прохождением сигналов. Исправность ТПВ проверяется наблюдением формы и смещения отпирающих импульсов и формы тока и напряжения на нагрузке.

Нуль - орган, фиксирующий превышение допустимого напряжения двигателя, обычно настраивается таким образом, чтобы он не срабатывал при $E = E_{do} \cos \alpha_{min}$, поэтому появление аварийного сигнала обычно указывает на неисправность цепи регулирования возбуждения. О проверке этой цепи уже говорилось.

В зависимости от схемы подключения ячейки защиты ЗСТ появление аварийного сигнала ПМ2.3 может быть вызвано задержкой трогания (стопорением) двигателя больше установленной при наладке (120с) или длительной перегрузкой двигателя током. Появление аварийного сигнала вызывается неправильными действиями операторов, управляющих технологическим агрегатом, или неисправностью ячейки ЗСТ.

Неисправный источник питания определяется по светодиодам, установленным на лицевых панелях источников. Контроль исправности цепи

динамическою торможении используется при применении тиристоров при замыкании этой цепи. Аварийный сигнал формируется, если появился ток при отсутствии сигнала динамического торможения. Причиной появления аварийного сигнала могут являться неисправность нуля – органа, фиксирующего протекание тока в цепи и динамического торможения, пробой тиристоров динамического торможения или неисправностью ячейки, формирующей отпирающий импульс.

Появление аварийного сигнала «ток возбуждения двигателя выше допустимого» обычно связано с неисправностью регулятора тока возбуждения или отказом датчика тока возбуждения. Если эти элементы исправны, то необходимо проверить тиристорный возбудитель.

Преобразователи с номинальным током 4000А допускают длительную работу при наличии одного сгоревшего предохранителя в каждом плече вентильной части ТП. Во избежание развития аварии неисправный предохранитель необходимо как можно быстрее заменить. При появлении предупреждающего сигнала ПМ 3.6 при первой же остановке электропривода, например: при технологическом прогоне или после окончания смены, необходимо снять силовое напряжение, заменить неисправный тиристорный блок или отдельно предохранитель. Если защищаемый предохранителем тиристор не заменяется, то необходимо проверить его исправность. При появлении предупреждающего сигнала «отсутствует вентиляция преобразователя» следует иметь в виду, что через 3-5 мин электропривод будет аварийно отключен. Поэтому дежурный персонал должен немедленно сообщить операторам, обслуживающим технологический агрегат, о необходимости остановки его, затем устранить причину аварии. Вначале проверяется фактическое наличие потока воздуха; если он существует, то производится ревизия или замена реле контроля воздуха РСВ. Если вентиляции отсутствует, то необходимо проверить наличие напряжения на двигателе вентилятора, а при имеющемся напряжении заменить вентилятор с двигателем.

При снижении сопротивления изоляции силовой цепи необходимо при остановке технологического агрегата, отключив последовательно участки силовой цепи, с помощью мегаомметра определить участок с поврежденной изоляцией и устранить неисправность.

Многие неисправности электропривода не сопровождаются аварийной или предупреждающей сигнализацией. Наиболее характерные из них методы их устранения приведены ниже.

Не собирается схема включения автоматического выключателя на стороне постоянного тока (отключено реле КQ, рис 22.а) при отсутствии аварийной или предупреждающей сигнализации. Так как для сборки схемы необходимо иметь нулевое напряжение ТП и нулевое положение командоаппарата, задающего скорость, то с помощью осциллографа проверяется исходное состояние нуль-органов этих сигналов. При исправной работе этих устройств проверяется состояние внешних блокировок по выходным сигналам ячеек ввода ВЛ. Если на всех выходах присутствуют разрешающие сборку сигналы, то причиной неисправности могут быть отказы микросхем или потери контакта в разъеме. Необходимо заменить ячейку УР или отыскать неисправную цепь.

При повороте ключа включения линейного контактора он не включается. Вначале необходимо проверить, включаются ли реле КЗ. Если оно включается, то необходимо проверить цепь замыкающего контакта этого реле. Если не включается, но горит светодиод 2 в ячейке усилителей мощности УЛ1, то неисправна цепь катушки реле КЗ. Если этот светодиод не включен, но горит светодиод РКЛ в ячейке УР то неисправна ячейка УЛ1, которую необходимо заменить. Если же светодиод при повороте ключа не загорается, а выключатель нагрузки включен, то следует проверить наличие логических сигналов «О» на выходах каналов 6 и 7 ячейки ВЛ4, а также наличие таких же сигналов на выходах нуль-индикаторов ячеек ИН. При исправности этих узлов нужно проверить состояние логических входов ячейки УР и при их правильности

заменить ячейку УР.

Не растормаживается электромеханический тормоз. Вначале необходимо убедиться в наличии напряжения на выходе блока БГР 1 при включенных реле К1 и К2. Это напряжение должно составлять примерно 340 В. Если это напряжение равно 170-200 В, то схема выпрямления работает как однополупериодная, если это напряжение близко к нулю, то схема не работает полностью. Необходимо убедиться, что контакты реле замкнуты, и заменить субблок управления тормозом.

Если же реле К1 и К2 не включаются и не горят светодиоды 3 и 4 ячейки УЛ2 и светодиод 5 ячейки ИИ6 (а до подачи сигнала на растормаживание последний горел), то неисправна и подлежит замене ячейка УЛ2. Если же светодиод 5 в ячейке ИИ6 горит, то сигнал растормаживания не формируется, и необходимо проверить правильность логических сигналов в ячейке ЯК2.

При установке командоаппарата в нулевое положение во время работы двигатель не останавливается, в преобразователе отсутствует срыв импульсов. Необходимо при отключенном электроприводе установить нули в датчике скорости, в потенциальных разделителях и устройствах задания скорости, отрегулировать чувствительность нуль-органа АУ.

Во время работы электропривода частота вращения электродвигателя не соответствует заданной. Необходимо проверить уровень напряжения задания частоты вращения на входе ячейки регулятора скорости.

Если это напряжение не соответствует заданному, то в зависимости от режима задания частоты вращения необходимо обнаружить и заменить неисправную ячейку (СЗ, СЛЗ. ИР). Если напряжение задания частоты вращения соответствует требуемому, то необходимо проверить соответствие напряжения на входе обратной связи частоте вращения электродвигателя. Причиной неисправности могут являться неисправность датчика напряжения тахогенератора или потеря контакта в разъеме. Если же эти узлы исправны, то необходимо проверить прохождение сигналов в ячейках регулирования

скорости, тока, ЭДС, тока возбуждения. При отсутствии дефектов в ячейках системы регулирования необходимо проверить преобразователь.

При набросе нагрузки или в процессе разгона электропривод часто отключается с включением светодиода КЗ = на ячейке ДИА. Причиной этой неисправности может явиться неправильная уставка ограничения задания тока в ячейке регулятора скорости, которая близка или выше уставки защиты по постоянному току в ячейке ДИД. Необходимо скорректировать значения уставок. Кроме того, регулятор тока может быть настроен с большой колебательностью или имеется пропуск в работе тиристоров. В первом случае необходимо скорректировать настройку регуляторов, во втором проверить наличие импульсов управления и исправность тиристоров.

В таблице 16 приведены некоторые характерные неисправности в системе управления преобразователем и в выключателях. Нумерация микросхем и других элементов соответствует указанной на схемах ячеек, которые поставляются заказчику вместе с изготовленным электрооборудованием.

Таблица 16 - Неисправности систем управления

Внешнее проявление	Причина неисправности	Способ устранения
1	2	3
Неисправности системы управления преобразователем		
Отсутствует управляющий импульс в одном канале на выходе ячейки мультивибратора	Вышла из строя одна из микросхем Д9, Д10, Д11,	Заменить ячейку
Промежуток времени между двумя последующими импульсами управления значительно отличается от 3.3 мс	Вышел из строя операционный усилитель А1 или А2 в ячейке фазосмещения	То же
Нарушена симметрия импульсов в диапазоне регулирования угла управления или в режиме ограничения тока	1. Неодинаковы масштабы прямого и инверсного сигналов управления в ячейке фазосмещения 2. Неисправна ячейка фазосмещения	1. Выровнять масштабы с помощью установленного на ячейке резистора 2. Заменить ячейку
То же в режиме ограничения тока	То же для ячейки фильтров	То же для ячейки фильтров

Продолжение таблицы 16

1	2	3
Отсутствуют управляющие импульсы во всех каналах ячейки мультивибратора	Вышел из строя генератор частоты - усилитель А 1	Заменить ячейку
В одном канале импульс не имеет высокочастотного заполнения	Неисправен или неподпаян диод V3, VS или VI2 в ячейке мультивибратора	1. Проверить исправность диодов 2. Проверить пайку диодов
Отсутствует периодическое напряжение прямоугольной формы на выходах As, Bs, Cs, -As, -Cs ячейки фазосмещения	Неисправны компараторы в ячейке фазосмещения	Заменить ячейку
Отсутствуют импульсы на выходах ячеек усилителей при наличии импульсов на выходе ячейки мультивибратора	Неисправна ячейка усилителей	То же
Не переключаются выпрямительные мосты при изменении полярности напряжения реверса и отсутствии сигнала наличия тока	Неправильно отрегулирован узел контроля нулевого тока в ячейке ЯФУ0177 узла реверса	Перестроить чувствительность узла резистором, установленным в этой ячейке
Перегревается выходной транзистор ячейки усилителей импульсов	На силовой блок не поступает напряжение 72 В	Проверить и восстановить правильность монтажа
Не загораются светодиоды Н1 или Н2 в ячейке ДИА	1. Неисправны светодиоды 2. Неисправна микросхема ДЗ	1. Заменить светодиод 2. Заменить ячейку
При неисправных предохранителях не горит табло "Сгорел 1 Пр"	Неисправно одно из реле Р1.Р2.Р3 в ячейке ЯКП	Заменить ячейку
Не включается какой-то тиристор	1. Параметры импульсов управления не соответствуют номинальным 2. Неисправен тиристор	1. Проверить выход усилителей импульсов и импульсный узел, при их неисправности заменить усилитель импульсов, импульсный узел или силовой блок 2. Заменить тиристор или силовой блок
Неисправности выключателей серии ВАТ-48		

Продолжение таблицы 16

1	2	3
<p>Выключатель или полюс не включается</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обрыв в цепях управления или в катушке 2. Слишком большой натяг отключающей или контактной пружины 3. Слишком большой зазор между контактами выключателя в предвключенном положении или между гайкой и скобой дугогасительного контакта 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Восстановить цепь или заменить катушку. 2. Проверить и отрегулировать натяг 3. Отрегулировать зазоры
<p>Якорь выключателя не удерживается во включенном положении</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Постороннее тело в стыке якоря и сердечника 2. Слишком большой натяг отключающей или контактной пружины 3. Слишком большой зазор между контактами выключателя в предвключенном положении или между гайкой и скобой дугогасительного контакта 4. Ухудшение прилегания якоря к сердечнику катушки 5. Обрыв удерживающей цепи 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проверить поверхность соприкосновения якоря и сердечника 2. Отрегулировать натяг 3. Отрегулировать зазоры 4. Равномерной регулировкой сопротивлений в цепи удерживающей катушки увеличить удерживающий ток, но не более чем до 1,4 А для однополюсных выключателей и 2,8 А для двухполюсных при 220 В. Сделать 20-40 включений и отключений выключателя 5. Устранить обрыв
<p>Выключатель включается, но не удерживается во включенном положении</p>	<p>При срабатывании привода ИДП - разрыв цепи контактов РДШ</p> <p>Наводка в проводах, идущих от РДШ к БУ</p>	<p>Проверить контакт и добиться, чтобы падение напряжения на контактах не превышало 10-20 мВ</p> <p>Устранить наводку экранировкой проводов.</p>

Окончание таблицы 16

1	2	3
ИДП не срабатывает при размыкании контактов реле РДШ	Обрыв в цепи управления тиристора	Устранить обрыв
Рычаг механизма свободного расцепления срывается с защелки Выключатель не включается	Не отрегулирован механизм свободного расцепления Обрыв цепи катушки ИДП	Отрегулировать механизм Проверить цепь катушки ИДП, устранить короткое замыкание, смс нить тиристор. Устранить причину перегорания и сменить плавкую вставку. Устранить обрыв
Сильный нагрев резисторов	Перепутаны концы проводов, подключенных к зажимам батарей конденсаторов	Проверить подсоединение конденсаторов
Полюс выключателя остается в предвключенном положении (не сбивается зацепка механизма свободного расцепителя)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Слишком сильный натяг контактной катушки 2. Слишком большой зазор между контактами в предвключенном положении или между гайкой и скобой дугогасительного контакта 3. Ослаблена пружина, связывающая якорь и защелку механизма свободную расцепления 3. Отсутствует смазка зуба защелки 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отрегулировать натяг 2. Отрегулировать зазоры 3. Заметить пружину 4. Смазать зуб защелки

6. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Цель данной выпускной квалификационной работы – электропривод прошивного стана ТПА-220, направлена на улучшение условий труда. При комплексной автоматизации технологические процессы выполняются последовательно без участия человека. Такие системы позволяют избавить оператора от тяжелой физической работы, а применение управляющих машин не только облегчает труд, но и делает его безопасным. Здоровье и безопасные условия труда электротехнического персонала и работников, эксплуатирующих электроустановки, обеспечиваются выполнением научно обоснованных правил и норм, как при проектировании, так и при монтаже и эксплуатации оборудования, соблюдением правил безопасности и правил технической эксплуатации.

6.1 Охрана труда при работе на прошивном стане

Опасные и вредные производственные факторы, действующие на человека при работе на стане ТПА-220

Стан ТПА характеризуется следующими опасными и вредными производственными факторами:

- высокая плотность электрооборудования;
- стан является источником шума и вибрации;
- наличие большого количества вращающихся деталей и движущихся тел;
- при волочении используется смазка на основе металлических мыл;
- при загрузке и разгрузке труб на стане используется мостовой кран;
- наличие разветвленной сети электрических цепей;

- незащищенные подвижные элементы производственного оборудования;
- напряженность и монотонность труда;
- пожароопасность.

Организация и условия труда на участке ТПА-220

Цех ОАО ПНТЗ расположен в северо-восточной части города Первоуральска. Жилая застройка расположена на расстоянии 500 м от цеха в западном направлении. С остальных сторон цех окружен другими цехами и складскими помещениями. Требуемый размер по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01 составляет 100 м.

Подвижные элементы оборудования, опасные зоны (кожухи, чехлы, фартуки), ограждения, защитные сетки, электромостовые краны окрашены в ярко-желтый цвет, который предупреждает человека об опасности.

Проходы для безопасного хождения отмечены красными линиями, ширина которого составляет не менее 1 м. Между оборудованием цеха, его агрегатами и механизмами предусмотрен небольшой интервал. Передаточные тележки, осуществляющие транспортные операции между пролетами, снабжены звуковой сигнализацией, которая включается при перемещении тележки.

6.2 Описание вредных факторов

Влияние факторов, связанных с воздействием электрического тока на организм человека.

Проходя через организм, электрический ток оказывает термическое, электромеханическое и биологическое действия.

Термическое действие выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов, нервов и других тканей. Электрохимическое

действие выражается в разложении крови и других органических жидкостей, что вызывает значительные нарушения их физико-химических составов. В результате биологического действия могут возникнуть различные нарушения в организме, в том числе нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

Местные электротравмы - это четко выраженные местные повреждения тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги. Различают следующие местные электротравмы:

- электрический ожог;
- электрический знак;
- металлизация кожи;
- механические повреждения;
- электроофтальмия.

Человек начинает ощущать протекающий через него ток промышленной частоты (50 Гц) относительно малого значения: 0,6...1,5 мА. Этот ток называется пороговым ощутимым током.

Ток 10...15 мА (при 50 Гц) вызывает сильные и весьма болезненные судороги мышц рук, которые человек преодолеть не в состоянии. Такой ток называется пороговым не отпускающим.

При 25...50 мА действие тока распространяется и на мышцы грудной клетки, что приводит к затруднению и даже прекращению дыхания. При длительном воздействии этого тока - в течение нескольких минут может наступить смерть вследствие прекращения работы легких.

При 100 мА ток оказывает непосредственное влияние также и на мышцу сердца; при длительности протекания более 0,5 с такой ток может вызвать остановку или фибрилляцию сердца. Такой ток называется фибрилляционным.

6.3 Методы защиты

Все проектируемое оборудование установлено внутри цеха. Данное помещение по степени поражения людей электрическим током относится к категории повышенной опасности (сырые, в которых при нормальных условиях влажность может повышаться до насыщения; сухие, но не отапливаемые; с проводящей угольной или металлической пылью; жаркие, вызывающие значительное выделение пота на теле человека); так как характеризуется несколькими признаками повышенной опасности: наличие токопроводящих полов, возможность одновременного прикосновения к токопроводящим корпусам или токоведущим частям электрооборудования и металлическими конструкциями, имеющими связь с землей.

В целях электробезопасности все токоведущие части должны быть надежно закрыты или изолированы. Все металлические части электроустановок (станины, корпуса электродвигателей, каркасы шкафов, пультов управления) нормально не находящиеся под напряжением, должны быть в соответствии с Правилами устройства электроустановок занулены или оснащены устройствами защитного заземления, выполненными в соответствии с ГОСТ Р 50571.5.54-2013/МЭК 60364-5-54:2011, так как в случае аварии или пробоя изоляции они могут оказаться под напряжением. Заземление проводится к металлоконструкциям цеха. Пульты управления и шкафы заземляются сваркой по трубной развязке или стальной шиной прямоугольного сечения не менее 24 мм. Съёмные детали, электродвигатели заземляются под болт стальной шиной или проводом диаметром не менее 5 мм. Шарнирно закрепленные детали электроустановок (дверцы пультов управления и шкафов) заземляются медным гибким тросиком сечением не менее 4 мм². Внутрицеховую электрическую сеть выполняют из изолированных проводов или кабелей, защитные оболочки

которых удовлетворяют требованиям механической прочности и устойчивости в отношении химических воздействий. В цехе сеть 380 В выполняется с глухозаземленной нейтралью. Величина сопротивления заземляющего устройства не должна превышать 4 Ом.

На всех дверцах шкафов с электроаппаратурой напряжением свыше 42 В, а также на кожухах, закрывающих электроаппаратуру, должны быть нанесены предупреждающие знаки «Высокое напряжение».

Работники цехов при обслуживании распределительных устройств должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты (изолирующие клещи, диэлектрические калоши (для работы при напряжении до 1000 В), изолирующие подставки, резиновый коврик, указатели напряжения, переносные защитные заземления и др.).

Наличие напряжения опасного для жизни обуславливает следующие требования к обслуживающему персоналу:

- эксплуатация установки должна осуществляться специально подготовленным электротехническим персоналом;
- лица, не достигшие 18-ти летнего возраста, не могут быть допущены к самостоятельным работам с установкой;
- лица электротехнического персонала не должны иметь увечий и болезней (стойкой формы), мешающих работе;
- в соответствии с ГОСТ Р 50571.3-2009, лица электротехнического персонала должны после соответствующего курса теоретической и практической подготовки пройти проверку знаний и иметь удостоверение на допуск к работам в электроустановках (обслуживать установки могут лица оформленные приказом по подразделению и должны иметь квалификационную группу 3 по ТБ).

При техническом обслуживании и ремонте электрооборудования со снятием напряжения должны быть выполнены следующие технические мероприятия:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры;
- на приводах ручного и ключах дистанционного управления коммутационной аппаратуры вывешены запрещающие плакаты;
- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены.

6.4 Вывод

Итак, рассмотрены основные факторы, обеспечивающие безопасность труда на трубоволоочильном производстве. Основными факторами, которые могут представлять опасность для трудящихся, являются: вращающиеся механизмы, их шумы, производственная пыль и газы кислородных горелок, электрическое напряжение.

В результате анализа степени опасности этих факторов на данном производстве сделаны выводы об их допустимости или недопустимости, предложены меры по снижению их опасности, проведен подробный расчет защитного заземления.

Применение эффективных средств защиты обеспечивает полную нейтрализацию вредных воздействий на природную среду. Гарантированы нормальные условия труда и безопасность производства.

Кроме того, приняты меры для защиты от шума и механических опасностей: защитные ограждения блокировки, предупредительная окраска.

Для обеспечения нормальных условий труда, микроклимата производственного помещения предусмотрена вентиляция и отопление в холодное время года.

При соблюдении правил безопасной работы труд на труболопильном станке считаем безопасным.

Площадь и объем рабочего места обеспечивают необходимое пространство для удобного обслуживания электрооборудования и механических частей стана ТПА также допустимое расстояние до токоведущих частей, находящихся под напряжением. Микроклимат не оказывает вредное воздействие на здоровье и работоспособность человека в процессе труда, и соответствуют ГОСТ Р 50571.7.717-2011/ МЭК 60364-7-717:2009:

- скорость движения воздуха в цехе составляет 0,4 м/с, что соответствует требованию (0,2...0,5 м/с);

- значение температуры в производственных помещениях составляет 18...25°C в холодных и переходный период, 16...22°C в теплый период;

- в производственных помещениях относительная влажность составляет 70;

- освещенность на рабочем месте составляет 200 лк при использовании ламп ДЛР-750, что полностью соответствует нормам.

В данном разделе рассмотрены вопросы жизнедеятельности на участке работы стана ТПА-220.

В целом состояние охраны труда в цехе соответствует нормам и требованиям, предъявляемым к трубопрокатным цехам.

Уровень такого вредного фактора, как шум является выше допустимого, но для снижения допустимого уровня применяются индивидуальные средства защиты (вкладыши «Беруши»), а также методы коллективной защиты (применение ограждений из звукопоглощающих материалов для пульта

управления стана). В соответствии с санитарными нормами на участке стана поддерживается оптимальная температура при помощи средств вентиляции.

Основным опасным производственным фактором в процессе эксплуатации остается поражение электрическим током. Действие этого фактора можно избежать только при выполнении технических мероприятий, обеспечивающих безопасное выполнение работ в электроустановках, а также использование средств индивидуальной защиты.

В целом, рассмотренный в данном дипломном проекте объект соответствует необходимым требованиям безопасности и экологичности и исключает возможность несчастных случаев и получения травм и профессиональных заболеваний для людей.

Предлагаемая выпускная квалификационная работа электропривода труболопастного стана отвечает требованиям стандартов по безопасности труда, электробезопасности, пожаробезопасности. Обеспечивается минимальная вероятность поражения рабочих электрическим током, а также сведены к минимуму другие опасные и вредные факторы. Вместе с тем обеспечен максимальный комфорт и оптимальная производительность труда.

7. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

При правильной эксплуатации электроприводов не происходит выделения вредных веществ, как в атмосферу, так и в почву и в воду. Однако электроприводы используются не как таковые, а в совокупности с технологическим оборудованием.

В процессе обработки металла для различных целей используется вода. Чтобы не происходило загрязнение водных источников, используют замкнутый цикл использования воды в технологическом процессе. После использования вода проходит через систему очистки и вновь используется в технологическом процессе, таким образом, сброса загрязненной воды в водоемы не происходит, а производится только забор воды для пополнения потерь вследствие испарения воды из системы.

При эксплуатации оборудования используются также различные смазочные материалы типа литол, ЦИА ТИМ, различные жидкие смазки, а также трансформаторное масло. При техническом обслуживании заменяется смазка в редукторах, масло в трансформаторах. Отработанные материалы своевременно утилизируются. Нефтепродукты являются сильнейшим загрязнителем почвы, возможно их проникновение в расположенные поблизости питьевые водоемы. Для предотвращения загрязнения почв нефтепродуктами необходим контроль утилизации отработанных смазочных материалов и других нефтепродуктов, что и выполняется на данном предприятии.

Для защиты окружающей среды в запыляемых местах установлены пылеулавливатели - циклоны.

Для своевременного обнаружения и ликвидации пожаров предусмотрены средства автоматической пожарной сигнализации и автоматического пожаротушения.

Из возможных на участке чрезвычайных ситуаций может быть пожар электроустановки под напряжением. Причины возникновения пожара в электроустановке: скачок напряжения, искрение в месте контактного соединения, короткое замыкание, попадание молнии.

При возникновении пожара в электроустановке под напряжением дежурный персонал отключает напряжение, поступающее на электроустановку, сообщает о случившемся начальнику цеха и диспетчеру. Надлежит вызвать пожарную охрану, оказать первую медицинскую помощь пострадавшим, вызвать скорую помощь, вывести людей из опасной зоны, и до приезда пожарной охраны приступить к ликвидации силами добровольной пожарной дружины. Для тушения пожара используются азотные огнетушители, асбестовые полотна.

В случае возникновения пожара на территории цеха первый заметивший пожар обязан:

- немедленно сообщить о пожаре в пожарную часть с любого телефонного аппарата по номеру 011 с указанием точного места пожара;
- сообщить о пожаре оператору цеха по прямому телефону;
- до прибытия работников ВПЧ производить тушение пожара с применением первичных средств пожаротушения (песок, углекислотные огнетушители), привлекая находящихся поблизости работников;
- принять меры по встрече пожарных машин;
- оператор, получив с какого-либо участка цеха сигнал о пожаре, действует согласно памятке «Действия оператора при пожаре»;

Администрация цеха в случае возникновения пожара в цехе или вблизи его обязана:

- проверить, вызвана ли пожарная часть;
- поставить в известность о пожаре руководителя предприятия;
- возглавить руководство тушением пожара до прибытия пожарной части;
- выделить для встречи пожарных лиц, хорошо знающее расположение подъездных путей и водоисточников;
- удалить (при необходимости) за пределы цеха или опасной зоны всех рабочих и служащих, не занятых в ликвидации пожара;
- при необходимости вызвать медицинскую и другие службы;
- организовать отключение электроэнергии, остановку оборудования, перекрытия паровых и водяных коммуникаций, остановку в системе вентиляции, выполнение других мероприятий, способствующих предотвращению распространения пожара;
- при прибытии подразделения пожарной охраны представитель цеха, руководящий тушением пожара, сообщает руководителю подразделений пожарной охраны все необходимые сведения об очаге пожара, консультирует о наличии людей в очаге пожара, о веществах и материалах, об обстановке, находящихся в зоне горения, об обстановке, которая может сложиться при пожаре.

Цех по степени пожарной опасности относится к категории «Г», стены здания выполнены по II степени огнестойкости.

Пожар и взрывобезопасность - это состояние, когда возможность пожара или взрыва сведена к минимуму, а в случае их возникновения обеспечена защита людей и материальных ценностей от опасных факторов пожара или взрыва. План эвакуации приведен на рисунке 17.

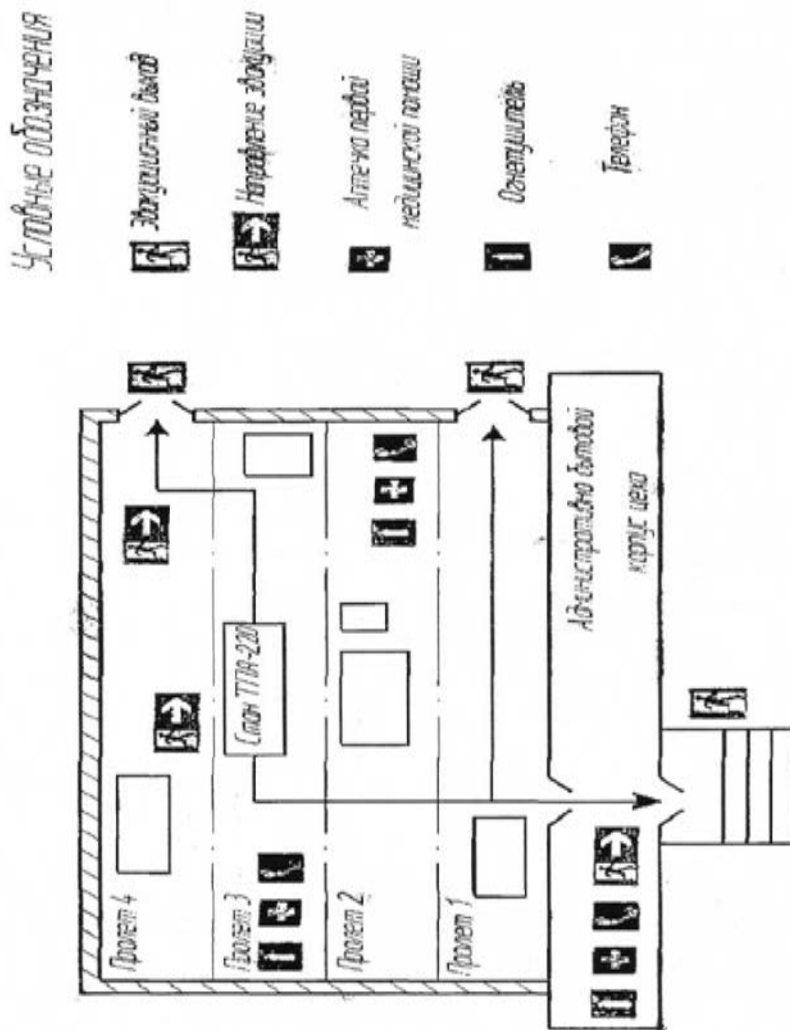


Рисунок 17 – План эвакуации

Пожар и взрывобезопасность регламентируют государственные стандарты ГОСТ Р 53325-2009.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время промышленность располагает большим разнообразием средств автоматизации, применение которых позволит создать системы управления электроприводов в соответствии с поставленными требованиями технологии. Создание новых электрических аппаратов для управления электродвигателями, автоматических регуляторов, выпрямительных устройств, а также специальных программных устройств и микропроцессоров приводит к решению задачи автоматизации электропривода.

В результате автоматизации тяжёлый физический труд рабочих ликвидируется, их участие в рабочем процессе сводится к настройке механизмов и машин и контролю их бесперебойной работы. В данной выпускной квалификационной работе был разработан электропривод и система автоматизации прошивного стана ТПА-220. Был разчитан и выбран электродвигатель постоянного тока рассмотрены вопросы разработки системы управления электроприводом, экономичность, эксплуатация комплектного тиристорного электропривода, экологичность и безопасность жизнедеятельности. Так же была создана подробная математическая модель электропривода. Проведённое технико-экономическое обоснование выпускной квалификационной работы доказывает целесообразность принятого решения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. Л., Энергоиздат, 1982. - 392 с.
2. ГОСТ 30331.4-95 / ГОСТ Р 50571.4-94 Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий.
3. ГОСТ Р 50571.7.717-2011/ МЭК 60364-7-717:2009 Электроустановки низковольтные. Часть 7-717 Требования к специальным установкам или местам их расположения Мобильные или транспортируемые модули.
4. ГОСТ Р 50571.1-2009 (МЭК 60364-1:2005) Электроустановки. Часть 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения.
5. ГОСТ Р 50571.5.54-2013/МЭК 60364-5-54:2011.
6. ГОСТ 12.2.007.0-75. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
7. ГОСТ 12.2.061-81. Оборудование производственное.
- Ключев В.И. Теория электропривода. 2-е изд. перераб. И доп. Москва, Энергоатомиздат, 1988. - 704 с.
8. Кондратюк В.Н., Резинский С.Р., Евзеров И.Х. Тиристорные преобразователи: Энергия, 1978.
9. Лихошерст В.И. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии для электроприводов переменного тока. Учебное пособие. Свердловск, изд. УПИ им.С.М. Кирова, 1986, 72 с.
10. Лихошерст В.И. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии с импульсным регулированием: Учебное пособие. Екатеринбург, ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. 166 с.
11. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. ПОТ РМ – 016 – 2001., с изм. и доп. 2003г. – Москва: Изд-во НЦЭНАС.

12. Методические рекомендации по расчету экономической эффективности новой техники и технологии, объектов интеллектуальной собственности и рационализаторских предложений. – Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 28.11.2008г. №2538р.
13. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребенник и др. 2-е изд. перераб. и доп. Москва, Металлургия, 1988.
14. Перельмутер В.М., Сидоренко В.А. Системы управления тиристорным электроприводом постоянного тока. Москва: Энергоатомиздат, 1987.
15. Почаевец В.С. Автоматизированные системы управления устройствами электроснабжения железных дорог: Учебник для колледжей и техникумов ж.-д. транспорта. – Москва: Маршрут, 2003. – 318с.
16. Проектирование систем контроля и автоматического регулирования металлургических процессов / Г.М. Глинков, В.А. Маковский, С.Л. Лотман и др. 2-е изд. перераб. и доп. Москва., Металлургия, 1986. 352 с.
17. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями / О.В. Слежановский, Л.Х. Дацковский, И.С. Кузнецов и др. Москва, Энергоатомиздат, 1983. 256 с.
18. СНиП 2.01.02 - 85. Противопожарные нормы.
29. СНиП 2.04.05-91. Вентиляция, отопление, кондиционирование.
20. СНиП 2.09.02-85*. Производственные здания.