Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Филиал ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г. Златоусте

Факультет «Техники и технологии»
Кафедра «ЭАПП»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН
Рецензент, инженер-энергетик
_____А.В. Мигашкин
«17» июня 2016 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, доц., к.т.н.
_____Ю.С. Сергеев
«17» 06 2016 г.

Модернизация системы управления главных приводов стана 300-2 ЧМК

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОМУ КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ
ЮУрГУ-140604.2016.259.00.00 ПЗ ВКП

Консультанты:
по экономической части, доц., к.э.н.
_____Т.И. Гусева
«10» июня 2016 г.

по безопасности жизнедеятельности, доц., к.т.н.
_____С. Н. Трофимова
«09» июня 2016 г.

Руководитель проекта, старший преподаватель
_____Л.Ю. Блажевич
«06» июня 2016 г.

Автор проекта
студент группы ФТТ – 693
_____А.В. Коляскин
«06» июня 2016 г.

Нормоконтролер, старший преподаватель
_____О.В. Терентьев
«15» июня 2016 г.

Златоуст 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно–Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Филиал ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г. Златоусте

Факультет «Техники и технологии»
Кафедра «ЭАПП»
Специальность «140604.65»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Сергеев Ю.С.
10 марта 2016 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускной квалификационный проект студента
Коляскина Алексея Викторовича

Группа ФТиТ – 693

1 Тема проекта

Модернизация системы управления главных приводов стана 300-2 ЧМК

Утверждена приказом по университету от 15 апреля 2016 г. № 661

2 Срок сдачи студентом законченного проекта 6 июня 2016г.

3 Исходные данные к проекту

1 Материалы преддипломной практики

2 Научно – техническая литература

4 Содержание расчетно–пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

Введение

1 Сравнение отечественных и передовых зарубежных технологий и решений

2 Технологический процесс

3 Требования к электроприводу

4 Проверка двигателя по нагреву и моменту

5 Структурная схема и выбор базовых величин

6 Расчет параметров системы управления

7 Расчет и исследование модели взаимосвязанных электроприводов

8 Организационно-экономический раздел

9 Охрана труда

Заключение

Библиографический список

Приложения

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А1)

1 Тема и цели проекта. Теоретический чертеж (1 лист).

2 Стан 300-2. Вид общий (1 лист).

3 Главный привод стана 300-2. Схема электрическая функциональная(1лист).

4 Математическая модель главного привода стана 300-2. Теоретический чертеж (1 лист).

5 Математическая модель взаимосвязанных электроприводов. Теоретический чертеж (1 лист).

6 Математическая модель взаимосвязанных электроприводов Теоретический чертеж (1 лист).

7 Результаты исследования системы взаимосвязанных главных приводов стана 300-2. Теоретический чертеж (1лист).

8 Главный привод. Регулятор провиса. Схема электрическая принципиальная (1 лист).

9 Сравнительные данные экономического расчета. Теоретический чертеж (1 лист).

10 Выводы по проекту. Теоретический чертеж функциональная (1лист).

Всего 10 листов

6 Консультанты по проекту, с указанием относящихся к ним разделов проекта

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)
Организационно-экономический раздел	Гусева Т.И.	4.05.16	4.05.16
Охрана труда	Трофимова С.Н	11.05.16	11.05.16

7 Дата выдачи задания 1 марта 2016 г.

Руководитель Блажевич Лариса Юрьевна

Задание принял к исполнению Коляскин Алексей Викторович

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускного квалификационного проекта	Срок выполнения этапов проекта	Отметка о выполнении руководителя
Введение	01.03.16 – 04.03.16	
Сравнение отечественных и передовых зарубежных технологий и решений	05.03.16 – 12.03.16	
Технологический процесс	13.03.16 – 20.03.16	
Требования к электроприводу	21.03.16 – 25.03.16	
Проверка двигателя по нагреву и моменту	26.03.16 – 02.04.16	
Структурная схема и выбор базовых величин	03.04.16 – 10.04.16	
Расчет параметров системы управления	11.04.16 – 20.04.16	
Расчет и исследование модели взаимосвязанных электроприводов	21.04.16 – 30.04.16	
Организационно - экономический раздел	4.05.16 – 10.05.16	
Охрана труда	11.05.16 – 16.05.16	
Оформление пояснительной записки	17.05.16 – 24.05.16	
Оформление графической части	25.05.16 – 01.06.16	

Заведующий кафедрой _____ / Сергеев Ю. С. /

Руководитель проекта _____ / Блажевич Л. Ю. /

Студент _____ / Коляскин А.В. /

АННОТАЦИЯ

Коляскин А.В. Модернизация системы управления главных приводов стана 300-2 ЧМК. – Челябинск: филиал ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ) в г. Златоусте, кафедра ЭАПП, 91 с. 37 илл. Библиографический список - 15 наименований, 10 листов чертежей ф. А1, 1 прил.

В дипломном проекте рассмотрен вопрос модернизации системы управления главных приводов стана 300-2 прокатного цеха №1 ЧМК.

Модернизация заключается в замене тиристорных преобразователей чистовой группы клетей и введении в систему автоматического регулирования электропривода, контура регулирования глубины провиса проката.

В ходе выполнения проекта произведен анализ особенностей технологического процесса и используемого оборудования, произведена оценка достоинств и недостатков существующей системы управления, проведены расчеты двигателя электропривода и системы управления. В программе VisSim спроектирована и исследована математическая модель взаимосвязанных электроприводов, а также проводился, с учетом технологических режимов работы, поверочный расчет двигателя подтверждающий возможность использования его в составе электропривода прокатного стана. Спроектирована на основе предложенной структурной схемы, математическая модель взаимосвязанных электроприводов позволяющая учесть состояние деформируемого металла в зоне петлеобразования и оценка работы электроприводов стана в различных режимах работы.

Кроме того, в работе рассмотрены вопросы экономической эффективности разработки и безопасности жизнедеятельности.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 6
1 Сравнение отечественных и передовых зарубежных технологий и решений 8
2 Технологический процесс 11
3 Требования к электроприводу 13
4 Проверка двигателя по нагреву и моменту
4.1 Расчет моментов двигателя и нагрузки 14
4.2 Построение нагрузочной диаграммы и проверка двигателя 19
5 Структурная схема и выбор базовых величин
5.1 Исходные данные 22
5.2 Расчет эквивалентных параметров привода 23
5.3 Переход к относительным единицам 26
6 Расчет параметров системы управления
6.1 Расчет контура регулирования тока 28
6.2 Расчет контура регулирования скорости 30
6.3 Расчет контура регулирования тока возбуждения 33
6.4 Расчет контура регулирования ЭДС 36
7 Расчет и исследование модели взаимосвязанных электроприводов
7.1 Расчетная схема 41
7.2 Структура математической модели взаимосвязанных приводов 42
7.3 Математические модели функциональных блоков системы 43
7.4 Исследование работы взаимосвязаных электроприводов 48
8 Организационно – экономический раздел
8.1 Расчет величины эксплуатационных расходов до модернизации 54
8.2 Расчет величины капитальных затрат на модернизацию 58
8.3 Расчет эксплуатационных затрат в проектном варианте 61
8.4 Экономический эффект 64
9 Охрана труда
9.1 Краткое описание производственного участка 66
9.2 Анализ производственных и экологических опасностей 67
9.3 Мероприятия по охране труда 68
9.4 Выбор нормативных значений, факторов рабочей среды и трудового процесса 70
9.5 Производственная санитария 71
9.6 Противопожарная безопасность 77
9.7 Эргономика и техническая эстетика 78
9.8 Экологическая безопасность 79
9.9 Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайной ситуации 81
Заключение 83
Библиографический список 84
Приложения
Приложение А Математическое моделирование системы 85

ВВЕДЕНИЕ

ПАО "Челябинский металлургический комбинат" — одна из самых значительных российских компаний в горнодобывающей и металлургической областях. Компания производит никель, железорудный концентрат, уголь, прокат, различные стали и метизную продукцию. Фирма состоит из двух сегментов: горнодобывающий и металлургический, содержащие предприятия, расположенные в России, Румынии и Литве. Также, в состав «Мечела» входят два торговых порта, транспортная и энергетическая компании.

Инициативность в области металлургии производства охватывает сбыт заготовок и сортового проката из углеродистой и нержавеющей стали, листового проката из углеродистой и специальной стали, включая в себя и металлическую продукцию с высокой стоимостью, включая кованые и штампованные изделия. В рамках продукции также создаются другие разные сорта стали для удовлетворения конкретных потребностей конечных потребителей.

Исследование станов [1] показало, что на значительно многих сортопрокатных станах до 20% прокатываемых профилей по размерам выходят за предельные допуски обычной точности. Ни один из обследованных станов, обеспеченных традиционным оборудованием, не обеспечивает проката повышенной точности. В процессе исследования установлено, что основным фактором по степени влияния на точность проката, происходит влияние натяжения. Другим, не менее важным моментом, является сильный функциональный и физический износ большей части электрооборудования прокатных станов. Вследствие чего выпуск продукции способной конкурировать с аналогичной продукцией других производителей, в том числе и зарубежных, связан с большими затратами энергетических и финансовых ресурсов. К вышеуказанной категории можно отнести и электрооборудование прокатного стана 300-2, спроектированного для прокатки круглых, квадратных и полосовых профилей из углеродистых и высоколегированных марок сталей, и запущенного в работу в прокатном цехе №1.

Недостатками электрической части технологического агрегата являются большой физический износ оборудования, устаревшая элементная база, наличие ненадежной системы водяного охлаждения тиристорных преобразователей, слабо развитая система контроля параметров технологического процесса, отсутствие средств автоматического управления режимом непрерывной прокатки. Все перечисленные недостатки намного снижают производительность стана 300-2 и одновременно увеличивают количество бракованной продукции. Только для окончательной настройки стана после перехода на новый профиль требуется до 3-х заготовок, масса которых составляет 900 – 1600 кг. Следствием недостаточной информированности оператора о значениях текущих параметров технологического процесса и отсутствия средств автоматического управления режимом непрерывной прокатки является низкое качество выпускаемой продукции. В

случае возникновения аварийных ситуаций имеют место большие затраты времени на поиск неисправности и ее устранение, что также снижает производительность стана 300-2.

В существующих на сегодняшний день системах, основным способом повышения точности является применение автоматического регулирования натяжения проката или его полное устранение, важным фактором при этом является контроль провиса петли в межклетевом пространстве.

Целью данного дипломного проекта является увеличение производительности стана 300-2, путем модернизации системы управления главных электроприводов заключающейся в замене тиристорных преобразователей чистовой группы клетей и введении в систему автоматического регулирования, контура регулирования провиса проката. Для достижения поставленной цели, в рамках данного дипломного проекта нужно решить следующие задачи:

- анализ современных систем управления электроприводами непрерывных прокатных станов;
- поверочный расчет главных электроприводов с учетом технологических режимов;
- разработка математической модели взаимосвязанных электроприводов непрерывного сортового прокатного стана.
- выбор принципов управления и расчет параметров настройки системы управления;
- оценка технико – экономических показателей;
- анализ влияния модернизации на условия труда.

Объект: стан 300-2 ЧМК.

Предмет: система управления главных электроприводов чистовой группы клетей стана.

Результаты проекта планируются к внедрению.

1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

Практика работы непрерывных станов позволяет определенным способом классифицировать сложившиеся технологические режимы прокатки в чистовых группах клетей. Принципиально возможны режимы прокатки без натяжения, с натяжением не вызывающим значительной утяжки профиля в калибре, и с натяжением приводящим к значительным утяжкам профиля. Под прокаткой без натяжения следует понимать режим, при котором отсутствует силовое взаимодействие клетей через прокатываемую полосу. Такой режим можно обеспечить создав между клетями петлю в горизонтальной или вертикальной плоскостях. Создать свободную петлю устойчивой формы на поверхности горизонтального передаточного стола невозможно. Устойчивость такой петли возможно обеспечить лишь применив принудительное силовое петлеобразование при помощи гибочного ролика. Подобного рода петлеобразователи применяются на нескольких станах в Германии и Чехословакии [1]. Наличие гибочного ролика и быстродействующего привода с системой управления значительно усложняют оборудование стана и как следствие снижают надежность прокатной линии стана в целом. Аналогичные трудности возникают и при создании вертикальной верхней петли с использованием гибочных роликов. Преимуществом режима прокатки без натяжения является полное заполнение калибров прокатных клетей металлом (снижение брака), отсутствие механической связи между клетями через заготовку, что также положительно влияет на качество продукции при возникновении переходных процессов в одной из групповых клетей. При прокатке с натяжением переходный процесс в одной клети неминуемо вызывает появление аналогичного процесса в других клетях. Из-за возникновения переходных процессов, в заготовке возникают усилия сжатия и растяжения. В первом случае между клетями образуется петля и возникает значительное уширение в калибре. Во втором случае калибр клети оказывается незаполненным.

Как в отечественной, так и в зарубежной практике имеется опыт по проектированию систем регулирования для решения описанных выше проблем. Одной из задач такого проектирования является определение параметра, по которому будет производиться оценка состояния проката, и выбор способа контроля данного параметра. Принципиально возможны способы регулирования скоростного режима по размеру получаемого профиля после клети и по размеру петли проката. На практике чаще применяют второй способ, как наиболее простой и более эффективный. Для этой цели возможно использование контактных, емкостных, индуктивных и фотоэлектрических датчиков (оптических с механической разверткой и без развертки). Наиболее технологичными являются датчики, вмонтированные в петлевые столы, из которых наиболее стабильно работают емкостные датчики петли. Однако большое влияние на них оказывает

загрязнение окружающей среды, что имеет место на прокатных станах. Существующие емкостные датчики мостового типа с двумя пластинами частично компенсируют загрязнение окружающей среды, однако не позволяет эффективно поддерживать величину петли заданных размеров. Точность поддержания в лучшем случае оказывается на уровне 10% [1]. Другим ограничивающим фактором является наличие высоких температур в зоне работы датчика. Все сказанное говорит о том, что для построения системы необходимо использовать датчики высокой точности и способные производить измерение на значительном удалении от объекта измерения. В качестве такого датчика возможно применение датчиков на базе полупроводниковых видеокамер. В примененном решении велась оценка глубины провиса петли. Для контроля величины провиса в межклетевых промежутках чистовой группы клетей установлены датчики петли TS2016 фирмы Delta с углом зрения 10° и новые проводки, позволяющие организовать петли прогиба без использования специальных петлеобразователей.

Современная промышленность выпускает различные виды видеодатчиков и видеосенсоров, предназначенных для контроля различных параметров и величин. На Российском рынке представлена продукция зарубежных фирм SICK AG, SIEMENS и отечественной компании НПО “Астек”. Отличительными особенностями данных видеосенсоров является наличие встроенных алгоритмов обработки изображения, наличие различных интерфейсов для подключения, экспозиция нового изображения параллельно с обработкой предыдущего, возможность написания собственных алгоритмов обработки изображения. С целью написания алгоритмов обработки изображения и настройки видеосенсоров фирмы SIEMENS, в комплект поставки входит два пакета программного обеспечения: Spectation - для программирования и наладки всех датчиков семейства SIMATIC VS720 и VS Link для конфигурирования систем связи с использованием компонентов семейства SIMATIC VS720. В состав семейства SIMATIC VS720 входит два коммуникационных модуля. Через встроенный интерфейс Ethernet модуль VS Link обеспечивает возможность подключения до 16 видео датчиков SIMATIC VS720 и отображения анализируемых этими датчиками изображений на экране монитора без использования компьютера. Сравнительные характеристики зарубежных и отечественных видеосенсоров приведены в таблице 1.1. Габаритные размеры видеосенсоров фирмы SIEMENS приведены на рисунке 1.1.

Таблица 1.1 - Параметры видеосенсоров

Параметр	SICK AG	SIEMENS	НПО “Астек”
Разрешение	1536 x 1536	1280 x 1024	640 x 480
Область сканирования, мм	250 x 1200	Зависит от объектива	Программируется

Окончание таблицы 1.1

Параметр	SICK AG	SIEMENS	НПО “Астек”
Дистанция сканирования, мм	1000	Зависит от объектива	Настраиваемый объектив
Режим обработки	Программируемый	Программируемый	Программируемый
Частота кадров, Гц	46	75	400
Напряжение питания, В	24	24	5
Потребляемый ток, мА	180	210	600
Класс защиты	IP65	IP61	IP65
Масса, г	250	170	450

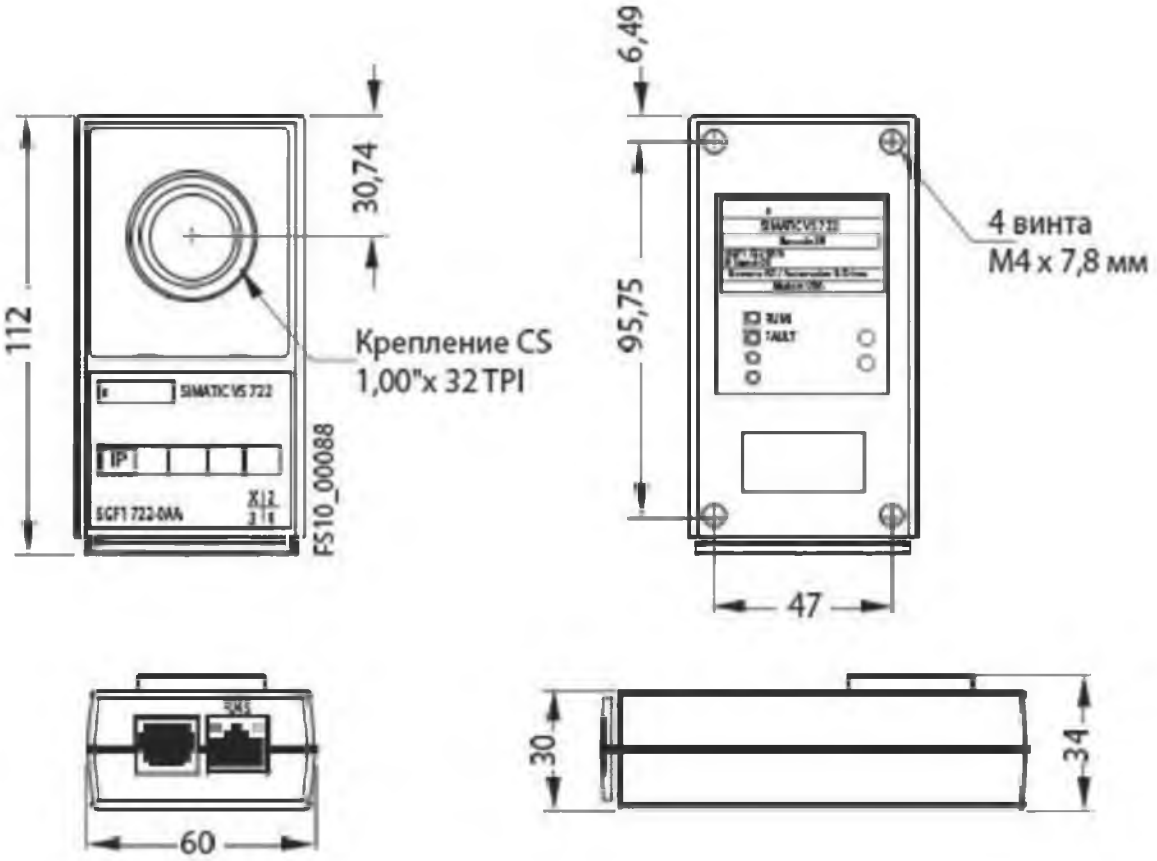


Рисунок 1.1 – Габаритные размеры видеосенсора фирмы SIEMENS

«Выводы по разделу один»

В данном разделе представлено сравнение отечественных и зарубежных производителей видеосенсоров. Как зарубежные, так и отечественные производители выпускают продукцию соответствующую требуемым ГОСТам и отвечающую требованиям мировых стандартов.

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

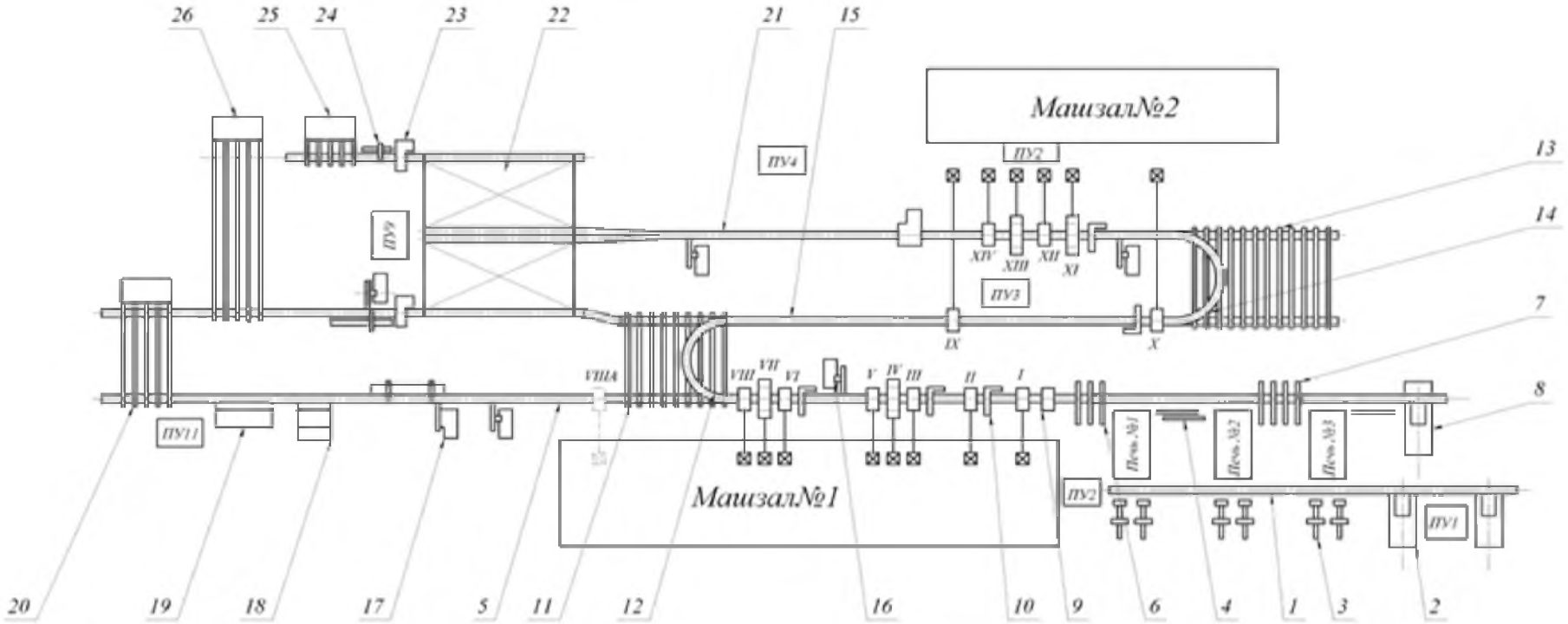
Полунепрерывный стан 300-2 смонтированный в прокатном цехе №1 ЧМК является нереверсивным, многоклетевым, среднесортным станом горячей прокатки. Общий вид стана 300-2 показан на рисунке 2.1. В состав стана входят 14 двухвалковых прокатных клетей, из которых клети 4, 7, 11, 13 вертикальные. Клети 11, 12, 13, 14 образуют чистовую группу клетей. Назначение чистовой группы клетей: получение сортового проката в профилях до 80 мм. после обжатия в черновой и предчистовой группах клетей.

Все прокатные клети приводятся во вращательное движение от индивидуального нереверсивного электропривода с двигателями постоянного тока. В случае необходимости смены направления вращения какой-либо клети, реверс производится путем переключения обмотки возбуждения вручную при отключенном электроприводе. Перед прокатом клети подвергаются настройке с учетом программы обжатий и физико-химических особенностей прокатываемой стали. Окончательная настройка производится при прокатке так называемых “настроечных” заготовок. Контроль за технологическим процессом осуществляется при помощи амперметров и вольтметров отградуированных в единицах частоты вращения и находящихся в пульте на посту управления. Скорость вращения прокатного двигателя регулируется в пределах 0 - 600 об/мин. Но из-за ухудшения процесса смазки в подшипнках жидкостного трения минимальная частота вращения при ведении технологического процесса ограничивается на уровне 200 об/мин.

Заготовка, после нагрева в нагревательных печах до 1150 – 1280 °С, последовательно деформируется в каждой клети стана, после чего разрезается на мерные длины, согласно условиям заказа. Следствиями обжатия в прокатных клетях являются: уширение, опережение и давление металла на валки. Уширение является функцией от обжатия, диаметра валков и других параметров и может быть использовано для определения момента статического прикладываемого к валу двигателя во время процесса прокатки. Так как получение максимальной длины проката является одной из основных целей прокатки, то уширение нежелательно. Другим явлением, имеющим место при прокатке, является опережение. На практике выясняется, что обычно металл при прокатке выходит из валков со скоростью υ_h, большей окружной (линейной) скорости валков υ. Такое явление называется опережением. Согласно [2], величина опережения находится в пределах 3 – 5 %. Перед началом процесса прокатки все клети приводятся в движение и не отключаются до момента окончания технологического процесса. Процессы, связанные с одновременным нахождением заготовки в нескольких клетях, рассмотрены в разделе 7.

«Выводы по разделу два»

В данном разделе описывается комплекс технологического оборудования, а также рассмотрен технологический процесс стана.



Наименование оборудования	Количество, шт	Наименование оборудования	Количество, шт
1. Рольганг подводящий к печам	1	14. Обводной аппарат за X кл.	1
2. Загрузочное устройство	2	15. Рольганг 2 ой линии	1
3. Толкатель	3	16. Салазковая пила	5
4. Выталкиватель	3	17. Роторная пила	1
5. Рольганг 1 ой линии	1	18. Ванна замочки	1
6. Шлеппер L=5500	1	19. Карман со сбрасывателем	1
7. Шлеппер L=4000	1	20. Шлеппер с 1 ой на 2 ую линию	1
8. Карман со сталкивателем брака	1	21. Рольганг 3 ей линии	1
9. НГР - 400	1	22. Холодильник со стрелкой	1
10. Барабанный кантователь	8	23. НХР - 800	2
11. Шлеппер за VIII кл.	1	24. Передвижной упор	3
12.Обводной аппарат за VIIIкл.	1	25. Шлеппер за НХР - 800 правыми	1
13. Шлеппер за X кл.	1	26. Шлеппер за НХР - 800 левыми	1

Рисунок 2.1 - Стан 300-2 - вид общий

3 ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ

Требования к электроприводу валков клетей определяются условиями прокатки и условиями работы электрического оборудования.

Основным условием непрерывной прокатки является постоянство секундного объема металла, проходящего через клети [5]. Нарушение соотношения скоростей по клетям, определяемого условием непрерывной прокатки, приводит к появлению избыточного металла в межклетьевом промежутке. При прокатке с натяжением или подпором процесс неизбежно сопровождается возникновением усилий сжатия или растяжения. Учитывая, что расстояние между клетями чистовой группы достаточно велико и составляет 4900 мм на стане 300-2, то прокатка с подпором приведет к появлению петли в межклетьевом пространстве, а прокатка с натягом может завершиться незаполнением калибра металлом [5]. Оптимальным вариантом будет режим прокатки с петлеобразованием и поддержанием постоянного провиса петли. К особенностям работы электрического оборудования относятся: двухзонное регулирование скорости прокатного двигателя, ограничение силы тока в обмотке якоря двигателя на уровне 1,8 $I_{ном.}$.

Основные требования к электроприводу:

- диапазон регулирования скорости прокатного двигателя 2,5:1;
- плавный разгон привода до заданной скорости, время разгона не лимитируется;
- возможность регулирования скорости двигателя при прокатке в пределах ±5 % от заданной.
- аварийный реверс привода;
- отключение привода при перегрузке прокатного двигателя или превышении допустимой величины скорости изменения силы тока в обмотке якоря.

Требования к качеству переходных процессов:

- минимальное статическое отклонение скорости;
- динамическое отклонение скорости в пределах не допускающих выход значения провиса петли из диапазона 0 – 500 мм.
- Время переходного процесса не должно превышать времени пробега переднего конца раската между клетями при прокатке с максимальной скоростью (для клети 13 время пробега составляет 0,4 с.).

«Выводы по разделу три»

В данном разделе описываются основные требования к электроприводу и к качеству переходных процессов, а также особенности и основное условие непрерывной прокатки.

4 ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО МОМЕНТУ И НАГРЕВУ

4.1 Расчет моментов двигателя и нагрузки

Максимальная линейная скорость заготовки после клети 11 по [2, ф. 12.1]:

$$\upsilon_{11} = \frac{F_{14} \cdot \upsilon_{14}}{F_{11}} = \frac{b_{14} \cdot h_{14} \cdot \upsilon_{14}}{b_{11} \cdot h_{11}}, \qquad (4.1)$$

где b_{11}, b_{14} и h_{11}, h_{14} – ширина и высота калибров клетей 11 и 14 соответственно;
υ_{14} – максимальная линейная скорость заготовки после клети 14 [5];
υ_{14} = 14 м/с.

$$\upsilon_{11} = \frac{0{,}068 \cdot 0{,}0663 \cdot 14}{0{,}0758 \cdot 0{,}115} = 7{,}24 \text{ м/с}$$

Частота вращения двигателя $\omega_д$, рад/с по [2, ф. 12.2]:

$$\omega_д = \frac{2 \cdot \upsilon_{11} \cdot i}{D_{ср} \cdot (1 + S)}, \qquad (4.2)$$

где i – передаточное число редуктора; i = 1,51;
S – опережение; S = 0,04;
$D_{ср}$ – средний диаметр валка по формуле:

$$D_{ср} = D_в - 0{,}25 \cdot h_{11}, \qquad (4.3)$$

где $D_в$ – диаметр используемого валка; $D_в$ = 400 мм.

$$D_{ср} = 400 - 0{,}25 \cdot 75{,}8 = 381{,}05 \text{ мм},$$

$$\omega_д = \frac{2 \cdot 7{,}24 \cdot 1{,}51}{381{,}05 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 0{,}04)} = 55{,}17 \text{ рад/с}$$

Момент двигателя $M_д$ при номинальном токе в обмотке якоря, Нм по [2]:

$$M_{д.ном} = \frac{E_д \cdot I_{я.ном}}{\omega_д}, \qquad (4.4)$$

где $E_д$ – ЭДС двигателя при частоте вращения 55,17 рад/с по [5, рис. 4];
$E_д$ = 892,5 В.

$$M_{д.ном} = \frac{892{,}5 \cdot 1720}{55{,}17} = 27825 \text{ Нм}$$

Максимальный момент двигателя $M_{д.max}$, Нм по [2]:

$$M_{д.\max} = M_{д.ном} \cdot K_м, \tag{4.5}$$

где $K_м$ – перегрузочная способность двигателя; $K_м$ = 1,8.

$$M_{д.\max} = 27825 \cdot 1{,}8 = 50085 \text{ Нм}$$

Схема калибровки валков клети 11 для получения квадратных профилей с ребром 50 и 60 мм. показана на рисунке 4.1.

Ширина b_{10} и высота h_{10} исходного профиля, мм по формуле:

$$b_{10} = h_{10} = \sqrt{2 \cdot a^2}, \tag{4.6}$$

где a – ребро квадратного профиля перед входом в клеть 11; a = 80 мм.

$$b_{10} = h_{10} = \sqrt{2 \cdot 80^2} = 113{,}14 \text{ мм}$$

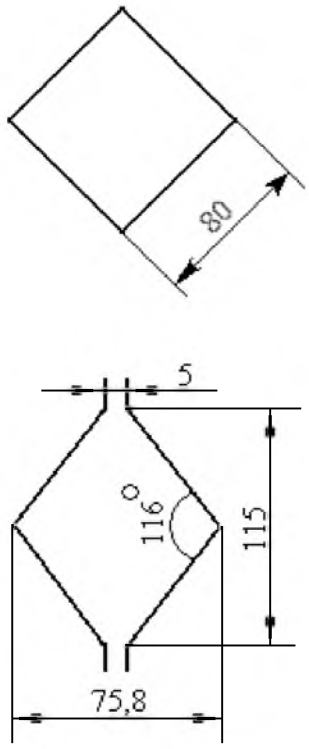


Рисунок 4.1 – Схема калибровки валков клети 11

Коэффициент трения f по [2, ф. 10.9]:

$$f = n \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t), \tag{4.7}$$

где n – коэффициент валка (чугун); $n = 0{,}8$;
t – температура металла перед входом в клеть; $t = 1200°C$.

$$f = 0{,}8 \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 1200) = 0{,}36$$

Обжатие Δh, мм в клети 11 по [2, ф. 10.8]:

$$\Delta h = D_{cp} \cdot (1 - Cos\alpha), \tag{4.8}$$

где α – угол захвата по [2, стр. 211].

$$\alpha = arctg(f) = arctg(0{,}36) \approx 19{,}8 \text{ град}, \tag{4.9}$$

$$\Delta h = 381{,}05 \cdot (1 - Cos19{,}8) = 22{,}53 \text{ мм}$$

Среднее удельное давление металла на валки p_{cp} по [2, ф. 10.17]:

$$p_{cp} = K \cdot \frac{2h}{\Delta h(\delta - 1)} \cdot \left(\frac{h_k}{h}\right) \cdot \left[\left(\frac{h_k}{h}\right)^{\delta} - 1\right], \tag{4.10}$$

где $K = 1{,}15K_f$; K_f – предел текучести инструментальной стали Р9 при температуре 1200°С [7]; $K_f = 30$ Н/мм^2;
h_k/h – отношение высоты прокатываемого металла в критическом сечении к высоте калибра по [2, ф. 10.18]:

$$\frac{h_k}{h} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) \cdot \left(\frac{H}{h}\right)^{\delta}}}{\delta + 1}\right]^{\frac{1}{\delta}}, \tag{4.11}$$

δ по формуле [2, стр. 213]:

$$\delta = f \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot D_{cp}}{\Delta h}}, \tag{4.12}$$

$$\delta = 0{,}36 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 381{,}05}{22{,}53}} = 2{,}09,$$

$$\frac{h_k}{h} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 2{,}09^2 - 1 \cdot \left(\frac{113{,}14}{75{,}8} \right)^{2{,}09}}}{2{,}09 + 1} \right]^{\frac{1}{2{,}09}} = 1{,}13$$

$$p_{cp} = 1{,}15 \cdot 30 \cdot \frac{2 \cdot 75{,}8}{22{,}53 \cdot (2{,}09 - 1)} \cdot 1{,}13 \cdot \left[1{,}13^{2{,}09} - 1 \right] = 70{,}04 \text{ Н/мм}^2$$

Уширение металла в калибре Δb, мм по формуле В.К. Смирнова, В.А. Шилова, Ю.В. Инатовича:

$$\Delta b = b_{10} \cdot C_0 \cdot \left(\frac{h_{10}}{h_{11}} - 1 \right)^{C_1} \cdot \left(\frac{D_{cp}}{h_{11}} - 1 \right)^{C_2} \cdot \left(\frac{h_{10}}{b_{10}} \right)^{C_3} \cdot \left(\frac{b_{11}}{h_{11}} \right)^{C_4} \cdot \delta_0^{C_5} \cdot \Psi^{C_6} \cdot (tg\varphi)^{C_7} \quad (4.13)$$

где $C_0 - C_7$ - коэффициенты для схемы квадрат – ромб по таблице 4.1.
h_{10} и b_{10} - высота и ширина профиля до деформации;
h_{11} и b_{11} - высота и ширина калибра;
δ_0 - степень заполнения предыдущего по ходу прокатки калибра;
Ψ - показатель трения для температуры 1100 - 1200°С; Ψ =0,5;
$tg\ \varphi$ - выпуск ящичного калибра.

Таблица 4.1 - Значения коэффициентов для схемы прокатки квадрат-ромб

Коэффициент	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
Значение	3,09	2,07	0,5	0	-4,85	-4,865	1,543	0

$$\Delta b = 113{,}14 \cdot 3{,}09 \cdot \left(\frac{113{,}14}{75{,}8} - 1 \right)^{2{,}07} \cdot \left(\frac{371{,}25}{75{,}8} - 1 \right)^{0{,}5} \cdot 1 \cdot \left(\frac{115}{75{,}8} \right)^{-4{,}85} \cdot 1^{-4{,}865} \cdot 0{,}5^{1{,}543} \cdot 1 = 16{,}29 \text{ мм}$$

Средняя ширина проката составит:

$$B = b_{10} + \frac{\Delta b}{2}, \quad (4.14)$$

$$B = 113{,}14 + \frac{16{,}29}{2} = 121{,}29 \text{ мм}$$

Момент прокатки $M_{пр}$, Нм по [2, ф. 10.26]:

$$M_{пр} = p_{ср} \cdot B \cdot R_в \cdot \Delta h, \quad (4.15)$$

$$M_{пр} = 70{,}04 \cdot 121{,}29 \cdot \frac{381{,}05}{2} \cdot 22{,}53 \cdot 10^{-3} = 36466 \text{ Нм}$$

Момент прокатки приведенный $M'_{пр}$, Нм с учетом передаточного отношения редуктора i = 1,51:

$$M'_{пр} = \frac{M_{пр}}{i}, \quad (4.16)$$

$$M'_{пр} = \frac{36466}{1{,}51} = 24150 \text{ Нм}$$

Момент холостого хода двигателя по [2, стр.214]:

$$M_{xx} = 0{,}05 \cdot \frac{E_{д.ном} \cdot I_{д.ном}}{\omega_{д.ном}}, \quad (4.17)$$

$$M_{xx} = 0{,}05 \cdot \frac{900 \cdot 1720}{25{,}12} = 3081{,}4 \text{ Нм}$$

Момент добавочных сил трения приведенный к валу двигателя по [2, ф. 10.27]:

$$M_{тр} = \frac{Pd\mu_1}{i} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \cdot \frac{M_{пр} + Pd\mu_1}{i}, \quad (4.18)$$

где d – диаметр шейки валков; d = 300 мм;

μ_1 – коэффициент трения в подшипниках жидкостного трения; μ_1 = 0,005;

P – давление металла на валки по [2, ф. 10.21]:

$$P = 2 \cdot p_{ср} \cdot B \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h}, \quad (4.19)$$

$$P = 2 \cdot 70{,}04 \cdot 121{,}29 \cdot \sqrt{\frac{381{,}05}{2} \cdot 22{,}53} = 1113160 \text{ Н};$$

η – КПД передаточного устройства согласно рисунку 4.2

$$\eta = \eta_р \cdot \eta_м^4 = 0{,}96 \cdot 0{,}98^4 = 0{,}886 \qquad (4.20)$$

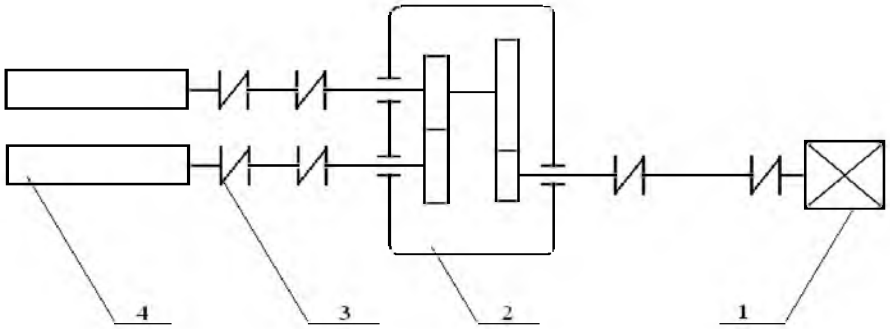


Рисунок 4.2 – Кинематическая схема привода прокатной клети: 1 – двигатель; 2 – редуктор (η = 0,96); 3 – зубчатая муфта (η=0,98); 4- валок

$$M_{тр} = \frac{1113160 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}005}{1{,}51} + \left(\frac{1}{0{,}886} - 1\right) \cdot \frac{36466 + 1113160 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}005}{1{,}51} = 4355 \text{ Нм}$$

Момент статический по [2, ф. 10.22]:

$$M_c = M'_{пр} + M_{xx} + M_{тр}$$

$$M_c = 24150 + 3081{,}4 + 4355 = 31586{,}4 \text{ Нм}$$

4.2 Построение нагрузочной диаграммы и проверка двигателя

Масса заготовки m_0, кг по формуле:

$$m_0 = \rho \cdot a^2 \cdot l, \qquad (4.21)$$

где ρ – плотность стали; ρ = 7800 кг/м^3;
l – длина исходной заготовки; l = 6 м;
a – ребро квадратной заготовки; a = 0,2 м.

$$m_0 = 7800 \cdot 0{,}2^2 \cdot 6 = 1872 \text{ кг}$$

Количество заготовок в год по формуле:

$$N = \frac{\Sigma m}{m_0}, \qquad (4.22)$$

где Σm – проектная мощность стана; Σm = 660000 т.

$$N = \frac{660000}{1872 \cdot 10^{-3}} = 352564 \text{ шт}$$

Время цикла обработки $t_ц$, с по формуле:

$$t_ц = \frac{(T_г - T_п) \cdot 3600}{N}, \qquad (4.23)$$

где $T_г$ – количество часов в году;

$T_п$ – время запланированного простоя оборудования; $T_п$ =23%.

$$t_ц = \frac{(365 \cdot 24 - 365 \cdot 24 \cdot 0{,}23) \cdot 3600}{352564} = 68{,}87 \text{ с}$$

Время обработки заготовки $t_{обр}$, с по формуле:

$$t_{обр} = \frac{a^2 \cdot l \cdot 120 \cdot i}{b_{11} \cdot h_{11} \cdot \pi \cdot D_{ср} \cdot n \cdot S}, \qquad (4.24)$$

где n – частота вращения двигателя при прокате данного профиля;

n = 541 об/мин;

S – опережение; S = 1,04.

$$t_{обр} = \frac{0{,}2^2 \cdot 6 \cdot 120 \cdot 1{,}51}{115 \cdot 10^{-3} \cdot 75{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 3{,}14 \cdot 371{,}25 \cdot 10^{-3} \cdot 541 \cdot 1{,}04} = 7{,}6 \text{ с}$$

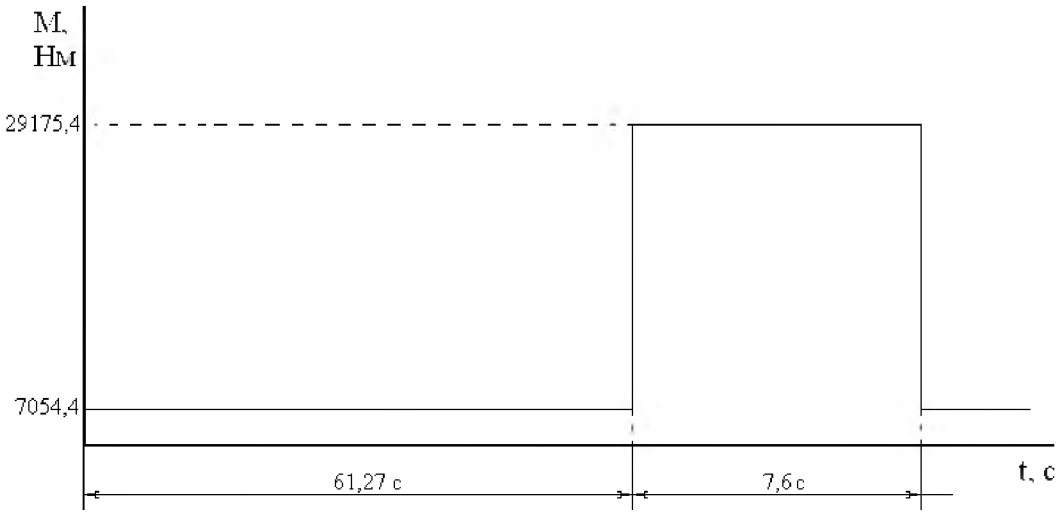


Рисунок 4.3 – Нагрузочная диаграмма

Проверка двигателя по моменту:

$$M_{д.max} = 50085 \text{ Нм} \geq M_c = 31586{,}4 \text{ Нм}$$

Условие выполняется, следовательно, двигатель подходит по моменту.

Момент эквивалентный $M_{экв}$, Нм по формуле:

$$M_{экв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{2} \left(M_i^2 \cdot \Delta t_i \right)}{\sum_{i=1}^{2} \Delta t_i}}, \qquad (4.25)$$

где M_i – момент на соответствующем участке диаграммы;
t_i – интервал времени действия M_i на данном участке.

$$M_{экв} = \sqrt{\frac{7436{,}4^2 \cdot 61{,}27 + 31586{,}4^2 \cdot 7{,}6}{61{,}27 + 7{,}6}} = 12621{,}3 \text{ Нм}$$

$$M_{д.ном} = 27825 \text{ Нм} \geq M_{экв} = 12621{,}3 \text{ Нм}$$

Условие выполняется, следовательно, двигатель подходит по нагреву

«Выводы по разделу четыре»

В данном разделе произведен расчет и проверка моментов двигателя и нагрузки, также показана схема калибровки валков клети и кинематическая схема привода прокатной клети, была построена нагрузочная диаграмма. Все условия выполнены, двигатель подходит по нагреву.

5 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ВЫБОР БАЗОВЫХ ВЕЛИЧИН

5.1 Исходные данные

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.2 - Исходные данные

Наименование	Обозначение	Значение	Размерность
Силовой трансформатор			
Тип	ТМП-4000/10У2		
Мощность номинальная	$P_н$	3230	кВА
Частота номинальная	$f_н$	50	Гц
Напряжение сетевой обмотки	U_1	6000	В
Ток сетевой обмотки	I_1	311	А
Напряжение вентильной обмотки	U_2	915	В
Ток вентильной обмотки	I_2	2040	А
Напряжение кз	$U_{кз}$	5,94	%
Потери х.х.	$P_{хх}$	8,55	кВт
Потери кз	$P_{кз}$	18,1	кВт
Двигатель			
Тип	2А5856F/12		
Мощность	$P_{д.ном}$	1500	кВт
Скорость номинальная	$n_{ном}$	240	об/мин
Скорость максимальная	n_{max}	600	об/мин
Напряжение номинальное	$U_{д.ном}$	930	В
Ток номинальный	$I_{д.ном}$	1720	А
Ток возбуждения номинальный	$I_{в.ном}$	66	А
Ток возбуждения минимальный	$I_{в.min}$	18	А
Перег-я способность при 240 об/мин		2,5	
Перег-я способность при 600 об/мин		1,8	
Сопротивление обмотки якоря	$R_я$	0,0083	Ом
Сопротивление компенс-й обмотки	$R_{ко}$	0,00478	Ом
Сопротивление доб-х полюсов	$R_{дп}$	0,00147	Ом
Сопротивление шунтовой обмотки	$R_{ов}$	1	Ом
GD^2		9820	$кгм^2$
Реактор сглаживающий			
Тип	ТРОС – 1600У4		
Ток	I	2500	А
Индуктивность	L	0,8	мГ

5.2 Расчет эквивалентных параметров привода

Эквивалентное сопротивление якорной цепи, Ом по [4, стр. 61]:

$$R_{яц} = R_{д} + R_{пр} + R_{ш}, \tag{5.1}$$

где $R_{д}$ – сопротивление двигателя с учетом сопротивления обмоток добавочных полюсов и компенсационной обмотки, Ом;
$R_{пр}$ – эквивалентное активное сопротивление преобразователя, Ом;
$R_{ш}$ – сопротивление шин, $R_{ш}$ = 0,002 Ом.

Сопротивление обмотки якоря двигателя, Ом по [4, стр. 62]:

$$R_{д} = 1{,}24 \cdot (R_{я} + R_{дп} + R_{ко}), \tag{5.2}$$

где 1,24 – температурный коэффициент сопротивления;
$R_{я}$ – сопротивление обмотки якоря, $R_{я}$ = 0,00838 Ом;
$R_{дп}$ – сопротивление обмоток дополнительных полюсов, $R_{дп}$ = 0,00147 Ом;
$R_{ко}$ – сопротивление компенсационной обмотки, $R_{ко}$ = 0,00478 Ом.

$$R_{д} = 1{,}24 \cdot (0{,}00838 + 0{,}00147 + 0{,}00478) = 0{,}0181 \text{ Ом}$$

Эквивалентное, активное сопротивление преобразователя по [4, стр. 61]:

$$R_{пр} = R_{x} + R_{T}, \tag{5.3}$$

где R_{x} – фиктивное сопротивление тиристорного преобразователя, Ом;
R_{T} – приведенное к цепи выпрямленного тока, активное сопротивление обмоток трансформатора, Ом.

Эквивалентное сопротивление тиристорного преобразователя:

$$R_{x} = 0{,}5 \cdot e_{k} \cdot \frac{Ed_{0}}{Id_{ном}}, \tag{5.4}$$

где $e_{к}$ – ЭДС короткого замыкания, %;
Ed_{0} – ЭДС полностью открытого преобразователя, В;
$Id_{ном}$ – номинальный выпрямленный ток преобразователя, А.

$$R_{x} = 0{,}5 \cdot \frac{5{,}94 \cdot 1050}{100 \cdot 3200} = 0{,}0097 \text{ Ом}$$

Приведенное к цепи выпрямленного тока, активное сопротивление обмоток трансформатора:

$$R_T = 0{,}1 \cdot e_k \cdot \frac{\pi}{m} \cdot \frac{Ed_0}{Id_{ном}}, \qquad (5.5)$$

где m – число пульсаций выпрямленного тока за период питающей сети; $m = 6$.

$$R_T = 0{,}1 \cdot \frac{5{,}94 \cdot \pi \cdot 1050}{100 \cdot 6 \cdot 3200} = 0{,}0010 \text{ Ом},$$

$$R_{пр} = 0{,}0097 + 0{,}0010 = 0{,}0107 \text{ Ом},$$

$$R_{яц} = 0{,}0181 + 0{,}0107 + 0{,}002 = 0{,}0308 \text{ Ом},$$

Кратность тока короткого замыкания силовой цепи $К_{яц}$:

$$K_{яц} = \frac{E_{дн}}{R_{яц} \cdot I_{дн}}, \qquad (5.6)$$

где $E_{дн}$ – ЭДС двигателя номинальная, В;
$I_{дн}$ – ток двигателя номинальный, А.

$$K_{яц} = \frac{900}{0{,}0308 \cdot 1720} = 16{,}99 \qquad (5.7)$$

Постоянная времени разгона привода $T_д$, с по [2]:

$$T_д = \frac{1{,}2 \cdot GD^2 \cdot n_{дном}}{375 \cdot M_{ном}}, \qquad (5.8)$$

где $M_{ном}$ – номинальный момент двигателя, $M_{ном} = 6250$ Нм.

$$T_д = \frac{1{,}2 \cdot 9820 \cdot 240}{375 \cdot 6250} = 1{,}21 \text{ с}$$

Постоянная времени $T_м$ по [2]:

$$T_м = \frac{T_д}{K_{яц}}, \qquad (5.9)$$

$$T_м = \frac{1,21}{16,99} = 0,071 \text{ с}$$

Постоянная якорной цепи $T_{яц}$ определена экспериментально; $T_{яц}$ = 0,051 с.

Эквивалентное сопротивление цепи возбуждения, Ом по [4, стр. 61]:

$$R_{цв} = R^t_{ов} + R_{прв} + R_{шв}, \quad (5.10)$$

где $R_{ов}$ – сопротивление обмотки возбуждения, Ом;
$R_{прв}$ – эквивалентное активное сопротивление преобразователя, Ом;
$R_{шв}$ – сопротивление проводов, Ом.

Сопротивление обмотки возбуждения, Ом по [4, стр. 62]:

$$R^t_{ов} = 1,24 \cdot R_{ов}, \quad (5.11)$$

$$R^t_{ов} = 1,24 \cdot 1 = 1,24 \text{ Ом}$$

Эквивалентное, активное сопротивление преобразователя по [4, стр. 61]:

$$R_{прв} = R_{хв} + R_{Тв}, \quad (5.12)$$

Эквивалентное сопротивление тиристорного преобразователя $R_{хв}$, Ом:

$$R_{хв} = 0,5 \cdot e_k \cdot \frac{Ed_0}{Id_{ном}}, \quad (5.13)$$

$$R_{хв} = 0,5 \cdot \frac{6 \cdot 110}{100 \cdot 100} = 0,033 \text{ Ом}$$

Приведенное к цепи выпрямленного тока, активное сопротивление обмоток трансформатора $R_{Тв}$, Ом:

$$R_{Тв} = 0,1 \cdot e_k \cdot \frac{\pi}{m} \cdot \frac{Ed_0}{Id_{ном}}, \quad (5.14)$$

где m – число пульсаций выпрямленного тока за период питающей сети; m = 4.

$$R_{Тв} = 0,1 \cdot \frac{6 \cdot \pi \cdot 190}{4 \cdot 100 \cdot 100} = 0,009 \text{ Ом},$$

$$R_{прв} = 0{,}033 + 0{,}009 = 0{,}042 \text{ Ом}$$

Сопротивление проводов $R_{шв}$, Ом по формуле:

$$R_{шв} = \frac{\rho \cdot l}{S}, \qquad (5.15)$$

где ρ = 0,0175 (Ом · мм^2)/м – удельная проводимость меди;
l = 56 м – длина проводов;
S = 25 мм^2 – сечение проводов;

$$R_{шв} = \frac{0{,}0175 \cdot 56}{25} = 0{,}0392 \text{ Ом},$$

$$R_{цв} = 1{,}24 + 0{,}042 + 0{,}0392 = 1{,}321 \text{ Ом}$$

5.3 Переход к относительным единицам

Таблица 5.2 - Базовые величины

Параметр	Базовая величина	Значение	Размерность
$\omega_б$	$\omega_б = \frac{U_{д.ном}}{К\Phi_{ном}}$	26,79	рад/с
$U_з$, $\Delta U_{рс}$, $U_{дс}$	$U_{бдс} = \omega_б \cdot К_{дс}$	5,12	В
$К_{дс}$	$К_{дс} = \frac{0{,}8 \cdot U_п^{су}}{\omega_{max}}$	0,191	-
$U_{рс}$, $\Delta U_{рт}$, $U_{дт}$	$U_{бдт} = I_б \cdot К_{дт}$	117,76	В
$К_{дт}$	$К_{дс} = \frac{0{,}8 \cdot U_п^{су}}{I_{max}}$	0,0039	-
$E_п$, $U_д$, $E_д$	$U_б = U_{д.ном}$	930	В
$К_п$	$К_п = \frac{К_{сх} \cdot U_2}{0{,}8 \cdot U_п^{су}}$	102,18	-
$U_{рт}$	$U_{брт} = \frac{U_{д.ном}}{К_п}$	9,1	В
$I_я$	$I_б = I_{кз} = \frac{U_{д.ном}}{R_{яц}}$	30195	А
$M_д$, $M_с$, $M_{дин}$	$M_б = I_б \cdot К\Phi_{ном}$	1081358,4	Нм
$E_{пв}$	$U_б = U_{в.ном}$	110	В
$I_в$	$I_б = \frac{U_{в.ном}}{R_{цв}}$	83	А

Окончание таблицы 5.2

Параметр	Базовая величина	Значение	Размерность
$K_{дтв}$	$K_{дтв} = \frac{0{,}8 \cdot U_п^{су}}{I_{в.ном}}$	0,18	-
$U_{рэдс}$, $\Delta U_{ртв}$, $U_{дтв}$	$U_{бдтв} = I_б \cdot K_{дтв}$	14,94	В
$K_{пв}$	$K_{пв} = \frac{K_{сх} \cdot U_2}{0{,}8 \cdot U_п^{су}}$	16,5	-
$U_{ртв}$	$U_{бртв} = \frac{U_{в.ном}}{K_{пв}}$	6,67	В
$K\Phi$	$K\Phi_б = K\Phi_{ном}$	35,813	Вб
$K_{дэдс}$	$K_{дэдс} = \frac{0{,}8 \cdot U_п^{су}}{E_{ном}}$	0,013	-
$U_{зв}$, $\Delta U_{рэдс}$, $U_{дэдс}$	$U_{бдэдс} = E_{ном} \cdot K_{дэдс}$	11,7	В

Структурная схема системы подчиненного регулирования с учетом выбранных базовых величин показана на рисунке 5.1

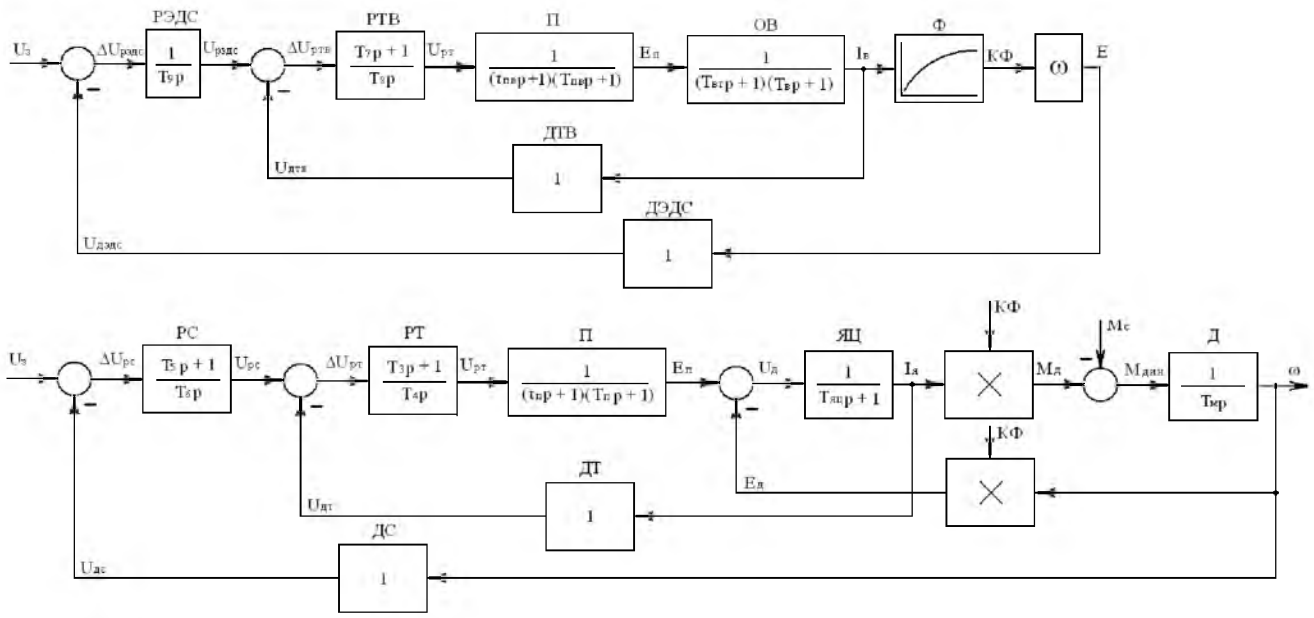


Рисунок 5.1 – Структурная схема системы подчиненного регулирования

«Выводы по разделу пять»

В данном разделе были выбраны исходные данные и на их основе сделан расчет эквивалентных параметров привода, а также была построена структурная схема системы подчиненного регулирования с учетом выбранных базовых величин.

6 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

6.1 Расчет контура регулирования тока

6.1.1 Расчет контура регулирования тока в относительных единицах

Структурная схема замкнутого контура тока показана на рисунке 6.1. Согласно [4], для снижения влияния на устойчивость настраиваемой системы инерционного звена с наибольшей постоянной времени возможно применить ПИ регулятор. На рисунке 3 регулятор представлен звеном РТ, которое можно рассматривать как последовательное соединение форсирующего и интегрального звеньев. Дальнейший расчет проводим согласно методике описанной в [3]. Согласно [3, ф. 4.3], принимаем значение постоянной времени форсирующего звена T_3, равное значению наибольшей постоянной времени в настраиваемом контуре. Схема выпрямления трехфазная двухполупериодная. Принимаем постоянную времени фильтра $\tau_п$ = 0,003 с., постоянную времени запаздывания преобразователя $T_п$ = 0,01 с.

$$T_3 = T_{max} = T_{яц} = 0{,}051 \text{ с}$$

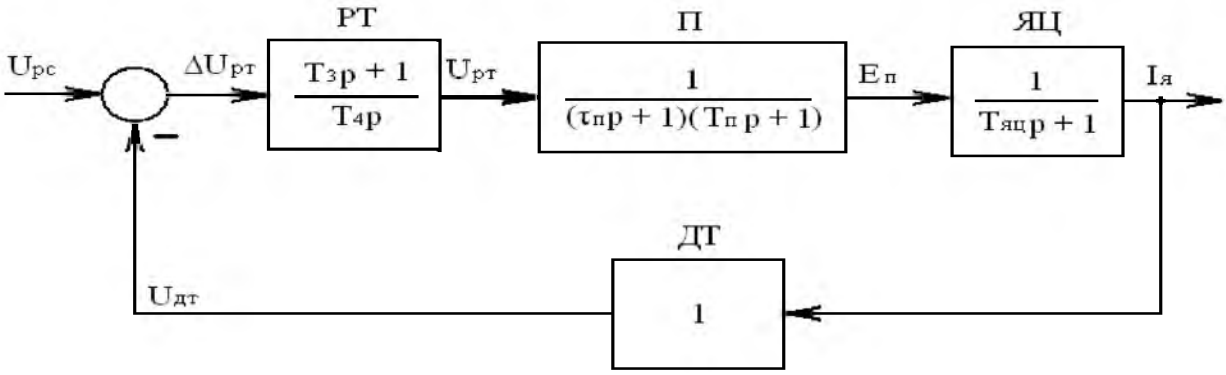


Рисунок 6.1 – Контур регулирования тока

Частота среза контура тока $\omega_{скт}$, рад/с по формуле:

$$\omega_{скт} = \frac{1}{(2...4) \cdot \Sigma T_{\mu}}, \qquad (6.1)$$

где ΣT_{μ} – сумма всех малых постоянных времени в настраиваемом контуре.

$$\Sigma T_{\mu} = T_n + \tau,$$

$$\omega_{скт} = \frac{1}{2 \cdot (0{,}01 + 0{,}003)} = 38{,}46 \text{ рад/с}$$

Постоянная времени интегрального звена T_4, с по формуле:

$$T_4 = \frac{1}{\omega_{скт}}, \tag{6.2}$$

$$T_4 = \frac{1}{38{,}46} = 0{,}026 \text{ с}$$

Коэффициент пропорционального усиления $K_{прт}$ по формуле:

$$K_{прт} = \frac{T_3}{T_4}, \tag{6.3}$$

$$K_{прт} = \frac{0{,}051}{0{,}026} = 1{,}96$$

6.1.2 Компьютерное моделирование контура тока

Математическая модель замкнутого контура тока и диаграмма тока представлены в приложении А на рисунке А.1. Замкнутый контур тока содержит в своем составе звенья якорной цепи, преобразователя и регулятора тока. Расчетные значения частоты среза контура тока, запас по фазе, время переходного процесса построенной в VisSim модели представлены в таблице 6.1. Процесс расчета представлен на рисунках А.2 и А.3 в приложении А.

Таблица 6.1 - Расчетные значения параметров контура тока

Величина	Значение	Ед. измерения
Частота среза	38,46	рад/с
Запас устойчивости	64	град
Перерегулирование	4,2	%
Время достижения максимума	0,056	с
Время переходного процесса	0,056	с
Постоянная времени T_3	0,051	с
Постоянная времени T_4	0,026	с

6.1.3 Конструктивный расчет регулятора тока

Величина сопротивлений на входе регулятора тока $R_{вх}$, по формуле:

$$R_{вх} = \frac{T_4 \cdot U_{брт}}{C \cdot U_{бдт}}, \tag{6.4}$$

где C – емкость конденсатора в обратной связи ОУ, Ф; $C = 1 \cdot 10^{-7}$ Ф.

$$R_{вх} = \frac{0{,}026 \cdot 9{,}1}{1 \cdot 10^{-7} \cdot 117{,}76} = 20091 \quad \text{Ом}$$

Значение $R_{вх}$ из стандартного ряда E24: $R_{вх}$ = 20 кОм.

Значение сопротивления в цепи обратной связи ОУ регулятора тока $R_{ос}$, по формуле:

$$R_{ос} = \frac{T_3}{C}, \tag{6.5}$$

$$R_{ос} = \frac{0{,}051}{1 \cdot 10^{-7}} = 510000 \quad \text{Ом}$$

Значение $R_{ос}$ из стандартного ряда E24: $R_{ос}$ = 510 кОм.

Коэффициент пропорционального усиления в абсолютных единицах:

$$K_{прт} = \frac{R_{ос}}{R_{вх}}, \tag{6.6}$$

$$K_{прт} = \frac{510000}{20000} = 25{,}5$$

Постоянная времени T_4 в абсолютных единицах:

$$T_4 = R_{вх} \cdot C, \tag{6.7}$$

$$T_4 = 20000 \cdot 1 \cdot 10^{-7} = 0{,}002 \quad \text{с}$$

Передаточная функция регулятора тока в абсолютных единицах с учетом выбранных номиналов элементов:

$$W_{рТ}(p) = 25{,}5 + \frac{1}{0{,}002\,p}$$

6.2 Расчет контура регулирования скорости

6.2.1 Расчет контура регулирования скорости в относительных единицах

Структурная схема замкнутого контура регулирования скорости представлена на рисунке 6.2. Оптимизированный контур тока представлен на схеме в виде звена

КРТ и представляет собой фильтр III порядка. Объектом управления является двигатель Д. Согласно [4], для управления объектом, представляющим собой интегральное звено, возможно применение ПИ регулятора скорости.

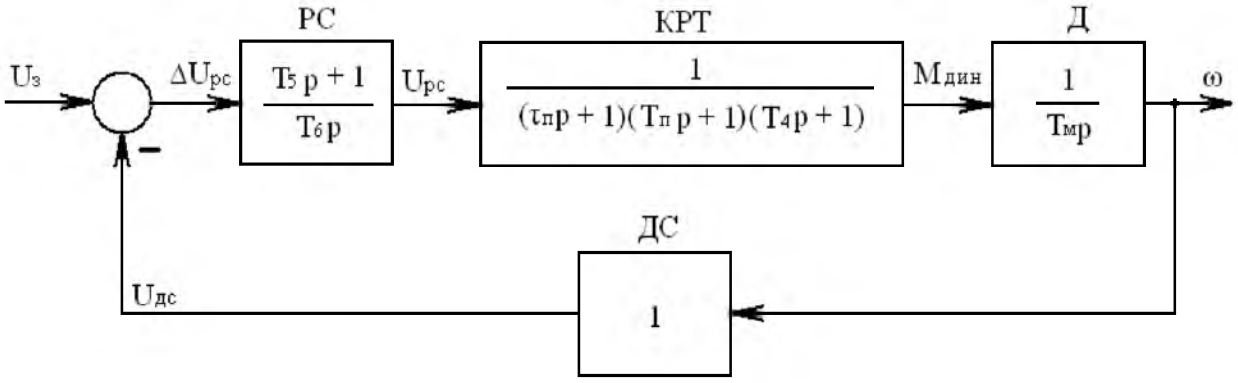


Рисунок 6.2 – Контур регулирования скорости

Частота среза контура скорости $\omega_{скс}$, рад/с по формуле:

$$\omega_{скс} = \frac{\omega_{скт}}{2...4}, \tag{6.8}$$

$$\omega_{скс} = \frac{38,46}{2} = 19,23 \text{ рад/с}$$

Коэффициент пропорционального усиления регулятора скорости $K_{прс}$, по формуле:

$$K_{прс} = \omega_{скс} \cdot T_м, \tag{6.9}$$

$$K_{прс} = 19,23 \cdot 0,071 = 1,37$$

Частота сопряжения П и И каналов $\omega_{сопр}$, рад/с по формуле:

$$\omega_{сопр} = \frac{\omega_{скс}}{2...4}, \tag{6.10}$$

$$\omega_{сопр} = \frac{19,23}{2} = 9,62 \text{ рад/с}$$

Постоянная времени дифференцирующего звена T_5, с. по формуле:

$$T_5 = \frac{1}{\omega_{сопр}}, \tag{6.11}$$

$$T_5 = \frac{1}{9{,}62} = 0{,}104 \text{ с}$$

Постоянная времени интегрального канала T_6, с как отношение постоянной T_5 к коэффициенту пропорционального усиления $K_{прс}$:

$$T_6 = \frac{T_5}{K_{прс}}, \quad (6.12)$$

$$T_6 = \frac{0{,}104}{1{,}37} = 0{,}076 \text{ с}$$

6.2.2 Компьютерное моделирование замкнутого контура скорости

Математическая модель замкнутого контура скорости и процесс моделирования в среде программы VisSim, представлены в приложении А. Расчетные значения частоты среза контура скорости, запаса устойчивости, перерегулирования и времени переходных процессов представлены в таблице 6.2. Ограничение задания на ток установлено на уровне 1,8 $I_н$ = 3096 А введением звена ограничения с уставкой 0,1025 $I_{кз}$ после регулятора скорости. Для ограничения ЭДС преобразователя на уровне 1050 В, на его выходе установлено звено ограничения с уставкой 1,129$U_б$. С целью снижения перерегулирования в контуре скорости, в интегральный канал регулятора скорости введено звено ограничения с уставкой 0,05.

Таблица 6.2 - Расчетные значения параметров контура скорости

Величина	Значение	Ед. измерения
Частота среза	18,01	рад/с
Запас устойчивости	45	град
Перерегулирование	33	%
Время достижения максимума	0,107	с
Время переходного процесса	0,33	с
Постоянная времени T_5	0,105	с
Постоянная времени T_6	0,077	с

6.2.3 Конструктивный расчет регулятора скорости

Величина сопротивлений на входе регулятора скорости $R_{вх}$, по формуле:

$$R_{вх} = \frac{T_6 \cdot U_{брс}}{C \cdot U_{бдс}}, \quad (6.13)$$

где C – емкость конденсатора в обратной связи ОУ, Ф; $C = 1 \cdot 10^{-5}$ Ф.

$$R_{вх} = \frac{0{,}077 \cdot 117{,}76}{1 \cdot 10^{-5} \cdot 5{,}12} = 177100 \quad \text{Ом}$$

Из стандартного ряда Е24 принимаем значение $R_{вх}$ = 180 кОм.

Значение сопротивления в цепи обратной связи ОУ регулятора скорости $R_{ос}$, по формуле:

$$R_{ос} = \frac{T_5}{C}, \tag{6.14}$$

$$R_{ос} = \frac{0{,}105}{1 \cdot 10^{-5}} = 10500 \text{ Ом}$$

Из стандартного ряда Е24 принимаем значение 10 кОм.

Коэффициент пропорционального усиления в абсолютных единицах:

$$K_{прс} = \frac{R_{ос}}{R_{вх}}, \tag{6.15}$$

$$K_{прт} = \frac{10000}{180000} = 0{,}055$$

Постоянная времени T_6 в абсолютных единицах:

$$T_6 = R_{вх} \cdot C, \tag{6.16}$$

$$T_6 = 180000 \cdot 1 \cdot 10^{-5} = 1{,}8 \text{ с}$$

Передаточная функция регулятора скорости в абсолютных единицах с учетом выбранных номиналов элементов:

$$W_{рс}(p) = 0{,}055 + \frac{1}{1{,}8p}$$

6.3 Расчет контура регулирования тока возбуждения

6.3.1 Расчет контура тока возбуждения в относительных единицах

Замкнутый контур регулирования тока возбуждения представлен на рисунке 6.3. В своем составе контур содержит обмотку возбуждения ОВ, тиристорный возбудитель П, ПИ регулятор тока возбуждения РТВ и датчик тока возбуждения ДТВ. Схема выпрямления трехфазная двухполупериодная. Принимаем постоянную времени фильтра $\tau_{ПВ}$ = 0,03 с., постоянную времени запаздывания преобразователя

$T_{пв}$ = 0,009 с. Значения постоянных времени обмотки возбуждения и контура вихревых токов составляют: $T_в$ = 2,2 с, $T_{вт}$ = 0,25 с.

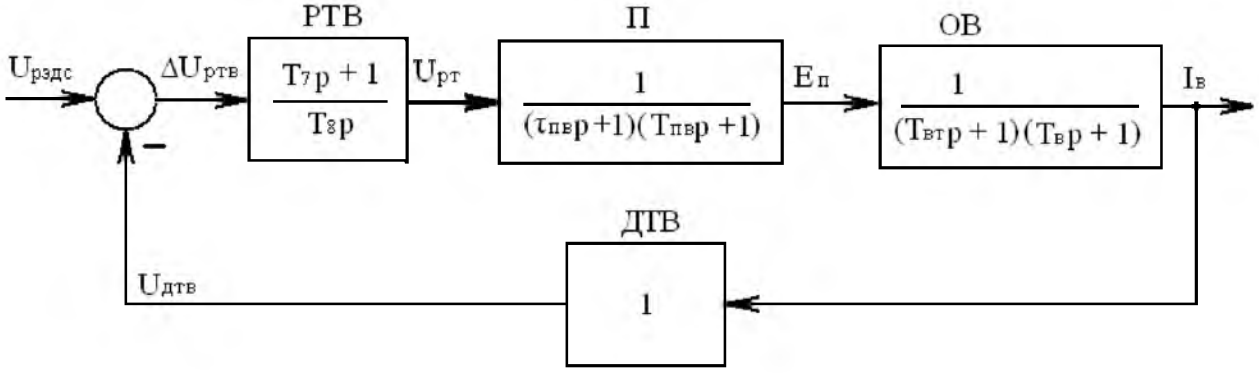


Рисунок 6.3 – Контур регулирования тока возбуждения

Частота среза контура тока $\omega_{сктв}$, рад/с по формуле:

$$\omega_{сктв} = \frac{1}{(2...4)\Sigma T_{\mu}}, \tag{6.17}$$

$$\omega_{сктв} = \frac{1}{2 \cdot (0,03 + 0,009 + 0,25)} = 1,73 \text{ рад/с}$$

Коэффициент пропорционального усиления регулятора тока возбуждения $K_{пртв}$, по формуле:

$$K_{пртв} = \omega_{сктв} \cdot T_{в}, \tag{6.18}$$

$$K_{пртв} = 1,73 \cdot 2,2 = 3,806$$

Частота сопряжения П и И каналов $\omega_{сопр}$, рад/с по формуле:

$$\omega_{сопр} = \frac{\omega_{сктв}}{2...4}, \tag{6.19}$$

$$\omega_{сопр} = \frac{1,73}{2} = 0,87 \text{ рад/с}$$

Постоянная времени дифференцирующего звена T_7, с по формуле:

$$T_7 = \frac{1}{\omega_{сопр}}, \tag{6.20}$$

$$T_7 = \frac{1}{0{,}87} = 1{,}16 \text{ с}$$

Постоянная времени интегрального канала T_8, с как отношение постоянной T_7 к коэффициенту пропорционального усиления $K_{пртв}$:

$$T_8 = \frac{T_7}{K_{пртв}}, \qquad (6.21)$$

$$T_8 = \frac{1{,}16}{3{,}806} = 0{,}3 \text{ с}$$

6.3.2 Компьютерное моделирование контура регулирования тока возбуждения

Математическая модель замкнутого контура тока возбуждения и диаграмма тока представлены в приложении А на рисунке А.7. Расчетные значения частоты среза контура тока, запас по фазе, время переходного процесса построенной в VisSim модели представлены в таблице 6.3. Процесс расчета представлен на рисунках А.8 и А.9 в приложении А.

Таблица 6.3 - Расчетные значения параметров контура тока возбуждения

Величина	Значение	Ед. измерения
Частота среза	1,82	рад/с
Запас устойчивости	44	град
Перерегулирование	29	%
Время достижения максимума	1,21	с
Время переходного процесса	2,53	с
Постоянная времени T_7	0,95	с
Постоянная времени T_8	0,206	с

6.3.3 Конструктивный расчет регулятора тока возбуждения

Величина сопротивлений на входе регулятора тока возбуждения $R_{вх}$, Ом:

$$R_{вх} = \frac{T_8 \cdot U_{бртв}}{C \cdot U_{бдтв}}, \qquad (6.22)$$

где C – емкость конденсатора в обратной связи ОУ, Ф; $C = 1 \cdot 10^{-5}$ Ф.

$$R_{вх} = \frac{0{,}206 \cdot 6{,}67}{1 \cdot 10^{-5} \cdot 12{,}035} = 11417 \text{ Ом}$$

Из стандартного ряда Е24 принимаем значение $R_{вх}$ = 12 кОм.

Значение сопротивления в цепи обратной связи ОУ регулятора тока возбужде-
ния $R_{ос}$, по формуле:

$$R_{ос} = \frac{T_7}{C}, \tag{6.23}$$

$$R_{ос} = \frac{0,95}{1 \cdot 10^{-5}} = 95000 \text{ Ом}$$

Из стандартного ряда Е24 принимаем значение 91 кОм.

Коэффициент пропорционального усиления в абсолютных единицах:

$$K_{прпв} = \frac{R_{ос}}{R_{вх}}, \tag{6.24}$$

$$K_{прпв} = \frac{91000}{12000} = 7,58$$

Постоянная времени T_8 в абсолютных единицах:

$$T_8 = R_{вх} \cdot C, \tag{6.25}$$

$$T_8 = 12000 \cdot 1 \cdot 10^{-5} = 0,12 \text{ с}$$

Передаточная функция регулятора скорости в абсолютных единицах с учетом выбранных номиналов элементов:

$$W_{РТВ}(p) = 7,58 + \frac{1}{0,12\,p}$$

6.4 Расчет контура регулирования ЭДС

6.4.1 Расчет контура регулирования ЭДС в относительных единицах

Замкнутый контур регулирования ЭДС показан на рисунке 6.4. В состав контура входят замкнутый контур регулирования тока возбуждения, интегральный регулятор ЭДС, звено моделирования потока и датчик ЭДС. Кривая намагничивания магнитной системы двигателя формируется при помощи звена моделирования потока Ф. Уравнение кривой: $-0,0024x^2+0,3951x$.

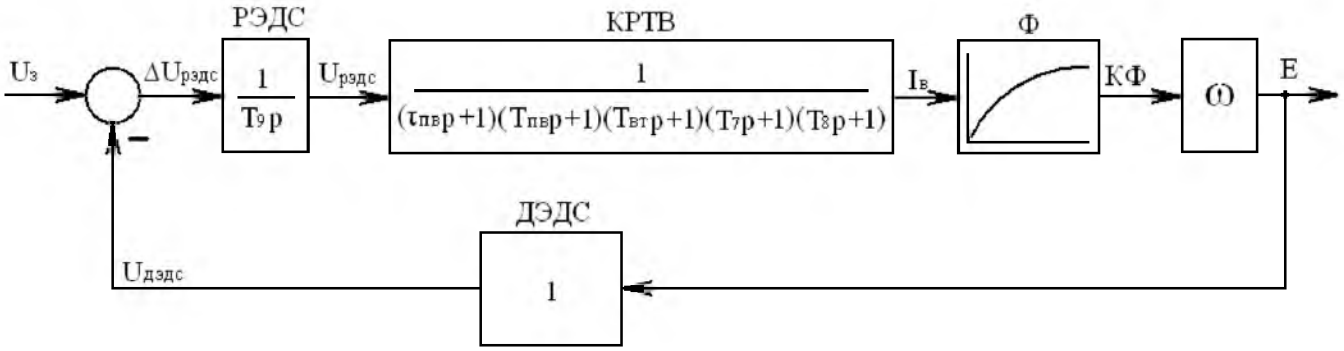


Рисунок 6.4 – Контур регулирования ЭДС двигателя

Частота среза контура ЭДС $\omega_{сэдс}$, рад/с по формуле:

$$\omega_{сэдс} = \frac{1}{(2...4)\Sigma T_{\mu}}, \qquad (6.26)$$

$$\omega_{сэдс} = \frac{1}{2 \cdot (0,03 + 0,009 + 0,25 + 0,3 + 1,05)} = 0,305 \text{ рад/с}$$

Постоянная времени интегрального регулятора ЭДС T_9, с. по формуле:

$$T_9 = \frac{1}{\omega_{эдс}}, \qquad (6.27)$$

$$T_9 = \frac{1}{0,305} = 3,28 \text{ с}$$

6.4.2 Компьютерное моделирование контура регулирования ЭДС двигателя

Для построения интегрального регулятора использовано звено limitedIntegrator. Данное звено позволяет смоделировать регулятор совместно с блоком ограничения.

Верхний порог задан на уровне соответствующем заданию на номинальный ток возбуждения. Соответственно нижний порог ограничения соответствует заданию на минимальный ток возбуждения. Модель предложенного звена показана на рисунке 6.5 (а). При проведении моделирования был выявлен недостаток данного решения, заключающийся в особенности звена limitedIntegrator использовать нижний предел ограничения в качестве начальной точки отсчета. С учетом изложенного в математическую модель регулятора ЭДС были введены звенья больше или равно и мультиплексор. В начальный момент времени на выходе звена больше или равно присутствует уровень логического нуля, так как значение на выходе интегратора меньше значения нижнего предела ограничения.

Мультиплексор, на управляющем входе которого присутствует логический ноль, подключает к входу нижнего предела ограничения интегратора значение, присутствующее на входе “0”. В момент равенства значений на выходе интегратора и предела нижнего ограничения тока возбуждения, происходит переключение звена больше или равно и на его выходе устанавливается значение логической единицы. Результатом этого события является переключение мультиплексора и подключения к входу нижнего предела ограничения интегратора значения присутствующего на входе ”1” мультиплексора. Модель оптимизированного таким образом регулятора показана на рисунке 6.5 (б), а диаграммы работы интегратора регулятора до и после оптимизации на рисунке 6.6. При расчете частоты среза и запаса по фазе контура ЭДС разработанный регулятор был заменен обычным интегральным с той же постоянной времени, для исключения влияния нелинейных звеньев на процесс расчета.

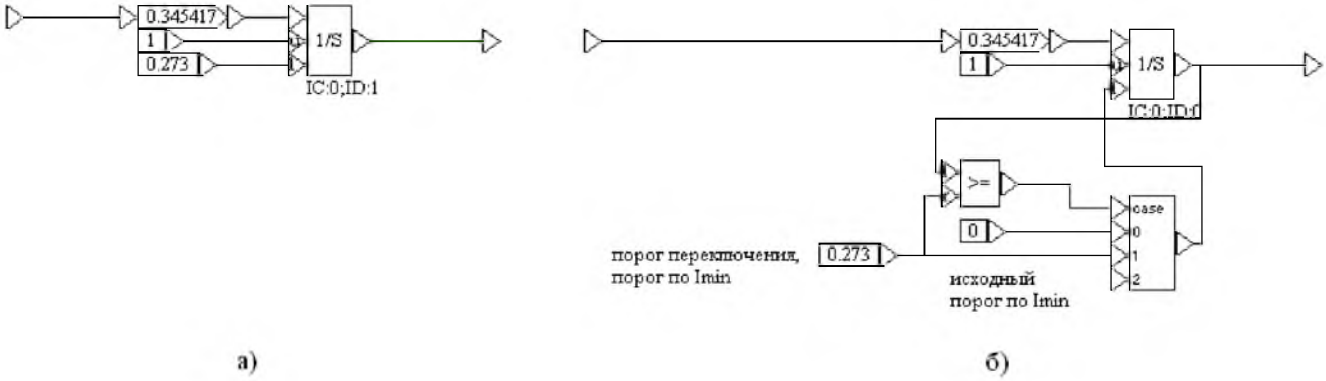


Рисунок 6.5 – Регулятор ЭДС:
а) исходный;
б) оптимизированный

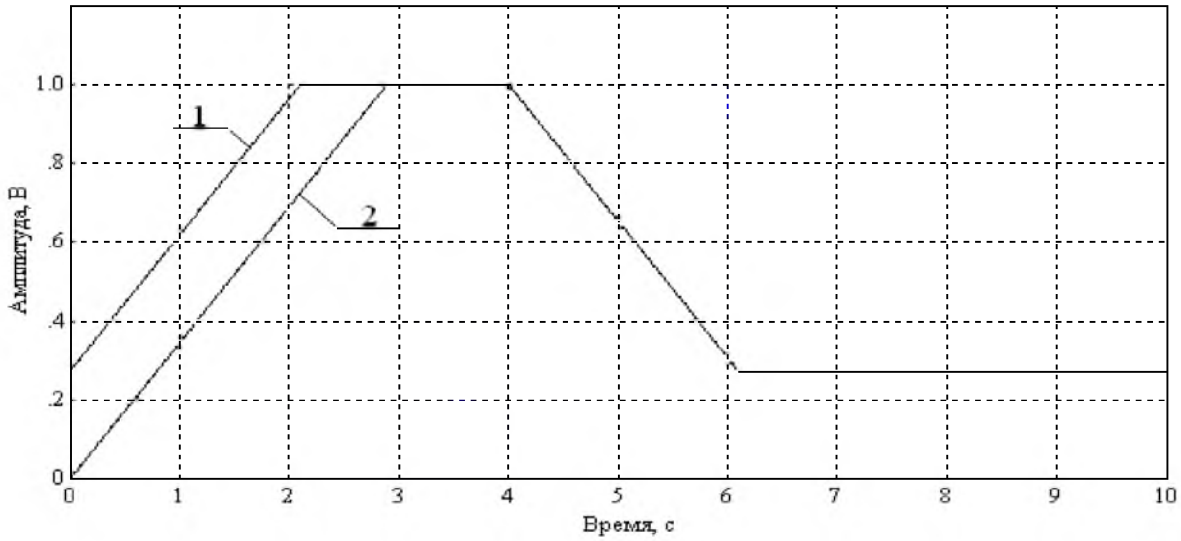


Рисунок 6.6 – Работа регуляторов ЭДС:
1 – исходного;
2 – оптимизированного

Математическая модель замкнутого контура ЭДС представлена на рисунке А.10 в приложении А. Рассчитанная в VisSim постоянная времени регулятора ЭДС составляет: T_9 = 2,895 с. Процесс разгона привода и процесс отработки захвата заготовки, представлены на рисунке 6.7.

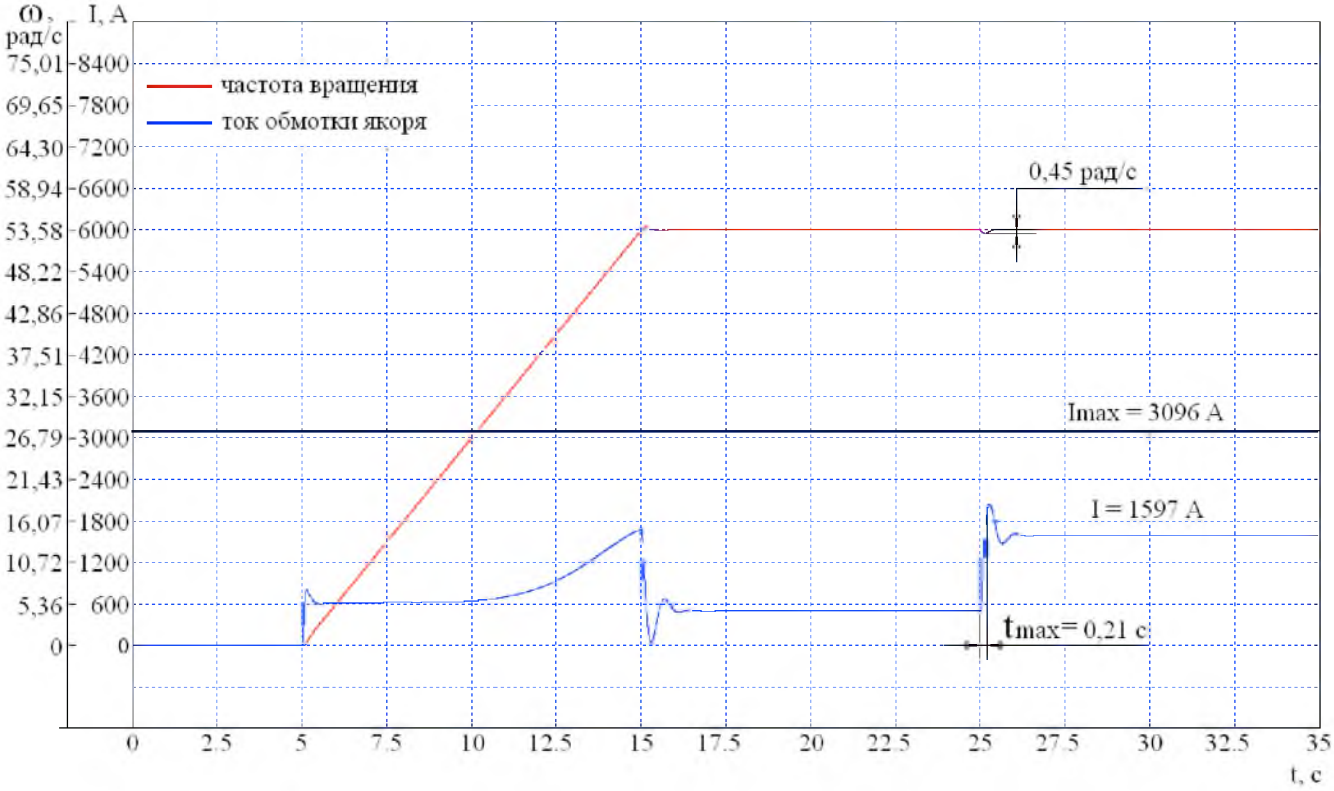


Рисунок 6.7 – Разгон привода и отработка захвата заготовки

6.4.3 Конструктивный расчет регулятора ЭДС

Величина сопротивлений на входе регулятора эдс $R_{вх}$, по формуле:

$$R_{вх} = \frac{T_9 \cdot U_{брэдс}}{C \cdot U_{бдэдс}}, \qquad (6.28)$$

где C – емкость конденсатора в обратной связи ОУ, Ф; $C = 1 \cdot 10^{-4}$ Ф.

$$R_{вх} = \frac{2{,}895 \cdot 14{,}94}{1 \cdot 10^{-4} \cdot 11{,}7} = 36966 \text{ Ом}$$

Из стандартного ряда Е24 принимаем значение $R_{вх}$ = 36 кОм.

Постоянная времени T_9 в абсолютных единицах:

$$T_9 = R_{вх} \cdot C, \qquad (6.29)$$

$$T_9 = 36000 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 3{,}6 \text{ с}$$

Передаточная функция регулятора ЭДС в абсолютных единицах с учетом выбранных номиналов элементов:

$$W_{рЭДС}(p) = \frac{1}{3{,}6p}$$

«Выводы по разделу шесть»

В данном разделе производился расчет контура регулирования тока, контура регулирования скорости, контура регулирования тока возбуждения, контура регулирования ЭДС. Построена математическая модель замкнутого контура ЭДС, рассчитанная в VisSim постоянная времени регулятора ЭДС составляет: T_9 = 2,895 с. А также представлен процесс разгона привода и процесс отработки захвата заготовки.

7 РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ПРИВОДОВ

7.1 Расчетная схема

Расчетная схема для построения модели взаимосвязанных приводов показана на рисунке 7.1. На схеме между двумя парами валков находится заготовка. Каждая пара прокатных валков приводится во вращательное движение от индивидуального привода. В случае, когда частоты вращения валков не согласованы, т. е. не выполняется условие непрерывной прокатки [2, ф. 12.1], прокатные клети оказываются связанными через прокатываемую заготовку и в последней возникают усилия натяжения или сжатия. В данном случае речь идет о приводах смежных клетей чистовой группы и режим прокатки с подпором в этих клетях невозможен. Это объясняется наличием больших расстояний между смежными клетями и относительно небольшими сечениями заготовок [1]. Возникающий подпор неизбежно ведет к образованию петли в межклетьевом пространстве, размер которой зависит от рассогласования частот вращения валков [2, ф.12.17]. Чем выше частоты вращения, тем быстрее изменяются размеры петли и меньше допустимая величина рассогласования частот вращения валков, поэтому при высоких скоростях прокатки невозможно вручную выбирать быстро нарастающую петлю. В данном режиме на заготовку действует сила тяжести F_m приводящая к появлению сил натяжения $F_{н1}$ и $F_{н2}$.

В случае рассогласования частот вращения, при котором имеют место усилия растяжения, на прокатные валки действуют моменты сил упругости F_{y1} и F_{y2}.

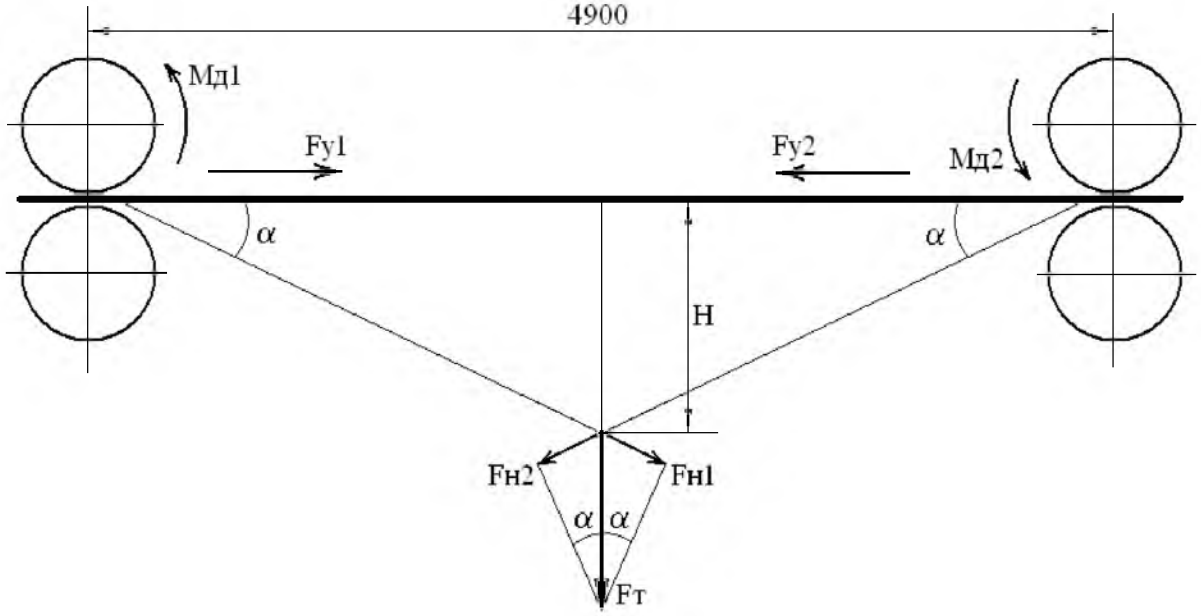


Рисунок 7.1 – Расчетная схема

7.2 Структура математической модели взаимосвязанных приводов

Согласно представленной на рисунке 7.1 расчетной схемы, в состав математической модели входят два электропривода и блоки моделирования процесса прокатки: блок моделирования удлинения заготовки в межклетьевом пространстве, блок моделирования провиса петли, блоки моделирования моментов сил натяжения и упругости, блоки формирования моментов нагрузки в зависимости от режима прокатки, а также блок регулятора провиса петли. Разработанная структурная схема модели представлена на рисунке 7.2

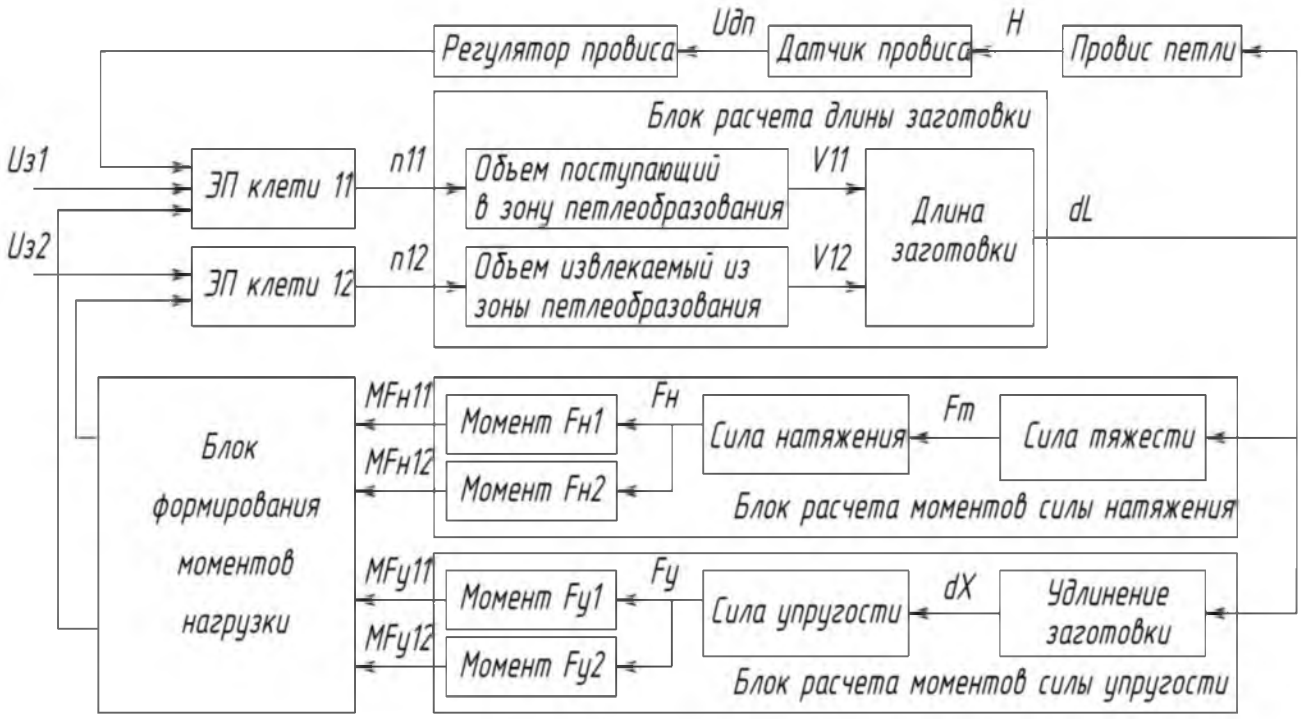


Рисунок 7.2 – Структурная схема системы взаимосвязанных ЭП

Согласно [1] на практике применяются варианты систем регулирования: 1 - за “базовую” клеть принята первая клеть чистовой группы; 2 - за “базовую” клеть принята последняя клеть группы; 3 - за “базовую” клеть принята средняя клеть. Структурные схемы, иллюстрирующие указанные принципы построения систем регулирования показаны на рисунке 7.3. В любом из приведенных вариантов построения системы, в процессе регулирования, будут изменяться частоты вращения двигателей всех клетей кроме “базовой”. В схеме представленной на рисунке 7.2 принят вариант 2 - за “базовую” клеть принята клеть 12, а управляющее воздействие от регулятора провиса подается на вход регулятора скорости клети 11.

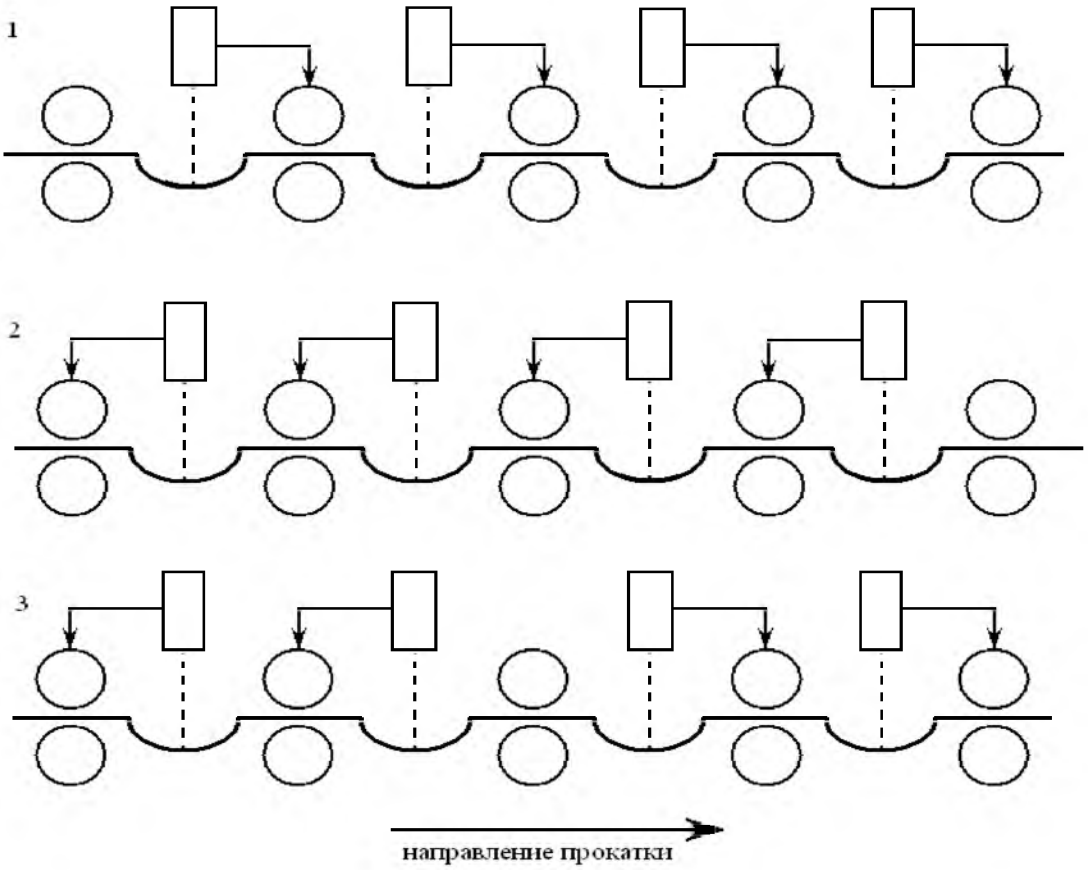


Рисунок 7.3 – Варианты построения систем петлерегулирования

7.3 Математические модели функциональных блоков системы

7.3.1 Блок расчета длины заготовки

Данный блок модели по известным частотам вращения двигателя рассчитывает объем металла поступающего в зону петлеобразования и объем металла извлекаемый из зоны. Длина раската dL, в зоне петлеобразования, определяется делением разницы объемов на площадь сечения и соответствует длине раската в ненапряженном состоянии.

Согласно [1 ф. 31] объем металла поступающий или извлекаемый из зоны петлеобразования может быть найден по формуле:

$$V_k = \frac{\pi \cdot (D_в - 0{,}25 \cdot h_k) \cdot b_k \cdot h_k}{120 \cdot i} \cdot \int_0^t n_k (\pm S_k)\, dt, \qquad (7.1)$$

где i = 1,51 – передаточное число редуктора клети 11;

i = 1,25 – передаточное число редуктора клети 12;

n_k – частота вращения двигателя k – й клети, об/мин.

Для клети 11:

$$V_{11} = \frac{3{,}14 \cdot (400 - 0{,}25 \cdot 75{,}8) \cdot 115 \cdot 75{,}8}{120 \cdot 1{,}51} \cdot \int_0^t n_{11} (1 + S_{11})\, dt = 57560 \cdot \int_0^t n_{11} (1 + S_{11})\, dt$$

Для клети 12:

$$V_{12} = \frac{3{,}14 \cdot (400 - 0{,}25 \cdot 80{,}6) \cdot 82{,}2 \cdot 80{,}6}{120 \cdot 1{,}25} \cdot \int_0^t n_{12} (1 - S_{12})\, dt = 52681{,}4 \cdot \int_0^t n_{12} (1 - S_{12})\, dt$$

Математическая модель блока, реализованная в среде программы VisSim, показана на рисунке 7.4. Коэффициент 240, на который умножаются частоты вращения двигателей клетей, необходим для перехода от относительных единиц в абсолютные.

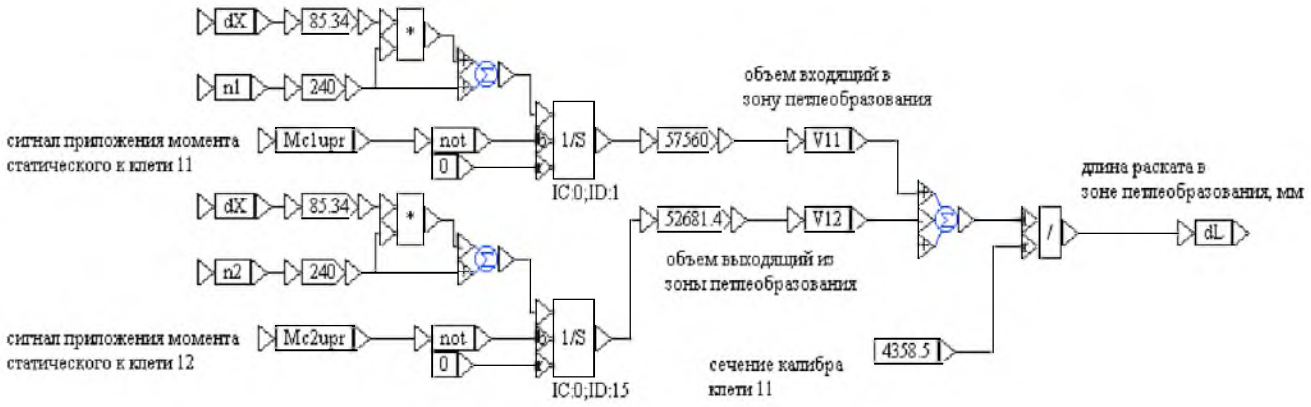


Рисунок 7.4 – Математическая модель блока расчета длины заготовки

7.3.2 Блок расчета провиса петли

Структурная схема блока представлена на рисунке 7.5. Конструктивно блок состоит из нескольких устройств: двух устройств сравнения, элемента памяти и блока расчета величины провиса раската. Связь с блоком расчета длины заготовки осуществляется через переменные dL и Mc2upr. В момент равенства длин раската и межклетевого пространства происходит переключение элементов сравнения. Результатом этого события является установка переменной Mc2upr в состояние логической единицы, что соответствует захвату раската валками клети 12. Элемент памяти служит для исключения влияния расчетной длины раската на переменную Mc2upr после захвата раската клетью 12. Допущение, принятое при построении блока: длина исходной заготовки перед клетью 11 равна бесконечности. Данное допущение принято с целью обеспечения достаточного времени для последующего моделирования и оценки работы системы в условиях различных возмущений.

Расчет величины провиса выполняется в случае, если длина раската в зоне петлеобразования превышает длину межклетевого пространства. В противном случае величина провиса принимается равной нулю. Расчет выполняется по формуле:

$$H = \sqrt{\left(\left(\frac{dL}{2}\right)^2 - 2450^2\right) \cdot f(dL)}, \qquad (7.2)$$

где $f(dL) = 1$ при $dL \geq 4900$; $f(dL) = 0$ при $dL < 4900$.

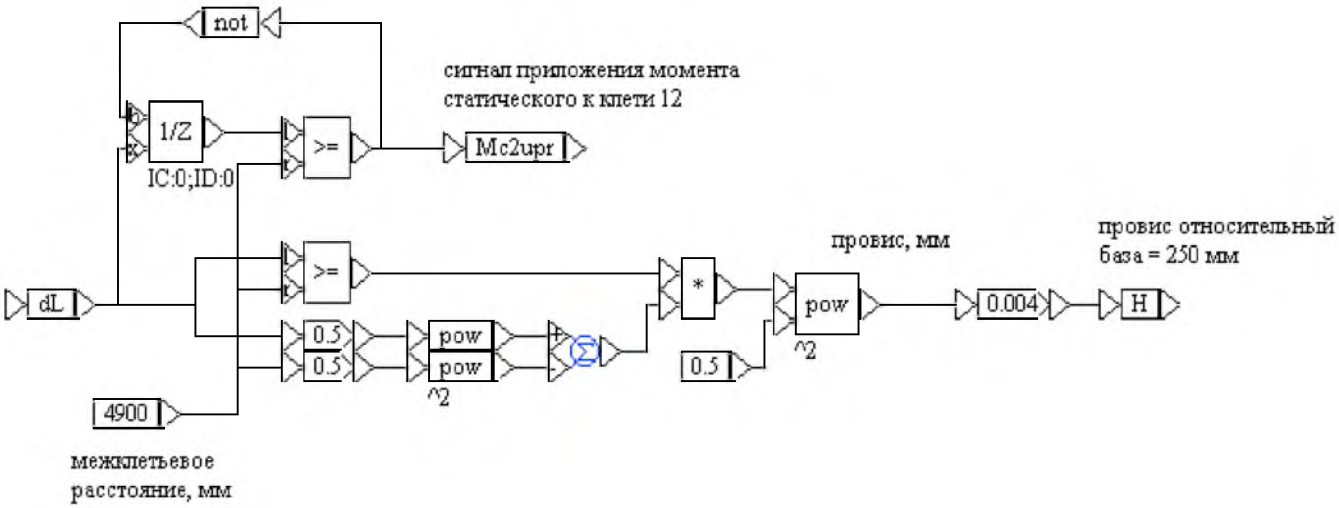


Рисунок 7.5 – Математическая модель блока расчета провиса петли

7.3.3 Блок расчета моментов силы натяжения

Назначение блока – моделирование моментов силы натяжения действующих на приводы прокатных клетей. Расчетная схема приведена на рисунке 7.1. При наличии в межклетевом пространстве избыточного объема металла, между клетями образуется петля. При этом на заготовку действует сила тяжести определяемая по формуле:

$$F_T = S \cdot dL \cdot \rho \cdot g, \qquad (7.3)$$

где S – сечение раската; $S = 0{,}0043585$ м^2;
ρ – плотность стали; $\rho = 7800$ кг/м^3;
g – ускорение свободного падения; $g = 9{,}8$ м/с^2.

Сила тяжести и длина раската являются факторами, определяющими наличие и величину силы натяжения $F_н$. Величина силы натяжения в зависимости от угла

провиса по формуле:

$$F_н = Sin\left(arcCos\frac{2450}{0{,}5 \cdot dL}\right). \qquad (7.4)$$

Моменты силы натяжения в относительных единицах с учетом приведения к валам двигателей, определяются по формуле:

$$M_н = \frac{F_н \cdot l}{i \cdot M_б}, \qquad (7.5)$$

где l – плечо силы в клети 11; l = 0,190525 м;
l – плечо силы в клети 12; l = 0,189925 м.

Структурная схема блока приведена на рисунке 7.6.

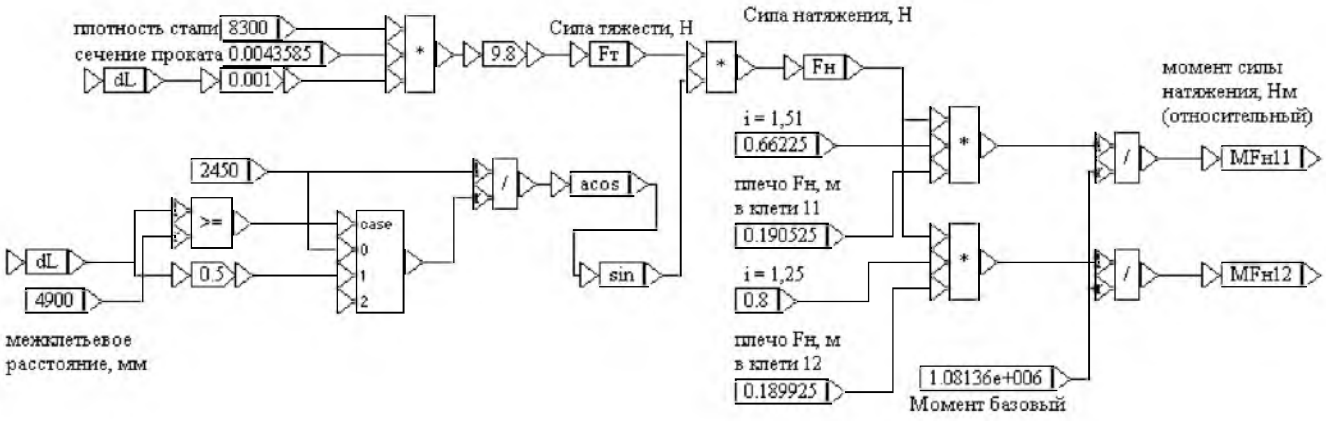


Рисунок 7.6 – Математическая модель блока расчета моментов силы натяжения

7.3.4 Блок расчета моментов силы упругости

Назначение данного блока – моделирование моментов силы упругости возникающей при рассогласовании частот вращения прокатных валков. Расчетная схема приведена на рисунке 7.1. Условия для возникновения силы упругости:

$$\begin{cases} Mc2upr = 1 \\ dL < 4900 \end{cases}, \qquad (7.6)$$

Величина силы упругости F_y, Н по формуле:

$$F_y = \frac{dX \cdot E \cdot S}{l}, \qquad (7.7)$$

где dX – удлинение заготовки в зоне петлеобразования, м; $dX = 4{,}9 - dL$;

E – модуль Юнга (сталь 1200ºС); $E = 1{,}1 \cdot 10^{11}$ Па;

S – сечение заготовки в зоне петлеобразования; $S = 0{,}0043585$ м^2;

L – длина заготовки в ненапряженном состоянии; $L = 4{,}9$ м.

Моменты силы упругости в относительных единицах с учетом приведения к валам двигателей, определяются по формуле 7.5. Структурная схема блока приведена на рисунке 7.7.

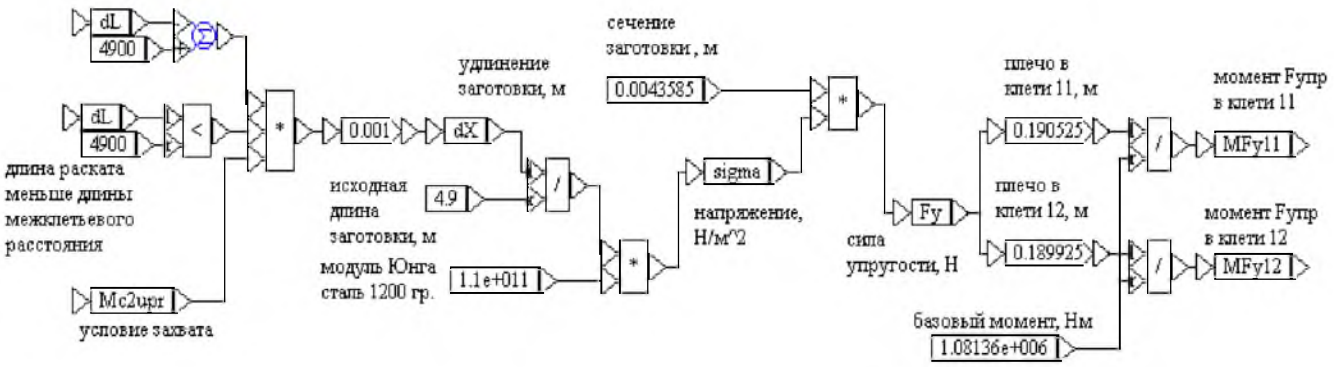


Рисунок 7.7 – Математическая модель блока расчета моментов силы упругости

7.3.5 Блок формирования моментов нагрузки

Согласно схеме приведенной на рисунке 7.1 моменты статические для клетей 11 и 12 записываются ввиде зависимостей:

Для клети 11: $Mc11 = (Mc1 - (MFн11 + MFy11) \cdot Mc2upr) \cdot Mc1upr$ (7.8)

Для клети 12: $Mc12 = (Mc2 + MFн11 + MFy11) \cdot Mc2upr$ (7.9)

В случае, когда сила упругости не равна нулю, заготовку рассматриваем как балку, закрепленную концами в опорах. Моменты $Mc1$ и $Mc2$ расчитаны по методике описанной в п. 4 и составляют соответственно 0,0292$M_б$ и 0,021$M_б$. Так как захват заготовки валками происходит не мгновенно, в схему необходимо ввести соответствующие звенья, моделирующие темп нарастания нагрузки на приводы клетей. По своей внутренней структуре данные звенья аналогичны задатчику интенсивности. Время захвата заготовки зависит от скорости вращения валков клетей и в среднем составляет 0,02 с. Схема блока формирования моментов нагрузки, согласно записанным выражениям и учетом темпа нарастания, представлена на рисунке 7.8.

7.4 Исследование работы взаимосвязаных электроприводов

7.4.1 Работа главных электроприводов без системы петлерегулирования

Работа главных электроприводов без системы петлерегулирования, показана на рисунках 7.9 и 7.10. Рисунок 7.9 иллюстрирует работу электроприводов в случае, когда частота вращения двигателя электропривода клети 11 (подающий) отлична от частоты вращения при правильно выбранном скоростном режиме в большую сторону на 5%. При этом отсутствует взаимное влияние электроприводов друг на друга, о чем можно судить по приведенным диаграммам токов. Результатом приведенной настройки является процесс увеличения в межклетевом пространстве избыточного объема металла и как следствие растет провис заготовки. При отсутствии своевременной реакции со стороны оператора провис петли достигает недопустимых значений, следствием чего является аварийная ситуация, на устранение которой затрачивается значительное время.

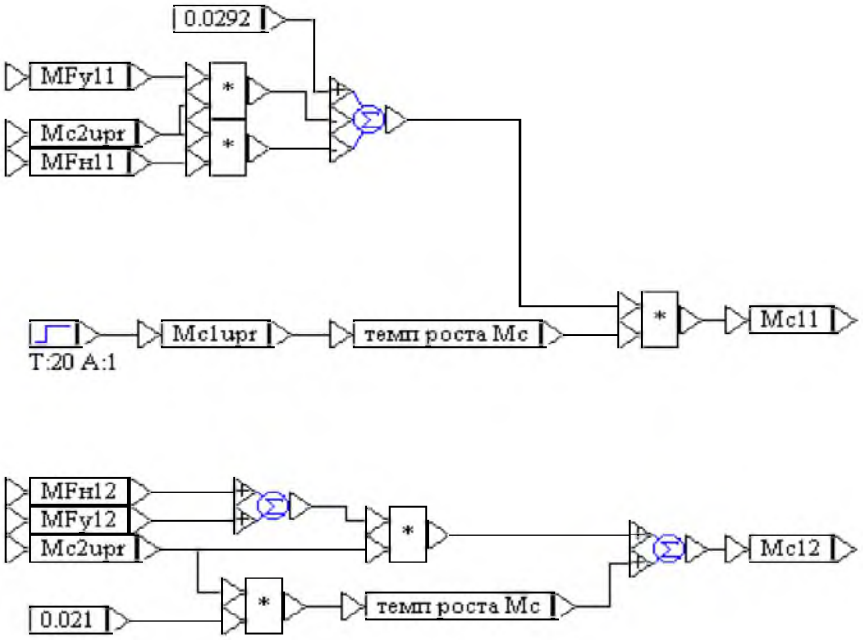


Рисунок 7.8 – Математическая модель блока формирования моментов

Вариант настройки скоростного режима, при котором частота вращения двигателя клети 11 меньше частоты вращения при правильно выбранном скоростном режиме, иллюстрируется на рисунке 7.10. В данном варианте настройки при захвате заготовки валками клети 12 имеет место процесс натяжения полосы. Следствием натяжения являются удлинение заготовки и наличие механической связи приводов прокатных клетей через заготовку. В момент захвата, из – за неправильной настройки скоростного режима, наблюдается снижение тока двигателя клети 11.

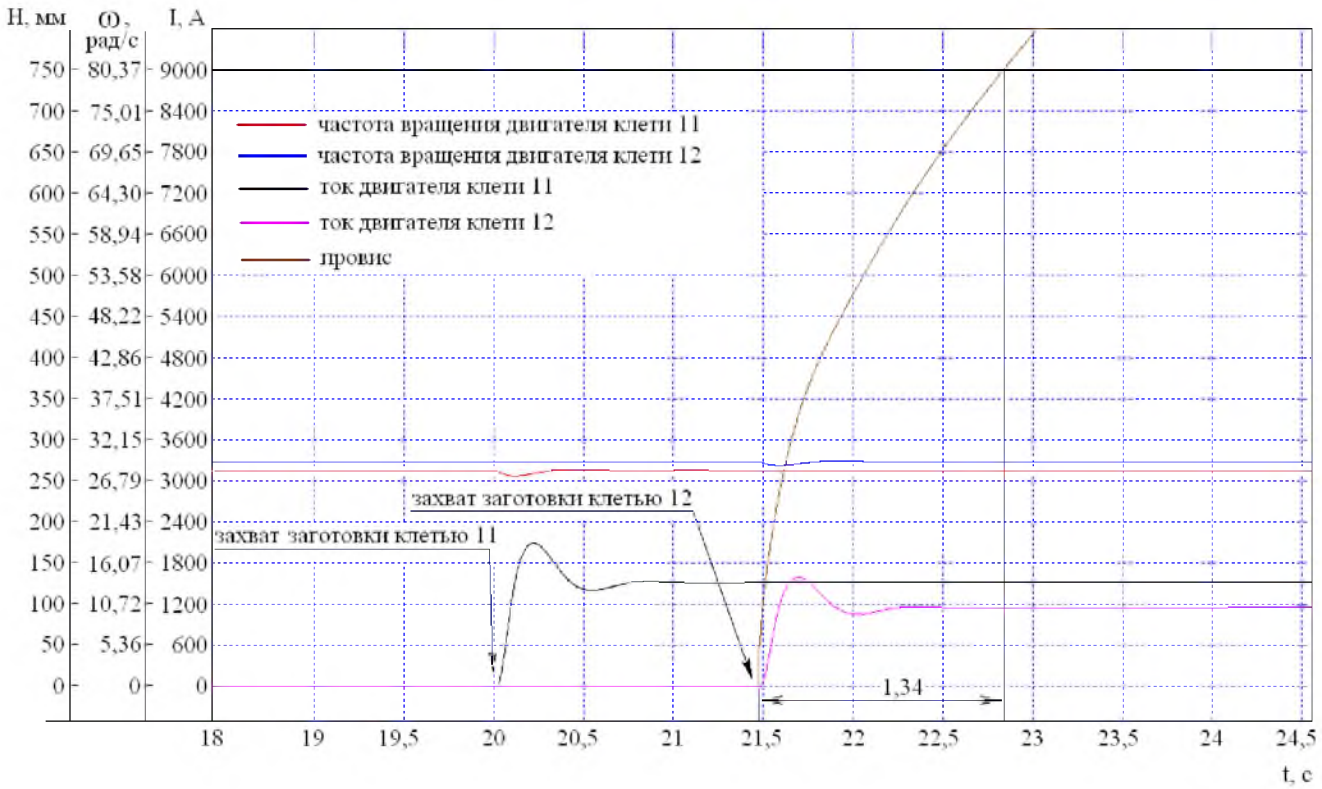


Рисунок 7.9 – Работа электроприводов и процесс роста провиса

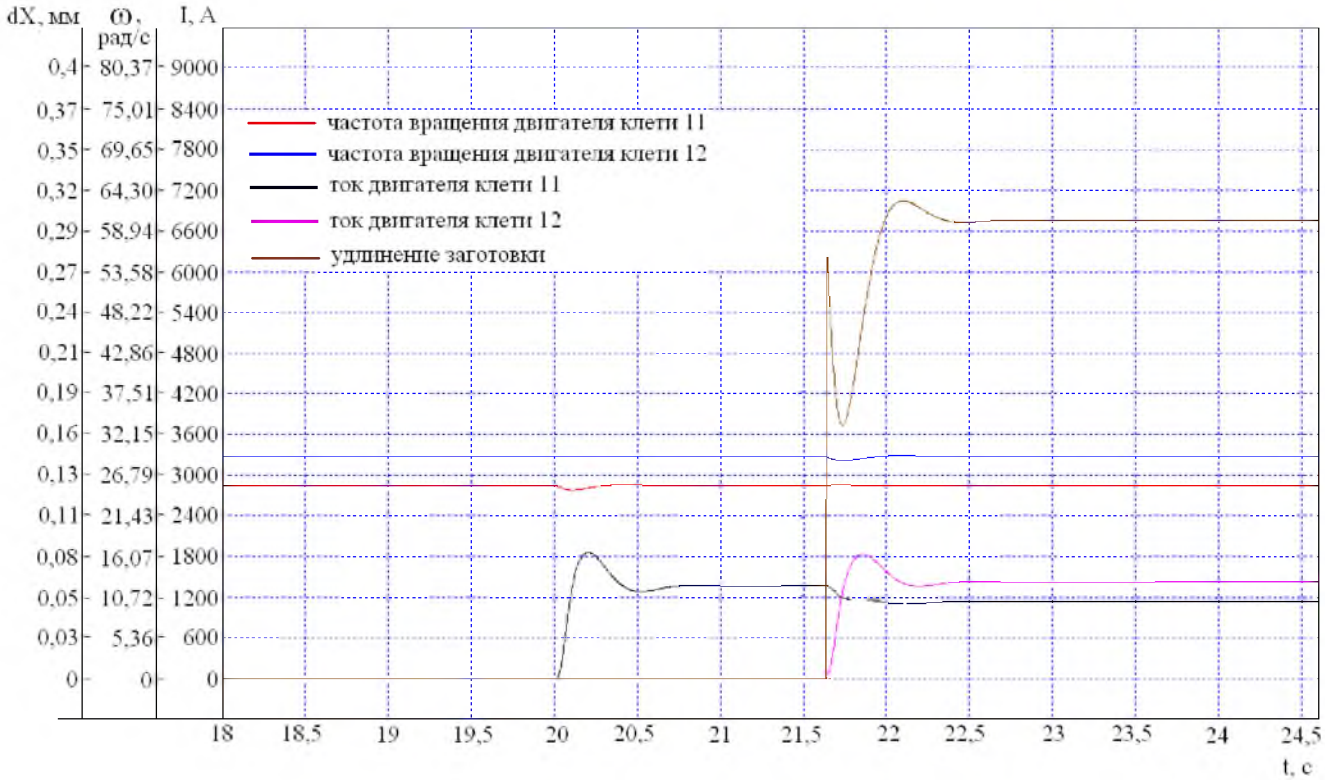


Рисунок 7.10 – Работа электроприводов и процесс удлинения заготовки

7.4.2 Система регулирования провиса петли

Математическая модель системы регулирования провиса петли, построенная в среде программы VisSim, показана на рисунке 7.11. Задачей системы является корректировка скоростного режима электроприводов прокатных клетей в зависимости от значения провиса заготовки в зоне петлеобразования. Кроме регулятора провиса в состав системы петлерегулирования входит блок управления регулятором и датчик провиса. Назначение блока управления – контроль токов двигателей прокатных клетей и в зависимости от их значений управление контуром петлерегулирования с целью исключения неуправляемого роста скорости привода во время отсутствия заготовки. На практике, во время прокатки, ток обмотки якоря главного электропривода не снижается ниже 700 А., а в момент разгона привода составляет 300 - 350 А. С учетом этих значений, уставки блока управления выбраны на уровне $0{,}02I_{кз}$ на включение регулятора и $0{,}017I_{кз}$ на отключение, что составляет 600 А и 510 А соответственно. Для исключения выключения регулятора во время переходных процессов в канал отключения

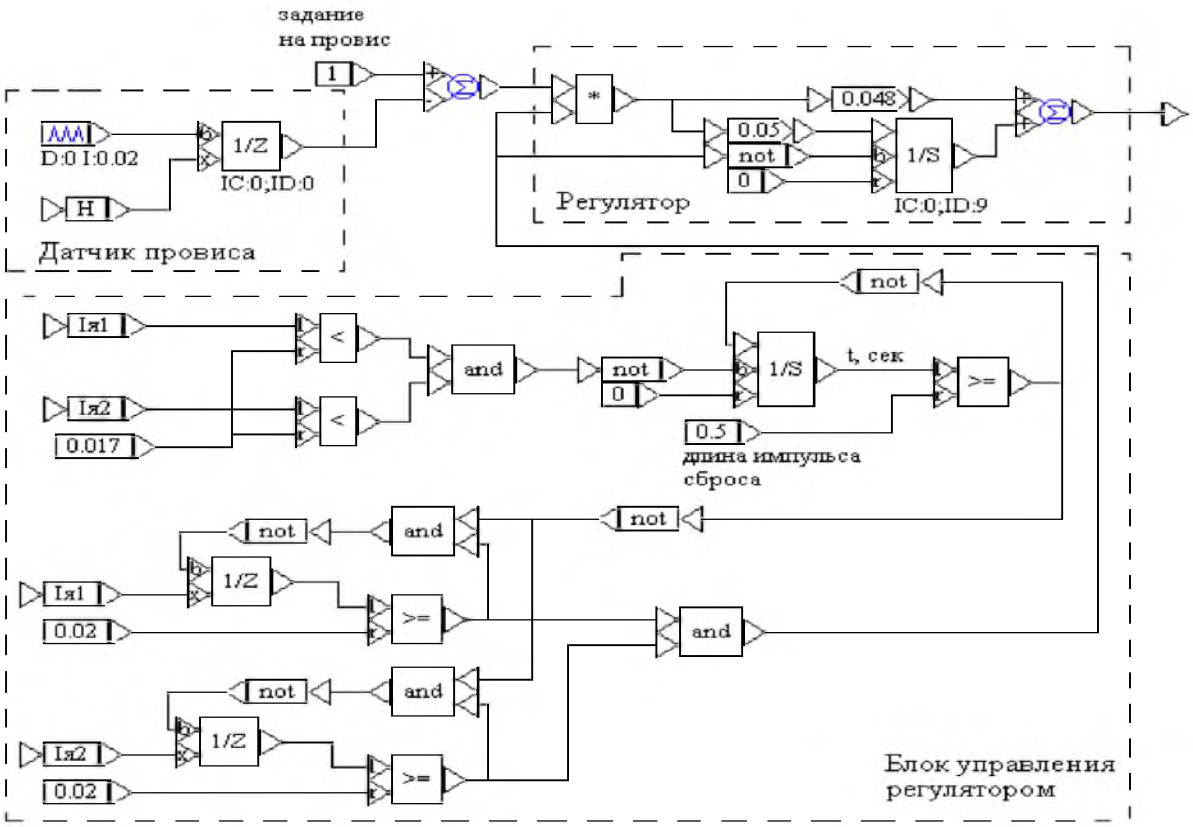


Рисунок 7.11 – Математическая модель системы петлерегулирования

введен временной фильтр, построенный на базе блока “resetIntegrator”. Данное устройство исключает отключение регулятора, если длительность отключающего сигнала на его входе менее 0,5 с.

Построенный регулятор провиса представляет собой ПИ звено. Для построения регулятора с возможностью его шунтирования, на входе установлено звено умножения, а интегральная часть регулятора построена на базе блока “resetIntegrator”. Сигнал на корректировку скоростного режима, сформированный регулятором провиса подается на вход регулятора скорости, где суммируется с напряжениями задания на скорость и датчика обратной связи по скорости. Математическая модель системы взаимосвязанных приводов показана на рисунке Б.1 в приложении Б, а принципиальная схема системы регулирования провиса представлена на рисунке В.1 в приложении В.

7.4.4 Анализ работы системы

Диаграмма изменения глубины провиса петли при ручном регулировании скоростного режима показана на рисунке 7.12. Из приведенной диаграммы видно, что стабилизация размера петли без постоянной корректировки скоростного режима невозможна.

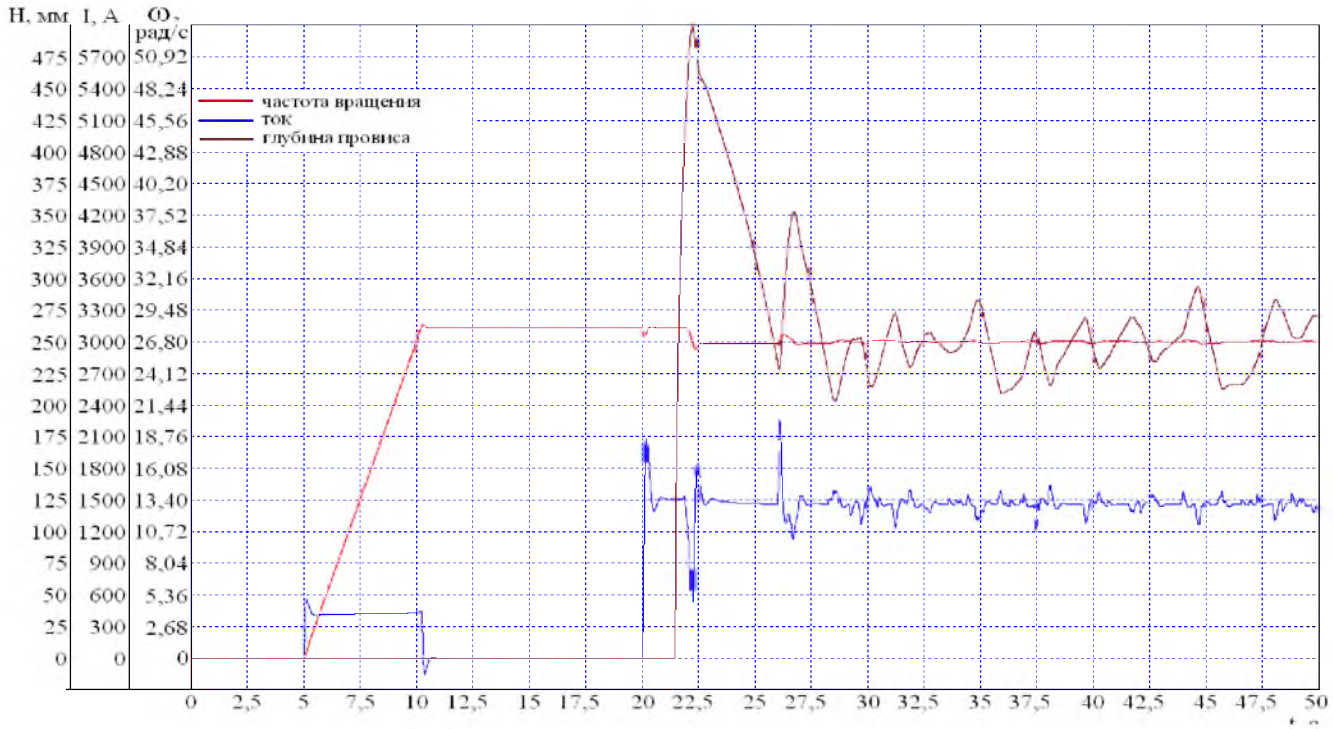


Рисунок 7.12 – Процесс ручной стабилизации глубины провиса заготовки

Диаграммы работы электроприводов и системы петлерегулирования с различными типами регуляторов скорости и глубины провиса показаны на рисунках 7.13 и 7.14. Оценивая кривые глубины провиса на рисунке 7.13, полученные при использовании ПИ регулятора глубины провиса, можно сделать вывод, о незначительном влиянии типа применяемого регулятора скорости на переходный процесс в контуре петлерегулирования. Кривые глубины провиса при использовании П регулятора провиса показаны на рисунке 7.14. При этом имеет

место зависимая от типа регулятора скорости статическая ошибка регулирования. Использование П регулятора скорости в обоих случаях исключает перерегулирование в контуре скорости. Полученные опытные данные сведены в таблицу 7.1. Оценивая время переходного процесса, время достижения максимума, а также максимальную и установившуюся глубины провиса в различных опытах, делаем вывод о применении в системе П регуляторов скорости и провиса. Данное сочетание сопровождается наименьшим временем переходного процесса, составляющим 1,07 с. и отсутствием перерегулирования в контуре скорости.

Таблица 7.1 - Результаты измерений

Регулятор скорости	Регулятор петли							
	П				ПИ			
	H_{max}, мм	$H_{уст}$, мм	$t_{пп}$, с	t_{max}, с	H_{max}, мм	$H_{уст}$, мм	$t_{пп}$, с	t_{max}, с
П	460	460	1,07	1,07	415	250	2,27	0,58
ПИ	510	510	1,30	1,30	415	250	2,56	0,36

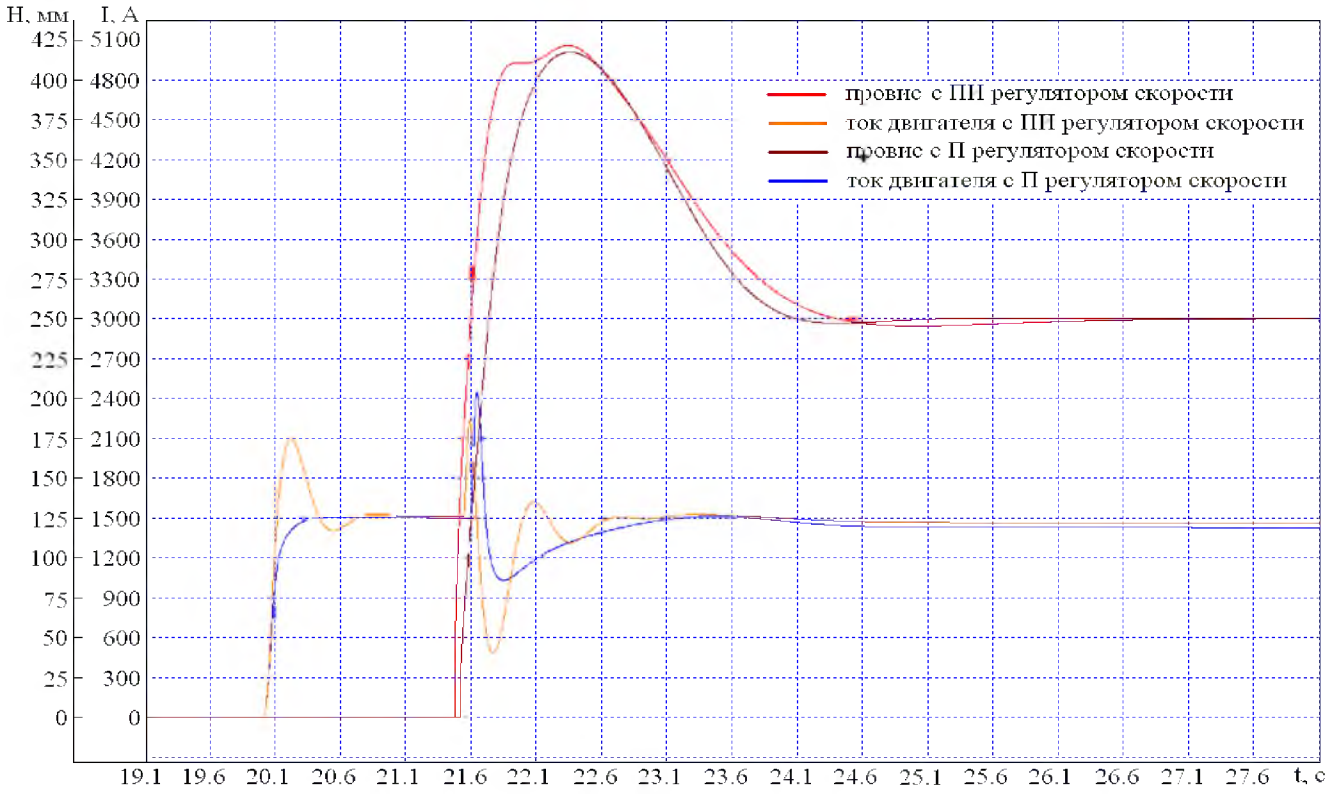


Рисунок 7.13 – Диаграммы работы электропривода с ПИ регулятором петли

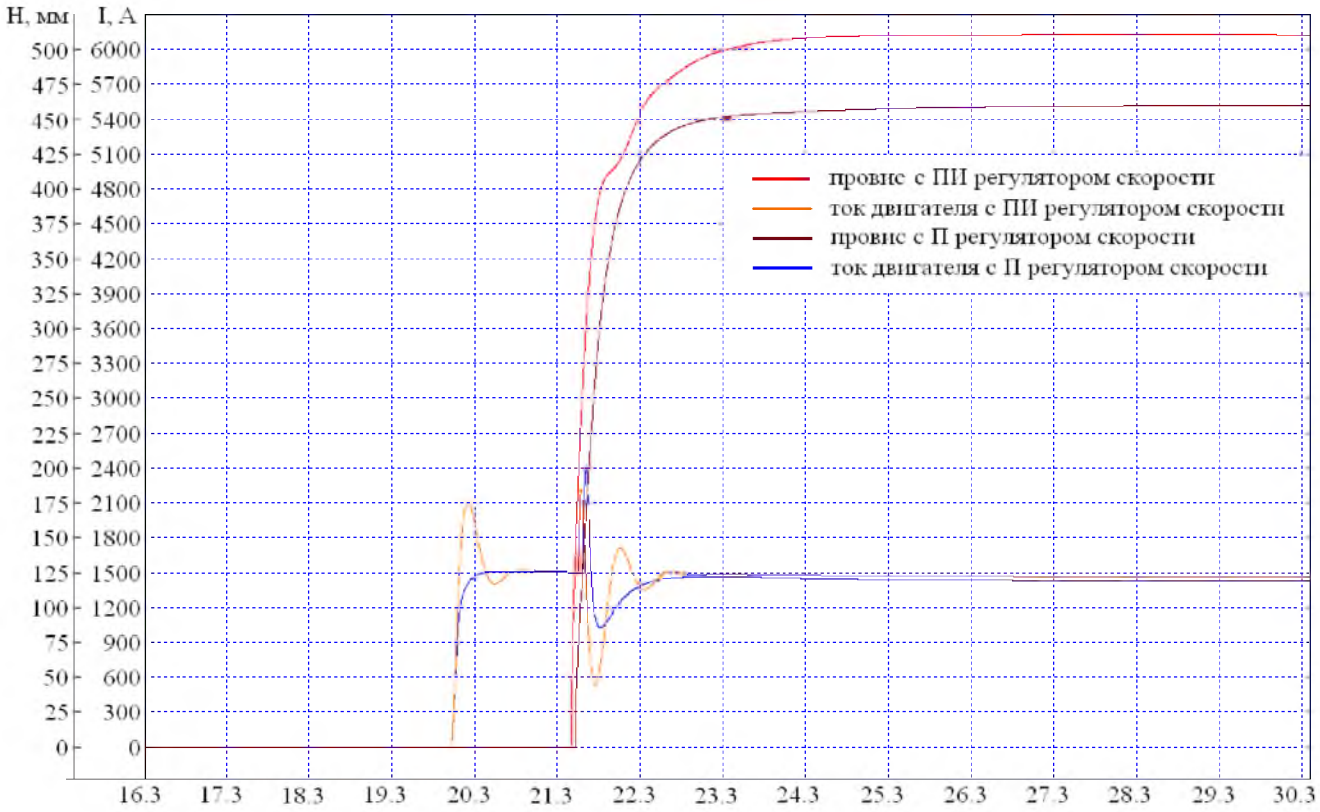


Рисунок 7.14 – Диаграммы работы электропривода с П регулятором петли

«Выводы по разделу шесть»

В данном разделе разработана расчетная схема и описана структура математической модели взаимосвязанных приводов. Также были построены математические модели блоков расчета длины заготовки, провиса петли, моментов силы натяжения, моментов силы упругости, формирования моментов, модель системы петлерегулирования, реализованные в среде программы VisSim. Построены диаграммы, где показана работа электроприводов и процесс роста провиса, работа электроприводов и процесс удлинения заготовки, процесс ручной стабилизации глубины провиса заготовки, диаграммы работы электропривода с ПИ регулятором петли и диаграммы работы электропривода с П регулятором петли.

8 ОРГАНИЗАЦИОННО – ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Основанием для проведения технико-экономического обоснования является определение экономической эффективности внедрения автоматизированной системы управления электроприводами непрерывных станов. Экономический эффект выражается в том что:

– повысится производительность за счет уменьшения рабочего цикла;

– уменьшится количество отказов оборудования, из-за ошибок оператора;

– повысится качество продукции за счет точного соблюдения технологического процесса.

В данном пункте дипломного проекта рассчитан экономический эффект от внедрения автоматизированного управления, модернизации системы управления главных приводов и увеличения производительности стана 300-2.

Расчет производим по методике, изложенной в литературе [2].

8.1 Расчет величины эксплуатационных расходов до модернизации

Величина эксплуатационных расходов, $C_{э.р.}$, руб., на функционирование оборудования по формуле:

$$C_{э.р.} = C_э + C_a + З + C_p, \qquad (8.1)$$

где $C_э$ – затраты на электроэнергию, руб.;

C_a – амортизационные отчисления, руб.;

$З$ – затраты на оплату труда, руб.;

C_p – затраты на ремонт оборудования, руб.

Затраты на электроэнергию $C_э$, руб., при эксплуатации главных электроприводов чистовой группы клетей стана по формуле:

$$C_э = \Sigma(N_i \cdot P_{эi} \cdot K_{ui} \cdot T_i \cdot C_{пi}) + C_{ноб}, \qquad (8.2)$$

где N_i – количество электроприемников одного типа;

$P_{эi}$ – паспортная мощность электроприемника, кВт;

T_i – время работы электроприемника за год, час;

$C_{пi}$ – стоимость 1 кВт· ч электроэнергии; $C_п$ = 1,94 руб.;

$C_{ноб}$ – стоимость электроэнергии, затрачиваемой на настройку клетей стана на профиль;

K_{ui} – коэффициент использования.

Время работы главного электропривода T, час. по формуле:

$$T = T_г - T_р - T_{пр}, \qquad (8.3)$$

где $T_г$ – годовой фонд времени, час.;
$T_р$ – время затрачиваемое на запланированные ремонты, час;
$T_{пр}$ – нормированное время простоев оборудования, час.

Годовой фонд времени $T_г$, час по формуле:

$$T_г = D_g \cdot T_c, \tag{8.4}$$

где D_g – число дней непрерывной работы в году; $D_g = 365$;
T_c – кол-во часов работы в сутках; $T_c = 24$.

$$T_г = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ час.}$$

Время запланированных ремонтов в году $T_р$, час по формуле:

$$T_р = T_{рм} \cdot 12, \tag{8.5}$$

где $T_{рм}$ – время, отводимое на ремонты в месяц; $T_{рм} = 48$ час.

$$T_р = 48 \cdot 12 = 576 \text{ час.}$$

Нормированное время простоев оборудования в год $T_{пр}$, час по формуле:

$$T_{пр} = \frac{k \cdot (T_г - T_р)}{100}, \tag{8.6}$$

где k – коэффициент нормированного времени простоев, %; $k = 23$.

$$T_{пр} = \frac{23 \cdot (8760 - 576)}{100} = 1882 \text{ час.}$$

Номинальный годовой фонд времени работы оборудования T, час.:

$$T = 8760 - 576 - 1882 = 6302 \text{ час.}$$

При ручном регулировании скоростного режима прокатки и прокате трудно деформируемых и уширяющихся марок сталей, в случаях возникновения переполнения или незаполнения калибров клетей, имеет место дополнительное потребление электрической энергии $C_{об.}$ На практике для настройки на профиль на этих марках стали требуется 3 – 4 настроечных заготовки. Рассматриваем лучший вариант настройки с двумя настроечными заготовками.

Затраты электрической энергии $Э_н$ на прокат двух настроечных заготовок массой 960 кг., по формуле:

$$Э_н = Э_{уд} \cdot N \cdot m, \quad (8.7)$$

где $Э_{уд}$ – удельная норма на прокат; $Э_{уд}$ = 90 кВт·ч/т;
N – количество заготовок для настройки; N = 2 шт;
m – масса заготовки; m = 960 кг.

$$Э_н = 90 \cdot 2 \cdot 960 \cdot 10^{-3} = 172{,}8 \text{ кВт·ч}$$

Стоимость электрической энергии на настройку в год $C_{об}$ по формуле:

$$C_{ноб} = Э_н \cdot N_н \cdot k \cdot C_п, \quad (8.8)$$

где $N_н$ – количество настроек в год при прокате двух различных профилей в смену; $N_н$ = 788;
k – доля проката труднодеформируемых и уширяющихся марок сталей.

$$C_{ноб} = 172{,}8 \cdot 788 \cdot 0{,}3 \cdot 1{,}94 = 79248{,}84 \text{ руб.}$$

Расчет всех затрат электрической энергии $C_э$ до модернизации представлен в таблице 8.1.

Таблица 8.1 - Расчет затрат на электрическую энергию до модернизации

Наименование потребителя	Направление потребления	$N_{пр}$, шт.	P, кВт	$K_и$	T, час	Э, кВт	$C_э$, руб
Главный привод	Прокат годного металла	4	1500	0,1	6302	3781200	7335528
Верхнее нажимное устройство	Настройка на размер	2	13,5	0,01	131,3	35,45	68,77
Нижнее нажимное устройство		2	2,2	0,01	131,3	5,77	11,2
Устройство перемещения		2	14,5	0,01	131,3	38,02	73,76
Нажимное устройство вертикальной клети		2	13,5	0,01	131,3	35,45	68,77
Механизм подъема / опускания кассеты		2	20	0,01	131,3	52,44	101,73
Теплообменник	Охлаждение преобразователей	4	5,5	0,8	6302	110915	215175,5
Дистиллятор		1	65	0,4	76,65	1993	3866,4

Окончание таблицы 8.1

Наименование потребителя	Направление потребления	$N_{пр}$, шт.	P, кВт	$K_и$	T, час	Э, кВт	$C_э$, руб
Дополнительное потребление эл. энергии	Настройка на профиль						79248,84
Итого							7634142,97

Амортизационные отчисления $C_а$, руб:

Рассматриваемое электрическое оборудование полностью самортизировано на данный момент. Амортизационные отчисления принимаются равными: $C_а$ = 0 руб.

Затраты на оплату труда ремонтного персонала *З*, руб по формуле:

$$З = N \cdot T \cdot T_з \cdot K_c \cdot K_п \cdot K_у \cdot Ф_{со}, \quad (8.9)$$

где N – количество людей задействованных в ремонте;

$Тэ_6$ – тарифная ставка электромонтера 6-го разряда; $Тэ_6$ = 49,74 руб.;

$Тр_6$ – тарифная ставка слесаря-ремонтника 6-го разряда; $Тр_6$ = 49,74 руб.;

$T_з$ – трудозатраты чел.- ч [11];

K_c – коэффициент, учитывающий дополнительную зарплату; K_c = 1,1;

$K_п$ – премия; $K_п$ = 1,8;

$K_у$ – районный (уральский) коэффициент; $K_у$ = 1,15;

$Ф_{со}$ – коэффициент, учитывающий социальные отчисления с фонда оплаты труда $Ф_{со}$ = 1,3.

Расчет затрат на оплату труда представлен в таблице 8.2.

Таблица 8.2 - Расчет оплаты труда ремонтного персонала

Наименование оборудования	Персонал	Трудозатраты чел.-ч	Количество ед. оборудования	Количество ремонтов в год	Затраты, руб
Тиристорный преобразователь	электрик	17	4	3	30036,01
Верхнее нажимное устройство	электрик механик	3	2	4	3533,65
Нижнее нажимное устройство	электрик механик	1,6	2	4	1884,61

Окончание таблицы 8.2

Наименование оборудования	Персонал	Трудозатраты чел.-ч	Количество ед. оборудования	Количество ремонтов в год	Затраты, руб
Устройство перемещения	электрик механик	3	2	4	3533,65
Нажимное устройство вертикальной клети	электрик механик	3	2	4	3533,65
Теплообменник	электрик механик	2,1	8	4	9894,21
Дистиллятор	электрик механик	4,7	1	2	1384,01
Итого					53799,79

Затраты на текущий ремонт технических средств:

$$C_р = C_{об} \cdot K_{р1}\ , \qquad (8.10)$$

где $C_{об}$ – стоимость оборудования;

$K_{р1}$ – коэффициент определяющий затраты на ремонт электрической и механической части до модернизации, $K_{р1}$ = 50 %.

$$C_р = 1400000 \cdot 0{,}5 = 700000 \text{ руб.}$$

Годовые текущие затраты до модернизации $C_{э.р.1}$, руб:

$$C_{э.р.1} = 7634142{,}97 + 53799{,}79 + 700000 = 8387942{,}76 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты до модернизации по формуле:

$$З_1 = C_{э.р.1}, \qquad (8.11)$$

где $C_{э.р.1}$ – годовые текущие затраты на подготовку производства, руб;

$З_1$ = 8387942,76руб.

8.2 Расчет величины капитальных затрат на модернизацию

Величина капитальных затрат на модернизацию главных приводов чистовой группы клетей стана 300-2:

$$З_к = C_{об\ ит} + C_м + C_{тр} + C_{нал} - Д_р, \quad (8.12)$$

где $C_{об\ ит}$ – стоимость устанавливаемого оборудования, руб.;
$C_м$ – стоимость монтажа и установки оборудования руб.;
$C_{нал}$ – стоимость пусконаладочных работ, руб.;
$C_{тр}$ – стоимость транспортных расходов, руб.;
$Д_р$ – доход от реализации демонтируемых компонентов, руб.

Стоимость с учетом НДС и количество единиц приобретаемого оборудования представлены в таблице 8.3.

Таблица 8.3 - Оборудование для модернизации

Обозначение изделия	Наименование изделия	Количество, шт.	Стоимость единицы, руб
ТВР4 – 2500/1050	Тиристорный преобразователь	4	350000
Итого:			1400000

Итоговая стоимость оборудования $C_{об\ ит}$, руб. по формуле:

$$C_{об} = C_1 + C_2, \quad (8.13)$$

где C_1 – стоимость приобретаемого электрооборудования;

C_2 – стоимость неучтенного электрооборудования.

В соответствии с [12], C_2 принята в размере 20 % от стоимости устанавливаемого оборудования:

$$C_2 = C_1 \cdot 0{,}2 = 1400000 \cdot 0{,}2 = 280000 \text{ руб.} \quad (8.14)$$

Итоговая стоимость оборудования:

$$C_{об\ ит} = C_1 + C_2 = 1400000 + 280000 = 1680000 \text{ руб.}$$

Стоимость монтажа и установки оборудования, $C_м$, руб. по формуле:

$$C_м = C_{об\ ит} \cdot K_м, \quad (8.15)$$

где $K_м$ – коэффициент, величина которого принята в соответствии с [12] в размере 9% от $C_{об\ ит}$.

$$C_м = C_{об\ ит} \cdot K_м = 1680000 \cdot 0{,}09 = 151200 \text{ руб.}$$

Стоимость наладочных работ согласно "Прейскурант на экспериментальные, пусконаладочные и другие работы на установках" («Наладка управляемых выпрямительных устройств током выше 1000 А») - 6750 руб. Учитывая, что данный прейскурант был выпущен в 1990 году, приблизительно определить стоимость наладочных работ можно, умножая исходную цифру прейскуранта на поправочные коэффициенты:

$$C_{нал} = C_н \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot N, \qquad (8.16)$$

где $C_н$ – стоимость наладочных работ согласно прейскуранта;
K_2 – коэффициент учитывающий увеличение цены с 1990 по 2009 год;
K_3 – коэффициент учитывающий увеличение цены с 2009 по 2016 год;
N – количество единиц электрооборудования подлежащих наладке.

$$C_{нал} = 6750 \cdot 4{,}05 \cdot 6{,}3 \cdot 4 = 688905 \text{ руб.}$$

Транспортные расходы включают в себя затраты по доставке комплектующих от производителя продукции до потребителя. В целом — это затраты по заработной плате водителям транспорта, складским рабочим, занятым на погрузке (выгрузке) материалов и оборудования, затраты на горюче-смазочных материалы и командировочные расходы.

Транспортные расходы, $C_{тр}$, руб. составляют 5 - 15 % от стоимости приобретаемого оборудования. Принимаем транспортные расходы в размере 5 %.

$$C_{тр} = 0{,}1 \cdot C_{об\ ит}, \qquad (8.17)$$

$$C_{тр} = 0{,}05 \cdot 1680000 = 84000 \text{ руб.}$$

Для демонтажа электрического и механического оборудования стана 300-2, согласно [12], необходимо задействовать четырех рабочих шестого разряда в течение 1 смены. Затраты на демонтаж оборудования $З_д$, руб. по формуле:

$$З_д = (K_p \cdot Тэ_6 + K_p \cdot Тр_6) \cdot T_c \cdot K_c \cdot K_п \cdot K_у \cdot Ф_{со}, \qquad (8.18)$$

где K_p – число рабочих занятых в демонтаже оборудования;
$Тэ_6$ – тариф электромонтера 6-го разряда; $Тэ_6$ = 49,74 руб.;
$Тр_6$ – тариф слесаря-ремонтника 6-го разряда; $Тр_6$ = 49,74 руб.;
T_c – количество часов в смене (ремонтный персонал работает по восьмичасовому графику); T_c = 8;
K_c – коэффициент, учитывающий дополнительную зарплату; K_c = 1,1;
$K_п$ – коэффициент премии; $K_п$ = 1,8;
$K_у$ – районный коэффициент; $K_у$ = 1,15;

$Ф_{со}$ – коэффициент учитывающий социальные отчисления с фонда оплаты труда, принимается $Ф_{со}$ = 1,3.

Затраты на демонтаж оборудования составят:

$$З_д = (3 \cdot 49{,}74 + 1 \cdot 49{,}74) \cdot 8 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}8 \cdot 1{,}15 \cdot 1{,}3 = 4711{,}53 \text{ руб.}$$

Доход от реализации демонтируемого оборудования стана, $Д_р$ руб.:

$$Д_р = Р_{су} - З_д , \qquad (8.19)$$

где $Р_{су}$ – остаточная стоимость демонтируемого оборудования стана, руб;

Ввиду того, что оборудование, подлежащее демонтажу, находится в эксплуатации с 1978 года, и нормативный срок его эксплуатации истек, остаточная стоимость оборудования может быть рассчитана как стоимость металлического лома.

Остаточная стоимость оборудования $Р_{су}$, руб.:

$$Р_{су} = m_{мет} \cdot С_{мет} + m_{мед} \cdot С_{мед} , \qquad (8.20)$$

где $m_{мет}$ – масса черного лома в демонтируемом оборудовании, кг [6];
$С_{мет}$ – цена за один килограмм металлолома, $С_{мет}$= 20,5 руб/кг
$m_{мед}$ – масса медного лома в оборудовании, кг [6];
$С_{мед}$ – цена за один килограмм меди, $С_{мед}$ = 120,5 руб/кг.

$$Р_{су} = 7200 \cdot 20{,}5 + 800 \cdot 120{,}5 = 244000 \text{ руб.},$$

$$Д_р = 244000 – 4711{,}53 = 239288{,}47 \text{ руб.}$$

Сумма капитальных затрат $З_к$, руб:

$$З_к = 1680000 + 151200 + 84000 + 688905 – 239288{,}47 = 2364816{,}53 \text{ руб.}$$

8.3 Расчет эксплуатационных затрат в проектном варианте

Затраты на оплату труда ремонтного персонала $З$, руб. определяются по формуле 8.9. Расчет затрат в проектном варианте сведен в таблицу 8.4.

Таблица 8.4 - Расчет оплаты труда ремонтного персонала в проектном варианте

Наименование оборудования	Персонал	Трудозатраты чел.-ч	Количество ед. оборудования	Количество ремонтов в год	Затраты, руб
Тиристорный преобразователь	электрик	17	4	3	30036,01
Верхнее нажимное устройство	электрик механик	3	2	4	3533,65
Нижнее нажимное устройство	электрик механик	1,6	2	4	1884,61
Устройство перемещения	электрик механик	3	2	4	3533,65
Нажимное устройство вертикальной клети	электрик механик	3	2	4	3533,65
Дистиллятор	электрик механик	4,7	1	2	1384,01
Итого					43905,58

Затраты электрической энергии $Э_н$ на прокат одной настроечной заготовки массой 960 кг. по формуле 8.7:

$$Э_н = 90 \cdot 1 \cdot 960 \cdot 10^{-3} = 86{,}4 \text{ кВт·ч}$$

Затраты электрической энергии на настройку в год $C_{ноб}$ по формуле 8.8:

$$C_{ноб} = 86{,}4 \cdot 788 \cdot 0{,}3 \cdot 1{,}94 = 39624{,}42 \text{ руб.}$$

Расчет всех затрат электрической энергии $C_э$ после проведения модернизации представлен в таблице 8.5.

Таблица 8.5 - Расчет затрат на электрическую энергию после модернизации

Наименование потребителя	Направление потребления	$N_{пр}$, шт.	P, кВт	$К_и$	T, час	Э, кВт	$С_э$, руб
Главный привод	Прокат годного металла	4	1500	0,1	6302	3781200	7335528
Верхнее нажимное устройство	Настройка на размер	2	13,5	0,01	131,3	35,45	68,77
Нижнее нажимное устройство		2	2,2	0,01	131,3	5,77	11,2

Окончание таблицы 8.5

Наименование потребителя	Направление потребления	$N_{пр}$, шт.	P, кВт	$К_и$	T, час	Э, кВт	$С_э$, руб
Устройство перемещения	Настройка на размер	2	14,5	0,01	131,3	38,02	73,76
Нажимное устройство вертикальной клети		2	13,5	0,01	131,3	35,45	68,77
Механизм подъема / опускания кассеты		2	20	0,01	131,3	52,44	101,73
Дистиллятор	Охлаждение преобразователей	1	65	0,4	76,65	1993	3866,4
Дополнительное потребление эл.энергии	Настройка на профиль						39624,42
Итого							7379343,05

Амортизационные отчисления $С_а$, руб по формуле:

$$C_a = C_1 \cdot K_1 + C_2 \cdot K_2 , \qquad (8.21)$$

где C_1 – стоимость покупного электрического оборудования; руб.;
C_2 – стоимость неучтенного оборудования; руб.;
K_1 – коэффициент амортизационных отчислений на устанавливаемое оборудование; K_1 = 12%;
K_2 – коэффициент амортизационных отчислений на неучтенное оборудование; K_2 = 12,5 % .

$$C_a = 1400000 \cdot 0,12 + 280000 \cdot 0,125 = 203000 \text{ руб.}$$

Затраты на текущий ремонт технических средств:

$$C_p = З_к \cdot K_{p2} , \qquad (8.22)$$

где $З_к$ – сумма капитальных затрат на модернизацию стана, руб.;
K_{p2}– коэффициент затрат на ремонт, после модернизации; K_{p2} = 5%.

$$C_p = 2364816,53 \cdot 0,05 = 118240,83 \text{ руб.}$$

Годовые текущие затраты по проектному варианту $C_{э.р.2}$, р по формуле 8.1:

$$C_{э.р.2} = 7379343,05 + 203000 + 43905,58 + 118240,83 = 7744489,46 \text{ руб.}$$

Величина приведенных затрат после модернизации по формуле:

$$З_2 = C_{э.р.2},$$

где $C_{э.р.2}$ – годовые текущие затраты на подготовку производства в проектном варианте, руб;

$$З_2 = 7744489{,}46 \text{ руб.}$$

8.4 Экономический эффект

Экономический эффект, Э, руб.:

$$Э_2 = \Delta S - \Delta K \cdot e_н; \quad (8.23)$$

$$\Delta S = S_1 - S_2 = 8387942{,}76 - 7744489{,}49 = 643453{,}27 \text{ руб.};$$

$$\Delta K = \frac{e_н}{\Delta S} = \frac{0{,}15}{643453{,}27} = 2{,}33 \text{ руб.};$$

$$Э_2 = 643453{,}27 - 2{,}33 \cdot 0{,}15 = 643452{,}92 \text{ руб.};$$

Срок окупаемости $T_{ок}$, год по формуле:

$$T_{ок} = \frac{\Delta K}{Э}, \quad (8.24)$$

где ΔK - капитальные вложения, руб.

$$T_{ок} = \frac{2{,}3}{643452{,}92} = 3{,}57 \text{ лет}$$

Таблица 8.6 – Сравнительный анализ модернизации главных приводов стана

Показатель	Размерность	Базовый вариант	Проектный вариант	Рост (+) Снижение (-)
Капитальные затраты	руб.	–	2364816,53	+ 2364816,53
Эксплуатационные затраты:	руб.	8387942,76	7744489,46	- 643453,3
– затраты на электроэнергию	руб.	7634142,97	7379343,05	- 254799,92
– затраты на оплату труда с учетом начислений	руб.	53799,79	43905,58	- 9894,21
– амортизационные отчисления	руб.	0	203000	+ 203000
– затраты на содержание и ремонт оборудования	руб.	700000	118240,83	- 581759,17
Годовой экономический эффект	руб.	–	643452,92	–
Срок окупаемости	лет	–	3,57	–

«Выводы по разделу восемь»

Таким образом годовой экономический эффект от модернизации системы управления главных приводов стана 300-2 составляет в сумме 643452,92 рублей и все затраты окупятся за 3,57 лет.

9 ОХРАНА ТРУДА

9.1 Краткое описание производственного участка

Прокатный цех №1 является сложной структурной единицей ЧМК. Цех относится к группе передельных цехов, и предназначен для производства различных марок катаной стали для дальнейшей обработки в других цехах предприятия и продукции готовой для отправки заказчику.

Среди множества различных участков цеха можно выделить четыре основных:

- участок зачистки и складирования заготовки;
- участок нагревательных печей;
- участок стана 300-2;
- участок адъюстажа.

На участке зачистки и складирования заготовки производится завоз железнодорожным транспортом и складирование заготовки укладкой в штабели с помощью магнитных кранов. Перед назначением в прокат металл проходит проверку на наличие поверхностных дефектов, которые устраняются на участках огневой зачистки и на зачистных станках при помощи абразивного инструмента. После удаления дефектов заготовка, в соответствии с программой проката, укладывается на рольганг для транспортировки к нагревательным печам.

На участке нагревательных печей заготовка постепенно, проходя всю длину печи с помощью шагающего пода, нагревается до необходимой температуры (750 – 1280 C^o). После нагрева металл извлекается из нагревательных печей и транспортируется при помощи цепных шлепперов на первую линию проката стана 300-2.

На стане металл подвергается пластической деформации путем обжатия в прокатных валках клетей и принимает в итоге готовый профиль. После прохождения через прокатные клети раскат транспортируется либо на холодильник и затем разрезается на мерные длины при помощи ножниц холодной резки, либо отправляется на участок четырех пил, где также разрезается на мерные длины в нагретом состоянии.

Следующими этапами технологической цепи являются охлаждение металла и окончательная обработка на участке адъюстажа при помощи правильных машин и токарных станков. Здесь же металл проходит ультразвуковой контроль на предмет наличия внутренних дефектов, взвешивание и погрузку в железнодорожный транспорт для отправки заказчику.

В цехе, осуществляющем деятельность по производству готового проката, обработке и отправке заказчику металла, организовывается круглосуточное оперативное управление оборудованием, задачами которого являются:

- ведение требуемого режима работы;

- производство переключений, пусков и остановов;
- локализация аварий и восстановление режима работы;
- планирование и подготовка к производству ремонтных работ.

Оперативное управление осуществляет оперативный персонал. Управление всеми агрегатами производится в специальных помещениях магнитных станций и машинных залах.

Управление режимом работы тепловых энергоустановок организовывается на основании планов проката.

9.2 Анализ производственных и экологических опасностей

В прокатном цехе №1 ЧМК имеются следующие источники опасностей:
- электроустановки напряжением до и выше 1000В;
- электроустановки заполненные маслом (трансформаторы и и высоковольтные выключатели);
- грузоподъемные краны;
- железнодорожный и автомобильный транспорт;
- оборудование, работающее на природном газе;
- вращающиеся и движущиеся части технологического оборудования.

На персонал, работающий в цехе, действуют следующие опасные и вредные производственные факторы:

а) вредные производственные факторы:
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень инфракрасного излучения;
- повышенный уровень вибрации в районах работы вентиляторов;
- повышенная запыленность и загазованность окружающей среды;
- недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень электромагнитного поля;

б) опасные производственные факторы:
- вращающиеся части машин и механизмов;
- повышенное напряжение в электрической цепи;
- процессы перемещения грузов грузоподъемными кранами.

Источниками шума в прокатном цехе №1 ЧМК являются работающие электрические машины и аппараты, а также технологическое оборудование. Шум создаваемый вышеуказанными агрегатами является широкополосным, длительным. Шум отрицательно влияет на организм человека, и в первую очередь на центральную нервную и сердечно-сосудистую систему. Длительное воздействие шума снижает остроту слуха и зрения, повышает кровяное давление, утомляет центральную нервную систему, в результате чего ослабляется внимание, увеличивается количество

ошибок в действиях работающего. Нормирующие параметры шума определены ГОСТ 12.1.003–83.

9.3 Мероприятия по охране труда

9.3.1 Организационные и правовые вопросы охраны труда

Работники, принимаемые для выполнения работ, должны иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы. При отсутствии профессиональной подготовки работники должны быть обучены в специализированных центрах подготовки персонала. Электротехнический персонал до допуска к самостоятельной работе должен быть обучен приемам освобождения пострадавшего от действия электрического тока. Оказания первой медицинской помощи при несчастных случаях.

Персонал, обслуживающий электрооборудование главных приводов стана 300-2, должен пройти проверку знаний нормативно-технических документов в пределах требований, предъявляемых к соответствующей должности или профессии, и иметь соответствующую группу по электробезопасности. Работнику, прошедшему проверку знаний, выдается удостоверение соответствующей формы, в которое вносятся результаты проверки знаний.

Для обеспечения безопасности производства работ по обслуживанию, ремонту и наладке оборудования правилами предусмотрены специальные организационные и технические мероприятия:

а) организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работы в электроустановках:
   1) Оформление работы нарядом-допуском (далее нарядом), распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
   2) Выдача разрешения на подготовку рабочего места и допуск к работе; надзор во время работы;
   3) Оформление перерыва в работе, переводов на другое рабочее место, окончание работы;
   4) закрытие наряда.

б) технические мероприятия:
   1) Отключение напряжения;
   2) Установка ограждений;
   3) Вывешивание плакатов;
   4) Проверка отсутствия напряжения;
   5) Установка защитного заземления.

Все токоведущие части электроустановки, на которых будет производиться работа, должны быть отключены [8]. Также необходимо отключить все токоведущие части, к которым возможно случайное прикосновение или приближение работающих.

После отключения напряжения необходимо принять меры, препятствующие самопроизвольной подаче напряжения на электроустановку. Для этого производится отключение оперативных цепей (цепей управления) выключателей, а приводы разъединителей запираются на замок.

На всех приводах выключателей и разъединителей, на ключах управления, с помощью которых напряжение может быть подано к месту работ, вывешиваются плакаты «Не включать − работают люди». У места предназначенного для выполнения работ, после окончания его подготовки помещаются плакаты «Работать здесь».

После проверки отсутствия напряжения на токоведущих частях устанавливается защитное заземление. В камерах выключателей включаются заземляющие устройства и вывешиваются плакаты «Заземлено».

9.3.2 Мероприятия по предупреждению опасности поражения электрическим током

Для обеспечения защиты людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, выполняется заземление.

Внутренняя сеть заземления выполнена в виде магистралей заземления, проложенных во всех помещениях рассматриваемой электроустановки. С заземлителями внутренняя сеть соединяется в нескольких местах. Магистрали заземления выполнены стальными полосами сечением не менее 24 мм^2, при толщине не менее 4 мм. Все соединения заземляющих проводников между собой и с заземлителем выполняются сваркой.

Каждый заземляющий элемент установки присоединяется к заземлителю при помощи отдельного ответвления.

К кожухам электрооборудования заземляющие проводники присоединяются при помощи болтов или сварки.

9.3.3 Мероприятия по защите от вращающихся и перемещающихся частей оборудования.

Для исключения травмирования персонала цеха путем контакта с вращающимися и движущимися частями технологического и грузоподъемного оборудования в цехе предусмотрен ряд технических и организационных мер. В качестве технических мер, предупреждающих контактирование персонала с движущимися и вращающимися частями оборудования, является наличие защитных кожухов на всех вращающихся частях, наличие ограждений оборудования снабженных концевыми выключателями. При попытке открыть дверцу ограждения система управления останавливает технологический процесс и тем самым защищает персонал от травмирования. Концевыми выключателями снабжены также кожухи дисков пил для исключения запуска последних во время смены дисков или других мероприятий по обслуживанию данного оборудования. В качестве технических средств защиты также применяются ключи-бирки, которыми

снабжены все технологические агрегаты цеха и исключающие возможность несанкционированного запуска агрегата.

Организационные меры представлены в виде требований общезаводских и внутрицеховых инструкций по охране труда. Данные инструкции регламентируют действия персонала при проведении работ на конкретном технологическом оборудовании, перемещении его по цеховой и заводской территории, указывают на применение средств индивидуальной защиты. Другим видом организационных мер является наряд-допуск. Наряд-допуск представляет собой документ, дающий право на допуск, проведение и окончание работ по обслуживанию оборудования. В наряде указываются все технические и организационные меры, которые необходимо выполнить перед допуском на рабочее место, перечисляются все лица, которым предстоит выполнять ремонтные работы, а также делаются отметки об инструктажах проведенных перед выполнением работ.

9.4 Выбор нормативных значений, факторов рабочей среды и трудового процесса

Технологический процесс на участке стана 300-2 является источником инфракрасного излучения, так как связан с нагревом заготовки до температур значительно превышающих температуру окружающей среды. Источником излучения являются и части технологических агрегатов непосредственно контактирующих с нагретой заготовкой. Инфракрасные лучи оказывают на организм человека тепловое воздействие. Тепловое излучение коротковолнового диапазона от 0,76 до 1,5 мкм проникает в ткани и разогревает их, вызывая быструю утомляемость, понижение внимания и, возможно, тепловой удар. Длинноволновые лучи более 1,5 мкм в ткани не поникают и поглощаются в основном кожей, могут вызвать ожог кожи и глаз. Время пребывания в зоне теплового излучения лимитируется в первую очередь температурой кожи, болевое ощущение появляется при температуре от 40 до 45° С. Интенсивность теплового облучения при работе на постоянных и не постоянных рабочих местах - не менее 35 Вт/м^2 при облучении 50 % поверхности тела человека и 100 Вт/м^2 при облучении 25 % поверхности тела. Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников тепла (нагретого металла) - не менее 140 Вт/м^2, обязательно использование средств индивидуальной защиты.

Кроме описанных выше вредных и опасных производственных факторов имеют место также статические и динамические физические перегрузки, возникающие при проведении работ по монтажу и обслуживанию электрооборудования, нервно-психические перегрузки – умственное перенапряжение, переутомление, перенапряжение анализаторов слуха и зрения, монотонность труда, эмоциональные нагрузки, которые свойственны персоналу, работающему с ПК.

При проведении работ в электроустановках прокатного цеха №1 необходимо обеспечить соблюдение санитарных норм допустимых уровней освещенности, шума, и напряженности электромагнитного поля в соответствии с санитарными

нормами. Согласно действующих в цехе санитарных норм освещенность рабочих мест - не ниже 200 лк.

Нормирование уровня шума на рабочих местах осуществляется согласно ГОСТ 12.1.003 – 83 и санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Источником шума в прокатном цехе №3 являются машинные агрегаты станки и насосные агрегаты. Уровень шума в прокатном цехе №1 составляет 72 ДбА при норме 75 ДбА.

9.5 Производственная санитария

Проводятся профилактические мероприятия, направленные на предупреждение возникновения заболеваний работающих в производственных помещениях. Осуществляется контроль за условиями труда и отдыха и выполнением мер коллективной и индивидуальной защиты работающих от неблагоприятного воздействия микроклимата.

9.5.1 Расчет освещения

Расчет освещения проводится согласно методики описанной в [9].

Принятое количество рядов светильников: 2.

Расстояние между рядами светильников L, м по [9, стр. 122]:

$$L = B - 2 \cdot l, \tag{6.1}$$

где B – ширина машзала , м; B = 24 м;

l – расстояние от стены помещения до оси освещения, l = 0,5L.

$$L = B - 2 \cdot 0{,}5 \cdot L, \tag{6.2}$$

$$L = \frac{B}{2} = \frac{24}{2} = 12 \text{ м}$$

Классификационная группа светильников по [9, стр. 122] исходя из отношения L/H, где H – расстояние от светильника до освещаемой поверхности, H = 12 м:

$$\frac{L}{H} = \frac{12}{12} = 1 \tag{6.3}$$

Группа светильников: Д3.

Примененный тип светильников: РСП05-1000. КПД выбранного светильника $\eta_{св}$ = 0,8.

Коэффициент использования светового потока η по [9, стр. 123]:

$$\eta = \eta_{св} \cdot \eta_{пом}, \tag{6.4}$$

где $\eta_{пом}$ – КПД помещения по [9, таб. 52]; $\eta_{пом} = 0{,}72$.

$$\eta = 0{,}8 \cdot 0{,}72 = 0{,}576$$

Световой поток 1 ряда светильников по [9, стр. 123]:

$$\Phi = \frac{E_н \cdot k_s \cdot A \cdot B \cdot z}{N \cdot \eta}, \tag{6.5}$$

где $E_н$ – нормативная освещенность в помещении, $E_н = 200$ лк;
k_s – коэффициент запаса по [9, таб. 55] для газоразрядных ламп, $k_s = 1{,}8$;
A – длина производственного помещения, $A = 144$ м;
B – ширина производственного помещения, $B = 24$ м;
z – коэффициент неравномерности освещения для ламп ДРЛ, $z = 1{,}15$;
N – количество рядов светильников в помещении, $N = 2$.

$$\Phi = \frac{200 \cdot 1{,}8 \cdot 144 \cdot 24 \cdot 1{,}15}{2 \cdot 0{,}576} = 1242000 \text{ лм}$$

Определятся количество светильников в ряду при использовании ламп типа ДРЛ – 1000 по [9, стр. 123]:

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_{уд} \cdot P_н}, \tag{6.6}$$

где $\Phi_{уд}$ – удельный световой поток ламп ДРЛ, $\Phi_{уд} = 50$ лм/Вт;
$P_н$ – мощность примененной в светильниках лампы, $P_н = 1000$ Вт.

$$\text{n} = \frac{1242000}{50 \cdot 1000} = 24{,}84 \text{ шт}$$

Принимаем n = 25 шт.

9.5.2 Воздействие шума и вибрации на человека

Под влиянием шума снижается острота зрения, происходят изменения в вестибулярном аппарате, нарушаются функции желудочно-кишечного тракта,

повышается внутреннее давление, происходят нарушения в обменных процессах организма.

Шум особенно прерывистый, импульсный, ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации, приводит к снижению производительности труда, повышенной утомляемости, создает предпосылки для возникновения несчастных случаев.

Шум возникает в результате плохой балансировки, центровки, неуравновешенности роторов, муфт, маховиков и других вращающихся деталей и вследствие неплотного крепления деталей и перекосов, недостаточной смазки. Обслуживающий персонал обязан тщательно следить за исправностью и нормальной работой оборудования, вовремя устранять подобные неполадки, которые к тому же могут явиться причиной аварии.

В число основных мер по предотвращению воздействия шума на персонал входят комплексная автоматизация и дистанционное управление технологическими процессами, вызывающих шум.

Для ограничения распространения шума используют звукоизолирующие кожухи, полы, стены, перекрытия. Стены помещений, где размещаются вызывающие шум агрегаты, не рекомендуется окрашивать масляной краской и облицовывать метлахской плиткой, так как это увеличивает отражение звука. В таких помещениях используют акустическую штукатурку, акустическую черепицу, войлок, стекловолокно.

При эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочего места применяются средства и методы коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029. А также применяются средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051

Для предотвращения воздействия шума, на обслуживающий персонал предусмотрено звукоизоляционное помещение дежурных электриков.

В прокатном цехе №1 вибрация конструкций, так же как и шум вредно действуют на человека. Длительное воздействие вибрации приводит к развитию вибрационной болезни – стойкому нарушению некоторых физиологических функций организма человека. При вибрационной болезни наблюдаются изменение сердечной деятельности, общее возбуждение или торможение и ухудшение общего состояния.

Вибрация влияет на костно-суставный аппарат, мышцы, периферийное кровоснабжение, слух, зрение. В тяжелых случаях развивается атрофия мышц, трофические явления, поражение мозга которое приводит к вестибулярным нарушениям иногда к эпилепсии. Особенно опасны вибрации, частоты которых имеют значения кратные собственным частотам, характерным для деятельности внутренних органов человеческого организма (6 – 9 Гц). Подобные колебания могут вызвать тяжелые поражения внутренних органов.

Локальные вибрации вызывают спазмы сосудов в конечностях, соприкасающихся с источником вибрации. Постепенно влияние этих местных воздействий распространяется на центральную нервную систему, вызывая в ней изменения, характерные для общих вибрационных воздействий.

Гигиеническое нормирование вибраций устанавливает параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасным оборудованием. В ГОСТ 12.1.012 – 90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.» и СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.»

Защита от вибрации осуществляется путем устройства упругих элементов, размещенных между вибрирующей машиной и основанием, на котором она установлена, и путем присоединения дополнительных масс, а также точности подгонки взаимно перемещающихся элементов.

9.5.3 Влияние электромагнитного поля на живые организмы

О воздействии магнитного поля на организм человека известно очень немного. Считается, что относительно сильные магнитные поля заметного действия на организм человека не оказывают, поэтому ЯМР-томография (ЯМР – ядерный магнитный резонанс) считается совершенно безвредной. Магнитное поле в современных томографах достигает 1 – 2 Тл, – это примерно в 30000 раз больше, чем магнитное поле Земли, в котором мы живем. Более сильные переменные магнитные поля представляют значительную опасность для здоровья. Такие поля индуцируют вихревые токи в теле человека, которые могут привести к серьезным осложнениям и даже к смерти.

Нормирование электромагнитных полей осуществляется по предельно допустимым уровням напряженности электрического и магнитного полей частотой 50 Гц, в зависимости от времени пребывания в нем, и регламентируется санитарными нормами и правилами выполнения работ в условиях воздействия электрических полей СанПиН 5802-91 и ГОСТ 12.1.006-76.

Высокочастотные электромагнитные поля весьма опасны, так как вызывают локальный перегрев внутренних органов у человека. В результате воздействия СВЧ-излучения на организм возможны серьезные расстройства здоровья и значительный рост риска возникновения онкологических заболеваний. Поэтому существуют жесткие санитарные нормы на предельный уровень мощности ВЧ- и СВЧ-излучения в различных частотных диапазонах.

Уменьшение интенсивности электромагнитного поля достигается несколькими способами. Прежде всего увеличением при возможности расстояния между источником излучения и работающим. Устанавливают отражающие или поглощающие экраны между источником и рабочим местом. Применяют сплошные и сетчатые экраны из стали, меди и алюминия. Используют также

электропроводные тонкие материалы толщиной 0,01 – 0,05 мм, а также токопроводящие краски, металлизированные поверхности.

9.5.4 Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха

Металлургические процессы сопровождаются выделением различных газов и пыли. В воздухе рабочей зоны ПДК вредных веществ регламентируются ГОСТ 12.1.005 – 76. Предельно допустимая концентрация окиси Fe с примесью фтористых или марганцовистых соединений равна 4 мг/м^3 , Mn – в пересчете на MnO_2 – 0,3, свинца и его неорганических соединений –0,01, окислов Ti –10, окиси Zn–6. Предельно допустимую концентрацию пыли учитывают при проектировании технологических процессов и вентиляции в помещениях. Оптимальная относительная влажность воздуха в производственных помещениях колеблется в пределах (40 - 60)%, допускаемая составляет не более 75%.

Вентиляцией называется комплекс взаимосвязанных устройств и процессов для создания требуемого воздухообмена в производственных помещениях. В зависимости от способа перемещения воздуха в производственных помещениях вентиляция делится на естественную и искусственную (механическую).

Помещения прокатного цеха №1 имеют как искусственную, так и естественную вентиляцию. Целесообразна организация приточно-вытяжной системы вентиляции, состоящей из двух отдельных систем – приточной и вытяжной, которые одновременно подают в помещение чистый воздух и удаляют из него загрязненный. Естественная вентиляция производственных помещений осуществляется за счет разности температур в помещении наружного воздуха (тепловой напор) или действия ветра через окна, форточки, фрамуги и двери. При этом приточный воздух вводится в помещение без предварительной очистки и подогрева. Вентиляция осуществляется при помощи проемов в стенах и потолке. Проемы закрываются специальными створками. Закрывая и открывая створки проемов, можно регулировать воздухообмен при изменении наружной температуры воздуха и скорости ветра.

Искусственная (механическая) вентиляция устраняет недостатки естественной вентиляции. Механическая вентиляция бывает приточной, вытяжной, приточно-вытяжной, а по месту действия – общеобменной и местной.

В прокатном цехе №1 организована искусственная приточная общеобменная и местная вытяжная вентиляция. При приточной системе вентиляции производится забор воздуха извне с помощью вентилятора через калорифер, где воздух нагревается и при необходимости увлажняется, а затем подается в помещение. При вытяжной системе вентиляции загрязненный и перегретый воздух удаляется из помещения через сеть воздуховодов с помощью вентилятора.

Отопление помещений осуществляется посредством батарей отопления и тепловых регистров. Температура в помещении поддерживается в пределах 20^0 С

при постоянном присутствии обслуживающего персонала. Это соответствует санитарным нормам проектирования промышленных предприятий. Температура наружного воздуха при расчёте систем вентиляции воздуха и воздушного отопления принимаются в соответствии с требованиями СНиП 11-33-75.

9.5.5 Защита от инфракрасного излучения

Для защиты персонала цеха от воздействия инфракрасного излучения в прокатном цехе №1 рабочие места операторов стана 300-2 находятся на значительном удалении от источников излучения, расположенные в специальных помещениях – постах управления оборудованных кондиционерами. На рабочих местах, расположенных вблизи источников излучения, установлены вентиляторы для создания потока воздуха определенной скорости и температуры. Аппаратура для контроля за технологическими параметрами в нагревательных печах также расположена в специальном помещении, оборудованном кондиционером. Все указанные помещения построены с использованием материалов исключающих проникновение излучения на рабочие места, расположенные в этих помещениях. Также имеет место дистанционное управление и контроль за технологическим процессом при помощи видеокамер исключающие нахождение людей в зоне облучения.

9.5.6 Мероприятия по снятию психологических перегрузок

Общая продолжительность рабочего времени, времени начала и окончания работы, продолжительность обеденного перерыва, периодичность и длительность внутрисменных перерывов, работа в ночное время определена в соответствии с действующим законодательством и правилами внутреннего трудового распорядка.

Эмоциональное напряжение характеризуется активацией различных функций организма в связи с конкретными волевыми актами, с выполнением активной целенаправленной деятельности или подготовке к ней, а также с ожиданием какой-либо опасности.

Эмоциональное напряжение в нормальных формах помогает персоналу, обслуживающему технические устройства, в решении профессиональных задач, так как при этом происходит мобилизация резервов организма. Но длительные и сильные состояния эмоционального напряжения, наоборот, отрицательно сказываются на трудоспособности людей, поэтому режим труда следует нормировать. Сохранению устойчивой работоспособности способствуют регламентированные перерывы: обеденный и кратковременный регламентированный перерыв. В прокатном цехе №1 продолжительность обеденного перерыва составляет 1 час. Рекомендуются частые короткие кратковременные перерывы в 5 – 10 мин.

Для снятия психологических перегрузок необходимо устройство комнат релаксации; прослушивание спокойной функциональной музыки; выполнение производственной гимнастики.

9.6 Противопожарная безопасность

Руководители прокатного цеха №1 несут ответственность за противопожарную безопасность помещений и оборудования тепловых энергоустановок, а также за наличие и исправное состояние первичных средств пожаротушения.

Категория противопожарной безопасности для помещения и оборудования прокатного цеха №1 определена как В по ОНТП 24-86, то есть производство, связанное с применением взрывоопасных веществ и материалов. Прокатный цех №1 построен из несгораемых материалов, стены выполнены из кирпича и бетона, перекрытия – из железобетона, пол – из бетона. Кабели в прокатном цехе №1 проложены в кабельных каналах и тоннелях, подвесных металлических лотках и в трубах с соблюдением требований и рекомендаций, обеспечивающих пожарную безопасность в кабельном хозяйстве.

Основы пожарной защиты предприятия определены государственными стандартами ССБТ (ГОСТ 12.1.004-91 и ГОСТ 12.1.010-76).

Персонал, обслуживающий машинные залы, проходит противопожарный инструктаж, занятия по пожарно-техническому минимуму, участвует в противопожарных тренировках.

В цехе установлен противопожарный режим работы и выполняются противопожарные мероприятия не допускающие действий, которые могут привести к пожару или возгоранию, а также разработан оперативный план тушения пожаров.

Разработана и утверждёна инструкция о мерах пожарной безопасности и план (схема) эвакуации людей в случае возникновения пожара на тепловых энергоустановках, приказом руководителя назначены лица, ответственные за пожарную безопасность отдельных территорий, зданий, сооружений, помещений, участков, создана пожарно-техническая комиссия и система оповещения людей о пожаре.

По каждому происшедшему случаю пожара или загорания проводится расследование комиссией, создаваемой руководителем предприятия или вышестоящей организацией. Результаты расследования оформляются актом. При расследовании устанавливается причина и виновники возникновения пожара (возгорания), по результатам расследования разрабатываются противопожарные мероприятия.

Цех оборудован сетями противопожарного водоснабжения, установками обнаружения и тушения пожара в соответствии с требованиями нормативно-технических документов.

В прокатном цехе №1 предусмотрен набор первичных средств пожаротушения:

- огнетушители ОУ, ОХП;
- противопожарный инвентарь (лопаты, песок, ломы, топоры, багры);
- на этажах установлены пожарные гидранты с таким расчетом, чтобы обеспечить подачу воды в любую точку помещения.

В каждом шкафу находится брезентовый рукав длинной не менее 10 м со стволом.

Окраска составных частей установок пожаротушения, включая трубопроводные коммуникации, соответствует требованиям ГОСТ 12.4.026—76 и отраслевых стандартов.

Огнетушители размещаются в легкодоступных и заметных местах, где исключено попадание на них прямых солнечных лучей и непосредственное воздействие отопительных и нагревательных приборов. Обеспечивается возможность прочтения маркировочных надписей на корпусе, а также удобство и оперативность пользования ими.

9.7 Эргономика и техническая эстетика

Эргономика занимается комплексным изучением и проектированием трудовой деятельности с целью оптимизации орудий, условий и процесса труда, а также профессионального мастерства. Она использует данные гигиены труда, которая является разделом гигиены, изучающей влияние производственной среды и трудовой деятельности на организм человека и разрабатывающей санитарно-гигиенические мероприятия по созданию здоровых условий труда. По природе своей занимается профилактикой охраны труда, под которой подразумевается комплекс правовых, организационных, технических, экономических и санитарно-гигиенических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности труда и сохранение здоровья работающих.

Рабочее место является первичным звеном производства, оно представляет собой определенный участок производственной площади цеха, предназначенный для выполнения одним рабочим (или бригадой) порученной работы, специально приспособленный и технически оснащенный в соответствии с характером этой работы. От того, насколько правильно и рационально будет организовано рабочее место, зависит безопасность и производительность труда. Как правило, каждое рабочее место оснащено основным и вспомогательным оборудованием и соответствующим инструментом. Отсутствие на рабочем месте удобного вспомогательного оборудования или нерациональное его расположение, захламленность создают условия для возникновения травматизма.

Пространство, в котором совершается основная часть трудовых движений, сравнительно невелико. Исследования показывают, что наиболее благоприятная зона для работ сидя определяется площадкой в 0,1 м2, когда предплечье поворачивается в локтевом суставе (руки полусогнуты). Другие зоны, например работа с помощью полностью вытянутых рук, менее благоприятны и вызывают

быструю утомляемость. При работе стоя благоприятная зона также невелика. Осуществляя рационализацию трудовых движений, необходимо стремиться к обеспечению коротких и наименее утомительных движений. Следует помнить: чем больше сочленений участвуют в выполнении движения, тем оно, как правило, требует большей затраты сил. Поэтому при планировке рабочих мест и, в частности, при расстановке предметов организационно-технической оснастки необходимо предусматривать применение наиболее простых движений: движения одних пальцев, движения пальцев и запястья или движения пальцев, запястья и предплечья. Следует, по возможности, устранять такие движения, которые требуют участия не только плеча, но и всего корпуса.

При размещении на рабочем месте организационно-технической оснастки (стеллажей для заготовок и готовых деталей, инструментальной тумбочки, планшетов и пр.) или вспомогательного оборудования (поворотные краны, транспортеры и пр.) следует тщательно проверить по зонам досягаемости рук, насколько рационально установлен тот или иной предмет и какие виды движений будет при этом применять рабочий. Однако решение этой задачи не должно приводить к сближению оборудования, так как в противном случае рабочее место будет стеснено, и вероятность возникновения травматизма увеличится. На практике, используя опыт новаторов производства и соответствующие нормы при расстановке вспомогательного оборудования и оснастки, следует придерживаться такого принципа: заготовки и полуфабрикаты располагать на специальных стеллажах с левой стороны от рабочего, измерительный инструмент и тару для готовых деталей — с правой. Предметы, которыми пользуется рабочий чаще, располагают ближе к станку.

Планировка рабочего места зависит от многих условий — от типа оборудования, конфигурации и габаритов деталей, применяемой технологии, организации обслуживания, но для аналогичных работ можно установить типовые рациональные планировки рабочих мест. Следует отметить, что основное и вспомогательное оборудование не должно выходить за пределы площадки, отведенной для данного рабочего места, и устройство рабочего места должно учитывать рост и другие антропометрические данные каждого рабочего.

9.8 Экологическая безопасность

В последнее время все чаще и чаще встают проблемы экологического контроля за деятельностью предприятий. Любое производство в большей или меньшей степени будет наносить вред окружающей среде и в первую очередь - человеку, если не будут выполняться природоохранные мероприятия. На ЧМК принимаются меры для предупреждения или ограничения вредного воздействия на окружающую среду выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и сбросов в водные объекты, шума, вибрации и иных вредных физических воздействий, а также по сокращению безвозвратных потерь и объемов потребления воды.

Источники экологических опасностей имеющиеся в прокатном цехе №1 ЧМК на участке стана 300-2:

- используемые в системе освещения люминесцентные и дуговые ртутные

лампы высокого давления;
- маслонаполненное оборудование (трансформаторы, масляные выключатели, система централизованной смазки);
- оборудование, работающее на природном газе (нагревательные печи);
- ветошь используемая при проведении ремонтов оборудования;
- технологический процесс обработки металла при повышенной температуре, негативным результатом которого является образование окалины и пыли.

В процессе обработки металла при повышенной температуре, на его поверхности образуется так называемая окалина, которая отслаивается от поверхности металла при заходе последнего в валки прокатных клетей. Для сбора и удаления окалины используются специальные скребковые транспортеры, расположенные под прокатными клетями вдоль линии прокатки.

Для исключения загрязнения окружающей среды используемой при проведении ремонтов ветошью, последнюю необходимо собирать в специально отведенную для этого тару и сдавать на склад для дальнейшей утилизации.

Аналогичной процедуре должны подвергаться ртуть содержащие лампы. Они также пакуются в тару предотвращающую повреждение стеклянных колб и отправляются на склад для последующей утилизации.

Для исключения загрязнения окружающей среды маслами, используемыми в системах смазки и в качестве жидких диэлектриков в электрическом оборудовании, необходимо проводить периодические осмотры соответствующего оборудования и незамедлительно выполнять ремонт при обнаружении утечек. Данные осмотры в службе электрика выполняют дежурные электрики из числа оперативно - ремонтного персонала, в службе механика дежурные смазчики. Для исключения аварийных ситуаций, при которых может иметь место выброс масла в окружающую среду, на ЧМК действует система планово-предупредительных ремонтов. Ремонтный персонал обязан проверить все элементы системы смазки, особо уделив внимание соединительным элементам и в случае необходимости произвести замену неисправного элемента. При проведении ремонтов маслонаполненного электрооборудования, масло подвергается лабораторным испытаниям и заменяется в случае необходимости. Использованное масло сливается в емкости и отправляется на регенерацию, после которой используется повторно.

Для предотвращения растекания масла, при повреждении трансформаторов, предусмотрены маслоприемники. Маслоприемник выполняется в виде ямы, которая располагается под маслонаполненным оборудованием. Яма закрывается решеткой, покрытой гравием.

После ликвидации аварии на трансформаторе весь объем стоков, собранных в маслосборнике, вывозится автотранспортом на регенерацию, а маслосборник очищается от следов масла.

Особую опасность представляют нагревательные печи, так как в них используется природный газ. Для поддержания процесса горения газа печей помимо газа подается воздух при помощи дутьевых вентиляторов.

Удаление печного газа производится при помощи дымососов. Отказ указанного оборудования может повлечь за собой серьезные последствия, в том числе угрозу жизни персонала цеха и загрязнения окружающей среды в следствии разрушения другого оборудования. В целях обеспечения безопасной эксплуатации нагревательные печи оборудованы газоанализаторами, контролирующими состояние газовой среды внутри и снаружи печей. Система электроснабжения двигателей дымососов и дутьевых вентиляторов также контролируется соответствующей аппаратурой защиты. В случае аварии в системе электроснабжения (при невозможности резервирования питания) или срабатывания датчиков газоанализирующей аппаратуры, система защиты прекращает подачу природного газа в нагревательные печи.

9.9 Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайной ситуации

В настоящее время основным направлением деятельности комитетов гражданской обороны является прогнозирование и разработка мероприятий по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Источником чрезвычайной ситуации (в дальнейшем ЧС) может стать опасное природное явление, авария или опасное техногенное происшествие, инфекционная болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также применение средств поражения, в результате чего произошла или может произойти ЧС. К природным ЧС относятся землетрясения, наводнения, сели, оползни, заносы, обледенения и лавины.

Следствием стихийного бедствия, нарушения технологии производства, правил эксплуатации различных машин, оборудования, мер безопасности может явиться авария или катастрофа. Наиболее опасным следствием катастроф являются пожары и взрывы [10].

Для прокатного производства характерен высокий процент возгораний от нагретого до высоких температур металла, поэтому наиболее вероятная причина возникновения ЧС это пожар. Для уменьшения вероятности возникновения пожаров применяются защитные экраны и рациональное расположение оборудования. Все помещения снабжены средствами пожаротушения и схемами эвакуации людей.

Все работники должны знать, четко соблюдать и требовать от других выполнения в цехе правил пожарной безопасности, следить за наличием и исправностью средств пожаротушения и в случае пожара уметь ими пользоваться. Ответственные за

пожарную безопасность на участке лица, ежедневно перед началом работ должны проверять состояние электрооборудования и комплектность средств пожаротушения, пожарного оборудования. На участке должен быть оборудован пожарный стенд, укомплектованный инструментами и средствами пожаротушения. Все проходы к ним должны быть постоянно свободными.

Устойчивость работы цеха при пожаре во многом повышается за счет оперативности пожарной команды, ввиду ее близкого расположения.

Устойчивость работы в случае затопления обеспечивается тем, что все электрооборудование расположено на отметке 2.0 выше нулевого уровня. Входы в тоннели цеха оборудованы дамбами. В случае затопления производственных участков предусматривается отключение электроснабжения в действующих установках и организация эвакуации людей.

Устойчивость работы промышленного объекта – это способность объекта выпускать установленные виды продукции в объемах, предусмотренными соответствующими требованиями в условиях ЧС, а также приспособленность этого объекта к восстановлению в случае повреждения.

При оценке устойчивости работы промышленного объекта особое внимание уделяется системам энергоснабжения. Основным источником энергии является электроэнергия. Электроснабжение осуществляется от нескольких питающих линий. При выходе из строя одной линии, электроснабжение оборудования осуществляется от другой.

«Выводы по разделу девять»

В данном разделе проводился теоретический анализ и разработка методов идентификации вредных факторов, генерируемых элементами среды обитания. Так же проводилась работа по разработке принципов и методов защиты от опасностей, разработка и рациональное использование средств защиты человека. Проводится моделирование и прогнозирование развития чрезвычайных ситуаций и обучение населения основам защиты от опасностей. Таким образом, рассмотренные в данном разделе задачи обеспечивают безопасность работающих на данном оборудовании людей, при непрерывном контроле и мониторинге.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломном проекте предложена и обоснована модернизация системы управления главных приводов стана 300-2 ЧМК, заключающейся в замене тиристорных преобразователей чистовой группы клетей и введении в систему автоматического регулирования электропривода, контура регулирования глубины провиса проката.

В специальной части дипломного проекта произведен анализ особенностей технологического процесса и используемого оборудования, произведена оценка достоинств и недостатков существующей системы управления, проведены расчеты двигателя электропривода и системы управления, спроектирована и исследована математическая модель взаимосвязанных электроприводов. Проведенный, с учетом технологических режимов работы, поверочный расчет двигателя подтверждает возможность использования его в составе электропривода прокатного стана. Спроектированная на основе предложенной структурной схемы, математическая модель взаимосвязанных электроприводов позволяет учесть состояние деформируемого металла в зоне петлеобразования и оценить работу электроприводов стана в различных режимах работы.

При проведении исследований модели взаимосвязанных электроприводов произведена оценка времени переходных процессов, времени достижения максимума, а также максимальное и установившееся значение провиса петли. Полученные при исследовании модели параметры переходных процессов позволили сделать выбор типов регуляторов скорости и провиса петли. Наилучшим, для применения в системе, необходимо считать сочетание П регулятора скорости и П регулятора петли.

В экономической части проекта произведен сравнительный анализ затрат в базовом и проектном вариантах, определен годовой экономический эффект, составляющий 643452,92 рублей, и срок окупаемости проекта равный 3,57 лет.

Раздел безопасности жизнедеятельности включает анализ вредных и опасных факторов производства, действующих на обслуживающий персонал. В разделе проведен расчет освещения, рассмотрены вопросы противопожарной и экологической безопасности, предложены мероприятия по защите персонала от воздействия негативных факторов производства и снятию психологических нагрузок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.Н.Иводитов, И.А.Тодер, Реконструкция и модернизация сортовых прокатных станов. М.: Металлургия. 1993 г.
2. Бычков В.П. “Электропривод и автоматизация металлургического производства”. Учеб. пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Высш. школа», 1977. 391 с. с ил.
3. Усынин Ю.С. “Системы управления электроприводов”. Учеб. пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 358 с.
4. Унифицированные системы автоуправления электроприводом в металлургии. Изд. 2-е, перераб. и доп. Гарнов В.К., Рабинович В.Б., Вишневецкий Л.М. М., «Металлургия», 1977, 192 с.
5. Технический отчет по наладке электрооборудования стана 300-2. Том 12. ЮЖ – 3136 Т01.
6. Агрегаты тиристорные преобразовательные ТВ и ТВР. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ОБП.140.083. ТО.
7. Марочник сталей и сплавов/В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под общ. ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
8. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 216.
9. В.И. Дьяков Типовые расчеты по электрооборудованию: Практ. Пособие – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 190 с.: ил.
10. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие. Русак О.Н., Малаян К.Р., Занько Н.Г. - СПб.: Издательство «Лань», 2001.
11. А.С.Прилепский, М.Б.Гербер Типовое положение о техническом обслуживании и ремонте (ТОиР) электрооборудования предприятий системы министерства черной металлургии СССР. Изд. 3-е. Харьков, 1988 г.
12. Кириллов, В.Е. Методические рекомендации студентам электротехнических специальностей для подготовки экономического раздела дипломного проекта (расчета экономического эффекта и эффективности)Уч. пособие. – Златоуст: Изд. ЮУрГУ, 2006.
13. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / сост. С.Н. Трофимова, В.И. Чуманов, В.А. Шишимиров. – Челябинск. Изд-во ЮУрГУ, 2003. – 54 с.
14. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие по дипломному проектирования для студентов технических специальностей / под ред. С.Н. Трофимовой. С.П. Максимов, Т.Б. Балакина. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 55 с.
15. Трофимова, С.Н. Методические рекомендации для студентов электротехнических специальностей. Выполнение разделов «Охрана труда», «Экологическая безопасность», «Гражданская оборона» в дипломном проекте// http://www.zb-susu.ru.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Математическое моделирование системы

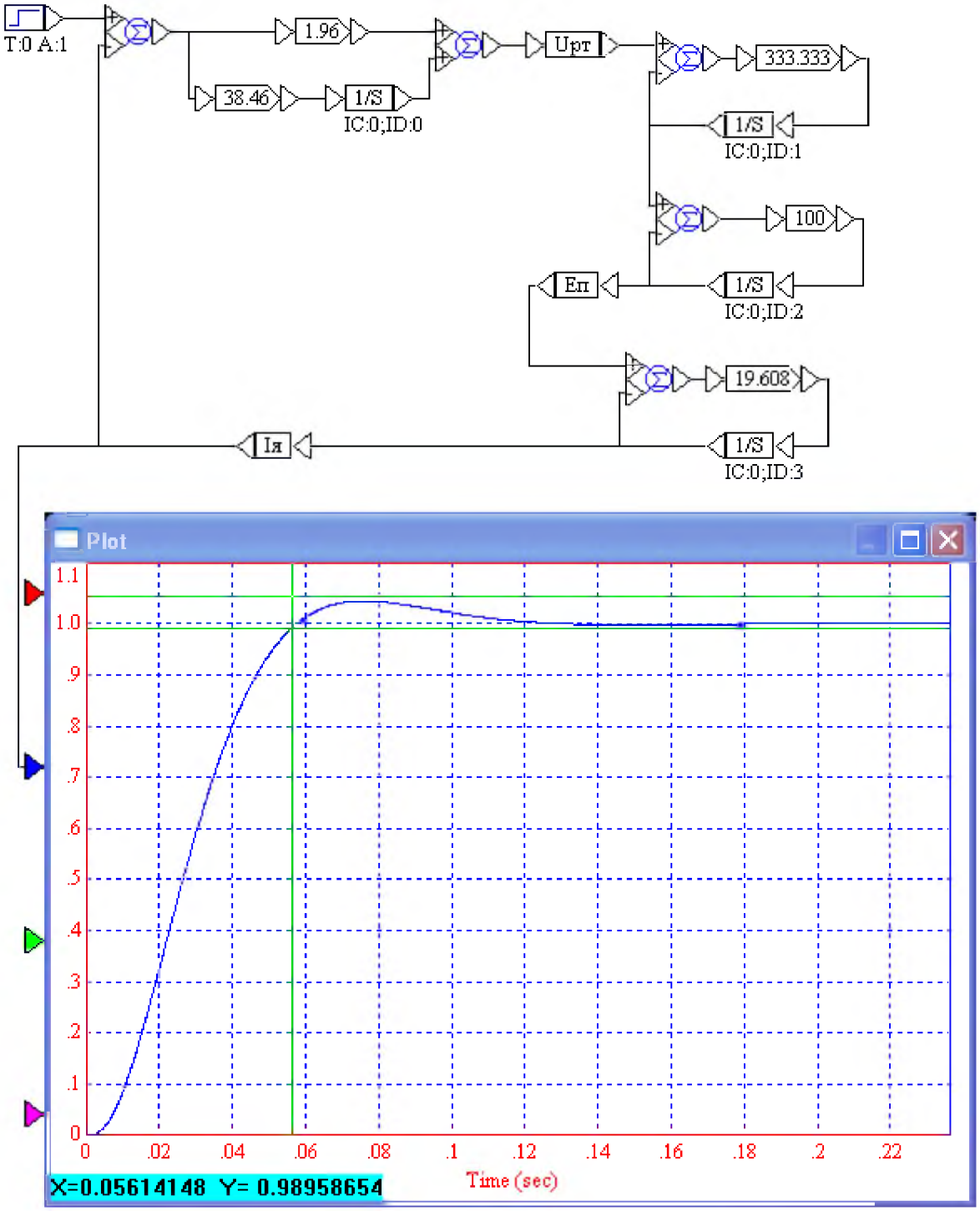


Рисунок А.1 – Ток обмотки якоря

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

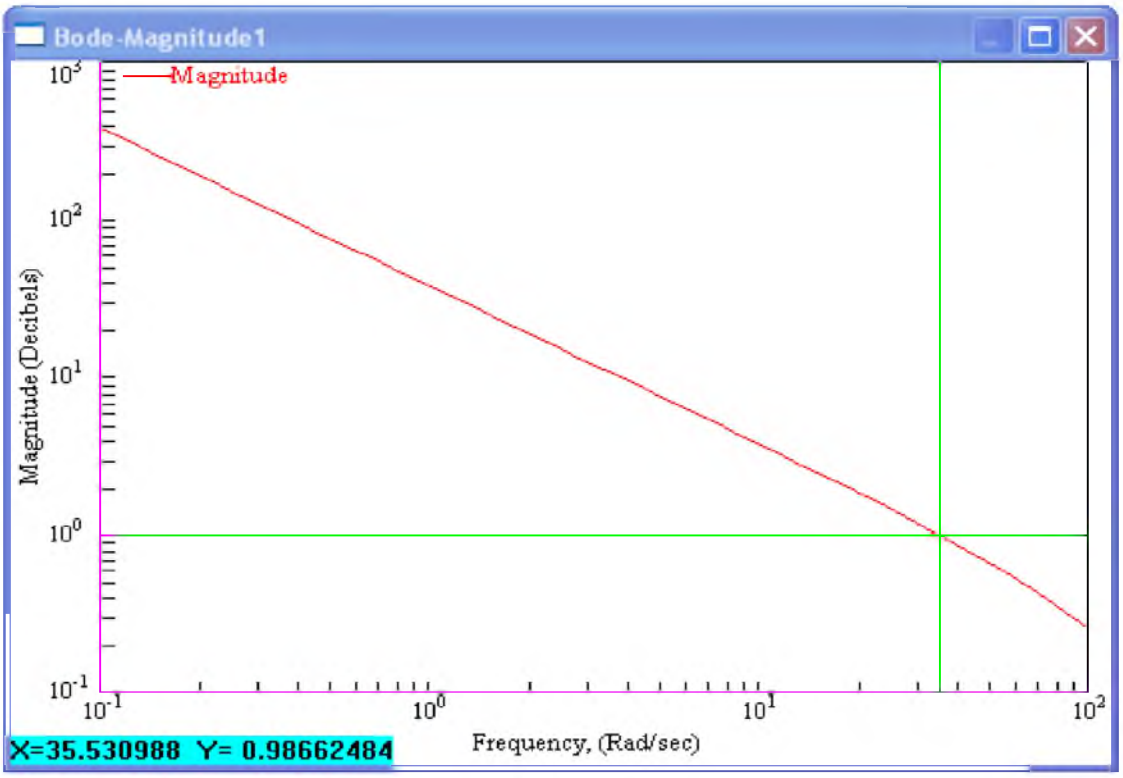


Рисунок А.2 – Частота среза контура регулирования тока якоря

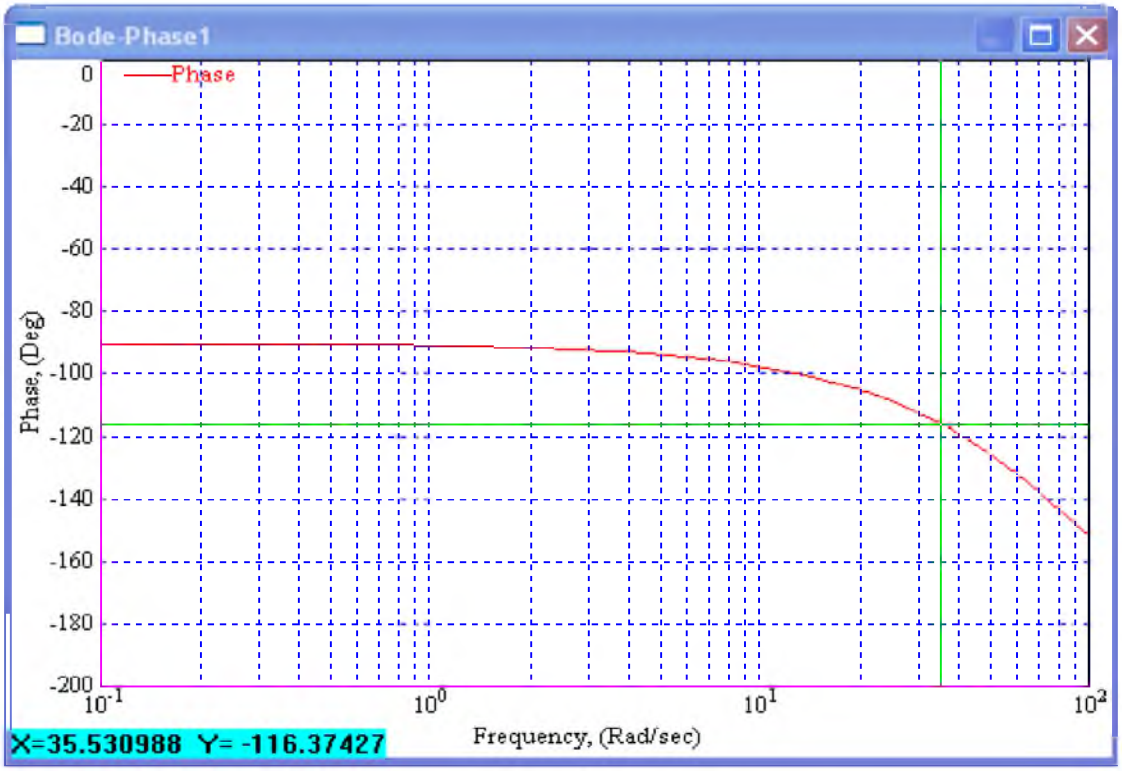


Рисунок А.3 – Запас устойчивости контура тока

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

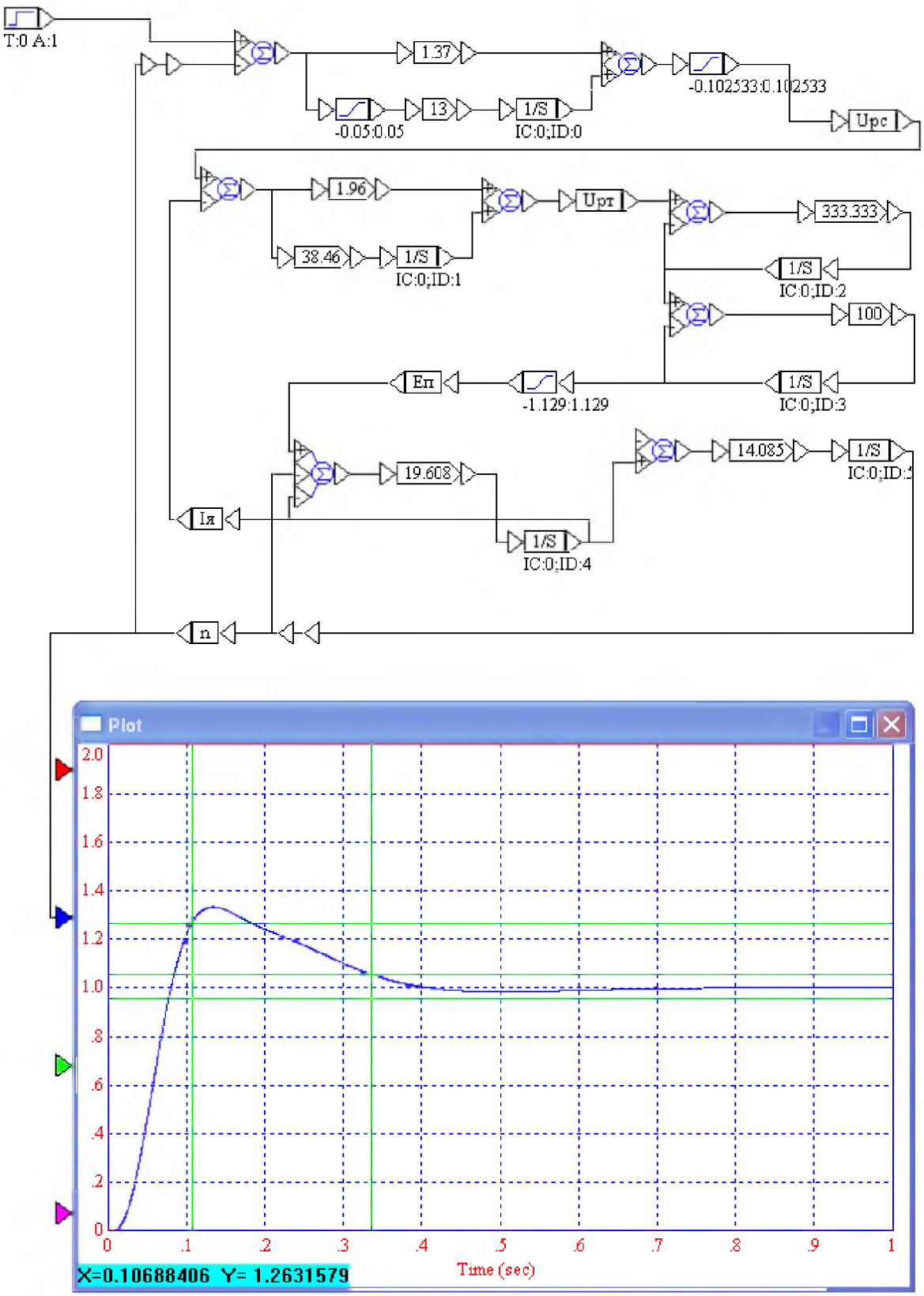


Рисунок А.4 – Частота вращения

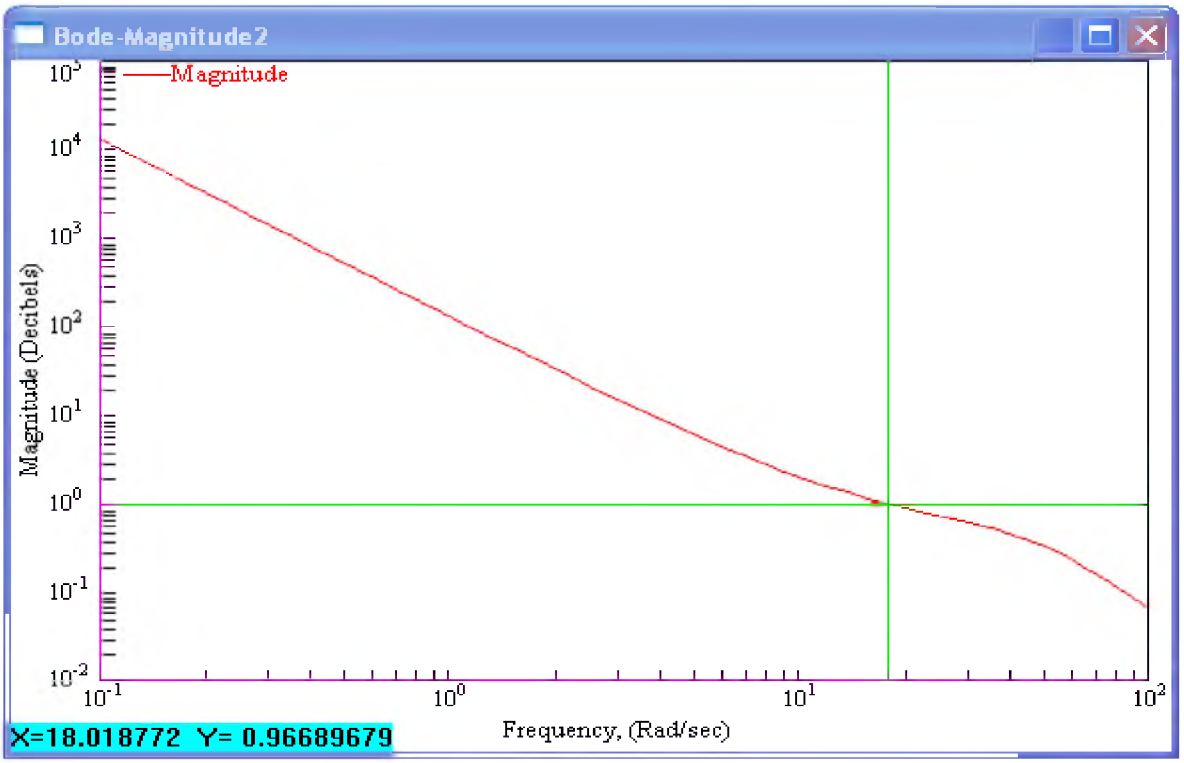


Рисунок А.5 – Частота среза контура регулирования скорости

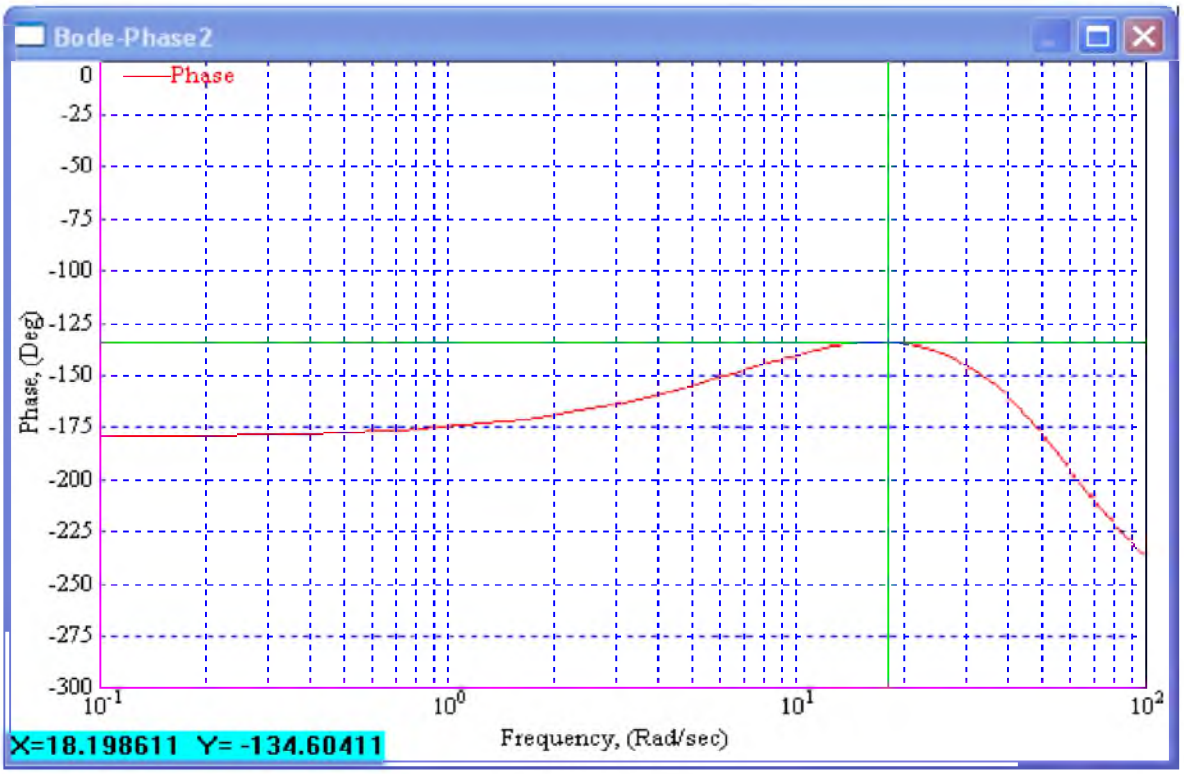


Рисунок А.6 – Запас устойчивости контура скорости

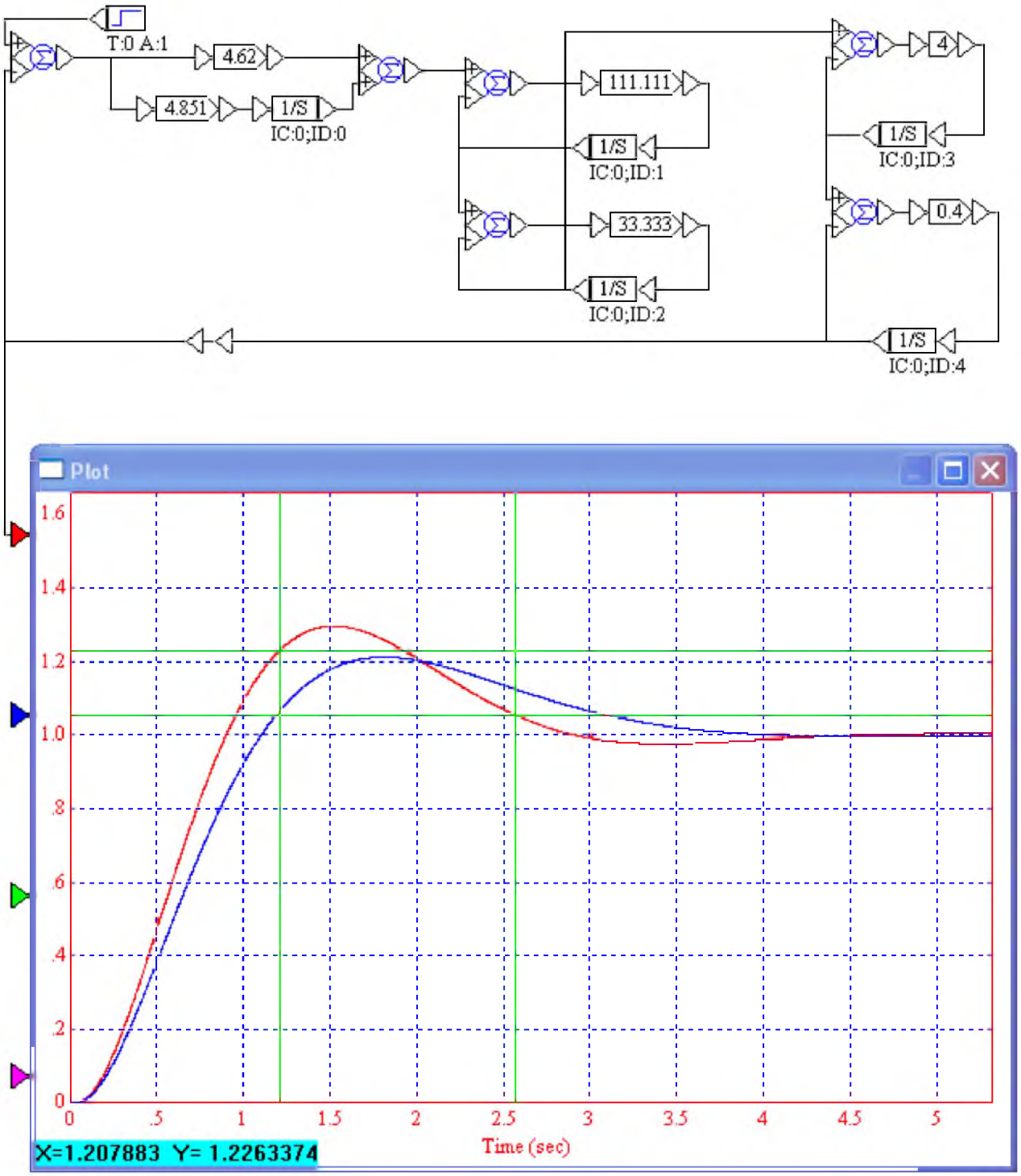


Рисунок А.7 – Ток возбуждения при различных параметрах регулятора

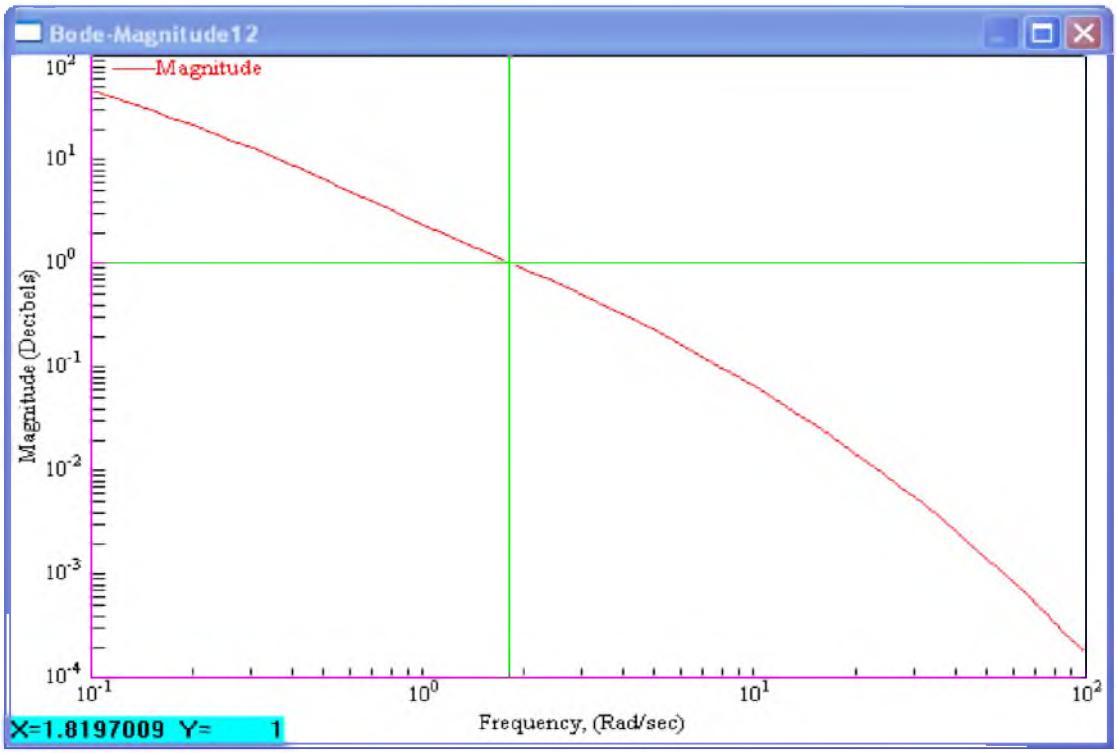


Рисунок А.8 – Частота среза КРТВ

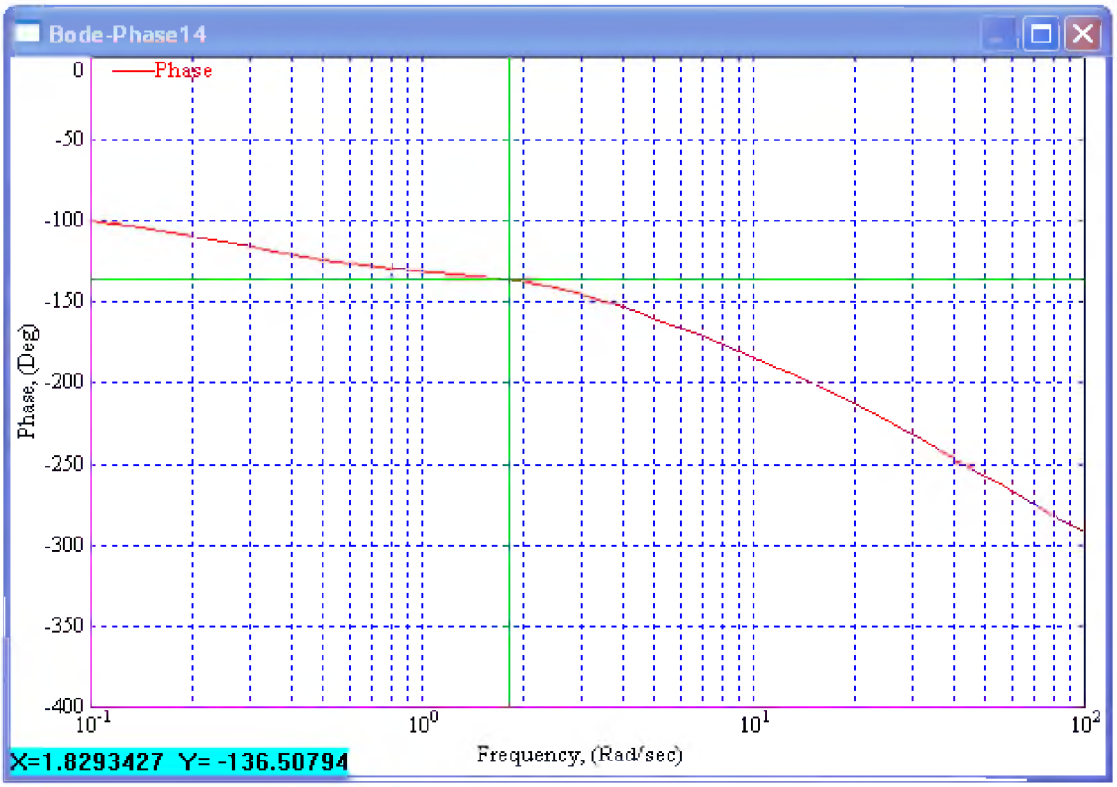


Рисунок А.9 – Запас устойчивости КРТВ

ОКОНЧАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

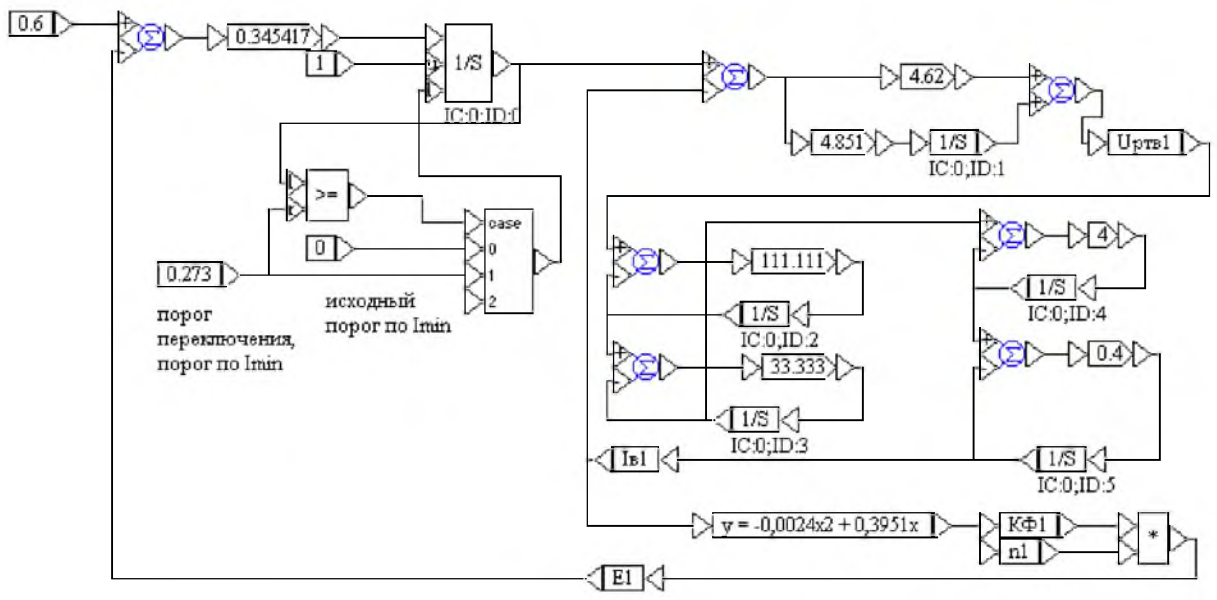


Рисунок А.10 – Математическая модель контура регулирования ЭДС.