

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт Механико-технологический факультет
Кафедра «Мехатроника и автоматизация»
Направление «Мехатроника и робототехника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
В.Р. Гасияров

2017 г.

Проектирование системы автоматизации электропривода реверсивной
клетки лабораторного прокатного стана

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ – 15.03.06.2017.220.ПЗ (ВКР)

Консультант
Профессор, д.э.н.
Е.В. Кучина

2017 г.

Руководитель работы
Профессор, д.т.н.
А.А. Радионов

г.

2017

Нормоконтролер
Преподаватель
Е.А. Маклакова

2017 г.

Автор работы
студент группы П-456
Велин Антон Александрович

2017 г.

Ст. преподаватель
С.С. Воронин

2017 г.

Челябинск 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Институт Политехнический институт
Факультет Механико-технологический
Кафедра Мехатроники и автоматизации
Направление 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»
Профиль Мехатроника

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой _____ В.Р. Гасияров
подпись

«___» _____ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПОЛНЕНИЕ ВЫПУСКНОЙ
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА**

Студенту группы П-456 _____ Велину Антону Александровичу _____
(Ф.И.О. полностью)

1 Тема работы

Проектирование системы автоматизации электропривода реверсивной клетки
лабораторного прокатного стана

утверждена приказом по университету от _____ 201_ г. № _____
(утверждена распоряжением по факультету от _____ 201_ г. № _____)

2 Срок сдачи студентом законченной работы _____

3 Исходные данные к работе материалы производственной практики

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

Введение

1. Анализ технологического процесса и выбор основного оборудования.

1.1. Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма

1.2. Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма

1.3. Требования к приводам и системе автоматизации

1.4. Выбор системы привода

1.5. Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы (диаграммы перемещения)

1.6. Выбор основного силового оборудования

1.7. Защиты привода, расчет уставок защитных устройств

2. Разработка САУ

2.1. Разработка архитектуры систем автоматизации

2.2. Выбор контроллеров и датчиков технологических координат

2.3. Выбор и разработка функциональной схемы САР привода проектируемого агрегата

2.4. Разработка контура регулирования технологических координат

2.5. Разработка структурной схемы САУ и моделирование типовых режимов работы привода

3. Техничко-экономические расчеты

3.1. Краткая характеристика подразделения и выпускаемой продукции

3.2. Расчет производственной программы цеха (расчет фактического годового фонда рабочего времени и производительности оборудования)

3.3. Расчет сметы капитальных затрат (расчет стоимости приобретенного оборудования, затрат на монтаж оборудования, величины транспортных расходов, заготовительно-складских расходов, затрат на запасные части и расходов на комплектацию оборудования)

3.4. Расчет РСЭО (затраты на содержание и эксплуатацию оборудования потери электроэнергии, расчет амортизационных отчислений, затраты на ремонты и обслуживание электрооборудования)

3.5. Расчет затрат на материалы и на оплату труда со страховыми отчислениями

3.6. Расчет прибыли и показателей рентабельности

3.7. Расчет срока окупаемости проекта

3.8. Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов

Заключение

5 Перечень графического и иллюстративного материала

1. Кинематическая схема и технические характеристики механизма

2. Тахограммы (диаграмма перемещения) и нагрузочные диаграммы проектируемого привода

3. Требование к проектируемому приводу и системе автоматизации

4. Архитектура САУ

5. Функциональная схема САУ и характеристики выбранного оборудования

6. Функциональная схема проектируемой САУ

7. Математическая модель проектируемой САУ

8. Результаты моделирования типовых режимов работы привода

9. Техничко-экономические показатели

Всего 9 листов

Согласовано:

Консультант по экономике и управлению производством:

подпись

Фамилия И.О.

Руководитель _____

подпись

Должность, звание

Фамилия И.О.

Дата выдачи задания « ____ » _____ 201_г.

Задание принял к исполнению студент _____

подпись

Фамилия И.О.

АННОТАЦИЯ

Велин А.А. Проектирование системы автоматизации электропривода реверсивной клетки лабораторного прокатного стана. – Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2017, 78 с., 30 ил., 23 табл., библиогр. список – 12 наим.

Целью данной работы является проектирование системы автоматизации электропривода реверсивной клетки лабораторного прокатного стана.

Основными задачами являются анализ технологического процесса и выбор основного оборудования, а также разработка систем автоматического управления главного привода и привода нажимного устройства.

Разработка систем автоматического управления главного привода и привода нажимного устройства производилась на основе модели электропривода, смоделированной с помощью программы Matlab 2013b.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 7 |
| ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ..... | 10 |
| 1.1 Характеристика предприятия, описание технологического процесса работы механизма | 10 |
| 1.2 Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма.. | 15 |
| 1.3 Требования к приводам и системе автоматизации..... | 16 |
| 1.4 Выбор системы привода..... | 17 |
| 1.5 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы приводов | 18 |
| 1.5.1 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы главного электропривода | 18 |
| 1.5.2 Расчёт и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы электропривода нажимного устройства | 27 |
| 1.6 Выбор силового оборудования..... | 33 |
| 1.7 Защита привода | 38 |
| ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА САУ | 41 |
| 2.1 Разработка архитектуры системы автоматизации..... | 41 |
| 2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат..... | 43 |
| 2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САУ привода проектируемого агрегата..... | 45 |
| 2.4 Разработка контура регулирования координат, разработка структурной схемы САУ и моделирование типовых режимов работы привода..... | 48 |
| ГЛАВА 3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ..... | 65 |
| 3.1 Расчёт сметы оборудования прокатного стана | 65 |

| | |
|---|----|
| 3.2 Расчёт заработной платы..... | 66 |
| 3.3 Страховые взносы | 68 |
| 3.4 Величина амортизационных отчислений | 69 |
| 3.5 Использование товарно-материальных ценностей для проектировки прокатного стана | 71 |
| 3.6 Расчёт прибыли и рентабельности | 74 |
| 3.7 Сводная таблица экономических показателей..... | 75 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 76 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 77 |

ВВЕДЕНИЕ

Электромеханические системы получили весьма широкое распространение в промышленности. Так, например, около 60% всей электроэнергии, вырабатываемой в стране, преобразуется в механическую энергию электромеханическими системами. Как правило, эти системы являются автоматизированными либо автоматическими системами, либо содержат подсистемы указанного типа.

Наиболее распространенным типом ЭМС являются так называемые электроприводы.

Электроприводом называют электромеханическую систему, предназначенную для приведения в движение рабочих органов машины (РОМ) и состоящую из механического передаточного (МПУ), преобразовательного (ПУ), электродвигательного (ЭДУ) и управляющего устройств (УУ).

Современные электропривода, как правило, являются автоматизированными.

Структурная схема электропривода, в том числе, и автоматизированных электропривода, поясняющая взаимодействие составляющих их устройств, приведена на рисунке 1.

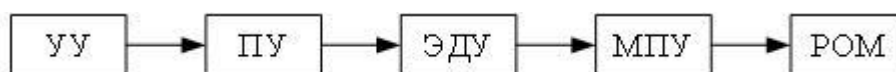


Рисунок 1 - Структурная схема электропривода

РОМ предназначены для непосредственного выполнения требуемого технологического процесса. Таким процессом может быть, например, резание металла. В этом случае РОМ представляет собой, например, резец, фрезу, сверло и т.п.

УУ вырабатывает управляющие сигналы, которые определяют законы движения РОМ.

Как правило, выходные сигналы УУ представляют собой низковольтные электрические напряжения малой мощности. В этой связи указанные сигналы подлежат усилению по уровню и по мощности, что выполняет ПУ.

Для преобразования электрической энергии, вырабатываемой ПУ, в механическую энергию, необходимую для обеспечения движения РОМ, между ПУ и РОМ включается ЭДУ. ЭДУ представляет собой электродвигатель того или иного типа.

Как правило, ЭДУ совершает вращательное движение, а РОМ совершает какой-либо иной тип движения, например, возвратно-поступательное. Для согласования типов движения РОМ и ЭДУ между ними включается МПУ.

Как известно из теории автоматического регулирования, для обеспечения такого движения РОМ необходимо введение в ЭП датчиков обратных связей и реализация УУ в виде задающего устройства (ЗУ) и регулирующего устройства (РУ). Построенный по такой структурной схеме автоматизированный ЭП называется автоматизированным замкнутым ЭП (АЗЭП).

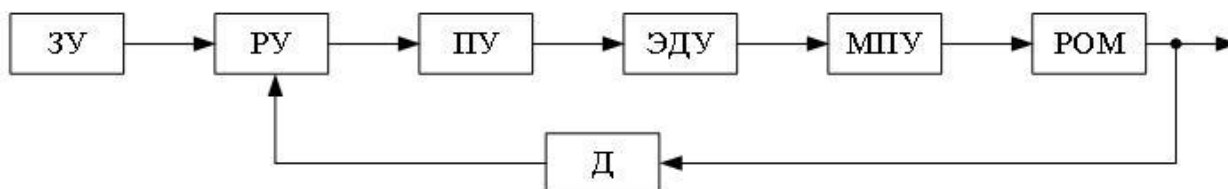


Рисунок 2 - Структурная схема АЗЭП с обратной связью

В проекте осуществляется также выбор основного силового оборудования. В пояснительной записке приводятся таблицы с техническими характеристиками механизма и двигателя, сводные таблицы, содержащие результаты расчётов, иллюстрации в виде принципиальных электрических схем, структурных и функциональных схем спроектированной системы управления электроприводом, а также примера реализации данной системы управления в специализированной программе MATLAB.

Главный привод осуществляется от одного асинхронного двигателя, а привод нажимных винтов осуществляется от двух асинхронных электродвигателей. Питание электродвигателей осуществляется от преобразователей частоты.

Разработанная система электропривода для нажимного устройства позволяет обеспечивать высокую точность отработки положения, минимальное время протекания переходных процессов, что в целом определяет производительность системы.

Также электропривод, по сравнению с другими приводами, имеет:

- низкие затраты энергосбережения;
- высокую скорость передачи энергии;
- простоту конструкции всей системы;
- обеспечение стабильной скорости работы;
- возможность передачи энергии на расстояние без значительных потерь;
- точное позиционирование и плавное регулирование;
- наиболее высокий КПД;
- стабильная работа при относительно высоких и низких температурах $\pm 50^{\circ}\text{C}$.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Характеристика предприятия, описание технологического процесса работы механизма

За последние годы в рамках научного проекта "Образование" основное внимание уделяется обеспечению устойчивого развития технического образования за счет масштабного вложения государства в кадровый потенциал и высокотехнологичную материальную и информационную инфраструктуру профессионального образования по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологии.

При этом становится общепризнанным утверждение, что учебная техника нового поколения может обеспечить ускоренный переход к эффективным образовательным технологиям за счет смены знаниевой парадигмы на деятельностную, включенность обучаемых в реальную исследовательскую и производственную деятельность, а также приобретение востребованных рынком профессиональных компетенций в условиях реального производства, знании товаров и услуг. Этим условиям и удовлетворяет широкая и разносторонняя учебная продукция предприятия: учебное оборудование, приборы, лабораторные стенды, эмуляторы, тренажеры, разрезы деталей, учебные комплекты, наглядные пособия.

Предприятие "Учебная техника" это - признанный лидер на рынке СНГ по разработке, серийном и мелкосерийном производстве инновационной учебной продукции для вузов, техникумов, колледжей и учебных центров предприятий. Современное высокотехнологичное оборудование, новейшие производственные и педагогические технологии и высококвалифицированные специалисты позволяют нам безусловно изготавливать учебную и научную продукцию, отвечающие требованиям Федеральных государственных образовательных стандартов, техники

безопасности и эргономики, формируя максимально комфортную среду для организации и проведения занятий. Сегодня это самое динамично развивающееся предприятие, постоянно увеличивающее номенклатуру, совершенствующее качество продукции и расширяющее современные производственные мощности.

Оригинальность и научно-методическая новизна разработок подтверждена 73 патентами, авторскими свидетельствами и свидетельствами о регистрации программного обеспечения. НПП «Учтех-Профи» - признанный лидер российских производителей учебной техники. Учебное оборудование с его товарным знаком (свидетельство №443113) соответствует всем международным требованиям качества и ассортимента продукции.

Продукция сертифицирована в соответствии с требованиями образовательных стандартов и многократно удостоена самых высоких наград Международных выставок в Москве (ВВЦ) и ВЦ «Крокус-Экспо»: медали – 52 шт., 3 кубка Гран-При как лучшей организации России по формированию современной образовательной среды и в конкурсе инновационных разработок в области материально-технического обеспечения образовательных учреждений, а также за лучшие разработки учебной техники для высшего профессионального образования. Компания отмечена сертификатами и дипломами международных мероприятий в области учебной техники и образовательных технологий в Швейцарии (Базель), Великобритании (Лондон), Китае (Шанхай), Вьетнаме (Ханой), ОАЭ (Дубай), Астане (с 2010 по 2014 гг.) и Киеве (2011г.) С июня 2008 г. Компания входит в Международную ассоциацию WORLDDIDAC (Швейцария, Базель), объединяющую издателей, производителей и дистрибьюторов учебных материалов и оборудования всего мира.

Более 4000 наименований учебной продукции (из них 1050 – высокотехнологичная) позволяют осуществлять комплексное оснащение аудиторий, кабинетов и лабораторий «Под ключ». налажен выпуск учебного оборудования как по конкретной тематике, так и по целым учебным курсам:

Общетеchnологический цикл (физика, материаловедение, детали машин, техническая и строительная механика, сопротивление материалов, черчение и общая электротехника и т.п.)

Профессиональный цикл (электроника, электрический привод и машины, информационно-измерительная техника, вычислительная и микропроцессорная техника, автоматизация и управление производством, сети ЭВМ и защита информации, электроэнергетика, металлургия, авиация и космонавтика, теплоэнергетика, строительство; автомобильная, сельскохозяйственная и тракторная техника, машиностроение; гидравлика, гидропневмосистемы и автоматика, ЖКХ, водоснабжение и водоотведение, пищевое оборудование и технологии, нефть и газ, горное оборудование, а также монтаж, наладка и ремонт оборудования и т. д.)

По результатам опытно-конструкторских работ ежегодно ставится на производство 30-50 новых и инновационных образцов учебной техники. В комплект поставок входят учебно-методические пособия и паспорта оборудования. Продукцией компании оснащены 49 ресурсных центров ЮУрГУ (НИУ), 2057 образовательных учреждений начальной и средней школ, колледжей, лицеев, техникумов, вузов России, Казахстана, Украины, Белоруссии, Монголии, Таджикистана, Узбекистана, Турции, Молдавии и стран Прибалтики, а также для центров переподготовки при промышленных предприятиях.

Организация располагает полным циклом собственного производства. Кроме этого занимается разработкой и изготовлением учебных лабораторных стендов, тренажеров и виртуальных стендов по индивидуальному заказу.

Учебное оборудование и наглядные пособия позволяют реально трансформировать любую учебную аудиторию, лабораторию и кабинет в эффективную рабочую среду с инновационными учебно-методическими решениями и современной эргономикой. Основой такой среды являются реализованные достижения схмотехники, мехатроники, информационных

средств и технологий (в рамках общероссийской программы «Импортозамещения»).

Учебное оборудование позволяет максимально правдоподобно имитировать реальные производственные процессы и оборудование, тем самым реально подготавливая специалистов к грамотным и безаварийным действиям при решении производственных задач.

Безусловным критерием учебной продукции является безопасность для здоровья и выполнение всех требований электробезопасности.

Учебные комплексы лабораторий строятся из необходимости комфортности, единства требований эстетики, эргономики, с обязательным включением необходимых демонстрационных и лабораторных приборов, принадлежностей, оборудования общего назначения, ТСО, мебели, печатных и мультимедийных средств и технологий, систем звукоусиления и т.п.

Учебное оборудование, выпускаемое предприятием, учитывает возможность их интенсивного использования и готово выдерживать 2-х сменную работу на протяжении многих лет.

НПП «Учтех-Профи» занимается не только разработкой учебных стендов, но в том числе и прокаткой. Лабораторный прокатный стан ничем не отличается от производственного прокатного стана.

Прокатный стан предназначен для осуществления пластической деформации металла в валках. Основным рабочим органом прокатного стана являются валки, вращающиеся в подшипниках, установленных в рабочих клетях. Привод валков осуществляется электродвигателем через промежуточные передаточные механизмы и устройства.

Машины и механизмы, предназначенные для вращения валков, а также для восприятия возникающих при пластической деформации металла усилий и крутящих моментов, составляют главную линию прокатного стана. Машины и механизмы главной линии прокатного стана состоят из рабочей клетки 1, передаточных механизмов 2, 4, 5, 6 и 7 и главного электродвигателя 3.

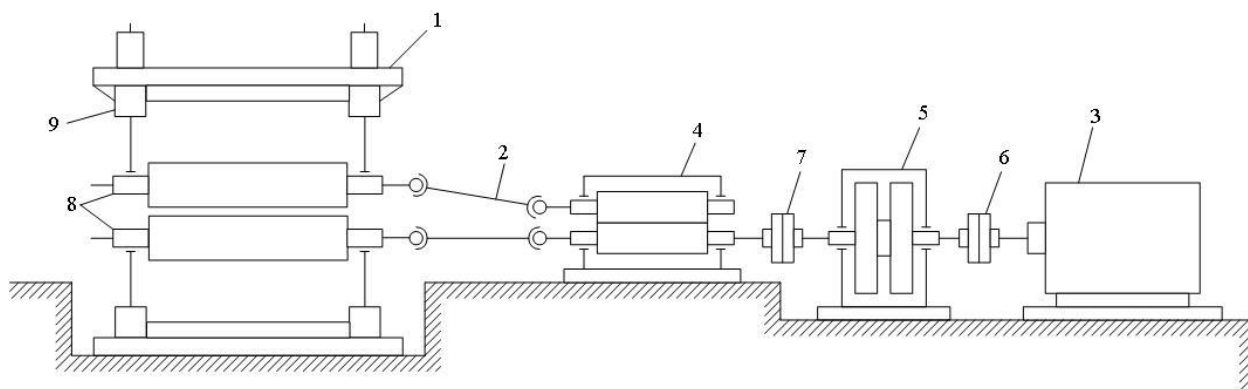


Рисунок 1.1 – Схема главной линии рабочей клетки: 1 – главная рабочая клетка; 2 – универсальные шпиндели; 3 – главный электродвигатель; 4 – шестерённая клетка; 5 - редуктор; 6 – моторная муфта; 7 – зубчатая муфта; 8 – рабочие валки; 9 – станины

Рабочая клетка является основным устройством прокатного стана, так как в ней осуществляется собственно прокатка (пластическая деформация) металла. Клетка представляет собой две массивные стальные литые станины 9, установленные на плитовины, прикреплённые к фундаменту анкерными болтами. В станинах смонтированы подушки с подшипниками и валками 8, а также устройства для перемещения верхнего валка по высоте.

Прокатные валки выполняют основную операцию прокатки – деформацию металла и придание ему требуемых размеров и формы поперечного сечения. В процессе деформации металла вращающиеся валки воспринимают усилие, возникающее при прокатке, и передают его на подшипники и другие детали рабочей клетки стана.

Передаточные механизмы и устройства в зависимости от назначения и конструкции прокатного стана могут быть различными. На станах, прокатывающих металл применяют индивидуальный привод рабочих валков или предусмотрен общий привод рабочих валков от шестерённой клетки с передаточным числом $i=1$; в этом случае между электродвигателем и рабочей клеткой в одну линию расположены муфта, шестерённая клетка и универсальные шпиндели. Если, частота вращения электродвигателя не

соответствует частоте вращения валков, то в линии привода валков устанавливают редуктор и зубчатую муфту.

Характерной особенностью современного прокатного стана является тесная взаимосвязь между технологическим процессом, элементами конструкций, электроприводом и автоматикой.

1.2 Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма

Кинематическая схема главного электропривода прокатного стана представлена на рисунке 1.2.

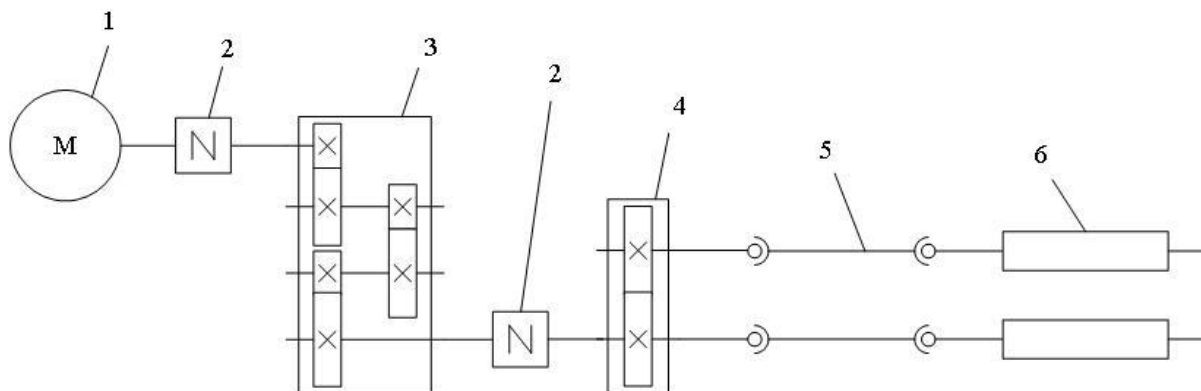


Рисунок 1.2 – Кинематическая схема главного электропривода: 1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – редуктор; 4 – шестерённая клетка; 5 – шпиндель; 6 – прокатный валок

Электродвигатель 1 приводит во вращение прокатные валки 6 через понижающий редуктор 3 и шестерённую клетку 4. Для согласования осей вращения могут быть использованы как универсальные шпиндели 5. Для соединения друг с другом концов валов используются муфты 2.

Кинематическая схема электропривода нажимных валков прокатного стана представлена на рисунке 1.3.

Нажимное устройство состоит из стальных нажимных винтов 1, вращающихся в бронзовых гайках, встроенных в станину клетки. Вращение

осуществляется от двух электродвигателей 2, через цилиндрические 3 и червячные редукторы 4. Ведомое колесо червячного редуктора соединено непосредственно с нажимными винтами.

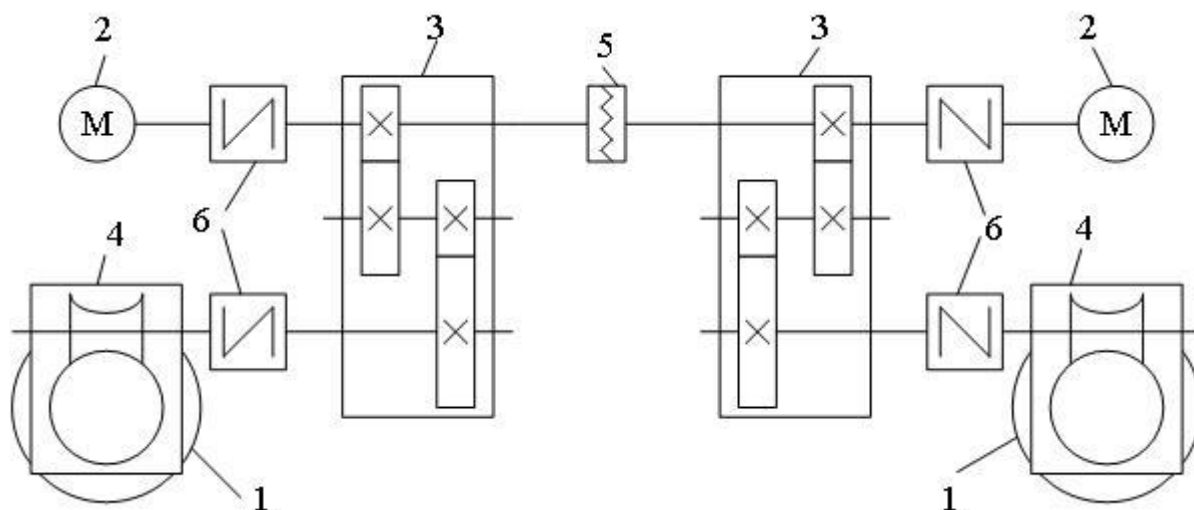


Рисунок 1.3 – Кинематическая схема электропривода нажимных валков: 1 – нажимные винты; 2 – электродвигатель; 3 – цилиндрический редуктор; 4 – червячный редуктор; 5 – электромагнитная муфта; 6 – муфты

Электродвигатели нажимного устройства могут быть между собой механически связаны посредством расцепной муфты 5 с электромагнитным приводом расцепления. Эта муфта позволяет реализовывать совместное и раздельное управление левым и правым нажимным винтами – реализовывать их синхронное перемещение, а также позволяет устранять перекося валков.

1.3 Требования к приводам и системе автоматизации

Требования к главному электроприводу:

- 1) Регулирование скорости вращения двигателя с диапазоном 10:1;
- 2) Ошибка в регулировании скорости в статическом режиме не более 0.5%, в динамическом режиме не более 2%;

3) Обеспечение в рабочих режимах реверса электромагнитного момента и скорости;

4) Минимально возможное время переходного процесса.

Требования к электроприводу нажимных устройств:

1) высокая точность остановки нажимных винтов с ошибкой в позиционировании не более $\pm 0,01$ мм;

2) диапазон регулирования скорости 5:1;

3) обеспечение упорной механической характеристики;

4) обеспечение возможности реверсивной работы электропривода.

1.4 Выбор системы привода

К данным требованиям, приведённым в пункте 1.3, больше всего подходит система электропривода с асинхронным двигателем, который будет управляться от частотного преобразователя.

Электропривод – электромеханическая система, предназначенная для приведения в движение рабочих органов машины, состоящая из механического передаточного, преобразовательного, электродвигательного и управляющего устройств.

Асинхронный двигатель – электрическая машина переменного тока, частота вращения ротора которой не равно частоте вращения магнитного поля, создаваемого током обмотки статора. Асинхронные машины широко используются как электродвигатели и являются преобразователями электрической энергии в механическую.

Частотный преобразователь – устройство, которое преобразует переменный ток одной частоты в переменный ток другой частоты.

1.5 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы приводов

1.5.1 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы главного электропривода

Расчёт статического момента

Для построения статической диаграммы электропривода необходимо рассчитать момент прокатки и момент холостого хода. Момент прокатки рассчитывается по следующей формуле:

$$M_{\text{пр}} = 2 \cdot p_{\text{ср}} \cdot B \cdot \psi \cdot R \cdot \Delta h, \quad (\text{Н}\cdot\text{м}) \quad (1.1)$$

где $p_{\text{ср}}$ – среднее удельное давление, $\text{Н}/\text{м}^2$;

B – средняя ширина металла, м;

ψ – отношение плеча равнодействующей сил давления к длине хорды ($\psi=0,35\div 0,45$);

R – радиус вала, м;

Δh – обжатие, м.

Среднее удельное давление рассчитывается по следующей формуле:

$$p_{\text{ср}} = K \cdot \frac{2 \cdot h}{\Delta h \cdot (\delta - 1)} \cdot \left(\frac{h_K}{h} \right) \cdot \left[\left(\frac{h_K}{h} \right)^\delta - 1 \right], \quad (\text{Н}/\text{м}^2) \quad (1.2)$$

где $K=1,15 \cdot K_f$, $\text{Н}/\text{м}^2$;

K_f – предел текучести металла, $\text{Н}/\text{м}^2$ (свинец, $K_f=5\text{МПа}$);

h – толщина слитка после прокатки, мм.

$$\delta = f \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot D}{\Delta h}}, \quad (1.3)$$

$$\frac{h_K}{h} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) \cdot \left(\frac{H}{h}\right)^\delta}}{\delta + 1} \right]^{\frac{1}{\delta}}, \quad (1.4)$$

$$\Delta h = H - h, \quad (\text{м}) \quad (1.5)$$

где H – толщина слитка до прокатки, м;

D – диаметр валка, м.

Средняя ширина металла рассчитывается по следующей формуле:

$$B = \frac{B_1 + B_2}{2}, \quad (\text{м}) \quad (1.6)$$

где B_1 – ширина слитка до прокатки, мм ($B_1 = 0,02$ м);

B_2 – ширина прокатки после прокатки, м.

Ширина слитка после прокатки рассчитывается по следующей формуле:

$$B_2 = B_1 + \Delta B, \quad (\text{м}) \quad (1.7)$$

где ΔB – уширение, м.

Уширение рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta B = \beta \cdot (H - h), \quad (\text{м}) \quad (1.8)$$

где β – коэффициент, учитывающий влияние температуры на уширение, $\beta = 0,35$ при $t < 1000$ °С.

После подстановки данных в формулы 1.1-1.8 получим:

$$M_{\text{пр}} = 28,279. \quad (\text{Н}\cdot\text{м})$$

Момент холостого хода равен 5% от момента прокатки:

$$M_{\text{хх}} = 5\% \cdot M_{\text{пр}}, \quad (\text{м}) \quad (1.9)$$

$$M_{\text{хх}} = 1,414 \quad (\text{м})$$

Предварительный выбор двигателя

Номинальная мощность двигателя определяется по следующей формуле:

$$P_{\text{ном}} = K_3 \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{факт}}}{\varepsilon_{\text{ст}}}} \cdot \frac{\sum_k M_{\text{с}\Sigma_k} \cdot \omega_k \cdot t_k}{t_{\text{ц}}}, \quad (\text{Вт}) \quad (1.10)$$

где K_3 – коэффициент запаса, принимаемый при предварительных расчётах на уровне 1,2...1,5;

$M_{\text{с}\Sigma k}$ – приведённый к валу двигателя статический момент, Н·м;

ω_k – угловая скорость двигателя, с⁻¹,

t_k – и продолжительность k-го участка, с;

$t_{\text{ц}}$ – время цикла, с;

$\varepsilon_{\text{ст}}$ – стандартная относительная продолжительность включения выбираемого двигателя;

$\varepsilon_{\text{факт}}$ – фактическая относительная продолжительность работы электропривода.

Фактическая относительная продолжительность работы электропривода рассчитывается по следующей формуле:

$$\varepsilon_{\text{факт}} = \frac{\sum t_{\text{раб}}}{\sum t_{\text{раб}} + \sum t_{\text{паузы}}} = \frac{\sum t_{\text{раб}}}{t_{\text{ц}}}, \quad (1.11)$$

где $\sum t_{\text{раб}}$ – суммарная продолжительность работы под нагрузкой, с;

$\sum t_{\text{паузы}}$ – суммарная продолжительность участков простоя, с.

Двигатель будет работать в повторно-кратковременном режиме работы (S3), тогда стандартная относительная продолжительность включения двигателя будет составлять:

$$\varepsilon_{\text{ст}} = 15\%$$

Рассчитаем фактическую относительную продолжительность работы электропривода по формуле 1.11:

$$\varepsilon_{\text{факт}} = 0,26$$

Рассчитаем номинальную мощность двигателя по формуле 1.10

$$P_{\text{НОМ}} = 8,377 \div 10,471 \quad (\text{Вт})$$

Предварительно выбираем электродвигатель, параметры которого приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Параметры двигателя

| | |
|----------------------|-----------|
| Тип электродвигателя | 3RK15GN-C |
| Мощность на валу, Вт | 15 |

Продолжение таблицы 1.1

| | |
|---|----------------------|
| Скорость вращения, об/мин | 1200 |
| Номинальный ток I_n , А | 0,23 |
| Номинальный момент $M_{ном}$, Н·м | 0,125 |
| Момент инерции ротора J , кг·м ² | $8,71 \cdot 10^{-3}$ |
| Перегрузочная способность λ_d | 2,2 |

Расчёт динамического момента

Для построения динамической диаграммы электропривода необходимо рассчитать динамический момент, который рассчитывается по следующей формуле:

$$M_{дин} = J_{\Sigma} \cdot \frac{d\omega}{dt} = J_{\Sigma} \cdot \varepsilon, \quad (\text{Н}\cdot\text{м}) \quad (1.12)$$

где J_{Σ} - приведённый суммарный момент инерции на валу двигателя, кг·м²;

ε – угловое ускорение или замедление электропривода, с⁻².

Угловое ускорение или замедление рассчитывается по следующей формуле:

$$\varepsilon = \frac{\omega_1 - \omega_0}{\Delta t}, \quad (\text{с}^{-2}) \quad (1.13)$$

где ω_1 – установившаяся скорость, с⁻¹;

ω_0 – начальная скорость ($\omega_0=0$), с⁻¹;

Δt – время за которое происходит разгон от ω_0 до ω_1 , с.

После подстановки данных в формулу 1.13 получим:

$$\varepsilon = 0,42 \quad (\text{с}^{-2})$$

Для расчёта приведённого суммарного момента инерции на валу двигателя необходимо рассчитать момент инерции валков и выбрать по каталогам шпиндели, шестерённую клетку и муфту. Также будет выбираться мотор-редуктор.

Редуктор, выбранный по каталогу от компании «СИРИУС», будет иметь следующие параметры, приведённые в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Параметры редуктора

| | |
|---|----------------------|
| Типоразмер | R47 (цилиндрический) |
| Число ступеней | Трёхступенчатый |
| Частота вращения входного вала, об/мин | 1400 |
| Частота вращения выходного вала, об/мин | 7,5 |
| Передаточное число i | 200 |
| Максимально допустимый вращающий момент на выходном валу, Н·м | 40 |
| Момент инерции редуктора $J_{ред}$, кг·м ² | $2,25 \cdot 10^{-2}$ |

Моменты инерции зубчатой муфты, прокатного валка, шестерни шестерённой клетки и универсального шпинделя приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Моменты инерции

| | |
|--|-----------------------|
| Момент инерции зубчатой муфты $J_{з.м.}$, кг·м ² | 0,05 |
| Момент инерции прокатного валка, $J_{в.}$, кг·м ² | $1,28 \cdot 10^{-2}$ |
| Момент инерции шестерни шестерённой клетки, $J_{ш.к.}$, кг·м ² | $9,717 \cdot 10^{-2}$ |
| Момент инерции универсального шпинделя $J_{у.ш.}$, кг·м ² | $7,274 \cdot 10^{-2}$ |

Приведённый момент инерции рассчитывается по следующей формуле:

$$J_{\text{пр}} = \frac{J}{i^2}, \quad (\text{кг}\cdot\text{м}^2) \quad (1.14)$$

где J – момент инерции объекта, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

i – передаточное число редуктора.

Приведённые моменты инерции для зубчатой муфты, прокатного вала, шестерни шестерённой клетки и универсального шпинделя, рассчитанные по формуле 1.14, приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Приведённые моменты инерции

| | |
|---|-----------------------|
| Приведённый момент инерции зубчатой муфты $J_{\text{пр.з.м.}}$, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ | $1,25 \cdot 10^{-6}$ |
| Приведённый момент инерции прокатного вала, $J_{\text{пр.в.}}$, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ | $3,2 \cdot 10^{-7}$ |
| Приведённый шестерни шестерённой клетки, $J_{\text{пр.ш.к.}}$, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ | $2,429 \cdot 10^{-6}$ |
| Момент инерции универсального шпинделя $J_{\text{пр.у.ш.}}$, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ | $1,819 \cdot 10^{-6}$ |

Рассчитаем суммарный момент инерции системы:

$$\begin{aligned} J_{\Sigma} &= J_{\text{дв.}} + J_{\text{ред.}} + J_{\text{пр.з.м.}} + J_{\text{пр.ш.к.}} + 2 \cdot J_{\text{пр.у.ш.}} + 2 \cdot J_{\text{пр.вал.}} = \\ &= 8,71 \cdot 10^{-3} + 2,25 \cdot 10^{-2} + 1,25 \cdot 10^{-6} + 2,429 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 1,819 \cdot 10^{-6} + \\ &\quad + 2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-7} = 3,122 \cdot 10^{-2} \quad (\text{кг}\cdot\text{м}^2) \end{aligned}$$

Подставим данные в формулу 1.12.

$$M_{\text{дин}} = 3,122 \cdot 10^{-2} \cdot 0,42 = 0,013 \quad (\text{Н}\cdot\text{м})$$

Построение тахограммы и упрощённой нагрузочной диаграммы

Тахограмма главного электропривода будет выглядеть следующим образом (рисунок 1.4).

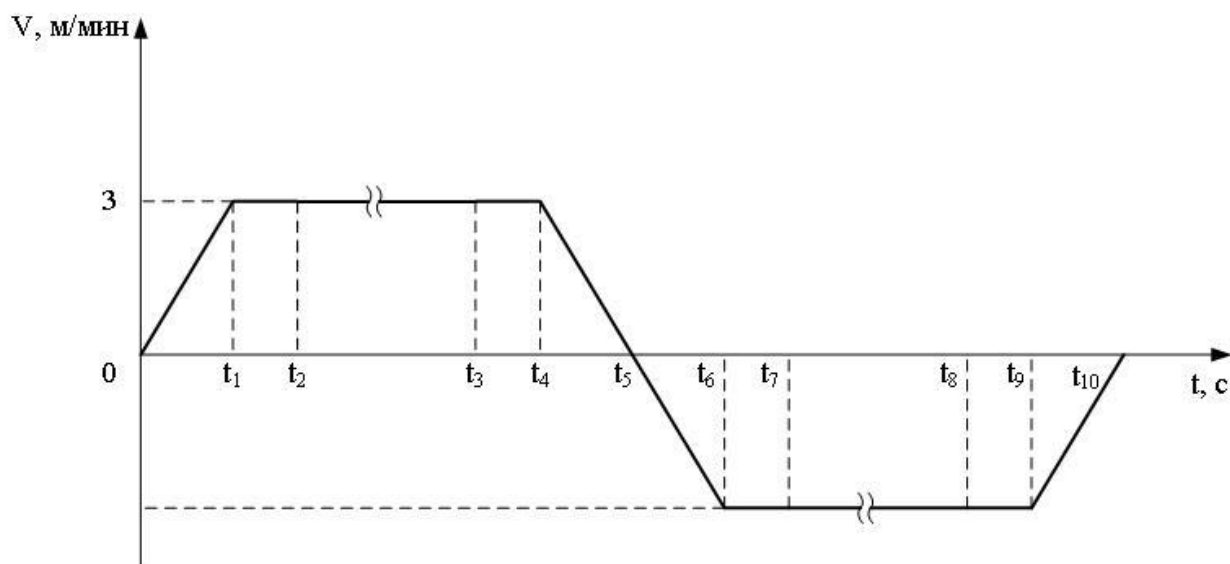


Рисунок 1.4 – Тахограмма главного электропривода

На рисунке 4 участок от 0 до t_1 – время разгона электропривода ($t=5$ с). В момент времени t_2 происходит захват металла валками ($t=2$ с). Участок t_2 - t_3 – время прокатки металла ($t=5$ с). В момент времени t_3 - t_4 – происходит выход металла из валков ($t=2$ с). На участке t_4 - t_5 происходит торможение электропривода ($t=5$ с). В момент времени t_5 электропривода переходит в реверсивный режим. Участок t_5 - t_6 – время разгона электропривода ($t=5$ с). В момент времени t_6 - t_7 – происходит захват металла валками ($t=2$ с). Участок t_7 - t_8 – время прокатки металла ($t=5$ с). В момент времени t_8 - t_9 – происходит выход металла из валков ($t=2$ с). На участке t_9 - t_{10} происходит торможение электропривода ($t=5$ с).

Момент на валу двигателя рассчитывается по следующей формуле:

$$M = M_c + M_{\text{дин}} \quad (\text{Н}\cdot\text{м}) \quad (1.15)$$

После подстановки данных в формулу 1.15 рассчитаем момент на валу двигателя и построим диаграмму момента на валу двигателя (рисунок 1.5).

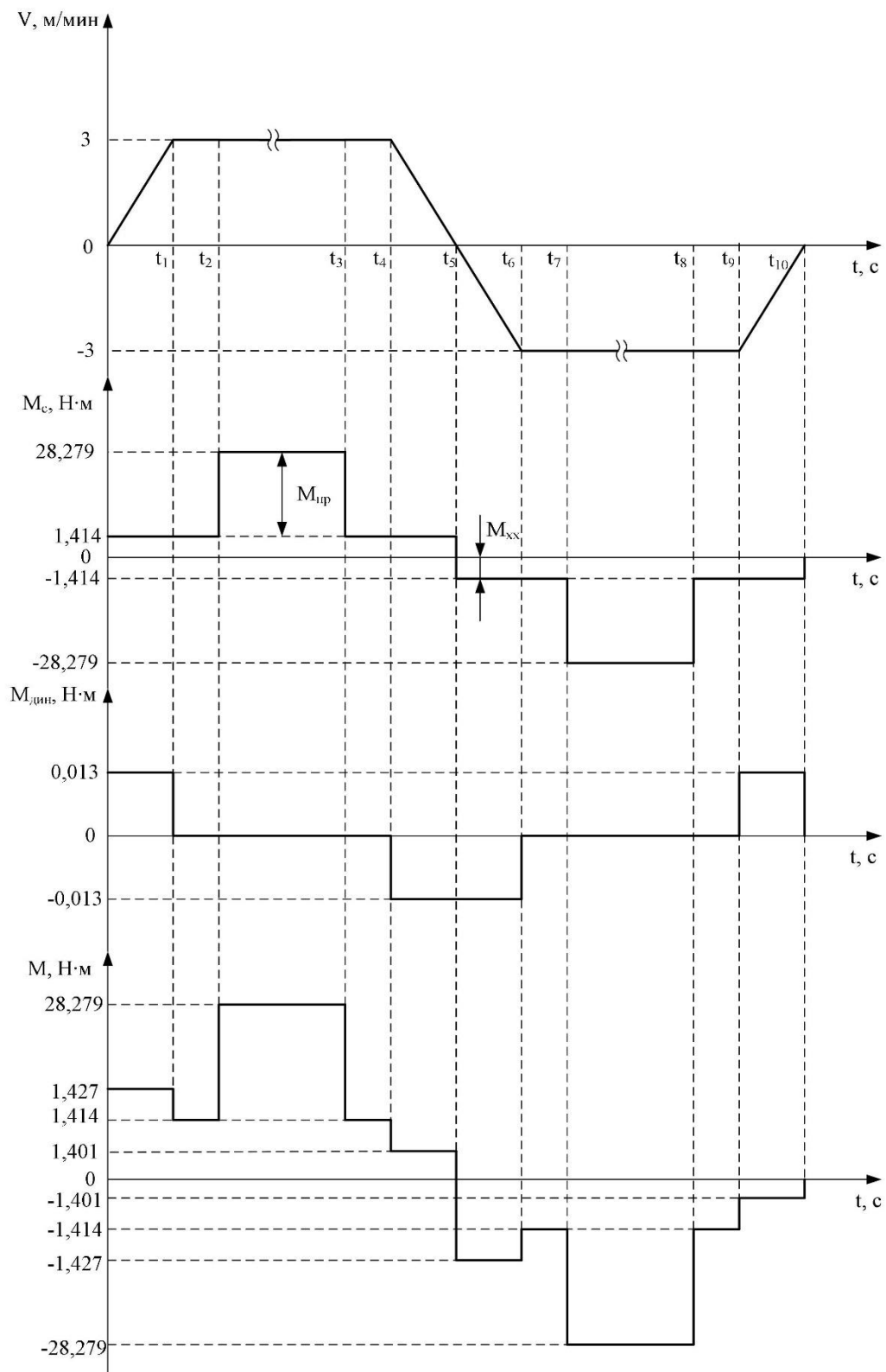


Рисунок 1.5 – Диаграмма момента на валу двигателя главного электропривода

1.5.2 Расчёт и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы электропривода нажимного устройства

Расчёт статического момента

Поскольку в клети перемещение валка осуществляется без прокатываемого металла, то при вращении нажимных винтов приводные электродвигатели преодолевают сопротивление сил трения во вращающихся частях механизма, а также преодоление перемещения веса валка.

$$M_c = k \cdot \left[(P_y - G_B - 2 \cdot G_{H.B.}) \cdot \frac{d_{cp}}{2} \cdot \operatorname{tg}(\varphi \pm \alpha) + (P_y - G_B) \cdot \frac{d_{II}}{2} \cdot \mu_{II} \right] \cdot \frac{1}{i_{ред} \cdot \eta_{ред}} \quad (\text{Н}\cdot\text{м}) \quad (1.16)$$

где k – коэффициент, учитывающий трение подушек о направляющие, трение в опорных подшипниках, $k=1.1$;

P_y – усилие со стороны уравнивающего устройства.

$$P_y = (1.2 \dots 1.4) \cdot (G_B + 2 \cdot G_{H.B.}), \quad (\text{Н}) \quad (1.17)$$

где $G_B, G_{H.B.}$ – вес верхнего валка с подушками, опорными стаканами и др. деталями и вес нажимного винта.

$$G_B = m_B \cdot g \quad (\text{Н}) \quad (1.18)$$

$$G_{H.B.} = m_{H.B.} \cdot g, \quad (\text{Н}) \quad (1.19)$$

где $m_B, m_{H.B.}$ – соответственно масса валка и масса нажимного винта;

g – ускорение свободного падения;

d_{cp} – средний диаметр нарезки винта;

α – угол подъема винтовой линии нарезки нажимного винта;

φ – угол трения в нарезке нажимного винта ($\varphi=5^\circ$);

$d_{п}$ – диаметр пяты;

$\mu_{п}$ – коэффициент трения в пяте ($\mu_{п}=0,12\dots0,18$);

$i_{ред}$, $\eta_{ред}$ – передаточное число и К.П.Д. редукторов. Знак “+” соответствует режиму опускания валка, “–” – подъему.

Некоторые параметры для расчёта представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Параметры для расчёта

| | |
|-----------------|--------|
| $m_{в}$, кг | 8,3 |
| $m_{н.в.}$, кг | 0,7 |
| $d_{п}$, м | 0,026 |
| d_{cp} , м | 0,0265 |
| α , град | 60 |

После подстановки данных в формулы 1.17, 1.18 и 1.19 получим:

$$G_{в} = 3,385 \cdot 9,81 = 33,21 \quad (\text{Н})$$

$$G_{н.в.} = 0,7 \cdot 9,81 = 6,87 \quad (\text{Н})$$

$$P_{у} = 1,3 \cdot (33,21 + 2 \cdot 6,87) = 61,02 \quad (\text{Н})$$

Будет выбираться мотор-редуктор. Выберем цилиндрический и червячный редуктора.

Редукторы, выбранные по каталогу от компании «СИРИУС», будут иметь следующие параметры, приведённые в таблице 1.6 и таблице 1.7.

Таблица 1.6 – Параметры цилиндрического редуктора

| | |
|---|----------------------|
| Типоразмер | R47 (цилиндрический) |
| Число ступеней | Одноступенчатый |
| Частота вращения входного вала, об/мин | 1400 |
| Передаточное число i | 7 |
| Максимально допустимый вращающий момент на выходном валу, Н·м | 40 |
| Момент инерции редуктора $J_{ц.ред.}$, кг·м ² | $2,25 \cdot 10^{-2}$ |
| КПД, % | 90 |

Таблица 1.7 – Параметры червячного редуктора

| | |
|---|----------------------|
| Типоразмер | S47 (червячный) |
| Число ступеней | Одноступенчатый |
| Частота вращения входного вала, об/мин | 1400 |
| Передаточное число i | 7 |
| Максимально допустимый вращающий момент на выходном валу, Н·м | 35 |
| Момент инерции редуктора $J_{ч.ред.}$, кг·м ² | $1,79 \cdot 10^{-2}$ |
| КПД, % | 83 |

После подстановки данных в формулу 1.16 получим:

- при опускании

$$M_{с.оп.} = 1,63 \text{ (Н·м)}$$

- при подъёме

$$M_{с.под.} = 1,02 \text{ (Н·м)}$$

Предварительный выбор двигателя

Двигатель будет работать в повторно-кратковременном режиме работы (S3), тогда стандартная относительная продолжительность включения двигателя будет составлять:

$$\varepsilon_{ст} = 15\%$$

Рассчитаем фактическую относительную продолжительность работы электропривода по формуле 1.11:

$$\varepsilon_{факт} = 0,05$$

Рассчитаем номинальную мощность двигателя по формуле 1.10

$$P_{НОМ} = 0,123 \div 0,154 \text{ (Вт)}$$

Предварительно выбираем электродвигатель, параметры которого приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Параметры двигателя

| | |
|---|----------------------|
| Тип электродвигателя | 1RK1GN-C |
| Мощность на валу, Вт | 1 |
| Скорость вращения, об/мин | 1200 |
| Номинальный ток I_n , А | 0,48 |
| Номинальный момент $M_{НОМ}$, Н·м | 0,16 |
| Момент инерции ротора J , кг·м ² | $7,26 \cdot 10^{-3}$ |
| Перегрузочная способность λ_d | 2,1 |

Расчёт динамического момента

Моменты инерции валка, упругой втулочно-пальцевой муфты, зубчатой муфты и нажимного винта представлены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Моменты инерции

| | |
|--|-----------------------|
| Момент инерции валка J_B , кг·м ² | $2,801 \cdot 10^{-2}$ |
| Момент инерции упругой втулочно-пальцевой муфты $J_{у.в-п.м.}$, кг·м ² | 0,311 |
| Момент инерции зубчатой муфты $J_{з.м.}$, кг·м ² | 0,05 |
| Момент инерции нажимного винта $J_{н.в.}$, кг·м ² | $9,56 \cdot 10^{-2}$ |

Приведённые моменты инерции, рассчитанные по формуле 1.14, приведены в таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Приведённые моменты инерции

| | |
|---|-----------------------|
| Приведённый момент инерции валка $J_{пр.в.}$, кг·м ² | $2,801 \cdot 10^{-5}$ |
| Приведённый момент инерции упругой втулочно-пальцевой муфты $J_{пр.у.в-п.м.}$, кг·м ² | $1,295 \cdot 10^{-4}$ |
| Приведённый момент инерции зубчатой муфты $J_{пр.з.м.}$, кг·м ² | $1,02 \cdot 10^{-3}$ |
| Приведённый момент инерции нажимного винта $J_{пр.н.в.}$, кг·м ² | $9,56 \cdot 10^{-5}$ |

Рассчитаем суммарный момент инерции на валу двигателя:

$$\begin{aligned} J_{\Sigma} &= J_{дв.} + J_{ц.ред.} + J_{пр.з.м.} + J_{ч.ред.} + J_{пр.у.в-п.м.} + J_{пр.н.в.} + J_{пр.в.} = \\ &= 7,26 \cdot 10^{-3} + 2,25 \cdot 10^{-2} + 1,02 \cdot 10^{-3} + 1,79 \cdot 10^{-2} + 1,295 \cdot 10^{-4} + 9,56 \cdot 10^{-5} + \\ &\quad + 2,801 \cdot 10^{-5} = 0,049 \quad (\text{кг} \cdot \text{м}^2) \end{aligned}$$

Динамический момент рассчитывается по следующей формуле:

$$M_{\text{дин}} = \frac{J_{\Sigma} \cdot 2 \cdot \pi \cdot V^2 \cdot i}{S \cdot h}, \quad (\text{Н}\cdot\text{м}) \quad (1.20)$$

где J_{Σ} - суммарный момент инерции, Н·м;

V – скорость перемещения вала, м/с;

i – передаточное число редуктора;

S – перемещение вала, м;

h – шаг нажимного винта, м.

Подставив данные в формулу 1.20 получим:

$$M_{\text{дин}} = 5,43 \quad (\text{Н}\cdot\text{м})$$

Построение нагрузочной диаграммы

Тахограмма электропривода нажимного устройства будет выглядеть следующим образом (рисунок 1.6).

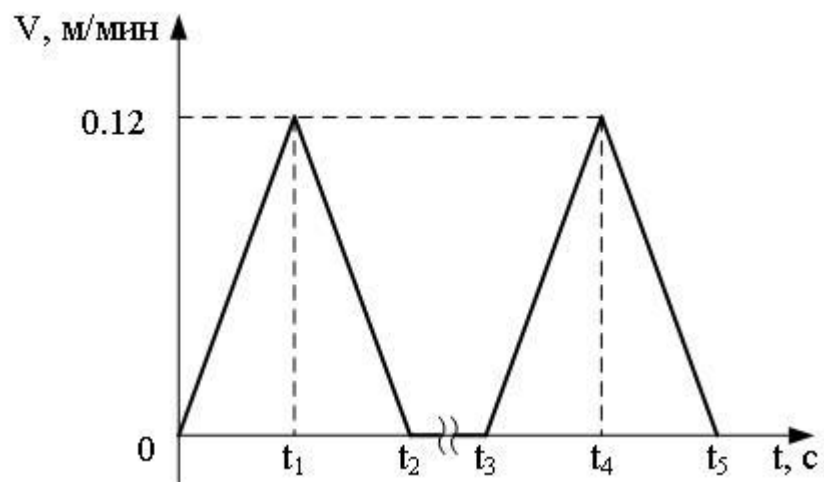


Рисунок 1.6 – Тахограмма электропривода нажимного устройства

На рисунке 1.6 участок от 0 до t_1 – время разгона электропривода ($t=0,5c$).
 На участке t_1-t_2 происходит торможение электропривода ($t=0,5c$). Участок t_2-t_3 – простой двигателя. На участке t_3-t_4 происходит разгон электропривода ($t=0,5c$).
 На участке t_4-t_5 происходит торможение электропривода ($t=0,5c$).

После подстановки данных в формулу 1.15 рассчитаем момент на валу двигателя и построим диаграмму момента на валу двигателя (рисунок 1.7).

1.6 Выбор силового оборудования

Условие выбора двигателя и его проверка

Предварительно выбранные в п. 1.5 двигатели необходимо проверить по нагреву и перегрузочной способности.

Чтобы проверить двигатель по нагреву необходимо рассчитать эквивалентный момент по нагрузочной диаграмме:

$$M_{\text{ЭКВ.}} = \sqrt{\frac{\sum_k (M_k^2 \cdot \Delta t_k)}{t_{\text{Ц}}}}, \quad (\text{Н}\cdot\text{м}) \quad (1.21)$$

где M_k – момент на валу двигателя в момент времени Δt_k , Н·м;

Δt – время изменения момента, с;

$t_{\text{ц}}$ – время цикла, с.

При этом

$$M_{\text{НОМ}} > M_{\text{ЭКВ.}} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{ФАКТ}}}{\varepsilon_{\text{СТ}}}}, \quad (\text{Н}\cdot\text{м}) \quad (1.22)$$

где $\varepsilon_{\text{СТ}}$ – номинальная продолжительность включения двигателя;

$\varepsilon_{\text{ФАКТ}}$ – фактическая продолжительность включения.

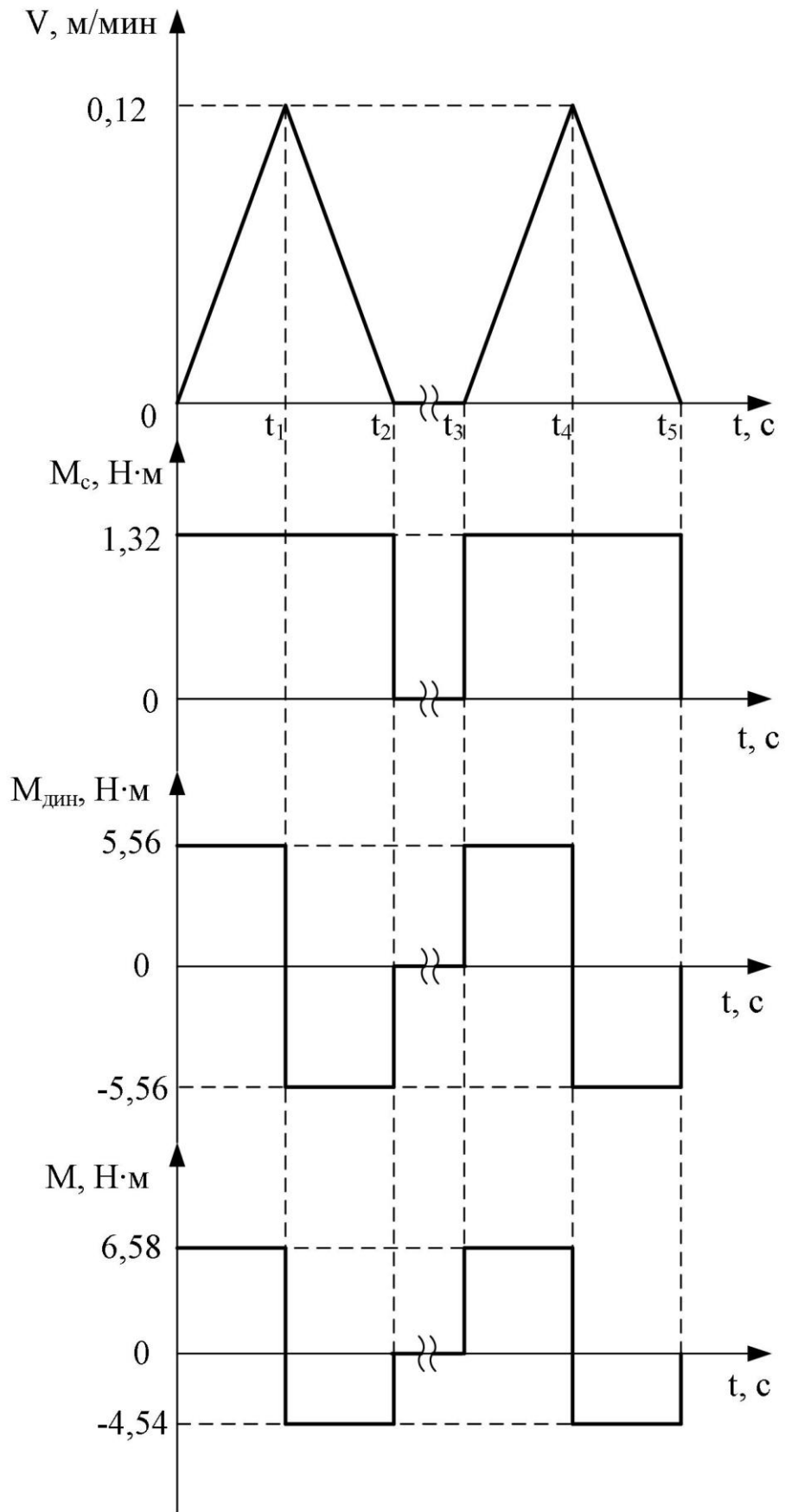


Рисунок 1.7 – Диаграмма момента на валу двигателя нажимного устройства

$$\varepsilon_{\text{факт}} = \frac{\sum t_p}{t_{\text{ц}}}, \quad (1.23)$$

где t_p – время работы двигателя, с;

$t_{\text{ц}}$ – время цикла работы, с.

По перегрузочной способности двигатель проверяется по формуле:

$$M_{\text{max}} \leq \lambda_{\text{дв.}} \cdot M_{\text{ном.}}, \quad (1.24)$$

где M_{max} – максимальный момент работы привода, Н·м;

$\lambda_{\text{дв.}}$ – перегрузочная способность двигателя;

$M_{\text{ном.}}$ – номинальный момент двигателя, Н·м.

Условие выбора преобразователя частоты

После выбора двигателя и его проверки необходимо выбрать преобразователь частоты. Выбор преобразователя частоты осуществляется по току, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{\text{п.ч.}} = \frac{\lambda_{\text{дв.}}}{\lambda_{\text{п.ч.}}} \cdot I_{\text{дв.}}, \quad (\text{А}) \quad (1.25)$$

где $\lambda_{\text{дв.}}$ – перегрузочная способность двигателя;

$\lambda_{\text{п.ч.}}$ – перегрузочная способность преобразователя частоты;

$I_{\text{дв.}}$ – номинальный ток двигателя, А.

Проверка двигателя главного электропривода

Рассчитаем эквивалентный момент по формуле 1.21:

$$M_{\text{ЭКВ}} = 0,073 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Проверим правильность выбора двигателя по формуле 1.22.

$$0,125 > 0,096$$

Двигатель выбран правильно.

Проверим двигатель на перегрузочную способность по формуле 1.24.

$$0,14 \leq 1,056$$

Двигатель проходит проверку по перегрузочную способность.

Выбор частотного преобразователя главного электропривода

Рассчитаем ток частотного преобразователя по формуле 1.25.

$$I_{\text{п.ч.}} = \frac{2,2}{1,5} \cdot 0,145 = 0,21 \text{ (Вт)}$$

Параметры частотного преобразователя от компании ОВЕН представлены в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Параметры частного преобразователя

| | |
|---|--------------|
| Серия | ПЧВ101-К18-А |
| Мощность, Вт | 180 |
| Сетевое напряжение, В | 200-240 |
| Номинальный входной ток, А | 3,3 |
| Номинальный выходной ток, А | 1,2 |
| Выходная частота, Гц | 0-200 |
| Коэффициент мощности | 0,95 |
| КПД, % | 95 |
| Перегрузочная способность, $\lambda_{п.ч.}$ | 1,5 |
| Постоянные частоты | 3 |
| Серийный интерфейс | RS485 |
| Тип защиты | IP20 |

Выбор двигателя нажимного устройства

Рассчитаем эквивалентный момент по формуле 1.21.

$$M_{\text{ЭКВ}} = 0,026 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Проверим правильность выбора двигателя по формуле 1.22.

$$0,16 > 0,015$$

Двигатель выбран правильно.

Проверим двигатель на перегрузочную способность по формуле 1.24.

$$0,13 \leq 0,34$$

Двигатель проходит проверку по перегрузочную способность.

Выбор частотного преобразователя нажимного устройства

Рассчитаем ток частотного преобразователя по формуле 1.25.

$$I_{п.ч.} = 0,7 \text{ (Вт)}$$

Параметры частотного преобразователя от компании ОВЕН представлены в таблице 1.14.

Таблица 1.14 – Параметры частотного преобразователя

| | |
|---|--------------|
| Серия | ПЧВ101-К18-А |
| Мощность, Вт | 180 |
| Сетевое напряжение, В | 200-240 |
| Номинальный входной ток, А | 3,3 |
| Номинальный выходной ток, А | 1,2 |
| Выходная частота, Гц | 0-200 |
| Коэффициент мощности | 0,95 |
| КПД, % | 95 |
| Перегрузочная способность, $\lambda_{п.ч.}$ | 1,5 |
| Постоянные частоты | 3 |
| Серийный интерфейс | RS485 |
| Тип защиты | IP20 |

Силовая схема преобразователя частоты ПЧВ101-К18-А представлена на рисунке 1.8.

1.7 Защита привода

К защите привода необходимо отнести реле автоматического выключения, параметры которого представлены в таблице 1.15.

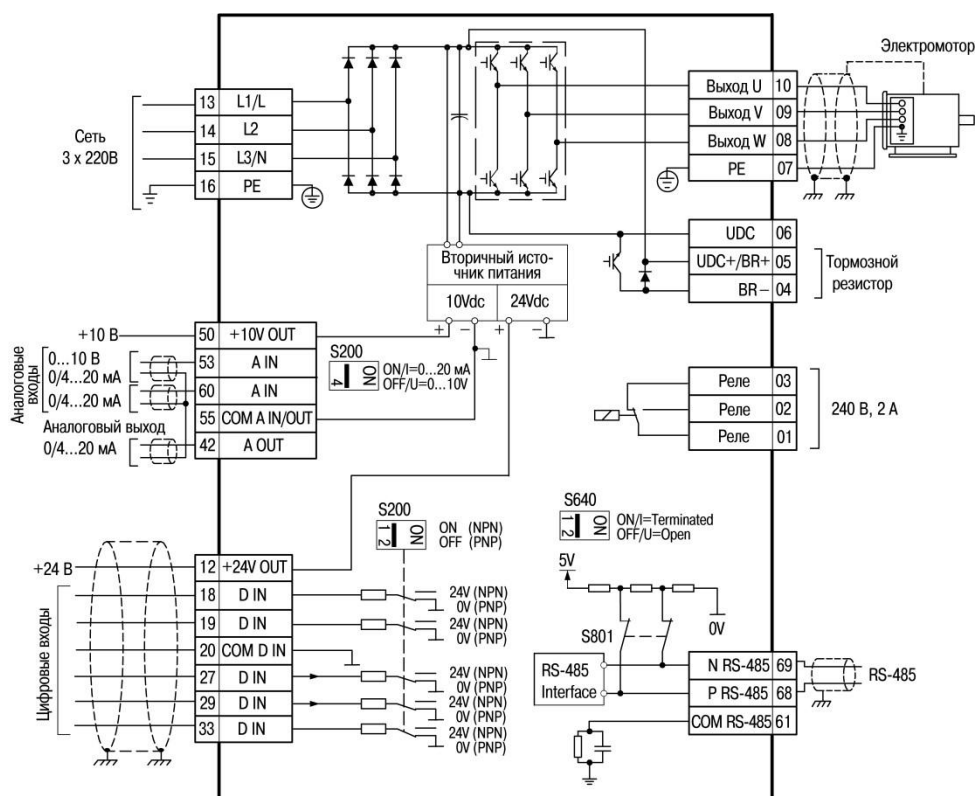


Рисунок 1.8 – Силовая схема преобразователя частоты ПЧВ101-К18-А

Таблица 1.15 – Параметры реле автоматического выключения

| Типоразмер | ИЕК НОМЕ В А47-21 |
|---|-------------------|
| Номинальное напряжение, В | 230 |
| Частота сети, Гц | 50 |
| Номинальный ток, А | 6 |
| Отключающая способность, кА | 4,5 |
| Крепление | на DIN-рейку |
| Степень защиты | IP 20 |
| Количество полюсов | 1 |
| Количество модулей | 1 |
| Кривая отключения | C |
| Максимальное сечение подключаемого провода, мм ² | 25 |
| Диапазон рабочих температур, град | от -40 до +50 |

Также в преобразователе частоты установлена следующая защита:

1) IP20 – защита от инородных тел среднего размера (защита от контакта с пальцами руки человека и защита от небольших твёрдых инородных тел диаметром более 12мм);

- 2) защита по пониженному напряжению;
- 3) защита по перенапряжению;
- 4) защита по перегрузке;
- 5) защита по короткому замыканию;
- 6) защита по блокировке двигателя;
- 7) защита по перегреву двигателя;
- 8) защита по перегреву преобразователя.

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА САУ

2.1 Разработка архитектуры системы автоматизации

Архитектура системы автоматизации прокатного стана представлена на рисунке 2.1.

Автоматизированная система прокатного стана включает в себя:

1) Человеко-машинный интерфейс – оператор через контроллер задаёт параметры технологического процесса

2) Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК150 – предназначен для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности. Модульная конструкция контроллера ПЛК150, работа с естественным охлаждением, возможность применения структур локального и распределённого ввода-вывода, широкие коммуникационные возможности, множество функций, поддерживаемых на уровне операционной системы, высокое удобство эксплуатации и обслуживания обеспечивают возможность получения оптимальных решений для построения систем автоматического управления технологическими процессами в различных областях промышленного характера.

3) Инкрементальный и абсолютные энкодеры – устройства, которые определяют угол поворота вращающегося объекта, выдавая импульсный цифровой код. Используется для определения скорости вращения вала и положения механизма.

4) Асинхронный двигатель – электрическая машина переменного тока, частота вращения ротора которой не равно частоте вращения магнитного поля, создаваемого током обмотки статора. Асинхронные машины широко используются как электродвигатели и являются преобразователями электрической энергии в механическую.

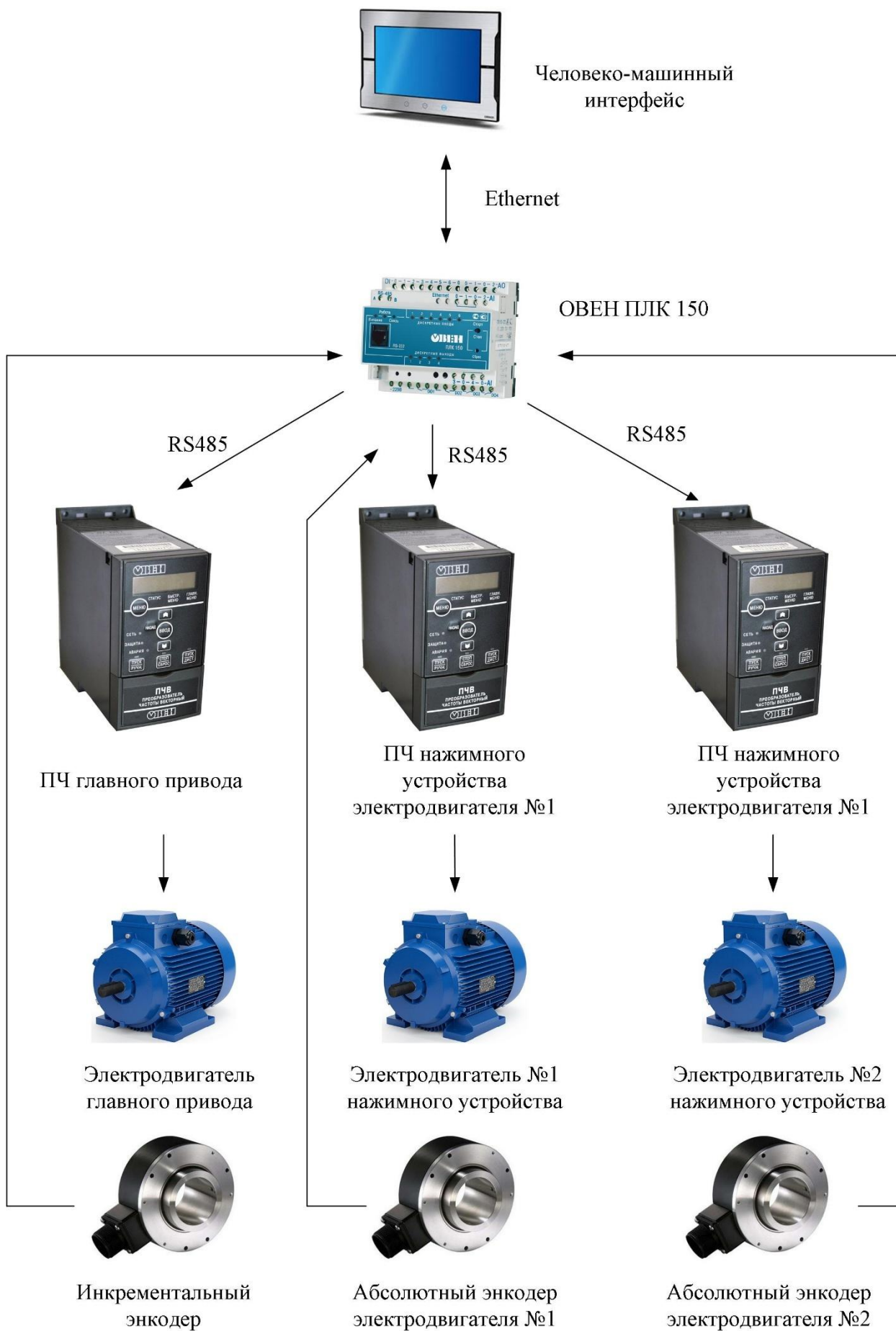


Рисунок 2.1 – Архитектура системы автоматизации прокатного стана

Оператор задаёт параметры на пульте. После, сигналы управления идут на контроллер для обработки и уходят на исполнительные механизмы. Энкодеры в свою очередь исполняют роль обратной связи и передают данные о работе исполнительного механизма в контроллер. Контроллер передаёт полученные данные на пульт оператора. Далее оператор принимает различные решения по управлению прокаткой.

2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат

Технические данные контроллера ОВЕН ПЛК150 представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Технические данные ОВЕН ПЛК150

| | |
|--|--|
| Конструктивное исполнение | Унифицированный корпус для крепления на DIN-рейку |
| Степень защиты корпуса | IP20 |
| Напряжение питания | 90÷264 В переменного тока частотой 47÷63 Гц |
| Потребляемая мощность | 6 Вт |
| Центральный процессор | 32-разрядный RISC -процессор 200 МГц на базе ядра ARM9 |
| Объём энергонезависимой памяти хранения ядра CODESYS, программ и архивов | 4 МВ |
| Размер Retain-памяти | 4 кВ |
| Время выполнения цикла ПЛК | Минимальное 250 мкс, типовое от 1 мс |
| Количество дискретный входов | 6 |
| Электрическая прочность изоляции дискретный входов | 1,5 кВ |
| Максимальная частота сигнала, подаваемого на дискретный вход: - при программной обработке - при применении аппаратного счётчика - при применении обработчика энкодера | 1 кГц 10 кГц 1 кГц |
| Количество аналоговых ыходов | 4 |
| Разрядность встроенного АЦП | 16 бит |

Продолжение таблицы 2.1

| | |
|---|--|
| Внутреннее сопротивление аналогового входа: - в режиме измерения тока - в режиме измерения напряжения 0÷10 В | 50 Ом около 10 кОм |
| Время опроса одного аналогового входа | 0,5 с |
| Количество аналоговых выходов | 2 |
| Разрядность ЦАП | 10 бит |
| Электрическая прочность изоляции аналоговых выходов | 1,5 кВ |
| Интерфейсы | Ethernet 100 Base-T RS-232 RS-485 |
| Скорость обмена по интерфейсам RS | от 4800 до 115200 bps |
| Протоколы | OБЕИ Modbus-RTU, Modbus-ASCII DCON Modbus-tCP GateWay (протокол CODESYS) |
| Среда программирования | CODESYS 2.3.8.1 (и старше) |
| Интерфейс для программирования и отладки | RS-232 или Ethernet |

Технические данные инкрементального энкодера представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Технические данные инкрементального энкодера

| | |
|-------------------------|--|
| Наименование | E80H |
| Диаметр корпуса, мм | 80 |
| Диаметр полого вала, мм | 30 |
| Питание | 5VDC, 12-24VDC |
| Тип выхода | Универсальный, NPN открытый коллектор, выход по напряжению, дифференциальный выход |
| Разрешение | 60, 100, 360, 500, 512, 1024 импульса на оборот |

Технические данные абсолютного энкодера представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Технические данные абсолютного энкодера

| | |
|-------------------------|---------------------------------|
| Наименование | ENP |
| Диаметр корпуса, мм | 60 |
| Диаметр полого вала, мм | 30 |
| Питание | 12-24VDC |
| Тип выхода | NPN, PNP |
| Разрешение | 6, 8, 12, 16, 24 деления/оборот |

2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САР привода проектируемого агрегата

Главный привод

Функциональная схема главного электропривода прокатного стана представлена на рисунке 2.2.

Нажимное устройство

Функциональная схема электропривода нажимного устройства представлена на рисунке 2.3.

Система имеет два одинаковых привода с внутренним контуром тока и внешним контуром скорости. Контур скорости настраивается на модульный оптимум (П-регулятор скорости).

Внешний контур регулирования положения является общим для обеих систем привода. С целью учёта перемещения обоих винтов обратная связь этого контура реализована по полусумме перемещения левого S1 и правого S2 нажимных винтов

$$U_{оп} = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

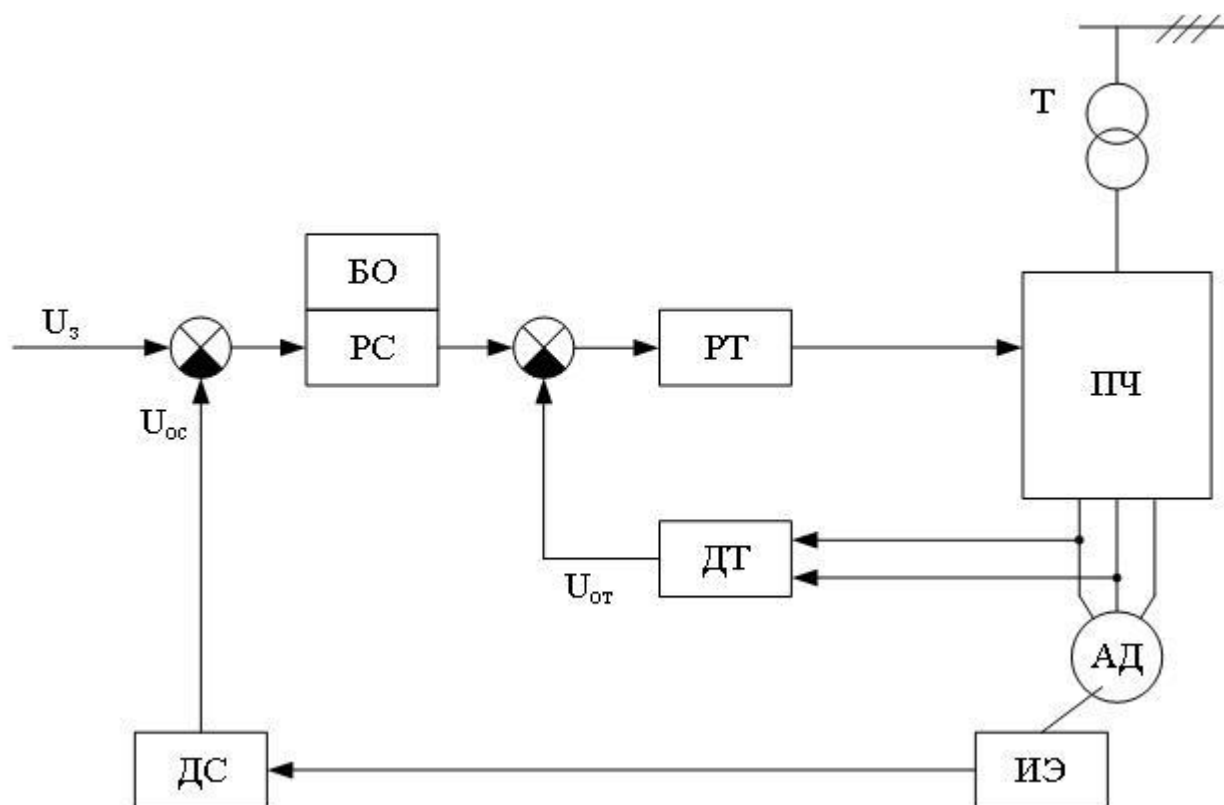


Рисунок 2.2 – Функциональная схема главного электропривода: ДС – датчик скорости; ИЭ – инкрементальный энкодер; РС – регулятор скорости; РТ – регулятор тока; ДТ – датчик тока; АД – асинхронный двигатель; ПЧ – преобразователь частотный; Т – трансформатор

Согласно технологическим особенностям работы контур регулирования положения обрабатывает как «малые», так и «средние» и «большие перемещения».

В общую часть системы управления введён регулятор электрической синхронизации РЭС, на входе которого сигнал задания на перекус валка U_z сравнивается с сигналом обратной связи, пропорциональным разности перемещений нажимных винтов

$$U_o = S_1 + S_2$$

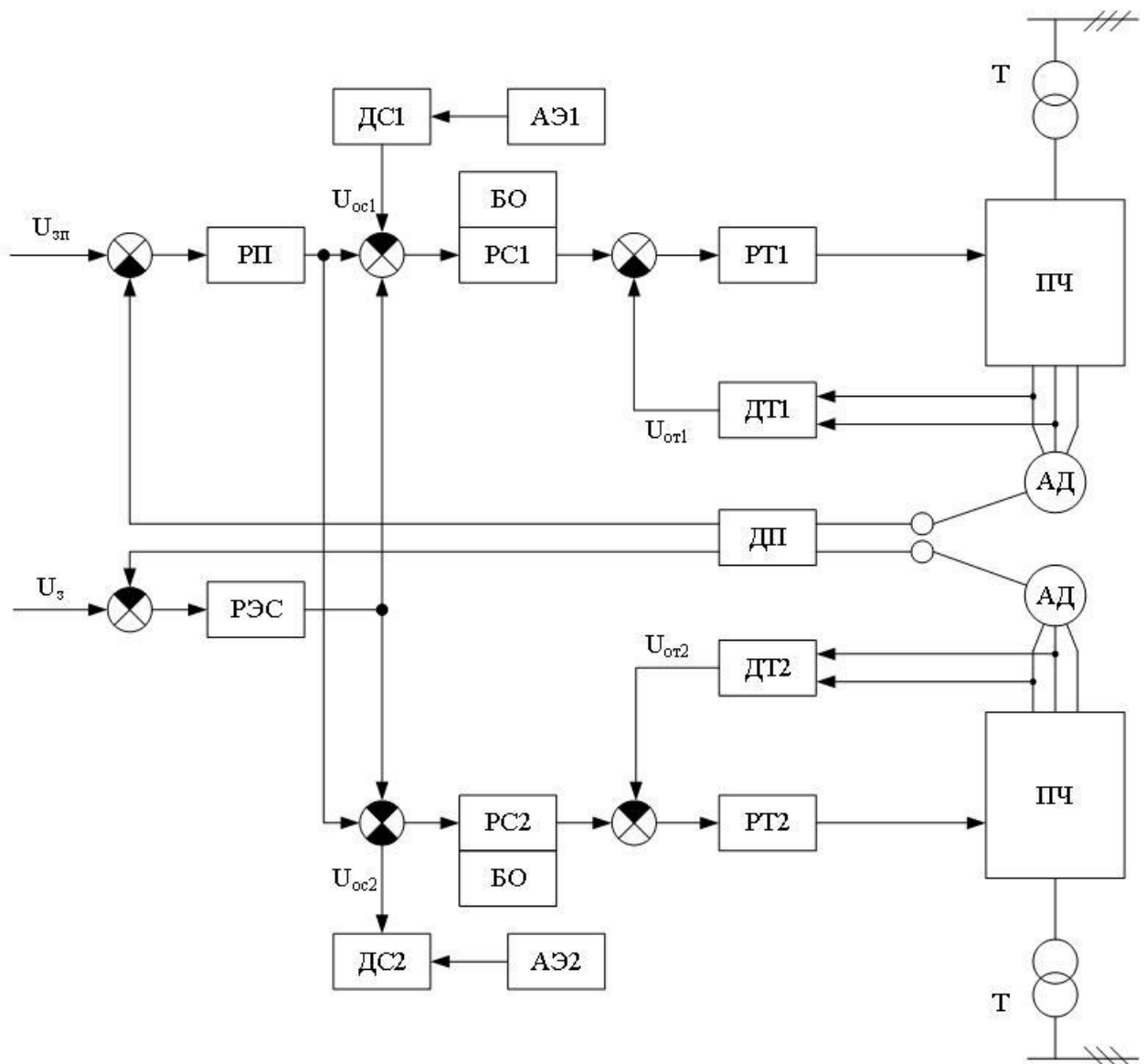


Рисунок 2.3 – Функциональная схема электропривода нажимного устройства: РП – регулятор положения; ДС1, ДС2 – датчики скорости; АЭ1, АЭ2 – абсолютные энкодеры; РЭС – регулятор электрической синхронизации; РС1, РС2 – регуляторы скорости; РТ1, РТ2 – регуляторы тока; ДТ1, ДТ2 – датчики тока; ДП – датчик положения; АД1, АД2 – асинхронные двигатели; ПЧ – преобразователь частотный; Т – трансформатор

Система имеет внутренний контур регулирования тока и внешний контур регулирования скорости. Контур скорости настраивается на симметричный оптимум. Регулятор тока настраивается на модульный оптимум.

Сигнал с выхода РЭС в качестве корректирующего воздействия подаётся на входы регуляторов скорости, причём на вход САРС правого (нижнего по схеме) винта этот сигнал подаётся в инверсном виде. Наличие этого контура регулирования позволяет при расцеплении электромагнитной муфты обеспечивать электрическую синхронизацию работы электроприводов, а также в случае необходимости устанавливать начальный перекося верхнего вала.

Особенностью работы контура электрической синхронизации является принципиальная возможность возникновения исключительно небольших рассогласований положения левого и правого нажимных винтов, т.е. контуром обрабатываются только «малые перемещения». Поэтому передаточная функция РЭС имеет пропорциональную структуру с коэффициентом, равным коэффициенту усиления регулятора положения при «малых перемещениях», т.е.

$$W_{\text{РЭС}} = \frac{k_{\text{ос}}}{8 \cdot k_{\text{оп}} \cdot T_{\mu} \cdot k_v}$$

где k_v – коэффициент преобразования угловой скорости двигателя в линейную скорость перемещения нажимных винтов, учитывающий передаточное число всей кинематической схемы $k_v = V/\omega$.

2.4 Разработка контура регулирования координат, разработка структурной схемы САУ и моделирование типовых режимов работы привода

Главный привод прокатного стана

На рисунке 2.4 представлена структурная схема главного электропривода.

Рассчитаем все передаточные функции и блоки структурной схемы, изображённой на рисунке 2.4.

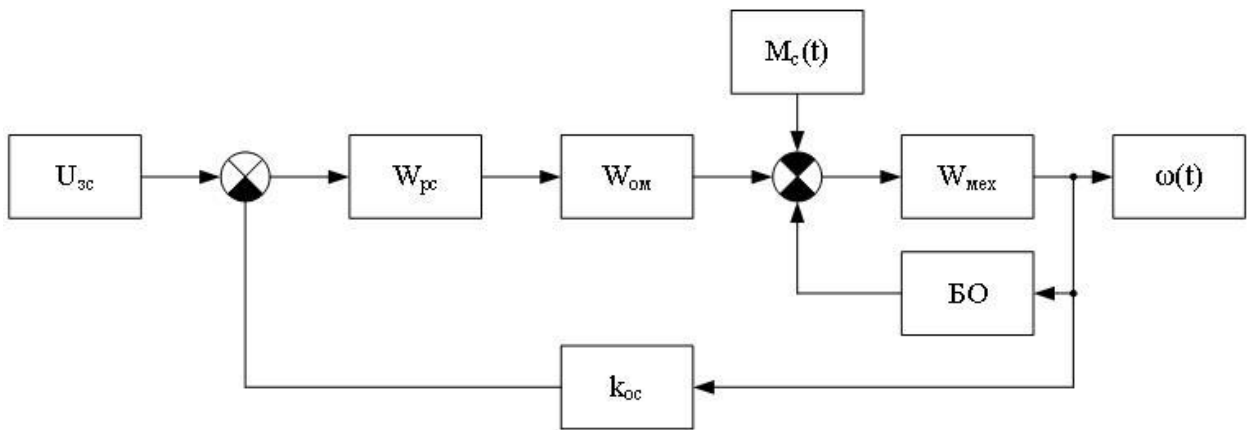


Рисунок 2.4 – Структурная схема главного электропривода прокатного стана

Передаточная функция механической части $W_{\text{мех}}$ имеет следующий вид:

$$W_{\text{мех}} = \frac{1}{J \cdot p},$$

где J – момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ($J=0.00239 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$).

$$k_{\text{ос}} = \frac{U_{0\text{max}}}{\omega_{\text{ДВ.НОМ}}} = \frac{10}{125} = 0,08$$

Контур регулирования скорости настраиваем его на модульный оптимум.

Передаточная функция регулятор скорости $W_{\text{рс}}$ имеет следующий вид:

$$W_{\text{рс}} = \frac{J \cdot k_{\text{ом}}}{4 \cdot k_{\text{ос}} \cdot T_{\text{п}}} = \frac{3,122 \cdot 10^{-2} \cdot 9,47}{4 \cdot 0,08 \cdot 0,005} = 184,783$$

$$k_{\text{ом}} = \frac{10}{\lambda_{\text{ДВ}} \cdot M_{\text{НОМ}}} = \frac{10}{2,2 \cdot 0,48} = 9,47$$

Сигнал статического момента имеет следующий вид, представленный на рисунке 2.5.

Сигнал задания скорости будет иметь следующий вид, представленный на рисунке 2.6.

После подстановки всех данных в передаточную функцию, структурная схема главного электропривода примет следующий вид, представленный на рисунке 2.7.

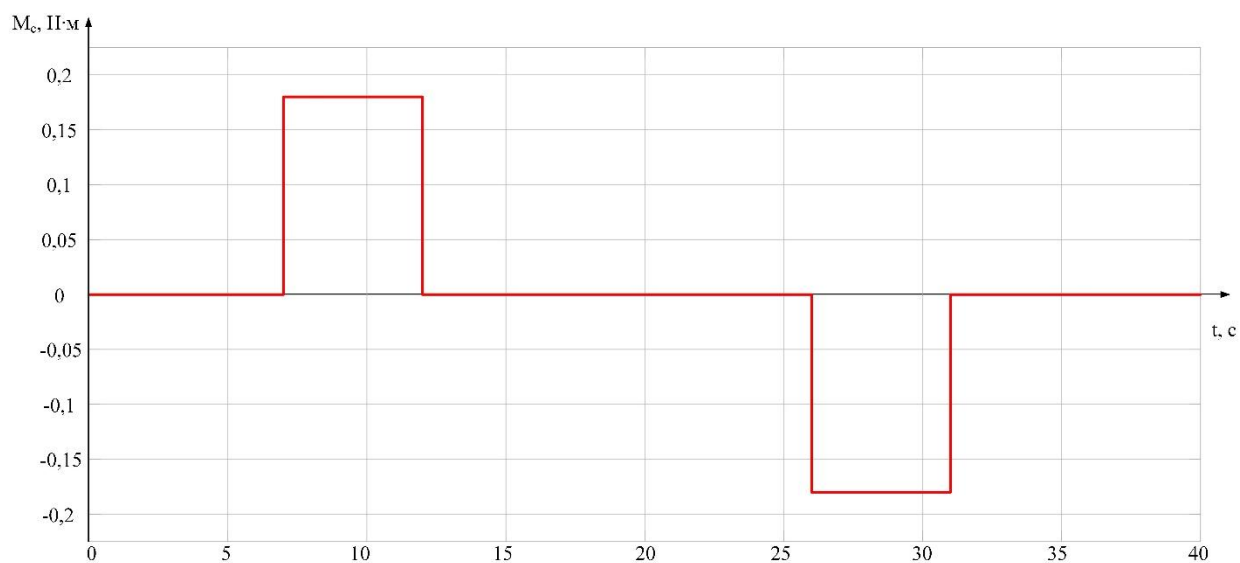


Рисунок 2.5 – Статический момент

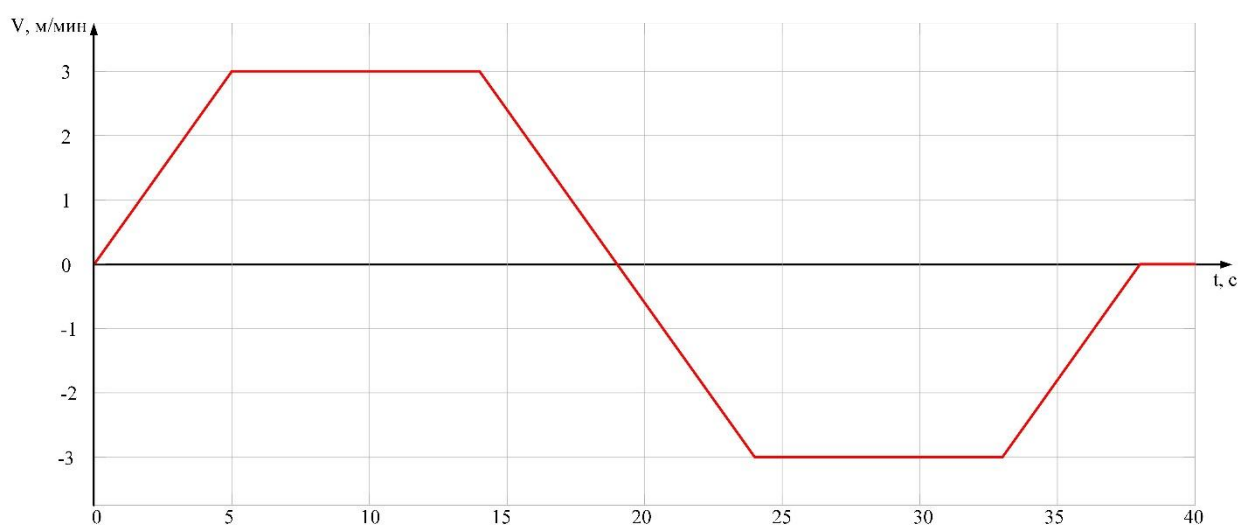


Рисунок 2.6 – Сигнал задания скорости

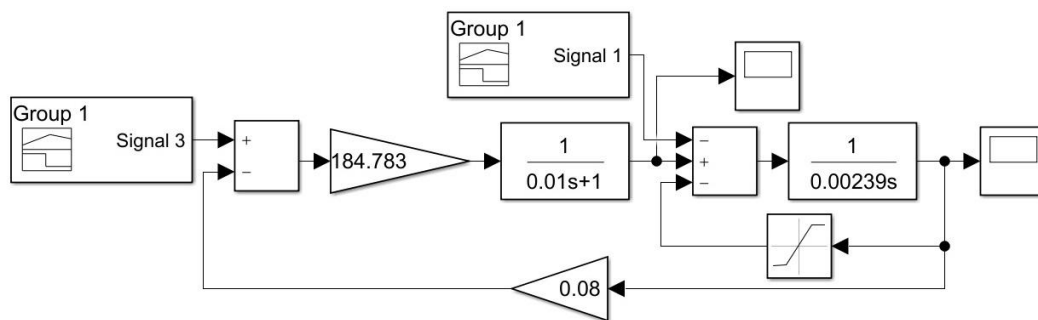


Рисунок 2.7 – Структурная схема главного электропривода прокатного стана

Выходные воздействия скорости и момента будут иметь следующий вид (рисунок 2.8).

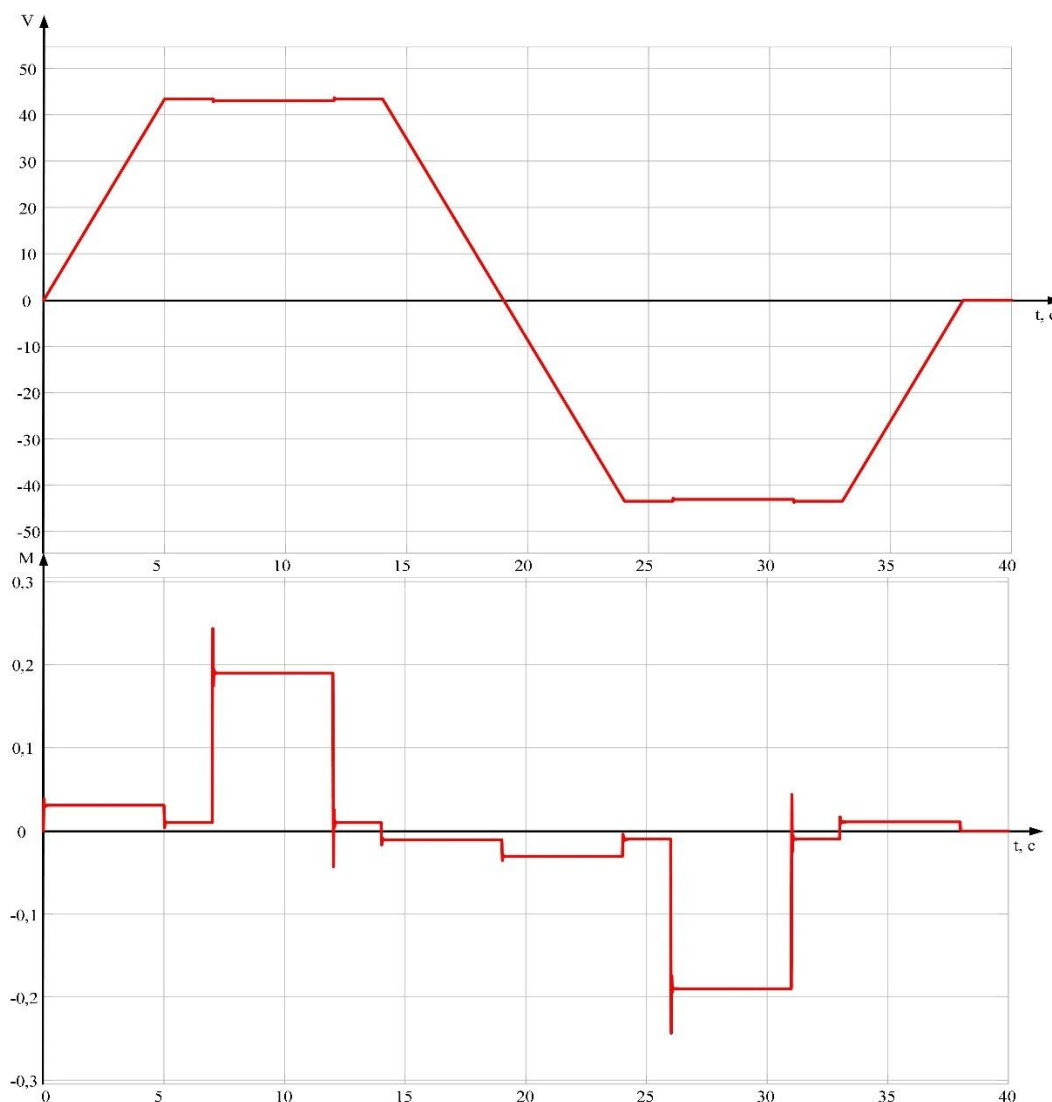


Рисунок 2.8 – Выходные воздействия скорости и момента главного электропривода

Рассмотрим переходные процессы в моменты времени $t=5, 7, 12, 24, 26, 31$ с.

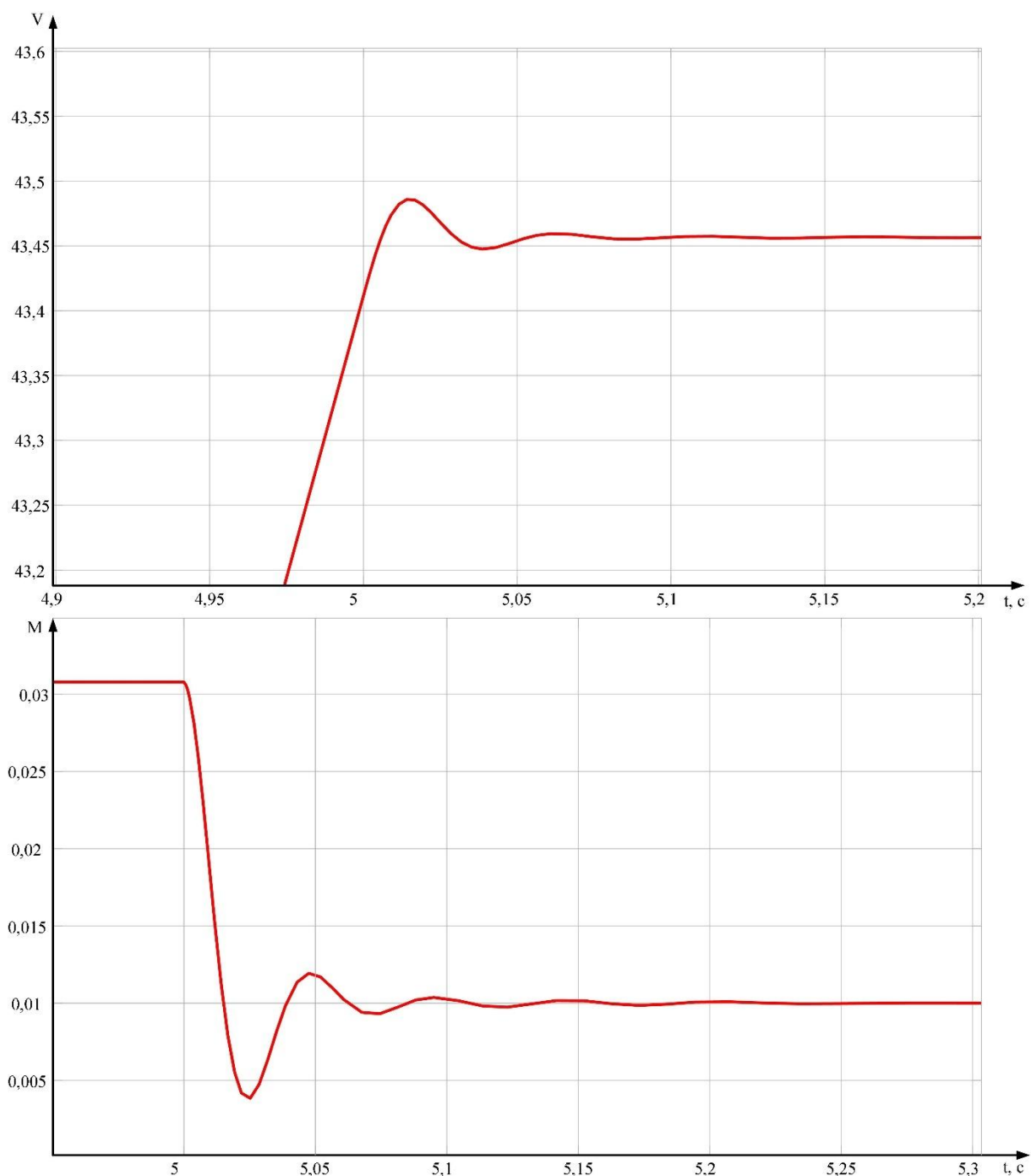


Рисунок 2.9 – Переходные процессы скорости и момента в момент времени $t=5$ с

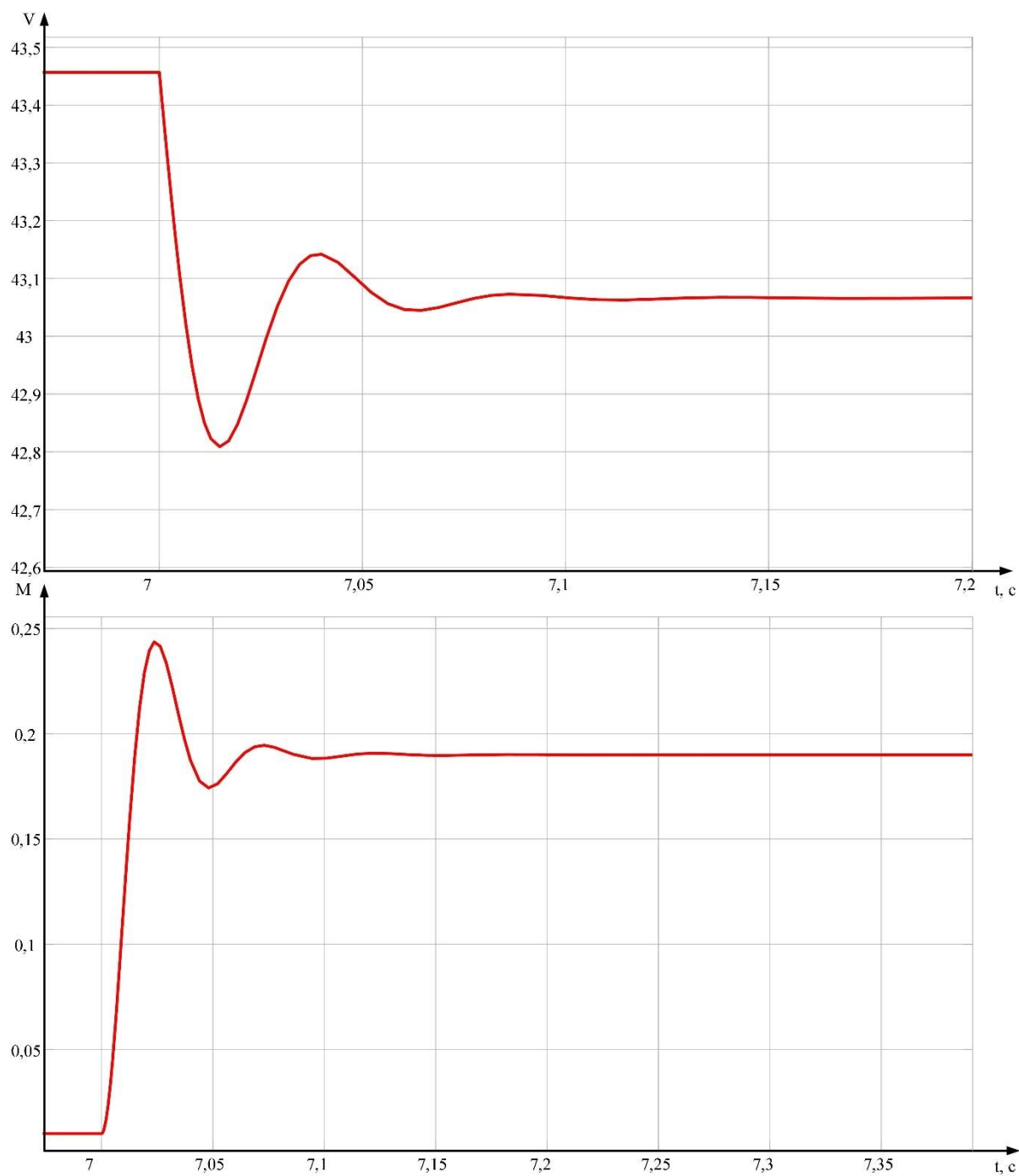


Рисунок 2.10 – Переходные процессы скорости и момента в момент времени $t=7$ с

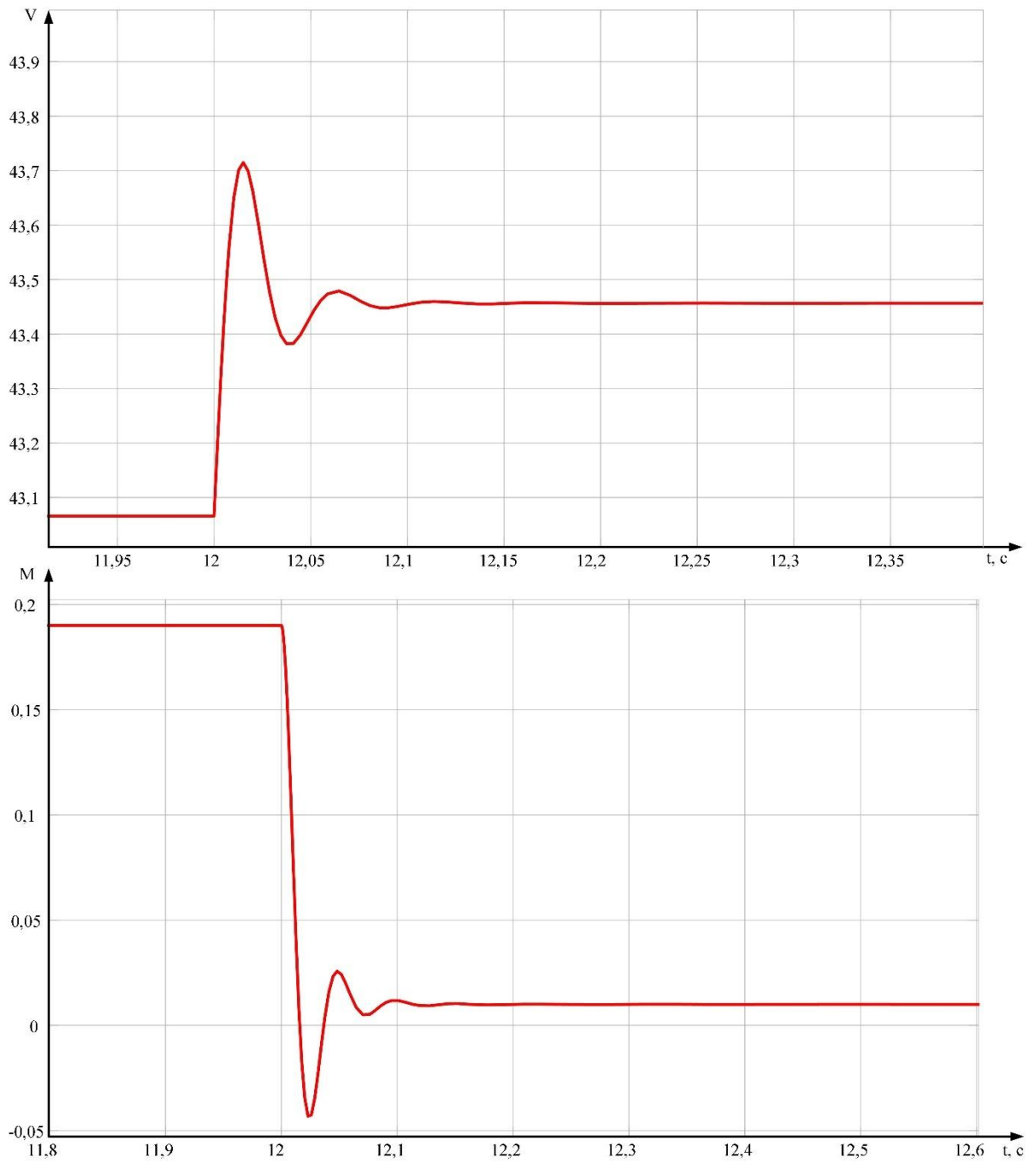


Рисунок 2.11 – Переходные процессы скорости и момента в момент времени $t=12$ с

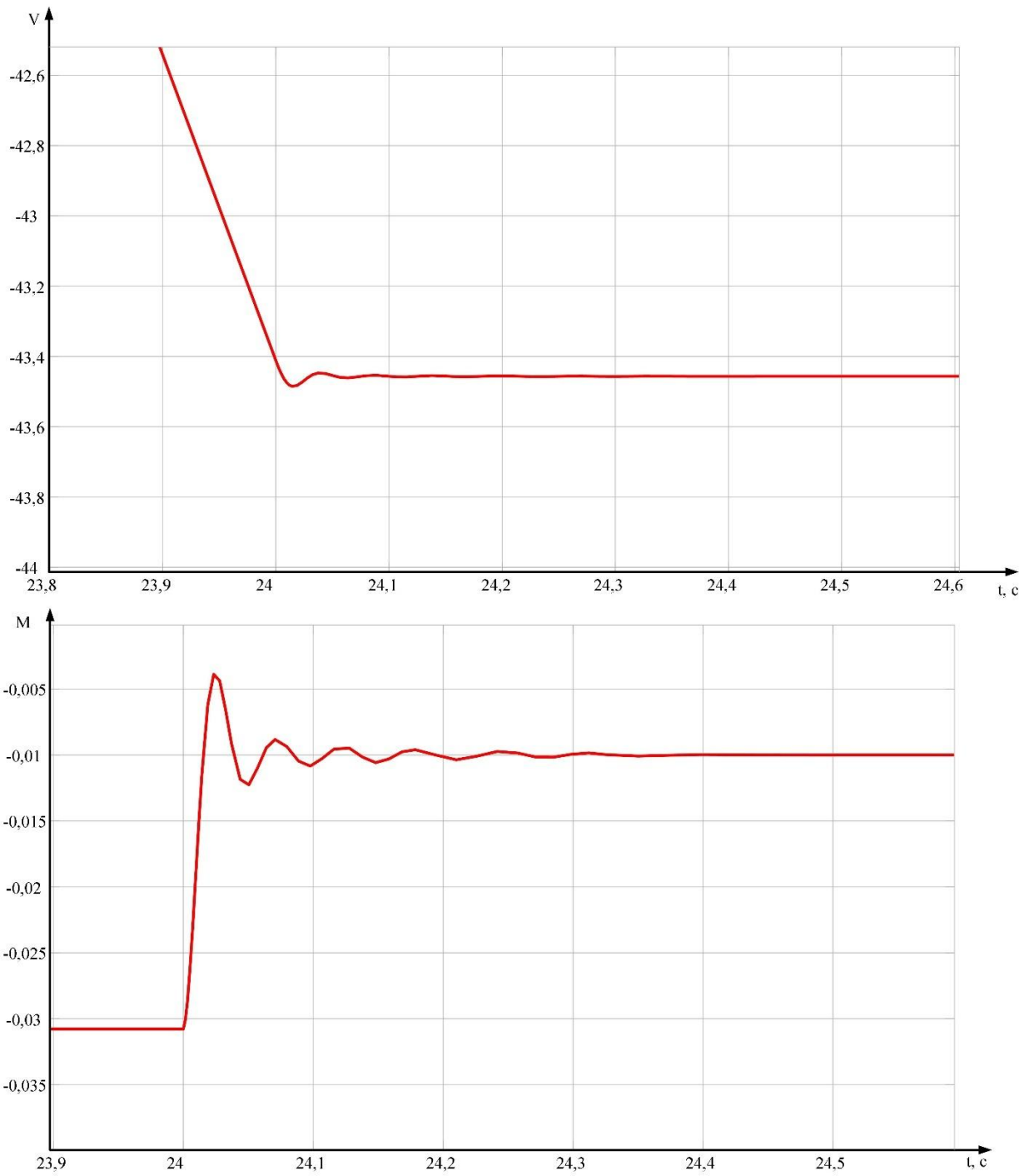


Рисунок 2.12 – Переходные процессы скорости и момента в момент времени $t=24$ с

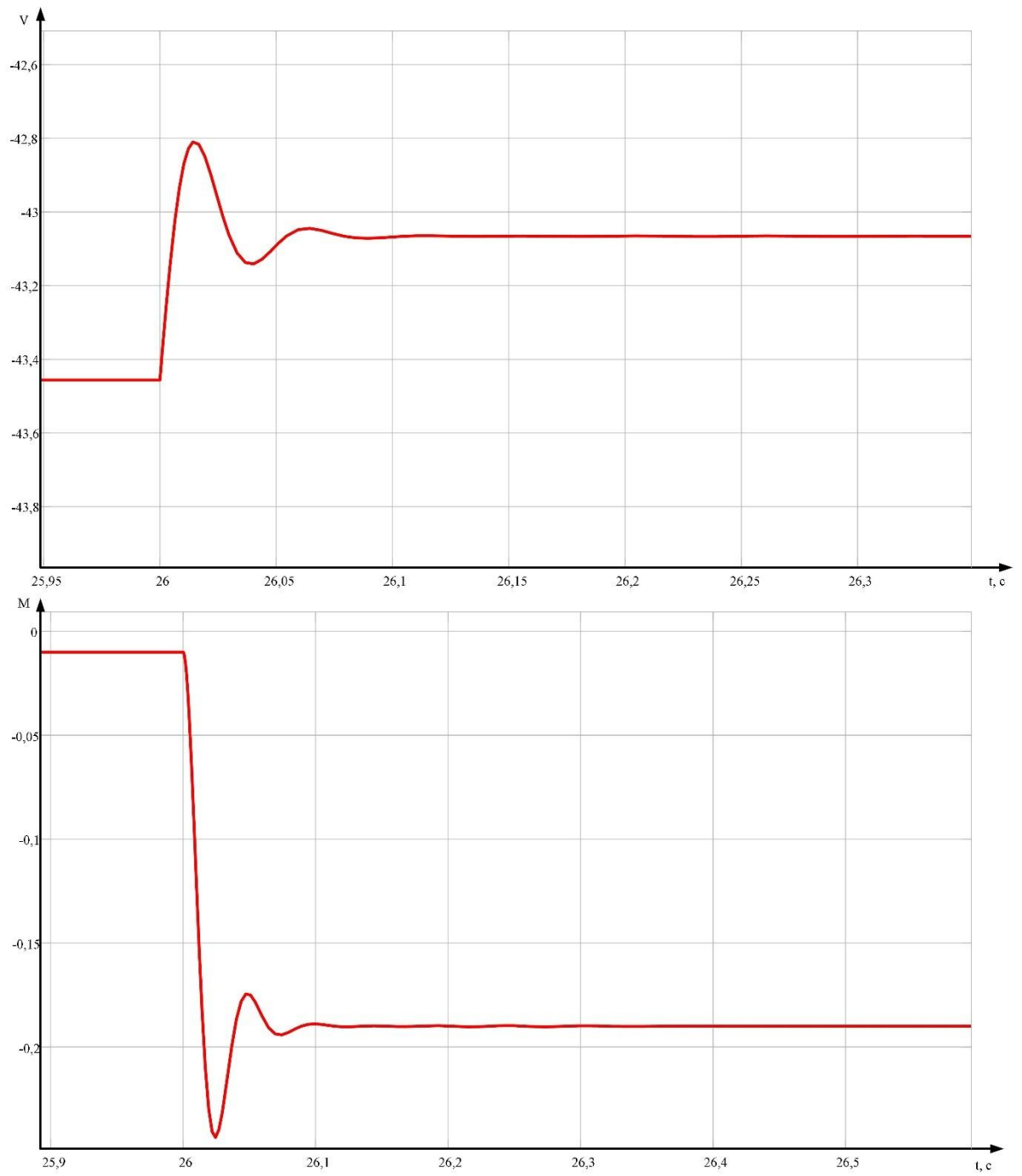


Рисунок 2.13 – Переходные процессы скорости и момента в момент времени $t=26$ с

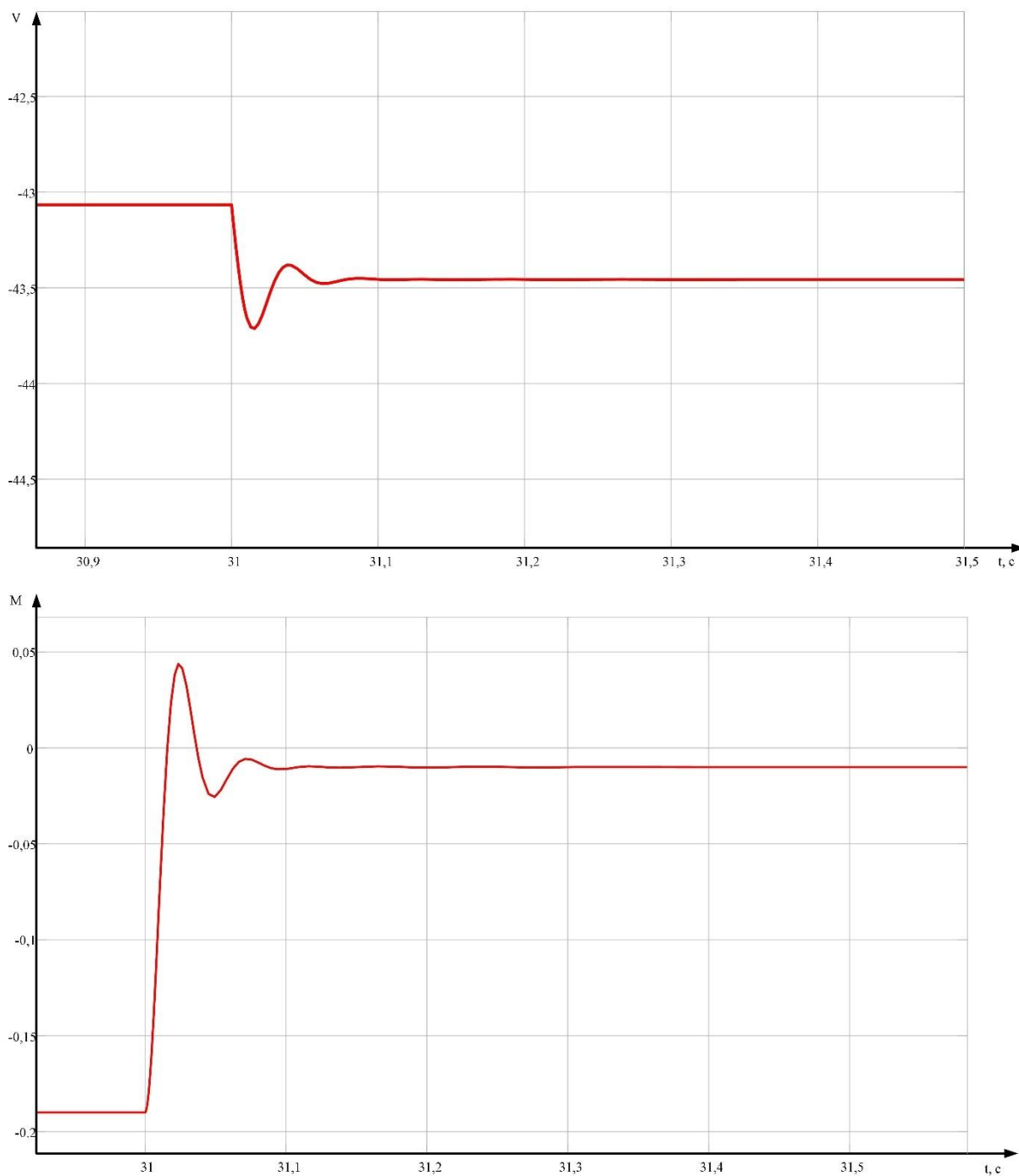


Рисунок 2.14 – Переходные процессы скорости и момента в момент времени $t=31$ с

Нажимное устройство электропривода прокатного стана

На рисунке 2.15 представлена структурная схема электропривода нажимного устройства главного.

Рассчитаем все передаточные функции и блоки структурной схемы, изображённой на рисунке 2.15.

Передаточная функция механической части $W_{\text{мех}}$ имеет следующий вид:

$$W_{\text{мех}} = \frac{1}{J \cdot p},$$

где J – момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ($J=0.00239 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$).

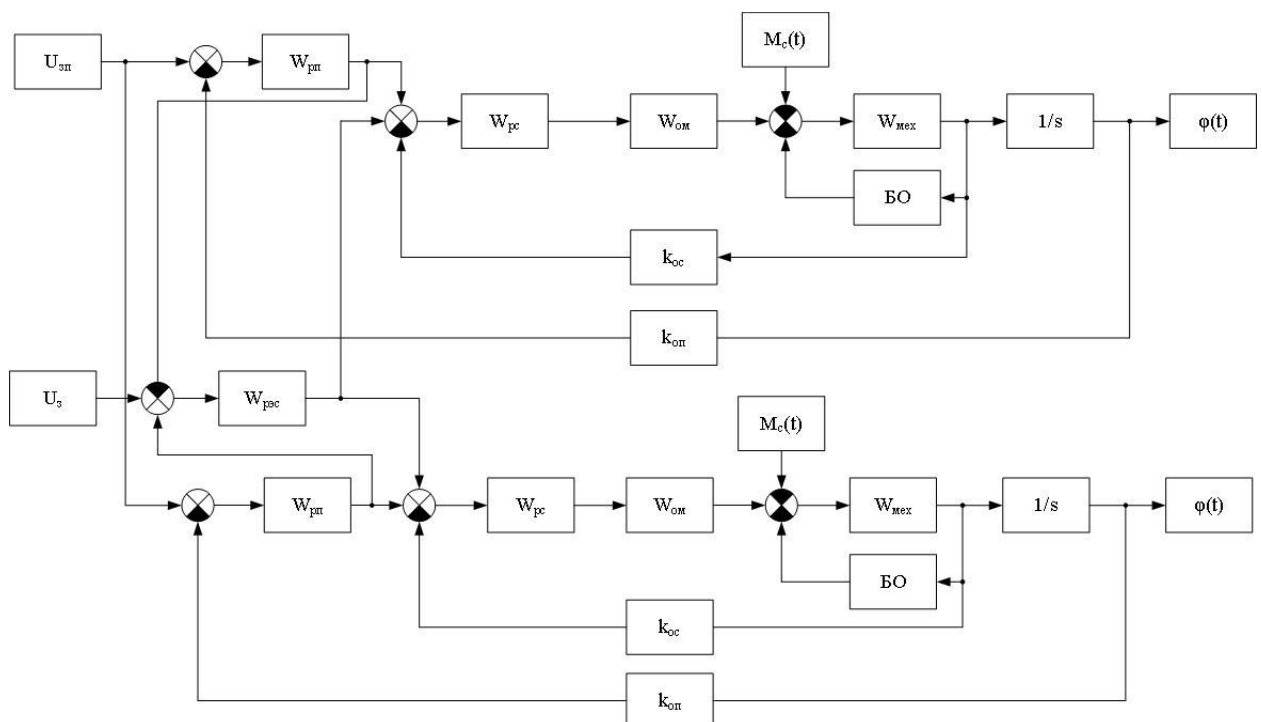


Рисунок 2.15 – Структурная схема главного электропривода прокатного стана

Коэффициент обратной связи по скорости рассчитывается следующим образом:

$$k_{\text{ос}} = \frac{U_{0\text{max}}}{\omega_{\text{дв.ном}}} = \frac{10}{125} = 0,08$$

Коэффициент обратной связи по положению рассчитывается следующим образом:

$$k_{оп} = \frac{U_{0max}}{S_{max}} = \frac{10}{15} = 0,67$$

Внешний контур регулирования скорости настраиваем его на модульный оптимум. Передаточная функция регулятор скорости W_{pc} имеет следующий вид:

$$W_{pc} = \frac{J \cdot k_{ом}}{4 \cdot k_{ос} \cdot T_{п}} = \frac{3,122 \cdot 10^{-2} \cdot 9,47}{4 \cdot 0,08 \cdot 0,005} = 184,783$$

$$k_{ом} = \frac{10}{\lambda_{дв} \cdot M_{ном}} = \frac{10}{2,2 \cdot 0,48} = 9,47$$

Передаточная функция регулятора положения $W_{рп}$ будет иметь вид:

$$W_{рп} = \frac{k_{ос}}{8 \cdot k_{оп} \cdot T_{п} \cdot k_v},$$

где $k_{оп}$ – коэффициент обратной связи по положению;

k_v – коэффициент преобразования угловой скорости двигателя в линейную скорость перемещения нажимных винтов, учитывающий передаточной число всей кинематической схемы $k_v = V/\omega$.

Из параграфа 3 передаточная функция регулятора электрической синхронизации будет иметь следующий вид:

$$W_{\text{РЭС}} = \frac{k_{\text{ос}}}{8 \cdot k_{\text{оп}} \cdot T_{\mu} \cdot k_{\nu}}$$

Сигнал задания положения будет иметь следующий вид (рисунок 2.16):

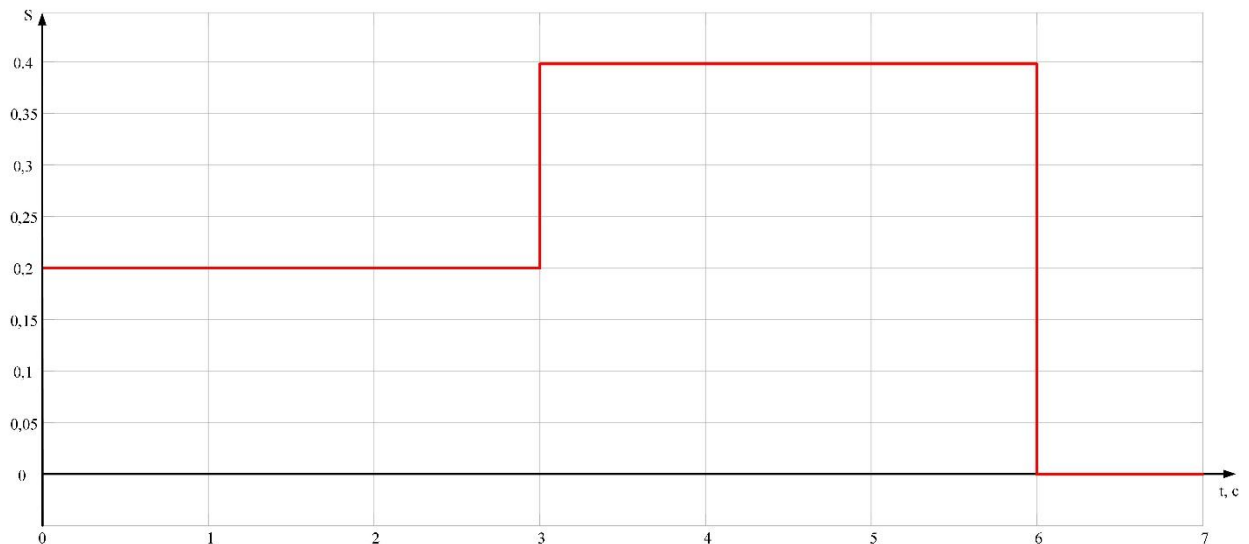


Рисунок 2.16 – Сигнал задания положения

После подстановки всех данных в передаточной функции, структурная схема электропривода нажимного устройства примет следующий вид, представленный на рисунке 2.17.

Выходное воздействие будет иметь следующий вид, представленный на рисунке 2.18.

Рассмотрим переходные процессы в моменты времени $t=0, 3$ с.

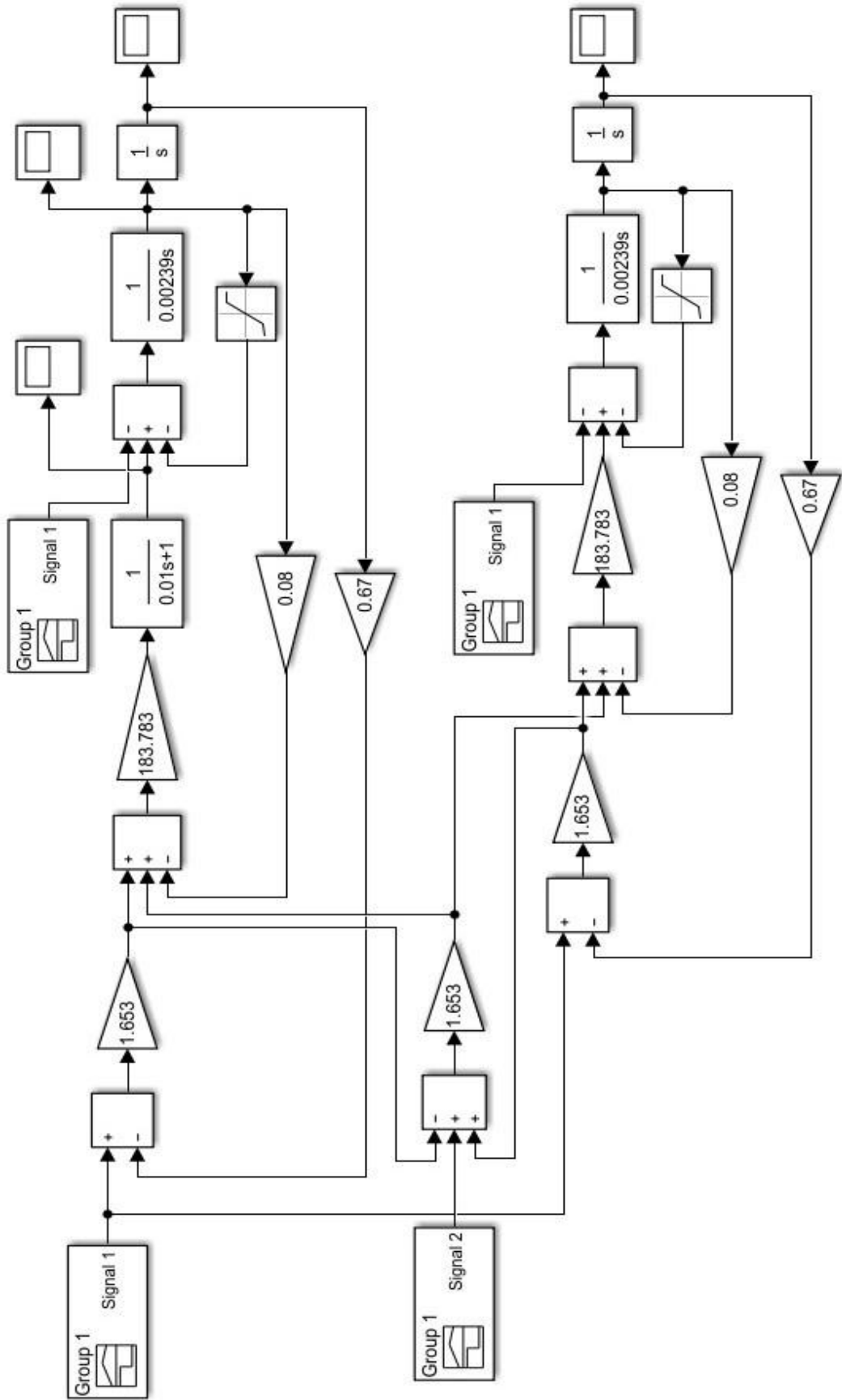


Рисунок 2.17 – Структурная схема электропривода нажимного устройства прокатного стана

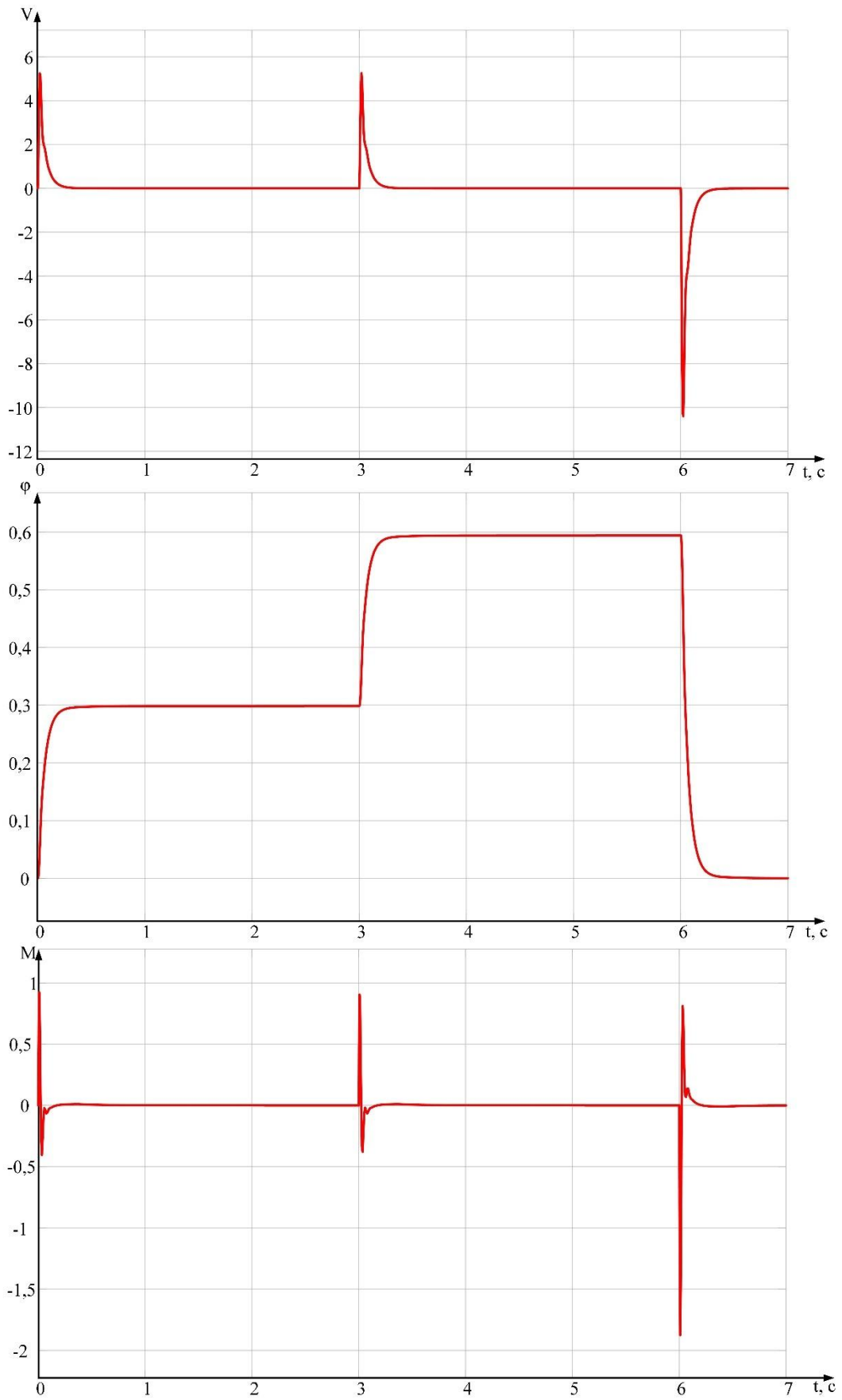


Рисунок 2.18– Выходные воздействия скорости, перемещения и момента главного электропривода

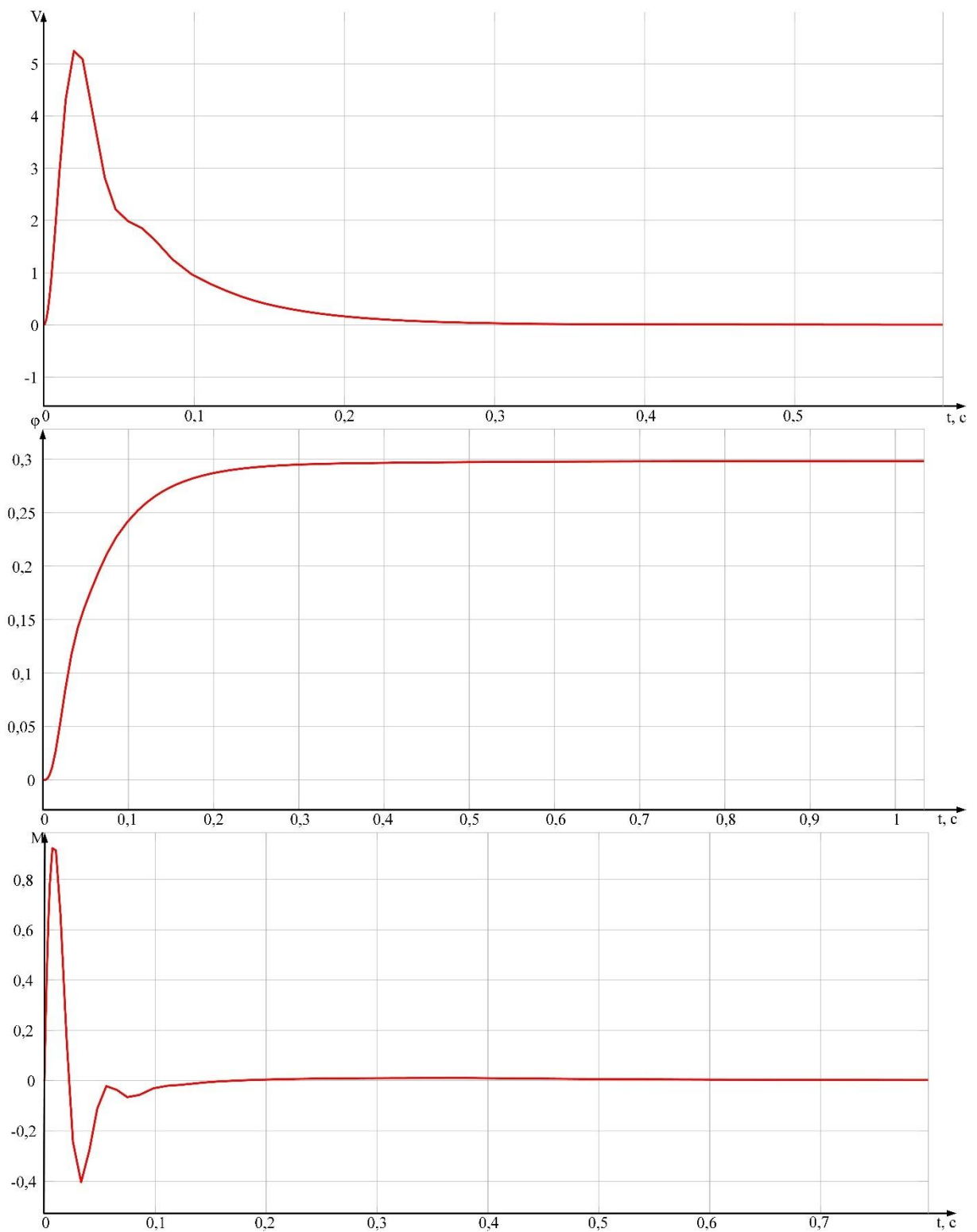


Рисунок 2.19 – Переходные процессы скорости, перемещения и момента в начальный момент времени

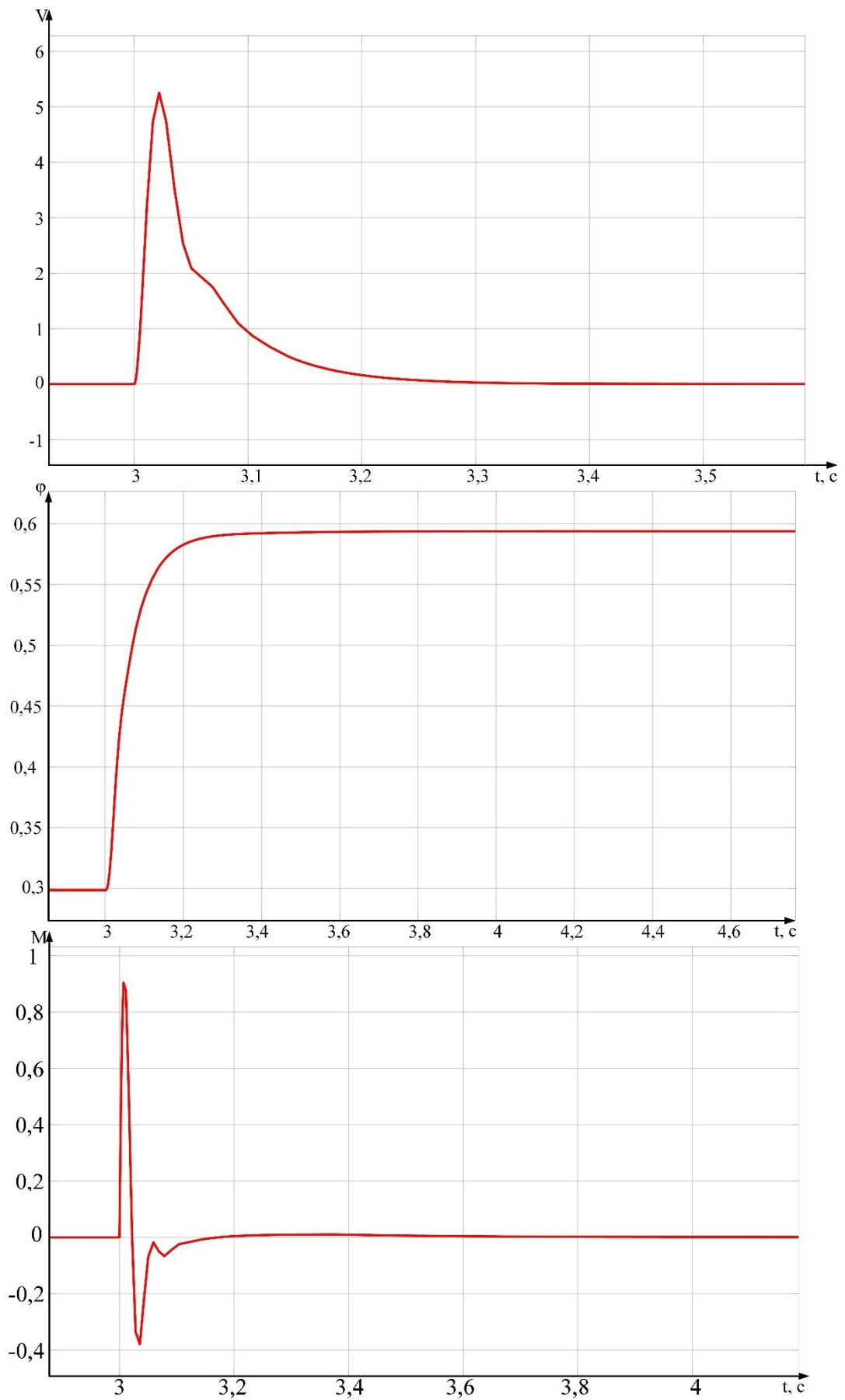


Рисунок 2.20 – Переходные процессы скорости, перемещения и момента в момент времени $t=3$ с

ГЛАВА 3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ

3.1 Расчёт сметы оборудования прокатного стана

Расчёт себестоимости приобретённого оборудования приведено в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Расчёт стоимости приобретённого оборудования

| Наименование оборудования | Кол-во, шт | Цена за ед., руб | Общая стоимость, руб |
|--------------------------------------|------------|------------------|----------------------|
| Двигатель 3RK15GN-C | 1 | 36630 | 36630 |
| Муфта 1-1000-40-1У2 ГОСТ 50895-96 | 5 | 7530 | 37650 |
| Редуктор R47 | 1 | 17810 | 17810 |
| Шестерённая клеть | 1 | 24040 | 24040 |
| Универсальный шпиндель | 2 | 1350 | 2700 |
| Прокатные валки | 2 | 2143 | 4286 |
| Двигатель 1RK1GN-C | 2 | 12969 | 25938 |
| Редуктор R27 | 1 | 10680 | 10680 |
| Редуктор S47 | 1 | 13480 | 13480 |
| Муфта 125-26-1 У3 ГОСТ 21424-93 | 1 | 6470 | 6470 |
| Нажимной винт | 1 | 420 | 420 |
| Гайка | 1 | 3234 | 3234 |
| Электромагнитная муфта | 1 | 1620 | 1620 |
| Прокатная клеть | 1 | 18656 | 18656 |
| ПЧВ101-К18-А | 3 | 8300 | 24900 |
| IEK НОМЕ В А47-21 | 3 | 86 | 258 |
| | | Итого: | 228772 |

Расчёт капитальных затрат производится по следующей формуле:

$$K = O + M + T_p + P + \Pi, \text{ (руб)} \quad (3.1)$$

где O – затраты на приобретение оборудования, руб;

M – затраты на монтаж, руб;

T_p – транспортные расходы, руб;

P – резерв на непредвиденные расходы, руб;

Π – прочее неучтённое оборудование (кабели, проводка и прочее мелкое оборудование).

Затраты на монтаж определяются в размере 15% от стоимости оборудования, транспортные расходы – 10%, резерв на непредвиденные расходы 5%, прочее оборудование – 20%.

После расчётов и подстановки данных в формулу 3.1, получим:

$$M = 228772 \cdot 0,15 = 34315,8 \text{ (руб)}$$

$$T_p = 228772 \cdot 0,1 = 22877,2 \text{ (руб)}$$

$$P = 228772 \cdot 0,05 = 11438,6 \text{ (руб)}$$

$$\Pi = 228772 \cdot 0,2 = 45754,4 \text{ (руб)}$$

$$K = 228772 + 34315,8 + 22877,2 + 11438,6 + 45754,4 = 343158 \text{ (руб)}$$

3.2 Расчёт заработной платы

Оклад работников, занимающихся проектированием прокатного стана, представлена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Оклад работников

| | Наименование должности | Количество человек | Оплата, руб |
|---|------------------------|--------------------|-------------|
| 1 | Программист | 1 | 20000 |
| 2 | Механик | 1 | 18000 |

Продолжение таблицы 3.2

| | | | |
|---|--|-------|-------|
| 3 | Наладчик автоматизации – руководитель проекта | 1 | 23000 |
| 4 | Проектировщик | 1 | 15000 |
| | | Итого | 76000 |

Общий фонд заработной платы складывается из основной и дополнительной заработной платы рабочих.

К основной заработной плате относится оплата труда по тарифным ставкам и оклад на основе тарифной сетки по оплате труда рабочих, учитывающей разряд работ и уровень оплаты труда.

К дополнительной заработной плате относятся доплаты компенсирующего, стимулирующего, мотивационного характеров и выплаты с целью регионального регулирования.

Рассчитаем ежемесячную премию, которая составляет 20% от оклада.

$$\text{Пр} = \text{Ок} \cdot 0,2, \quad (\text{руб}) \quad (3.2)$$

где Пр – премия, руб;

Ок – оклад работников, руб.

Ежемесячная премия, а также заработная плата работников представлена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Заработная плата работников

| | Наименование должности | Количество человек | Сумма, руб |
|---|------------------------|--------------------|------------|
| 1 | Программист | 1 | 4000 |
| 2 | Механик | 1 | 3600 |
| 3 | Наладчик автоматизации | 1 | 4600 |
| 4 | Проектировщик | 1 | 3000 |
| | | Итого | 15200 |

Региональное регулирование заработной платы осуществляется с помощью районных коэффициентов. Для районов Урала установлен коэффициент 15% к окладу с учетом всех доплат и премий.

$$(76000 + 15200) \cdot 0,15 = 13680 \text{ (руб)}$$

Итого ежемесячная заработная плата рабочих, занимающихся проектировкой прокатного стана, составляет:

$$76000 + 15200 + 13680 = 104880 \text{ (руб)}$$

Тогда ЗП работников за 2 месяца составит:

$$104880 \cdot 2 = 209760 \text{ (руб)}$$

Посчитаем накладные на ЗП за 2 месяц, которые составляют 60%-80% от ЗП:

$$209760 \cdot 0,7 = 146832 \text{ (руб)}$$

3.3 Страховые взносы

В рамках отношений работодателей и работников регулируются следующие виды страхования для страховых случаев и обеспечение по ним:

1) обязательное пенсионное страхование (ОПС)— достижение застрахованным лицом пенсионного возраста, обеспечение подразумевает выплату пенсий, составляет 22% от заработной платы работников;

2) обязательное медицинское страхование (ОМС) — заболевание, травма, иное состояние здоровья застрахованного лица, профилактические

мероприятия, обеспечение предусматривает предоставление застрахованному лицу медицинской помощи и оплату услуг по определенному перечню при предоставлении Полиса ОМС, составляет 5,1% от заработной платы работников;

3) обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством (ОСС ВН и М) – временная нетрудоспособность, беременность, роды, материнство, обеспечение предусматривает компенсацию застрахованному лицу утраченного заработка, составляет 2,9% от заработной платы работников;

4) обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний (ОСС НС и ПЗ) - повреждение здоровья застрахованного лица вследствие несчастного случая на производстве или профессионального заболевания, обеспечение подразумевает возмещение вреда застрахованному лицу в виде денежных сумм, составляет 0,2% от заработной платы работников.

Итого отчисления от заработной платы работников составляет:

$$22\% + 5,1\% + 2,9\% + 0,2\% = 30,2\%$$

Значит отчисления ЗП работников за весь период составит:

$$209760 \cdot 0,302 = 63347,52 \text{ (руб)}$$

3.4 Величина амортизационных отчислений

В процессе проектирования работниками были использованы 4 компьютера.

Посчитаем амортизационные отчисления основных средств по следующей формуле:

$$A_{\text{мес}} = \frac{C_{\text{пер}} \cdot N_a}{100\%}, \quad (\text{руб}) \quad (3.3)$$

где $A_{\text{мес}}$ – амортизационные отчисления за месяц, руб;

$C_{\text{пер}}$ – первоначальная стоимость основных средств, руб;

N_a – ежемесячная норма амортизации.

Ежемесячная норма амортизации N_a рассчитывается по следующей формуле:

$$N_a = \frac{100\%}{T}, \quad (3.4)$$

где T – срок полезного использования, месяцев.

Расчёты амортизационных отчислений представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Амортизационные отчисления

| Основное средство | Срок использования, мес. | Кол-во | Первоначальная стоимость 1 шт, руб | Ежемесячная норма амортизации | Амортизационные отчисления 1 шт, руб | Амортизационные отчисления, руб |
|-------------------|--------------------------|--------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Компьютер | 36 | 4 | 51000 | 2,78% | 1417,8 | 5672,2 |
| Итого | | | | | | 5672,2 |

Тогда амортизационные отчисления за 2 месяца составит:

$$5672,2 \cdot 2 = 11344,4 \quad (\text{руб})$$

3.5 Использование товарно-материальных ценностей для проектировки прокатного стана

В процессе проектировки работники использовали различные материальные ценности. Материальные затраты представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Материальные затраты

| Экономические элементы затрат | Кол-во | Цена за 1 шт, руб | Сумма, руб |
|-------------------------------|--------|-------------------|------------|
| Бумага офисная формата А4 | 4 | 205 | 820 |
| Бумага офисная формата А3 | 2 | 545 | 1090 |
| Прочие канцелярские товары | - | - | 1000 |
| Картридж для принтеров | 3 | 380 | 1140 |
| Моющее и чистящее средства | 3 | 150 | 450 |
| Салфетки | 5 | 20 | 100 |
| Вода питьевая | 4 | 163 | 652 |
| Итого | | | 5252 |

Тогда за 2 месяца материальные расходы составят:

$$5252 \cdot 2 = 10504 \text{ (руб)}$$

Электроэнергия

Во время работы компьютеры и принтеры расходуют электроэнергию. В настоящее время 1кВт·ч равен 2,92 рубля.

Компьютер работает 8 часов в день. Примерное потребление системного блока – 180 Ватт, а также монитора – 40 Ватт. В итоге вся система потребляет 220 Ватт в час. Посчитаем сколько Ватт тратится на 1 компьютер за рабочий день:

$$220 \cdot 8 = 1,76 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)}$$

Итого в месяц на 1 компьютер приходится:

$$1,76 \cdot 22 = 38,72 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)}$$

Так как были использованы 4 компьютера, то:

$$38,72 \cdot 4 = 154,88 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)}$$

Тогда за месяц на 4 компьютера тратится:

$$154,88 \cdot 2,92 = 452,25 \text{ (руб)}$$

Помимо компьютеров были использованы 2 принтера. Принтер работает 8 часов в день. Примерное потребление – 70 Ватт. Посчитаем сколько Ватт тратится на 1 принтер за рабочий день:

$$70 \cdot 8 = 0,56 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)}$$

Итого в месяц на 1 принтер приходится:

$$0,56 \cdot 22 = 12,32 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)}$$

Так как были использованы 2 принтера, то:

$$12,32 \cdot 2 = 24,64 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)}$$

Тогда за месяц на 2 принтера тратится:

$$24,64 \cdot 2,92 = 71,95 \text{ (руб)}$$

Также электроэнергия тратится и на освещение помещения. В помещении находится 4 светильника по, которые потребляют 60 Ватт каждый. В среднем светильники работают 5 часов в день. Тогда за день электроэнергии тратится:

$$60 \cdot 5 = 0,3 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)}$$

Итого в месяц на 1 светильник приходится:

$$0,3 \cdot 22 = 6,6 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)}$$

На 4 светильника приходится:

$$6,6 \cdot 4 = 26,4 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)}$$

Тогда за месяц на 4 светильника тратится:

$$26,4 \cdot 2,92 = 77,09 \text{ (руб)}$$

Итого на электроэнергию всего тратится:

$$452,25 + 71,95 + 77,09 = 601,29 \text{ (руб)}$$

Тогда за 2 месяца расход на электроэнергию составит:

$$601,29 \cdot 2 = 1202,58 \text{ (руб)}$$

3.6 Расчёт прибыли и рентабельности

Посчитаем затраты за весь период:

$$343158 + 209760 + 146832 + 63347,52 + \\ + 11344,4 + 10504 + 1202,58 = 786148,5 \text{ (руб)}$$

Так как мы хотим получить прибыль в 15%, то:

$$786148,5 \cdot 0,15 = 117922,28 \text{ (руб)}$$

Посчитаем налог на прибыль, который составляет 20% от прибыли:

$$117922,28 \cdot 0,2 = 23584,46 \text{ (руб)}$$

Вычтем из прибыли налог на прибыль:

$$117922,28 - 23584,46 = 94337,82 \text{ (руб)}$$

Цена продажи без НДС будет равна:

$$786148,5 + 117922,28 = 904070,78 \text{ (руб)}$$

Обложим получившуюся цену налогом на НДС, которая составляет 18%:

$$904070,78 \cdot 1,18 = 1066803 \text{ (руб)}$$

Посчитаем рентабельность продукции:

$$\frac{94337,82}{786148,5} \cdot 100\% = 12\%$$

Итого рентабельность составила 12%.

3.7 Сводная таблица экономических показателей

Таблица 3.6 – Сводная таблица затрат

| | Наименование | За весь период |
|----|---------------------------------|----------------|
| 1 | Стоимость оборудования, руб | 343158 |
| 2 | Заработная плата, руб | 209760 |
| 3 | Накладные расходы (70%), руб | 146832 |
| 4 | Страховые взносы, руб | 63347,52 |
| 5 | Амортизационные отчисления, руб | 11344,4 |
| 6 | Материальные затраты, руб | 10504 |
| 7 | Затраты на электроэнергию, руб | 1202,58 |
| 8 | Итого затрат, руб | 786148,5 |
| 9 | Норма прибыли, % | 15 |
| 10 | Прибыль, руб | 117922,28 |
| 11 | Налог на прибыль (20%), руб | 23584,46 |
| 12 | Чистая прибыль, руб | 94337,82 |
| 13 | Цена с НДС, руб | 1066803 |
| 14 | Рентабельность, % | 12 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломном проекте были спроектированы главный электропривод и электропривод нажимного устройства лабораторного прокатного стана. Произведены расчёты и построение тахограммы и нагрузочной диаграммы для электроприводов. По нагрузочным диаграммам были выбраны соответствующие двигатели. Выбранные двигатели типов 3RK15GN-C для главного электропривода и 1RK1GN-C для электропривода нажимного устройства проходят проверку по перегрузочной способности и по мощности. Произведён выбор основного силового оборудования. Для двигателей были выбраны преобразователи частоты типа ПЧВ101-К18-А. Была разработана архитектура системы автоматизации прокатного стана. ЧМИ подключается к контроллеру через Ethernet по протоколу modbus tcp, контроллер к ПЧ будет подключён через RS485 по протоколу modbus rtu. Был выбран контроллер ОВЕН ПЛК150, а также датчики технологических координат E80H и ENP. Была разработана функциональная схема системы автоматического регулирования. Были построены структурные схемы системы автоматического управления, а также подсчитаны регуляторы скорости и положения и оптимизированные контура по моменты. Провели технико-экономические расчёты лабораторного прокатного стана. Рассчитали капитальные вложения в инвестиционный проект, который составил 343158 руб. Была рассчитана заработная плата работников, которая составила 209760 рублей; накладные на заработную плату - 146832; отчисления от заработной платы – 63347,52 рублей; амортизационные отчисления – 11344.4 рубля; материальные расходы – 10504 рублей; электроэнергия – 1202,58 рублей. Также была рассчитана чистая прибыль, которая составила 94337,82 рублей, и была рассчитана рентабельность – 12%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бычков, Е.В. Курсовое проектирование по теории электропривода [Текст]: учеб. пособие / Е.В. Бычков, С.В. Полетаев. – Ухта: УГТУ, 2010. – 64 с.
2. Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
3. Бычков, В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. Учеб. Пособие для вузов. Изд. 2-3, перераб. и доп. М., «Высш. Школа», 1977.
4. Ключев, В.И. Теория электропривода: Учеб. Для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
5. Целиков, А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т.3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Учебник для вузов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1988. – 680с.
6. Налоговый кодекс Российской Федерации от 31.07.1998 № 146-ФЗ (принят ГД ФС РФ 16.07.1998) (ред. от 28.12.2010)
7. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (принят ГД ФС РФ 21.12.2001) (ред. от 29.12.2010) (с изм. и доп., вступающими в силу с 07.01.2011)
8. Федеральный закон от 24.07.2009 № 212-ФЗ (ред. от 13.12.2011) «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования и территориальные фонды обязательного медицинского страхования» (принят ГД ФС РФ 17.07.2009) (с изм. и доп., вступающими в силу с 07.01.2011)
9. Федеральный закон от 15.12.2001 № 200-ФЗ (ред. от 13.12.2011) «Об обязательном пенсионном страховании в Российской Федерации» (принят ГД ФС РФ 30.11.2001)

10. Федеральный закон от 29.12.2006 № 255-ФЗ (ред. от 13.12.2011) «Об обязательном социальном страховании на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством» (принят ГД ФС РФ 20.12.2006)

11. Федеральный закон от 15.12.2001 № 167-ФЗ (ред. от 13.12.2011) «Об обязательном пенсионном страховании в Российской Федерации» (принят ГД ФС РФ 30.11.2001)

12. Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (13.12.2011) «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы»