

Министерство науки и высшего образования 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»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА  
Служба безопасности ЧТПЗ

2018 г.

---

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
В.Р. Гасияров

2018 г.

---

Реконструкция автоматизированной системы транспортной тележки  
поперечного хода участка сварки цеха «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ – 15.03.06.2018.299.ПЗ (ВКР)

Консультант  
Преподаватель  
Е.А. Маклакова

2018 г.

---

Руководитель работы  
Преподаватель  
Е.А. Маклакова

2018 г.

---

Нормоконтролер  
Преподаватель  
Е.А. Маклакова

2018 г.

---

Автор работы  
студент группы П – 456  
Роман Витасович Шиманютис

2018 г.

---

Ст. преподаватель  
С.С. Воронин

2018 г.

---

## АННОТАЦИЯ

Шиманютис Р.В. Реконструкция автоматизированной системы транспортной тележки поперечного хода участка сварки цеха «высота 239» ПАО «ЧТПЗ». – Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2018, 70 с. , библиогр. список – 15 наим.

Цель выпускной квалификационной работы – реконструкция мехатронной системы транспортной тележки поперечного хода участка сварки цеха «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ».

Задачи выпускной квалификационной работы – рассчитать основные силовые агрегаты и убедиться в рациональном их использовании. Проанализировать работу транспортной тележки поперечного хода. Реконструировать необходимое оборудование. Научиться рассчитывать и подбирать основные узлы и агрегаты для конкретного выполнения поставленной задачи. Научиться строить тахограммы и нагрузочные диаграммы привода и кинематические схемы. Рассчитать основные технико-экономические показатели и провести их анализ.

## СОДЕРЖАНИЕ

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	8
1.1 Характеристика цеха Высота 239 и участка внутреннего антикоррозийного покрытия труб. Описание технологического процесса работы передаточной тележки для перемещения труб .....	8
1.2 Характеристика и кинематическая схема тележки для перемещения труб ..	11
1.3 Требования к приводам мехатронной системы транспортной телеги .....	13
1.4 Выбор системы привода .....	14
1.5 Расчет и построение тахограммы и нагрузочной диаграммы механизмов транспортной телеги .....	15
1.5.1 Тахограмма транспортной тележки поперечного хода.....	15
1.5.2 Расчет и построение нагрузочной диаграммы транспортной тележки поперечного хода.....	16
1.5.3 Проверка двигателя по условиям нагрева и перегрузки.....	24
1.6 Защиты привода. Расчет уставок защитных устройств .....	31
1.6.1 Виды аварийных режимов и способы их предотвращения.....	31
1.6.2 Защита двигателя привода передвижения передаточной тележки .....	32
1.6.3 Выбор автоматического выключателя.....	33
2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ .....	35
2.1 Разработка архитектуры системы систем автоматизации .....	35
2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат.....	37
2.3 Выбор функциональной схемы САР транспортной тележки .....	41
2.4 Разработка и моделирование структурной схемы САУ .....	42
3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ.....	54
3.1 Краткое описание подразделения и выпускаемой продукции.....	54
3.2 Расчет производственной программы цеха .....	55
3.3 Расчет сметы капитальных затрат .....	56
3.4 Расчет РСЭО .....	57

3.5 Расчет прибыли и показателей рентабельности. ....	65
3.6 Расчет срока окупаемости проекта.....	67
3.7 Сводная таблица технико-экономических расчетов.....	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	69
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	70

## ВВЕДЕНИЕ

На технологию современного трубопрокатного производства существенное влияние оказывают все возрастающие требования и к отделке готовых труб. Новые технологии в сырьевой промышленности и разработка труднодоступных месторождений переопределили особые требования к качеству трубопрокатной продукции по дополнительному антикоррозионному покрытию поверхности, качеству швов, обработке торцов сортового проката, износостойкости и ряду других требований.

Цех «Высота 239» оснащен современным оборудованием по обработке металла, а также механизмов транспортировки готовых изделий и заготовок. Цех осуществляет выпуск продукции разного сортамента и назначения, в том числе трубы, предназначенные для транспортировки углеводородов, со специальным антикоррозионным полимерным покрытием, внутренней и внешней стороны. Одним из элементов технологического процесса на линии внутреннего антикоррозионного покрытия является транспортировка трубы для последующей передачи на другие станции.

# 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Характеристика цеха Высота 239 и участка внутреннего антикоррозийного покрытия труб. Описание технологического процесса работы передаточной тележки для перемещения труб

Цех «Высота 239» в Челябинске относится к наиболее современным металлургическим производствам в мире. Он построен в 2010 году на мощностях Челябинского трубопрокатного завода. В его основе лежит философия так называемой белой металлургии, когда на передний план выходят высокий уровень автоматизации, роботизации, культура производства и относительная безопасность для окружающей среды. Проектная производственная мощность цеха составляет почти миллион тонн сварных труб диаметром до 1420 мм в год. Сварные одношовные трубы длиной 12 и 18 м с толщиной стенки до 48 мм, внутренним и наружным покрытием используются при строительстве трубопроводов в различных климатических условиях и состоянии грунтов, в том числе и в вечной мерзлоте, и на территориях с высокой сейсмической активностью, и на дне морей.

Трубы, которые производятся в цехе, соответствуют международным стандартам API, разработанным Американским Институтом Нефти (American Petroleum Institute). Эти стандарты упорядочивают процессы в добыче и переработке нефти. Программа стандартизации API активно взаимодействует с ISO, Международной Организацией по Стандартизации (International Organization for Standardization).

В проект «Высота 239» включены следующие объекты: трубоэлектросварочный цех; насосная станция пожаротушения; установка утилизации концентрата СОЖ; участок утилизации обезвоженного концентрата СОЖ; внешние и внутривозрадные сети водоснабжения и канализации; станция технических газов; компрессорная станция ТЭСО и УЗК; трасса

природного газа к ТЭСЦ №3; главная понизительная подстанция №2; здание дежурного поста №4; железнодорожное хозяйство; автодороги и подъезды; эстакады (галереи) энергетических коммуникаций; система электроснабжения.

Оборудование установлено внутри здания, где климатические условия соответствуют следующим характеристикам: диапазон оптимальных температур внутри помещения выдержан в пределах от +15 до +35 °С, а максимальная относительная влажность воздуха – 80 %.

Мощности «Высоты 239» включают участки шаговой формовки, сварки, отделки внутреннего и наружного антикоррозионных покрытий.

Процесс производства начинается со склада стальных листов – заготовок для будущих труб. Далее с помощью мостовых кранов с магнитными присосками и вакуумными траверсами заготовки поднимают и перемещают на конвейерную транспортную ленту. Затем роботы-манипуляторы приваривают технологические пластины к заготовке с целью минимизирования расходов, поскольку при сваривании трубы часто наблюдалась некачественная сварка в начале трубы. После этого листы с приваренными технологическими пластинами попадают под пресс, где и происходит превращение заготовки в трубу. Сейчас труба имеет форму почти замкнутой окружности. На следующем этапе ее сваривают в цилиндр и отправляют на шлифовку. Более подробно перечень технологических операций цеха вплоть до отделки внутреннего и наружного покрытий представлен на рисунке 1.

Последовательность технологических операций, согласно соответствующим требованиям нормативной документации, при нанесении наружного трехслойного покрытия на трубы можно разделить на три этапа: подготовка рабочей поверхности, контроль труб перед нанесением покрытия и непосредственное нанесение покрытия.

Далее рассмотрены эти этапы более подробно. Последовательность технологических операций также представлена на рисунке 1.

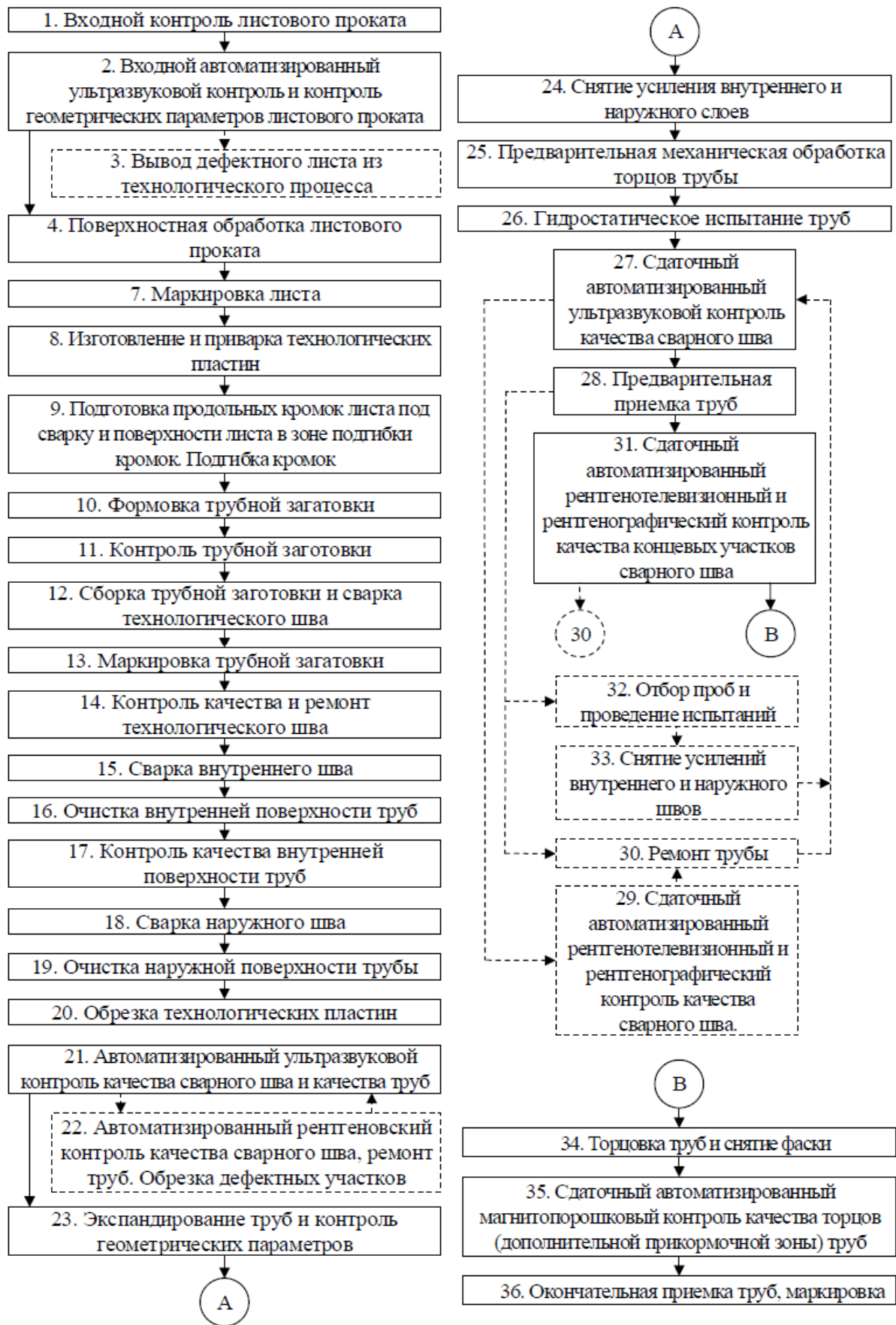


Рисунок 1.1 – Перечень технологических операций цеха «Высота 239» участков шаговой формовки и сварки



Рассмотрим работу тележки поперечной транспортировки. Количество применяемых в отдельных участках тележек поперечной транспортировки зависит от потребностей связанных с тактовыми периодами. Сфера действия тележек поперечной транспортировкой определена на участках и контролируется электронными системами. Тележки поперечной транспортировки осуществляют поперечную транспортировку труб внутри участка сварки. Призматические опоры поднимаются и опускаются гидравлическим способом. Привод поперечной транспортировки регулируемый. Гидроагрегат встроен в тележку.

Тележка поперечной транспортировки состоит из:

- рамы тележки из стального профиля,
- системы из 4 блоков колес (без пересечения рельсов),
- проходного приводного вала с приводом,
- опорных призм с направляющими колонками,
- гидроцилиндра,
- гидроагрегата с блоком управляющих клапанов,
- масляного бака, насоса с приводом.

## 1.2 Характеристика и кинематическая схема транспортной тележки

Тележки для перемещения труб изготавливаются из стального профиля, и состоят из основной рамы и колесной пары рис 1.



Рисунок 1.2 – Транспортная тележка поперечного хода участка сварки цеха «Высота 239»

Колесная пара устанавливается на рельсы, чтобы обеспечить движение тележки от одной позиции до другой. К основной раме крепятся подъемный гидроцилиндр и силовая гидроустановка в сборе с функциональными клапанами, встроенным вентилятором охлаждения и переключателями положения цилиндра.

Гидросистема служит для поднятия и опускания трубы в процессе перемещения с одной технологической станции на другую. Состоит из силовой гидроустановки, гидроцилиндра и управляющей аппаратурой. Силовая гидроустановка соединяется с гидроцилиндром при помощи гибких гидравлических шлангов. Седло для транспортировки труб крепится к верхней секции гидравлического цилиндра с помощью фланца.

Каждая транспортная тележка оснащена электрической панелью управления. Данная панель обеспечивает управление гидросиловым блоком, гидроклапанами, положением цилиндра и мотор-редуктора. Приводной двигатель тележки управляется преобразователем, расположенным на тележке. Также двигатель оснащен внешним электромагнитным тормозом, управляемым преобразователем через реле интерфейса.

Узел «приводной мотор-редуктор» крепится валом к ведомой колесной паре как указано на рис. 3 и обеспечивает перемещение тележки от одной позиции к другой.

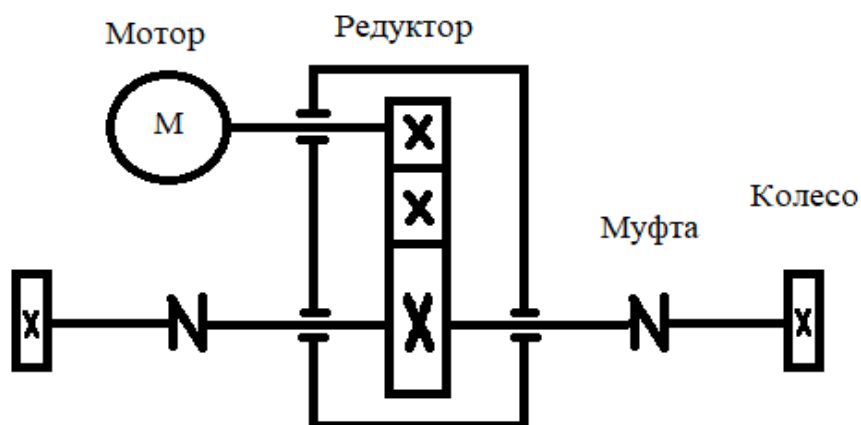


Рисунок 1.3 - Кинематическая схема механизма передвижения транспортной тележка

### 1.3 Требования к приводам мехатронной системы транспортной телеги

Транспортная телега функционирует в пределах непрерывной технологической цепочки и от ее ритмичной работы зависит производительность всей линии. С другой стороны, относительно небольшие размеры рабочей платформы требуют точного центрирования трубы и плавности хода с ограничением рывка. Кроме того, от транспортной телеги требуется точная остановка в заданной позиции. Особо ответственной является операция подъема (опускания) трубы, к которой предъявляются повышенные требования по плавности и надежности.

На основе анализа технологических операций транспортной телеги можно сформулировать следующие требования к приводам мехатронной системы:

1. обеспечение диапазона скорости транспортировки 10:1, где верхний предел 0,6 м/с
2. - обеспечение остановки тележки в заданной позиции с точностью не менее  $\pm 10$  мм;
3. - обеспечение реверса двигателя;

#### Требования к системе автоматизации

1. Система управления мехатронной системой передаточной тележки должна обеспечивать согласованное управление механизмами системы для выполнения заданных технологических операций.

2. Быстродействие системы на уровне производительности контроллера 10 мс для обеспечения функционирования замкнутых контуров регулирования и задания необходимых последовательностей управления. Такими характеристиками обладают микропроцессорные цифровые устройства (контроллеры) с операционными системами «реального времени».

3. Поддержка необходимых сетевых протоколов для связи с приводами мехатронной системы.

## 1.4 Выбор системы привода

Систему привода подберём таким образом, чтобы она соответствовала требованиям технологического процесса. Процесс перемещения и поднятия трубы сопровождается нагрузкой на привод в момент поднятия заготовки, перемещения и разгона тележки.

В качестве системы привода перемещения транспортной тележки рассмотрим систему ПЧ-АД, так как она позволяет в широком интервале плавно изменять обороты вращения ротора как выше, так и ниже номинальных значений. Потери мощности при таком регулировании невелики, поскольку не сопровождаются увеличением скольжения. Получаемые при этом механические характеристики обладают высокой жесткостью.

Для перемещения тележки целесообразно использовать асинхронный двигатель, преобразование оборотов которого, достигается путем использования червячного редуктора (мотор-редуктор). Асинхронный двигатель имеет хорошую характеристику регулирования при больших моментах инерции нагрузки, высокое качество регулирования частоты вращения, что обеспечивает высокую точность, высокую перегрузочную способность и практически полное отсутствие пульсации вращающего момента.

Преобразователи частоты способны выполнять автоматическое управление асинхронным двигателем по сигналам с периферийных датчиков и приводить в действие электропривод по заданному временному алгоритму. Поддерживать функции автоматического восстановления режима работы при кратковременном прерывании питания. Выполнять управление переходными процессами с удаленного пульта и осуществлять защиту электродвигателей от перегрузок. Преобразователи частоты для частотно-регулируемых электроприводов преобразуют электроэнергию, поступающую из сети переменного тока, в электроэнергию с меняющейся по заданным законам частотой и напряжением.

## 1.5 Расчет и построение тахограммы и нагрузочной диаграммы механизмов транспортной телеги

### 1.5.1 Тахограмма транспортной тележки поперечного хода

Линейная скорость варьируется от 0 до 0,6 м/с. Максимальное значение линейного ускорения примем 0,16 м/с<sup>2</sup>, значение замедления с трубой 0,1 м/с<sup>2</sup>.

1. Время разгона от 0 до  $V_n$ :

$$t_1 = \frac{V_n}{a} = \frac{0,6}{0,16} = 3,75 \text{ с.} \quad (1.1)$$

где  $V_n$  - линейная скорость

$a$  - ускорение

2. Время торможения со скорости  $V_n$  до 0:

$$t_2 = \frac{V_n}{a} = \frac{0,6}{0,1} = 6 \text{ с.}$$

Путь, пройденный тележкой за время  $t_1$ :

$$L_{t_1} = \frac{a \cdot t^2}{2} = \frac{0,16 \cdot 3,75^2}{2} = 1,125 \text{ м.} \quad (1.2)$$

Путь, пройденный тележкой за время торможения  $t_2$ :

$$L_{t_2} = \frac{a \cdot t^2}{2} = \frac{0,1 \cdot 6^2}{2} = 1,8 \text{ м.}$$

Построим тахограмму движения тележки.

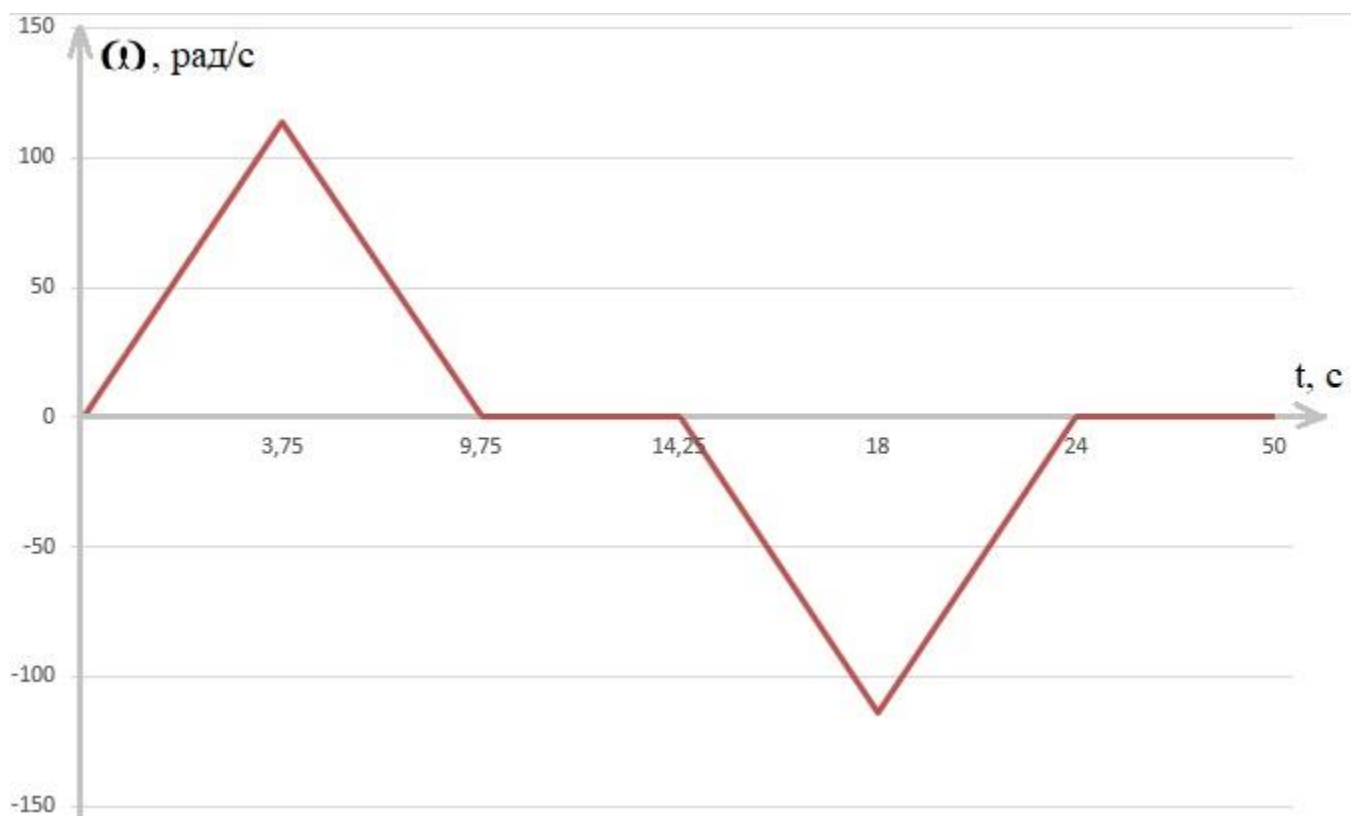


Рисунок 1.4 - Тахограмма движения транспортной телеги

Вначале цикла тележка разгоняется до максимально-допустимого значения скорости, далее плавно замедляется для более точного позиционирования, далее тележка стоит т.к. происходит опускание трубы на рольганг, а через заданное время тележка возвращается в исходное положение.

1.5.2 Расчет и построение нагрузочной диаграммы транспортной тележки поперечного хода

Частота вращения двигателя в радианах на секунду находится следующим образом:

$$\omega = \frac{v(t) \cdot i}{R}, \quad (1.3)$$

где  $V_n$  – линейная скорость;

$i$  - передаточное число редуктора;

$R$  – радиус колеса.

Угловая номинальная скорость двигателя на втором участке:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{V_n \cdot i}{R_{\text{кол}}} = \frac{0,6 \cdot 37,89}{0,2} = 113,67 \text{ с}^{-1}.$$

Расчет параметров двигателя

Сила сопротивления качению:

$$F_f = \frac{m \cdot g (\mu \cdot r_{\text{ц}} + f)}{R_{\text{к}}}, \quad (1.4)$$

где  $m$  – масса груза  $m_{\text{гр}} = 20000$  кг и масса тележки  $m_{\text{т}} = 3500$  кг;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\mu$  – коэффициент трения скольжения в подшипниках колес,  $\mu = 0,005$ ;

$r_{\text{ц}}$  – радиус цапфы колеса,  $r_{\text{ц}} = 50$ мм;

$f$  – коэффициент трения качения стали о сталь,  $f = 0,0015$ ;

$R_{\text{к}}$  – радиус колеса,  $R_{\text{к}} = 200$ мм.

При движении с грузом:

$$F_{f_{\text{нагр}}} = \frac{23500 \cdot 9,8 (0,005 \cdot 0,05 + 0,0015)}{0,2} = 2015,124 \text{ Н};$$

При движении без груза:

$$F_f = \frac{3500 \cdot 9,8 (0,005 \cdot 0,05 + 0,0015)}{0,2} = 300,124 \text{ Н}.$$

Статическая мощность:

Статическая мощность  $P_s$  учитывает все силы, действующие при движении без ускорения. Основные из них:

- сила трения качения;
- силы трения различных элементов;
- сила тяжести на подъемах;
- сила аэродинамического сопротивления.

$$P_s = F \frac{V}{\eta}, \quad (1.5)$$

где  $\eta$  – это общий КПД приводной системы, состоящий из КПД редуктора  $\eta_{ред}$  и КПД внешних передающих элементов  $\eta_{вн}$ .

Цилиндрическая и коническая зубчатая передача.

КПД редуктора с цилиндрическими или коническими шестернями можно принять за  $\eta = 0,98$  для каждой ступени.

Поскольку на данном этапе расчета редуктор еще не выбран, принимается среднее значение для двух или трехступенчатого редуктора  $\eta_{ред} = 0,941$ .

КПД нагрузки.

КПД нагрузки зависит от вида передающих элементов после редуктора (например, цепи, ремни, тросы, зубчатые элементы и т. п.).

В нашем случае КПД муфты  $\eta_{муф} = 0,98$ .

$$\eta = \eta_{муф} \cdot \eta_{ред} = 0,98 \cdot 0,941 = 0,922 \quad (1.6)$$

По формуле 1.6 рассчитываем статическую мощность:  
без груза:

$$P_s = \frac{300,124 \cdot 0,6}{0,922} = 195,308 \text{ Вт};$$



с грузом:

$$P_{s_{нагр}} = \frac{2015,124 \cdot 0,6}{0,922} = 1311,36 \text{ Вт.}$$

#### Динамическая мощность

Динамической называется мощность, расходуемая на ускорение всей системы (нагрузка, передающие элементы, редуктор и двигатель). В нерегулируемых приводах двигатель создает динамический момент, который и ускоряет эту систему. Чем выше этот момент, тем больше ускорение. В общем случае моментом инерции передающих элементов и редуктора можно пренебречь. Момент инерции ротора двигателя не известен, так как его параметры еще не определены. Поэтому мощность двигателя можно лишь приблизительно рассчитать по динамической мощности на ускорение нагрузки. Однако поскольку в приводах обычных транспортных устройств соотношение моментов инерции нагрузки и ротора двигателя очень велико, полная мощность двигателя весьма точно рассчитывается и по уже имеющимся данным. Тем не менее, необходима последующая проверка.

#### Полная мощность

без груза:

$$P = \frac{m \cdot v \cdot a}{\eta} + P_s = \frac{3500 \cdot 0,6 \cdot 0,16}{0,922} + 195,308 = 559,733 \text{ Вт;} \quad (1.7)$$

с грузом:

$$P_{нагр} = \frac{23500 \cdot 0,6 \cdot 0,16}{0,922} + 1311,36 = 3758,214 \text{ Вт.}$$

По полученным данным выбирается фирмы производителя NORD «мотор-редуктор» SK 9032.1-112M/4, рассчитанный для повторно-кратковременного режима работы номинальной мощностью  $P_n = 4$  кВт, с частотой вращения 1445 об/мин и перегрузочной способностью  $\lambda=2,5$ , технические данные двигателя представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики мотор-редуктора SK 9032.1-112M/4

Наименование параметра	Обозначение	Величина
Номинальная мощность, кВт	$P_n$	4
Номинальное линейное напряжение статора, В	$U_{1n}$	380
Номинальная частота вращения, об/мин	$N_n$	1445
Перегрузочная способность по моменту	$\lambda$	2,5
Коэффициент мощности	$\cos\varphi$	0,80
Номинальный ток, А	$I$	8,95
Передаточное число трехступенчатого коническо-цилиндрического редуктора	$i$	37,89

Проверочный расчет. Предыдущие вычисления проводились без данных двигателя, поэтому необходим подробный проверочный расчет с использованием данных двигателя.

Режим разгона. Внешний момент инерции приведенный к валу двигателя:

$$J_x = 91.2 \cdot m \cdot \left( \frac{v}{n_n} \right)^2 = 91.2 \cdot 23500 \cdot \left( \frac{0.6}{1445} \right)^2 = 0,369 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (1.8)$$

Момент инерции нагруженной мехатронной системы:

$$J = J_{\text{дв}} + \frac{m_{\text{нагр}} \cdot v_{\text{нагр}}^2}{\omega_{\text{н.нагр}}^2}, \quad (1.9)$$

где  $J_{\text{дв}}$  – момент инерции двигателя,  $J_{\text{дв}} = 0,0128 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$\omega_{\text{н.нагр}}$  – номинальная угловая скорость нагруженной системы, определили по формуле.

$$J = 0,0128 + \frac{3500 \cdot 0,6^2}{113,67^2} = 0,11 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$J_{\text{нагр}} = 0,0128 + \frac{33500 \cdot 0,6^2}{113,67^2} = 0,667 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Расчет моментов.

Номинальный момент:

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 9550}{n_{\text{н}}} = \frac{4000 \cdot 9550}{1445} = 26,436 \text{ Нм}. \quad (1.10)$$

Статический момент:

движение с грузом:

$$M_{\text{с.нагр}} = \frac{F_f \cdot v_{\text{нагр}}}{\omega_{\text{н.нагр}} \cdot \eta} = \frac{2015,124 \cdot 0,6}{113,67 \cdot 0,922} = 11,536 \text{ Нм}; \quad (1.11)$$

движение без груза:

$$M_c = \frac{F_f \cdot V_{нагр}}{\omega_{н.нагр} \cdot \eta} = \frac{300,124 \cdot 0,6}{113,67 \cdot 0,922} = 1,718 \text{ Нм.}$$

Угловое ускорение:

$$\varepsilon_{нагр} = \frac{a_{нагр} \cdot i}{R} = \frac{0,16 \cdot 37,89}{0,2} = 30,312 \text{ с}^{-2}; \quad (1.12)$$

Угловое ускорение при замедлении:

движение с грузом:

$$\varepsilon_{нагр} = \frac{a_{нагр} \cdot i}{R} = \frac{0,1 \cdot 37,89}{0,2} = 18,945 \text{ с}^{-2};$$

где  $i$  – передаточное число редуктора;

$R$  – радиус колеса.

Динамический момент при ускорении:

$$M_d = J \cdot \varepsilon = 0,11 \cdot 30,312 = 3,313 \text{ Нм.} \quad (1.13)$$

$$M_{д.нагр} = J_{нагр} \cdot \varepsilon = 0,667 \cdot 30,312 = 20,218 \text{ Нм.}$$

Динамический момент при замедлении:

$$M_d = J \cdot \varepsilon = 0,11 \cdot 20,838 = 2,292 \text{ Нм.}$$

$$M_{д.нагр} = J_{нагр} \cdot \varepsilon = 0,667 \cdot 20,838 = 13,898 \text{ Нм.}$$

Из основного уравнения движения электропривода:

$$M = \sum M_c + \sum M_{\text{дин}} . \quad (1.14)$$

Рассчитаем полный момент для всех участков движения:

1) На первом участке, при ускорении,  $a = 0,16 \text{ м/с}^2$ :

$$M_1 = 11,536 + 20,218 = 31,754 \text{ Нм}.$$

2) На втором участке, при замедлении,  $a = 0,1 \text{ м/с}^2$ :

$$M_2 = 11,536 - 13,898 = -2,362 \text{ Нм}.$$

3) На третьем участке, при ускорении,  $a = 0,16 \text{ м/с}^2$ :

$$M_3 = 1,718 + 3,313 = 5,031 \text{ Нм}.$$

4) На четвертом участке, при замедлении,  $a = 0,1 \text{ м/с}^2$ :

$$M_4 = 1,718 - 2,292 = -0,574 \text{ Нм}.$$

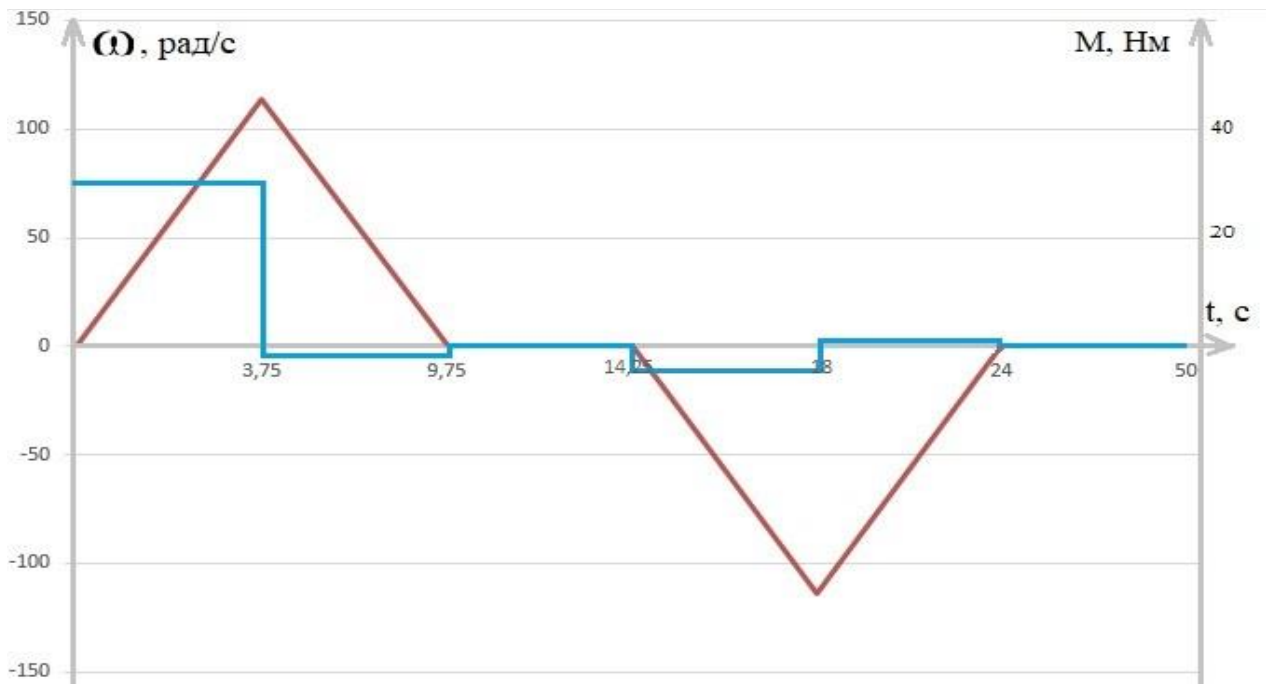


Рисунок 1.5 - Нагрузочная диаграмма и тахограмма привода перемещения мехатронной системы

### 1.5.3 Проверка двигателя по условиям нагрева и перегрузки

Двигатель по условию нагрева будем осуществлять на основе метода эквивалентного момента.

$$M_{\text{э}} = M_{\text{эф}} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{\phi}}{\varepsilon_{\text{ст}}}} \quad (1.15)$$

где  $M_{\text{э}}$  - эквивалентный момент при стандартном значении продолжительности включения  $\varepsilon_{\text{ст}}$ , на которое выбран двигатель;

$M_{\text{эф}}$  - фактический эквивалентный момент, который рассчитывается по формуле (1.16):

$$M_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3 + M_4^2 \cdot t_4}{t_{\text{ц}}}} = \quad (1.16)$$

$$= \sqrt{\frac{31,754^2 \cdot 3,75 + (-2,362)^2 \cdot 6 + 5,031^2 \cdot 3,75 + (-0,574)^2 \cdot 6}{30}} = 17,5 \text{ Нм}$$

где  $M_1, M_2, \dots, M_n$  – значения моментов на отдельных участках нагрузочных диаграмм;

$t_1, t_2, t_3, t_4$  - время этих участков;

$t_{\text{ц}}$  - время полного цикла.

Определим фактическую продолжительность включения по формуле (1.17):

$$\varepsilon_{\phi} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{t_{\text{ц}}} = 0,65. \quad (1.17)$$

Стандартная продолжительность включения  $\varepsilon_{\text{ст}}$  выбирается ближайшая к фактической. В нашем случае это 0,5. Тогда, произведем расчет согласно формуле (1.17):

$$M_3 = M_{\text{эф}} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{\phi}}{\varepsilon_{\text{ст}}}} = 17,54 \cdot \sqrt{\frac{0,65}{0,5}} = 20,083 \text{ Нм}. \quad (1.18)$$

Двигатель проходит по нагреву, если справедливо неравенство (1.19):

$$M_3 < M_{\text{н}} \quad (1.19)$$

где  $M_{\text{н}}$  - номинальный момент выбранного двигателя.

$$20,083 < 26,436$$

Отсюда можно сделать вывод, что неравенство 1.19 удовлетворено и двигатель проходит проверку по нагреву. После проверки двигателя на нагрев его проверяют на перегрузку:

$$M_{\max} \leq \lambda \cdot M_n \quad (1.20)$$

где  $M_{\max}$ , - максимальное значение момента в нагрузочной диаграмме

$\lambda$  коэффициент перегрузки соответственно.

$$31,754 \leq 2,5 \cdot 26,436$$

$$31,754 \leq 66,09$$

Согласно расчетам, можно сказать, что проверка двигателя на перегрузку удовлетворяет условию неравенства 1.20 и двигатель выбран правильно.

#### Выбор преобразователя частоты

Правильно подобранный преобразователь частоты (ПЧ) обеспечит надежную работу электродвигателя и системы управления, а также позволит рационально использовать электроэнергию. Преобразователь частоты способен эффективно регулировать частоту вращения электродвигателя, изменяя частоту питающего напряжения, а также задавать ток и напряжение.

Для выбора конкретной модели ПЧ необходимо исходить из задач, возложенных на электропривод, среди которых точность позиционирования, диапазон скоростей, номинальная скорость, а также тип подключаемого двигателя. Также можно учитывать конструктивные особенности преобразователя, такие как размеры, необходимая степень защиты (IP), возможность выноса пульта управления и прочее.



Ключевым фактором для выбора преобразователя частоты является номинальная мощность электропривода и ток, потребляемый двигателем. Для обеспечения высокого пускового момента или большом ускорении и замедлении, необходимо выбирать ПЧ на порядок мощнее, с учетом перегрузочной способности. Номинальный длительный ток преобразователя должен быть больше (или равен) фактического длительного тока, потребляемого двигателем.

Преобразователь частоты также позволяет ограничить пусковые токи двигателя, которые при подключении напрямую могут достигать семикратных значений от номинальных. Преобразователь же позволяет ограничить токи на уровне номинальных или фактически потребляемых двигателем.

В нашем случае ПЧ работает с одним двигателем, скорость которого плавно должна регулироваться. Исходя из принципа, в котором коэффициент перегрузочной способности преобразователя  $\lambda_{\text{п}}$  должен быть меньше коэффициента перегрузочной способности двигателя  $\lambda_{\text{д}}$ , выберем преобразователь частоты по формуле (1.21):

$$I_{\text{п}} = \frac{\lambda_{\text{д}}}{\lambda_{\text{п}}} \cdot I_{\text{д}}, \quad (1.21)$$

где  $I_{\text{п}}$  - номинальный ток преобразователя,

$I_{\text{д}}$  - номинальный ток двигателя равный 8,95 А;

$\lambda_{\text{д}}$  - перегрузочная способность двигателя равная 2,5;

$\lambda_{\text{п}}$  - перегрузочная способность преобразователя.

Исходя из паспортных данных двигателя и режима работы привода, отметим наиболее подходящий частотный преобразователь Lenze 8200 motec E82MV752\_4B001. Преобразователь является децентрализованным, что позволяет непосредственно подключать исполнительный механизм. Также имеется поддержка шины Profibus, что позволит легко интегрировать ПЧ в существующую систему управления. Выбранный преобразователь также обеспечивает еще одно из требований к электроприводу, сформулированных в

начале работы: рекуперация электроэнергии в сеть. Характеристики приведены в таблице 2.

Таблица 1.2 – Характеристики Частотного преобразователя Lenze 8200 motec E82MV52\_4B001

Наименование параметра	Величина
Типоразмер	FSC
Питающее напряжение, В	380
Номинальная мощность, кВт	5,5
Номинальный выходной ток, А	13
Входной ток, А	16,8
Рабочая температура, °С	от –10 до +40

#### Состав силовой части преобразователя частоты

На рисунке 6 приведена схема двухзвенного преобразователя частоты для питания асинхронного двигателя. Он состоит из неуправляемого выпрямителя, автономного инвертора, сглаживающего фильтра и блока тормозного резистора, применяемого при торможении. Неуправляемый выпрямитель выполнен на диодах, автономный инвертор на транзисторах, шунтированных диодами. Диоды служат для пропускания тока при выключении транзисторов. Одновременно они играют роль обратного выпрямителя при торможении двигателя. Фильтр LC служит для сглаживания напряжения выпрямителя. За счет применения ШИМ осуществляется регулирование напряжения на выходе ПЧ и приближение его формы к синусоидальной. Торможение обеспечивается переводом АИН в режим управляемого выпрямителя напряжения, обеспечивающего повышение напряжения на конденсаторе фильтра, несмотря на уменьшение скорости вращения двигателя. Роль фазных индуктивностей при этом выполняют индуктивности рассеяния фаз двигателя. При превышении напряжением на

конденсаторе заданного значения транзистор включается и энергия, передаваемая от электрической машины, рассеивается в тормозном резисторе.

В состав силовой части электропривода входят следующие основные элементы, некоторые из которых не указаны на упрощенной схеме:

- главный автоматический выключатель, для защиты кабелей и полупроводниковых приборов;
- сетевой фильтр;
- неуправляемый выпрямительный блок;
- тормозной блок;
- индуктивно-емкостный фильтр LC звена постоянного тока с блоком предварительной зарядки конденсаторов;
- трехфазный мостовой инвертор напряжения (АИН), выполненный на базе шестиключевого IGBT- модуля, управляемого по методу широтно-импульсной модуляции (ШИМ);
- выходной фильтр (du/dt-фильтр).

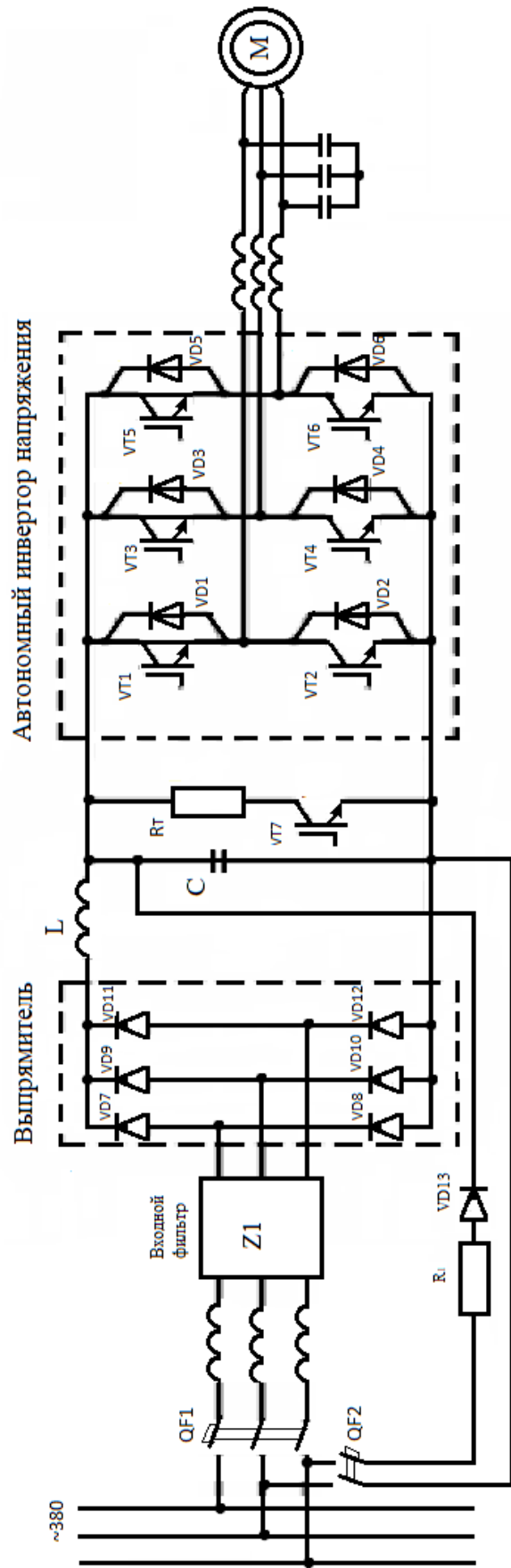


Рисунок 1.6 – Упрощенная силовая схема электропривода транспортной тележки

Все модели векторных частотных преобразователей снабжены сетевой фильтрацией. Наличие фильтрующих аппаратов обеспечивает необходимый уровень ЭМС для работы системы. Встроенное устройство позволяет делать минимальными наводки и шумы в электронной технике, и, следовательно, удовлетворяет требованиям по совместимости возможна работа при более больших расстояниях между преобразователем и двигателем (длина кабеля от 50 до 1000 м). Входные фильтры служат для уменьшения шумов кабельной линии электроснабжения. Они также влияют на устройства, подключенные к той же сети. Выходные предназначены для помехоподавления для аппаратов, расположенных рядом с инвертором и использующих одну и ту же землю.

Основным источником промышленных радиопомех при работе преобразователя частоты являются переключающиеся с высокой скоростью IGBT-транзисторы. Генерируемые ими радиопомехи характеризуются высоким уровнем и широким спектром частот - от единиц килогерц до десятков мегагерц. Пути распространения помех самые разнообразные: провода, межвитковые емкости трансформаторов, паразитные емкости между землей и корпусами и т.д.

Без использования дополнительных узлов или устройств уровень радиопомех значительно превосходит допустимый. Для подавления подобных помех, в первую очередь, служат сетевые помехоподавляющие фильтры, включаемые между сетью и преобразователем. Поскольку они должны пропускать ток относительно низкой промышленной частоты и не пропускать высокочастотные токи помех, они обычно представляют собой заградительный фильтр высоких частот. Таким образом, помехоподавляющие фильтры, совместно с коммутационными сетевыми дросселями, уменьшают напряжение помехи преобразователей. В комплект ПЧ входит сетевой помехоподавляющий фильтр типа RTMN-5050, обеспечивающий снижение уровня радиопомех.

## 1.6 Защиты привода. Расчет уставок защитных устройств

### 1.6.1 Виды аварийных режимов и способы их предотвращения

Надежно спроектированным привод можно считать только после того, как проработаны защиты в случае возникновения внештатных ситуаций и аварийных режимов работы.

Защита разрабатывается как для предотвращения повреждения оборудования, так и для защиты персонала.

Характер повреждений определяет вид и параметры защитных устройств, существует несколько основных видов защит для электропривода.

1) Защита от коротких замыканий отключает питание в цепи при появлении в силовой части или в цепи управления токов короткого замыкания.

Существует несколько различных устройств, созданных для размыкания цепи, при возникновении короткого замыкания. Среди них: плавкие предохранители, электромагнитные реле, автоматические выключатели с электромагнитным расцеплением. Действие этих устройств происходит практически без временной выдержки.

2) Защита от перегрузки предохраняет двигатель от недопустимого перегрева, в частности и при сравнительно небольших по величине, но продолжительных тепловых перегрузках. Защита от перегрузки должна применяться только для электродвигателей тех рабочих механизмов, у которых возможны ненормальные увеличения нагрузки при нарушениях рабочего процесса.

3) Блок тормозного резистора поглощает энергию при торможении, защищая систему от перегрева.

4) Блок предзаряда конденсатора защищает систему от короткого замыкания в момент пуска после долгого простоя, когда конденсатор полностью разрядился.

### 1.6.2 Защита двигателя привода передвижения передаточной тележки

К двигателю следует применить защитные действия в случае возникновения неполадок в работе. По общим стандартам и правилам пользования электроустановок при отклонении показателей нормы на 5% срабатывает защита и оборудование отключается. Функцию аварийного выключения выполняет

автоматический выключатель, в нашем случае целесообразно установить именно его.

### 1.6.3 Выбор автоматического выключателя

Автоматический выключатель (АВ) выбирают по номинальному току  $I_{н.вык}$  выключателя и номинальному току  $I_{н.расц}$  расцепителя. И рассчитывают по формуле 1.22:

$$I_{н.расц} = \frac{I_{дл}}{K_m} = \frac{8,95}{1} = 8,95 \text{ А.} \quad (1.22)$$

где  $I_{дл} = I_n$  – длительный ток в линии;

$I_n$  – номинальный ток двигателя;

$K_T$  – тепловой коэффициент, учитывающий условия установки АВ;

$K_T=1$  - для установки в открытом исполнении;

$K_T=0,85$  – для установки в закрытых шкафах.

Из каталога автоматических выключателей выберем наиболее подходящий автомат Siemens 3VT1 701-2EC46-0AA0 с характеристикой  $I_{н.выкл} = 16..32 \text{ А}$ .

Таблица 1.3 – Характеристики автоматического выключателя Siemens 3VT1 701-2EC46-0AA0

Наименование параметра	Значение
Номинальное частота	50Гц
Длительность управляющего импульса	60 мсек.
Защита от перегрузки	12,5 ... 16А
Защита от короткого замыкание	160 ... 240А

Тогда должно выполняться условие 1.23:

$$I_{\text{мгн.ср}} \geq K \cdot I_{\text{кр}}, \quad (1.23)$$

где  $K = 1,4$  – коэффициент, учитывающий неточность определения  $I_{\text{кр}}$  в линии,

$I_{\text{кр}}$  - максимальный кратковременный ток,

$I_{\text{мгн.ср}}$  – ток мгновенного срабатывания.

$$I_{\text{кр}} = K_i \cdot I_n, \quad (1.24)$$

где  $K_i$  – коэффициент перегрузки для пускового тока.

Проверка:

$$I_{\text{мгн.ср}} = 10 \cdot I_{\text{расц}} = 10 \cdot 16 = 130 \text{ А};$$

$$I_{\text{кр}} = K_i \cdot I_n = 10 \cdot 8,95 = 89,5 \text{ А};$$

$$130 \geq 1,4 \cdot 89,5;$$

$$160 \geq 125,3.$$

Неравенство выполняется, значит автоматический выключатель выбран правильно.



## 2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

### 2.1 Разработка архитектуры системы систем автоматизации

АСУ ТП позволяет улучшить качество выпускаемой продукции, увеличить производительность труда, в том числе сократить численность основного и вспомогательного персонала, улучшить условия труда персонала, а также сократить расход сырья и электроэнергии.

АСУ состоит из нескольких уровней. Нижний уровень системы подчинён вышестоящему. Такие системы охватывают весь цикл работы производства.

Верхний уровень принято называть EPR системой, то есть это система для планирования ресурсов предприятия, такие системы ориентированы на предприятия в целом и образуют «бизнес уровень».

В производственных АСУ ТП системы обычно строятся по трехуровневому принципу: нижний, средний и верхний уровни.

Нижний уровень системы («полевой») – уровень датчиков и исполнительных приводов. В тележке для перемещения одной трубы применяются такие датчики как:

- индуктивные датчики;
- механические конечники ограничения хода;
- лазерные датчики;

Каждое устройство полевого уровня отличается самостоятельным вычислительным ресурсом и может выполнять функцию управления, самонастройки и самодиагностики, что упрощает обслуживание контроллеров измерительных приборов и снижает нагрузку на управляющие вычислительные устройства верхних уровней, а также делает систему более распределённой.

На втором уровне АСУ ТП располагаются программируемые логические контроллеры – это моноблочные, модульные и встраиваемые контроллеры. Среди основных характеристик: производительность, максимальное число каналов ввода/вывода переменных.

На втором уровне управления (PLC-уровень) используются промышленные компьютеры, которые представляют собой машины, адаптированные для жёстких условий эксплуатации. Они позволяют сосредоточить функцию управления и визуализацию в одном месте, используют при этом встраиваемые модули, связь между контроллерами и промышленным компьютером второго уровня со станциями управления верхнего уровня осуществляется по сети Ethernet.

На верхнем, третьем, уровне АСУ ТП расположена станция SCADA, которая обеспечивает диспетчерское управление техническим. SCADA – программный пакет, необходимый для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга и управления. Связь верхнего уровня АСУ ТП, АСУ цеха и АСУ предприятия, в составе которых используются большие персональные компьютеры, осуществляется стандартными коммуникациями по сети Ethernet.

Приведем схему архитектуры на рис 2.1:

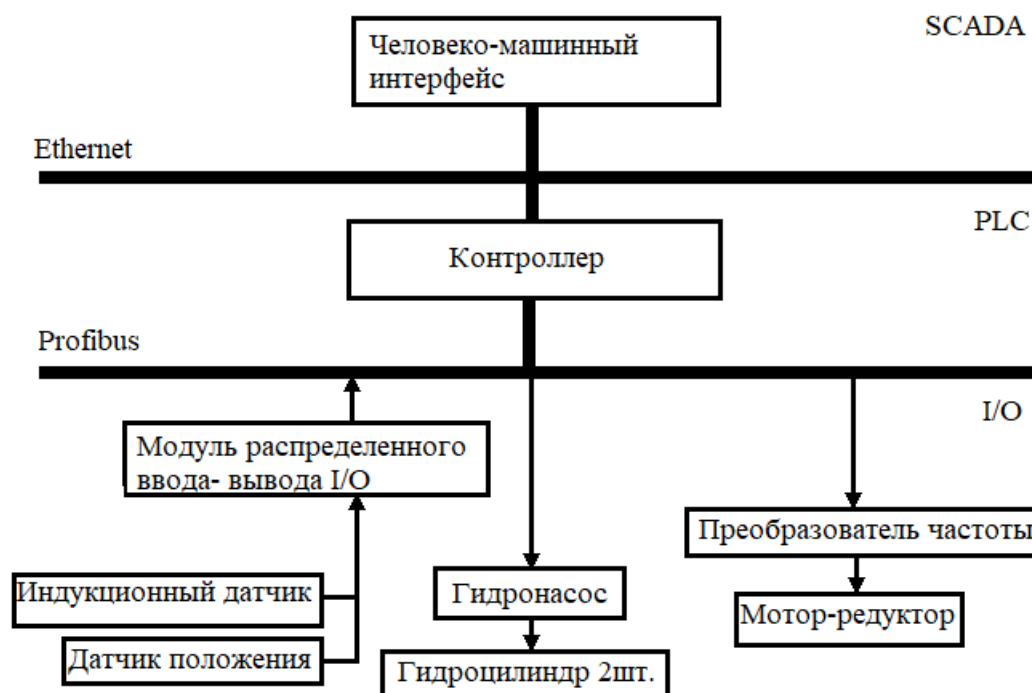


Рисунок 2.1 - Архитектура системы автоматического управления транспортной телеги поперечного хода

## 2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат

В качестве программируемого логического контроллера рассмотрим серию Siemens Simatic S7-300.

Программируемый логический контроллер SIMATIC S7-300 - предназначен для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности. Модульная конструкция контроллера S7-300, работа с естественным охлаждением, возможность применения структур локального и распределенного 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 производства.

Использование нескольких типов центральных процессоров различной производительности, наличие широкой гаммы модулей ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, функциональных модулей и коммуникационных процессоров повышает эффективность применения контроллеров SIMATIC S7-300

Программируемые контроллеры Siemens SIMATIC S7-300 имеют модульную конструкцию и состоят из таких элементов:

- Центральные процессоры - Модуль центрального процессора (CPU). В зависимости от сложности задачи в контроллерах могут быть использованы различные типы центральных процессоров, которые отличаются производительностью, размером памяти, наличием или отсутствием встроенных входов-выходов и специальных функций, количеством и типом встроенных коммуникационных интерфейсов и т.д.
- Блоки питания - Блоки питания (PS), обеспечивают питание контроллера от сети переменного тока напряжением 120/230 В или от источника постоянного тока напряжением 24/48/60/110 В.

- Сигнальные модули SM - Сигнальные модули (SM), предназначены для ввода и вывода дискретных или аналоговых сигналов с различными электрическими и временными параметрами.

- Коммуникационные модули - Коммуникационные процессоры (CP) обеспечивают возможность подключения к сетям PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface или организации связи по PtP (point to point) интерфейсу.

- Функциональные модули - Функциональные модули (FM), могут самостоятельно решать задачи автоматического регулирования, позиционирования, обработки сигналов. Функциональные модули снабжены встроенным микропроцессором и выполняют возложенные на них функции даже в случае отказа центрального процессора программируемого логического контроллера.

- Интерфейсные модули - Интерфейсные модули (IM), обеспечивают возможность подключения к базовому блоку (стойка с CPU) стоек расширения ввода-вывода. Программируемые контроллеры Siemens SIMATIC S7-300 позволяют использовать в своем составе до 32 сигнальных и функциональных модулей, а также коммуникационных процессоров, распределенных по 4 монтажным стойкам. Все модули работают с естественным охлаждением.

Система ввода-вывода программируемого контроллера S7-300 может включать в свой состав две части: систему локального и систему распределенного ввода-вывода. Система локального ввода-вывода образуется модулями, устанавливаемыми непосредственно в монтажные стойки контроллера. Система распределенного ввода-вывода включает в свой состав станции распределенного ввода-вывода и приборы полевого уровня, подключаемые к контроллеру через сети PROFINET, PROFIBUS DP и AS-Interface. В зависимости от типа используемого центрального процессора системы локального ввода-вывода программируемых контроллеров S7-300 могут включать в свой состав до 8 или до 32 сигнальных, функциональных и коммуникационных модулей. Все модули устанавливаются в монтажные стойки контроллера, функции которых выполняют профильные шины S7-300.

Из серии Siemens Simatic S7-300 выберем CPU 319-2PN/DP .

Центральный процессор CPU 319-2 PN/DP - это один из самых быстрых центральных процессоров S7-300 с большим объемом памяти программ. Он находит применение в системах автоматизации, широко использующих как систему локального, так и систему распределенного ввода-вывода. Например, он может использоваться в качестве центрального контроллера производственной линии или для автоматизации машин, предъявляющих повышенные требования к скорости обработки информации. Большой объем памяти программ позволяет использовать для программирования центрального процессора инструментальные средства проектирования SIMATIC.

В качестве станции удаленного ввода-вывода рассмотрим станцию серии WAGO 750-400.

Система WAGO I/O предназначена для организации удаленного сбора данных и управления на основе различных промышленных сетей. Система позволяет принимать и передавать дискретные, аналоговые, числоимпульсные сигналы, а также обмениваться данными с различными специальными устройствами. Идеология WAGO I/O основана на предоставлении разработчику максимальных возможностей в конфигурировании, наращивании и обслуживании системы.

Разработчик может подключиться к любой существующей промышленной сети, выбрав соответствующий сетевой адаптер. При этом нет необходимости менять весь контроллер. С другой стороны, пользователю предоставлена возможность максимально гибко изменять состав каналов ввода-вывода за счет использования модулей, рассчитанных на подключение четырех, двух или одного канала ввода-вывода. Это дает значительную экономию средств по сравнению с традиционными PLC, имеющими, как правило, модули, рассчитанные на 16/8 каналов ввода-вывода, за счет уменьшения избыточности системы. В WAGO I/O отсутствует традиционное для практически всех PLC объединительное шасси. Механическим соединителем для отдельных модулей ввода-вывода является стандартный монтажный DIN-рельс, а электрическим - надежные лепестковые контакты внутренней шины.

Таблица 2.1 – Технические характеристики модулей ввода/вывода WAGO

Наименование параметра	Значение
Диаметр проводников для подключения, мм <sup>2</sup>	0,08 – 2,5
Диапазон рабочих температур	-40 - +70
Устойчивость к вибрационным перегрузкам, g	5

Широкий спектр модулей, гибкие возможности конфигурирования, монтажа и программирования делают 3RK2400 универсальной периферийной системой ввода-вывода. Данная станция оснащена цифровыми входами/выходами(4/4), а данная установка(тележка для перемещения одной трубы) оснащена 2 такими станциями, что обеспечивает увеличение цифровых входов/выходов. Модульный принцип построения станции обеспечивает максимальную адаптацию аппаратуры к требованиям решаемых задач с получением минимального количества избыточных каналов ввода-вывода.

В качестве магнитного пускателя используется силовой контактор Siemens 3RT10251.

Его технические характеристики приведены в таблице 2.1

Таблица 2.2 Технические характеристики контактора Siemens 3RT10251

Наименование параметра	Значение
Тип контактора	3-полюсный
Управляющее напряжение	24В DC
Рабочий ток макс	17А
Контакты	NO x3
Монтаж DIN	на панель
Серия контактора	3RT10
Размер	S0

В качестве датчика положения используется система позиционирования по штриховому коду BPS 34:

Система позиционирования по штриховому коду BPS 34 является оптической измерительной системой, предназначенной для определения позиции относительно неподвижно установленной ленты штриховых кодов с использованием лазера, работающего в диапазоне видимого красного цвета.

Таблица 2.3 - Технические характеристики BPS 34

Наименование параметра	Значение
Источник света	Лазерный диод 650нм
Точность	$\pm 1$ мм
Степень защиты	IP 65
Макс.длина ленты	10000м

### 2.3 Выбор функциональной схемы САР транспортной тележки

Благодаря особенностям технологического процесса и требованиям, предъявленным к модернизируемому приводу, стоит отметить, что возникает необходимость регулирования координат скорости и положения. Чтобы выполнить требования для регулирования скорости, а также точности остановки самым верным решением принципа управления данной системой будет являться векторный принцип частотного управления Управляющим воздействием на входе схемы является сигнал задания на регулятор положения. Основным возмущающим – момент сил сопротивления. Входными сигналами датчиков являются угловая скорость вала двигателя и перемещение(рис.2.2).

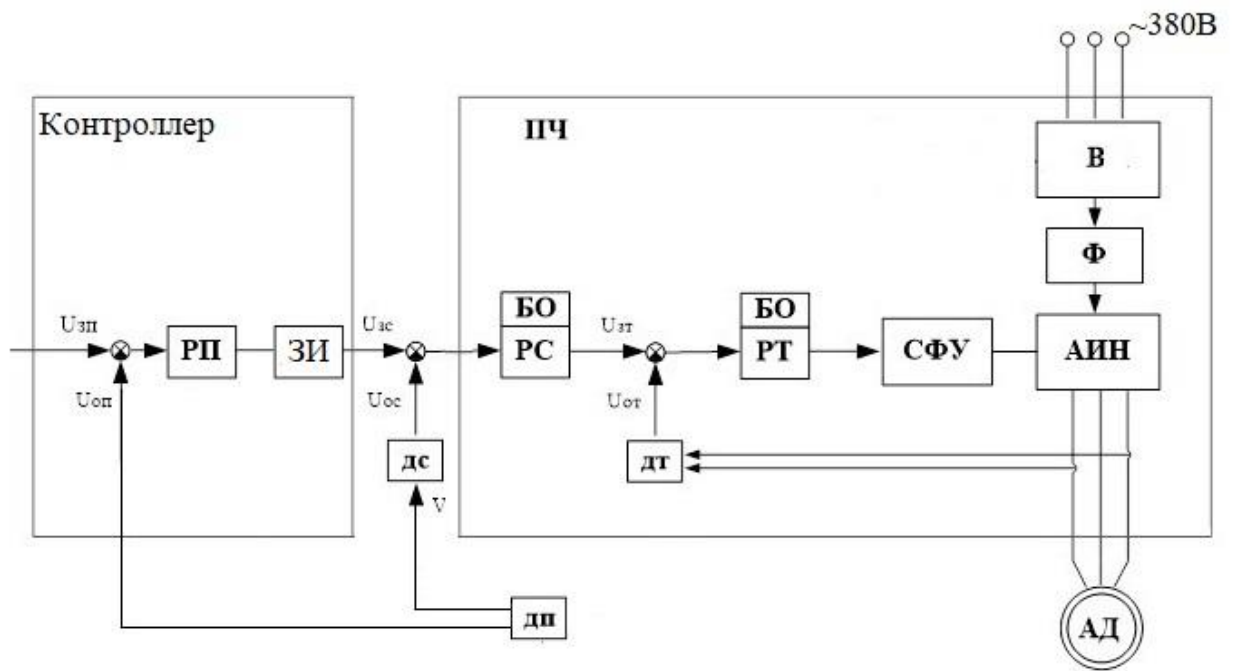


Рисунок 2.2. Функциональная схема векторного управления с регулированием по скорости и перемещению: В – выпрямитель напряжения; АИН – автономный инвертор напряжения; РП – регулятор положения; БО – блок ограничения; РС – регулятор скорости; ПЧ – преобразователь частоты; АД – асинхронный двигатель; ДС – датчик скорости; ДП – датчик положения; ДТ – датчик тока; Ф – фильтр;

## 2.4 Разработка и моделирование структурной схемы САУ

Структурная схема системы автоматического управления транспортной телеги поперечного хода состоит из внутреннего оптимизированного контура регулирования момента (ОКМ). В котором содержится преобразователь частоты, статорная цепь асинхронного двигателя и регулятор момента, настраиваемый на модульный оптимум.

Вышеперечисленные элементы приведены в виде оптимизированного контура момента (ОКМ). В этом случае он представляет собой колебательное звено с временными характеристиками, соответствующими настройке на модульный оптимум.



$$W(p) = \frac{1 / K_{\text{ом}}}{2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu} p + 1}, \quad (2.1)$$

где  $K_{\text{ом}}$  - коэффициент обратной связи по моменту

$T_{\mu}$  - постоянная времени.

В теории автоматического управления, ввиду малости постоянной времени  $T_{\mu}$ , допускается проводить аппроксимацию внутреннего оптимизированного контура, в этом случае он примет вид:

$$W(p) = \frac{1 / K_{\text{ом}}}{2T_{\mu} p + 1}. \quad (2.2)$$

Наименьшей постоянной времени  $T_{\mu}$  обладает преобразователь частоты, так как он является наиболее быстродействующим исполнительным элементом в системе «ПЧ-АД». Значение постоянной времени примем равным  $T_{\mu}=0,005$  с.

Коэффициент обратной связи по моменту  $K_{\text{ом}}$  рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{ом}} = \frac{U_{\text{з.с. ном.}}}{M_{\text{max}}} \quad (2.3)$$

где  $U_{\text{з.с. ном.}}$  – максимальное напряжение сигнала управления, В;

$M_{\text{max}}$  – максимальный момент двигателя, Нм.

Исходя из требований технологического процесса, регулятор скорости должен обеспечивать нулевую статическую просадку по скорости. В этом случае, регулятор скорости должен иметь пропорционально-интегральную структуру (ПИ), со следующей передаточной функцией:

$$W_{\text{PC}}(p) = \frac{T_{\text{PC}} p + 1}{T_{\text{ИРС}} p} = k_{\text{PC}} + \frac{k_{\text{PC}}}{8T_{\mu} p}, \quad (2.4)$$

где  $k_{pc}$  – коэффициент регулятора скорости, равный:

$$k_{pc} = \frac{J \cdot k_{om}}{4 \cdot T_{\mu} \cdot k_{oc}}, \quad (2.5)$$

где  $k_{oc}$  – коэффициент обратной связи по скорости

$k_{om}$  – коэффициент обратной связи по моменту

$$k_{oc} = \frac{U_{з.с. ном.}}{\omega_{max}}. \quad (2.6)$$

Для управления перемещениями транспортной тележки используется регулятор положения.

$$k_{оп} = \frac{U_{з.с. ном.}}{S_{max}}. \quad (2.7)$$

Тогда структурная схем будет иметь вид как на рис 2.3

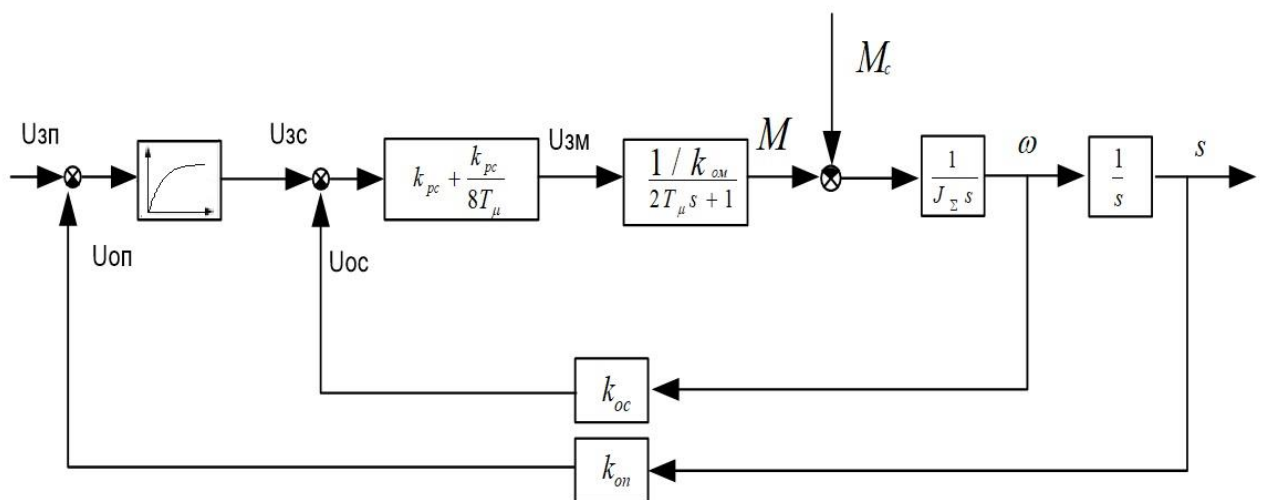


Рисунок 2.3 - Структурная схема САУ транспортной тележки

Произведем расчет коэффициентов:

Коэффициент  $k_{ом}$  находится по следующей формуле:

$$k_{ом} = \frac{U_{зм}}{M_{м}}, \quad (2.8)$$

где  $U_{зм} = 10В$ , - максимальный сигнал задания;

$M_{м} = 26,436 Нм$ , - максимальный момент двигателя.

$$k_{ом} = \frac{10}{26,456} = 0,377 ;$$

$$W_{окм}(p) = \frac{1/k_{ом}}{2 \cdot T_{\mu}p + 1}; \quad (2.9)$$

$$W_{окм}(p) = \frac{1/0,377}{2 \cdot 0,005p + 1} = \frac{2,652}{0,01p + 1}$$

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости, настроенного на симметричный оптимум имеет следующий вид:

$$W_{pc}(p) = k_{pc} + \frac{k_{pc}}{8T_{\mu}p}. \quad (2.10)$$

Коэффициент  $k_{pc}$  определяется выражением:

$$k_{pc} = \frac{J_{\Sigma}}{4T_{\mu}k_{oc} \frac{1}{k_{ом}}}. \quad (2.11)$$

Коэффициент обратной связи по скорости  $k_{oc}$  определяется формулой:

$$k_{oc} = \frac{U_{3c}}{\omega_M}, \quad (2.12)$$

где  $U_{3c} = 10\text{В}$ , - максимальное значение сигнала управления;

$\omega_M = 113,67\text{ рад/с}$  – максимальная скорость двигателя в течение цикла.

$$k_{oc} = \frac{10}{113,67} = 0,0879;$$

$$k_{pc} = \frac{0,0128}{4 \cdot 0,005 \cdot 0,0879 \cdot \frac{1}{0,377}} = 2,78;$$

$$W_{pc} = 2,78 + \frac{2,78}{8 \cdot 0,005p} = 2,78 + \frac{69,5}{p}.$$

Для преобразования угловой скорости на выходе контура скорости в линейную необходимо следующее звено:

$$W(p) = \frac{0,2}{37,89p}.$$

После преобразователя скорости необходим интегратор для получения перемещения на выходе контура положения.

Рассчитаем коэффициент обратной связи по положению:

$$k_{оп} = \frac{U_{з.с. ном.}}{S_{max}} ; \quad (2.13)$$

$$k_{\text{оп}} = \frac{10}{2,925} = 3.41.$$

Для нелинейного регулятора положения необходимо определить границы малых, средних и больших перемещений  $\Delta U_{\text{пmin}}$  и  $\Delta U_{\text{пmax}}$  :

$$\Delta U_{\text{пmin}} = 2\varepsilon_{\text{max}} k_{\text{оп}} k_{\text{и}} (16T_{\mu})^2 ; \quad (2.14)$$

$$\Delta U_{\text{пmax}} = \frac{\omega_{\text{ном}}^2 k_{\text{оп}} k_{\text{и}}}{2\varepsilon_{\text{max}}} ; \quad (2.15)$$

Максимальное ускорение  $\varepsilon_{\text{max}} = 32,206 \text{ рад/с}^2$ . Коэффициент обратной связи по положению и  $k_{\text{и}}$  вычисляются по формулам:

$$k_{\text{и}} = \frac{D}{2i_{\text{ред}}} ; \quad (2.16)$$

Тогда:

$$k_{\text{и}} = \frac{0,4}{2 \cdot 37,89} = 0,0052 ;$$

$$\Delta U_{\text{пmin}} = 2 \cdot 32,206 \cdot 3,41 \cdot 0,0052 \cdot (16 \cdot 0,002)^2 = 0,0046 ;$$

$$\Delta U_{\text{пmax}} = \frac{113,67^2 \cdot 3,41 \cdot 0,0052}{2 \cdot 32,206} = 6,08.$$

Для области малых перемещений ( $U_3 < 0,0046 \text{ В}$ ) коэффициент регулятора  $k_{\text{рпм}}$  вычисляется по формуле:

$$k_{\text{рпм}} = \frac{k_{\text{ос}}}{16T_{\mu}k_{\text{оп}}k_{\text{и}}} ; \quad (2.17)$$

$$k_{\text{рпм}} = \frac{0,0879}{16 \cdot 0,005 \cdot 3,41 \cdot 0,0052} = 61,96.$$

Для области средних перемещений ( $0,0046\text{В} \leq U_3 < 6,08\text{В}$ ) коэффициент регулятора  $k_{\text{рпс}}$  :

$$k_{\text{рпс}} = k_{\text{ос}} \sqrt{\frac{2\varepsilon_{\text{max}}}{k_{\text{оп}}k_{\text{и}}}} ; \quad (2.18)$$

$$k_{\text{рпс}} = 0,0879 \sqrt{\frac{2 \cdot 32,206}{3,41 \cdot 0,0052}} = 4,05.$$

В области больших перемещений ( $U_3 \geq 6,08\text{В}$ ) РП выдает сигнал, равный максимальному значению сигнала задания, т.е.  $\pm 10\text{В}$ .

После регулятора положения необходим задатчик интенсивности (ЗИ), т.к. на вход будет подаваться ступенчатый сигнал. ЗИ реализуется в виде последовательно соединенных функции знака (Sign) и интегратора, замкнутых единичной обратной отрицательной связью. Интегратор имеет следующую передаточную функцию:

$$W_{\text{зи}}(p) = \frac{1}{T_{\text{зи}}p}. \quad (2.19)$$

При движении в системе действует постоянный реактивный статический момент (всегда противодействует движению). Сигнал на выходе контура скорости

через зону нечувствительности (блок Dead Zone) подается на вход функции знака (блок Sign). Таким образом при движении в «положительном направлении» блок Sign выдает «1», при движении в «отрицательном направлении» - «-1», и при отсутствии движения «0». Сигнал с выхода блока Sign перемножается со значением статического момента (задается константой) и результат подается на отрицательный вход сумматора. Т.к. регулирование подчиненное, при запуске система не сможет снять знак скорости до того, как сформирован статический момент. Для этого необходим блок Memory, выполняющий алгебраическую развязку.

Переключение между регулированием по положению и регулированием по скорости организовано с помощью переключателей Switch, которые управляются отдельным сигналом, в действительности поступающим с контроллера. Математическая модель САУ отображена на рисунке 2.6 .

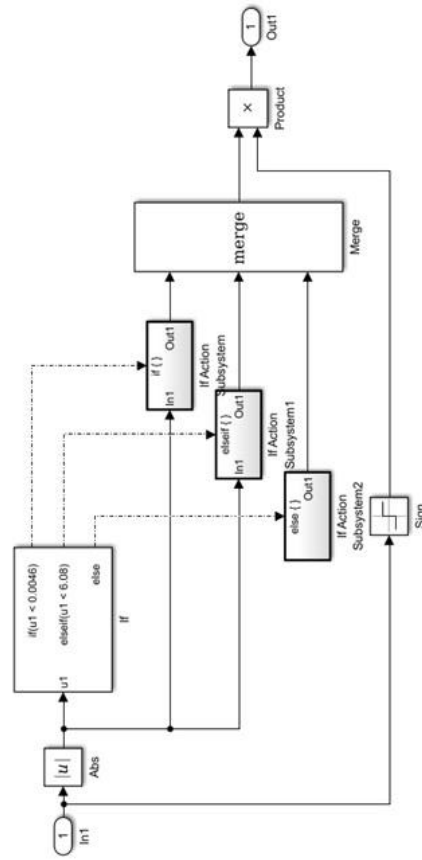
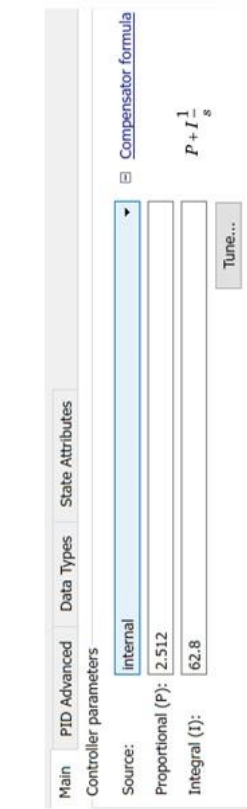
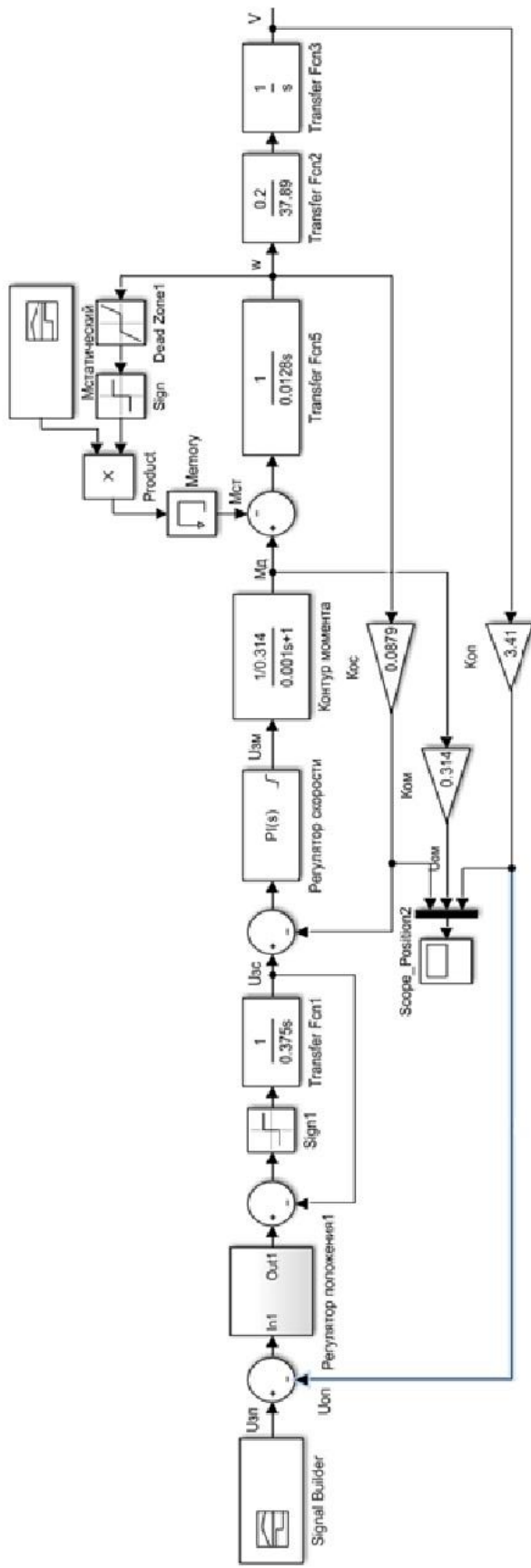


Рисунок 2.6 – Математическая модель САУ привода перемещения транспортной тележки



В качестве типовых режимов работы данной САР принимаются малые, средние и большие перемещения.

Обработка больших перемещений (рис. 2.7) характеризуется тем, что ток и скорость достигают установившегося значения, электропривод работает по тахограмме с заданным ускорением и замедлением.

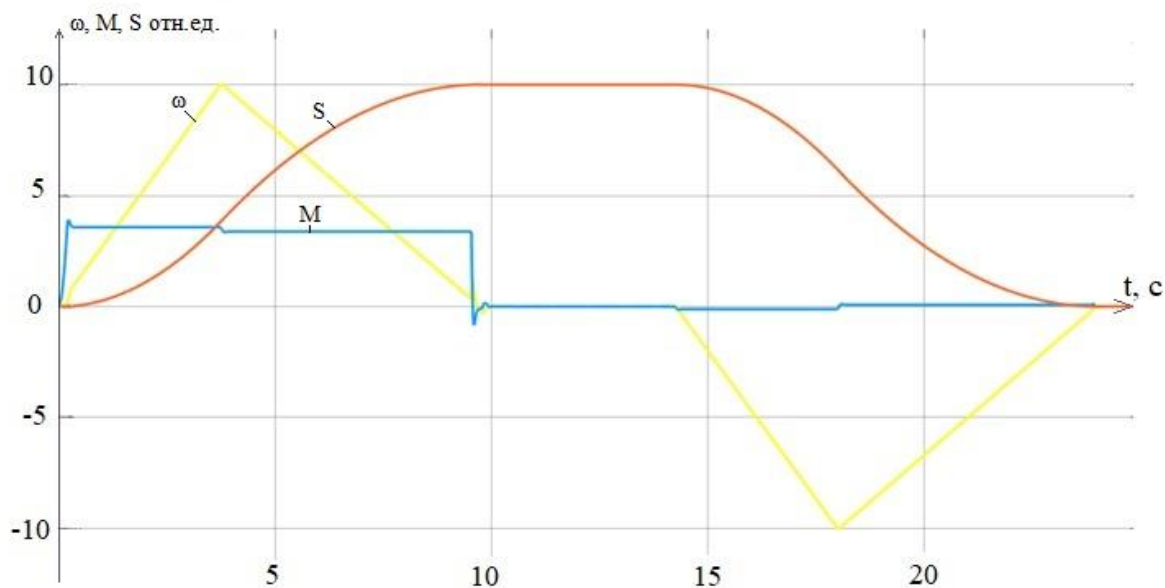


Рисунок 2.7 – Обработка больших перемещений

Обработка средних перемещений (рис.2.8) характеризуется тем, что якорный ток достигает установившегося значения (заданного динамического тока), поэтому ускорение достигает заданного, электропривод работает по треугольной тахограмме с заданным ускорением и замедлением.

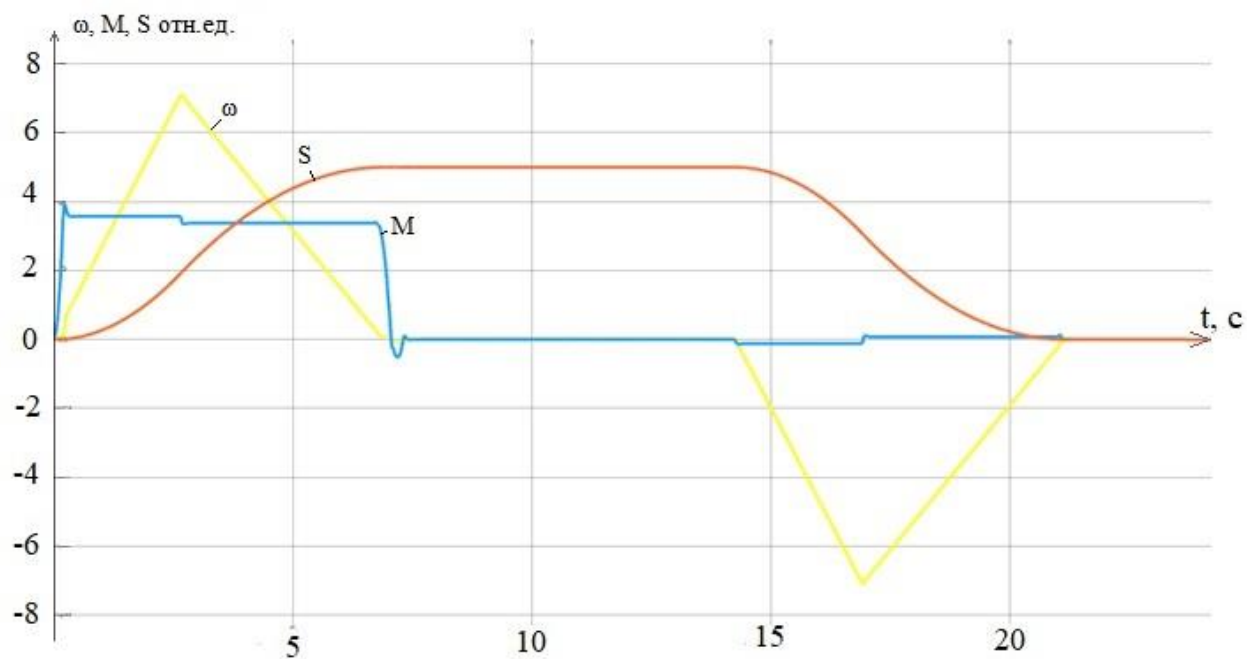


Рисунок 2.8 – Обработка средних перемещений

Обработка малых перемещений (рис. 2.9 и рис. 2.10) характеризуется тем, что ни одна из регулируемых координат не достигает установившегося значения.

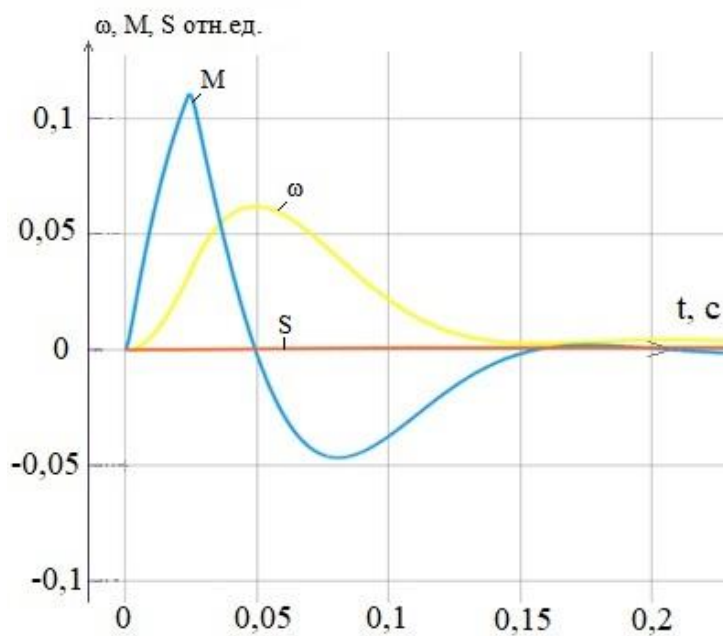


Рисунок 2.9 – Обработка малых перемещений

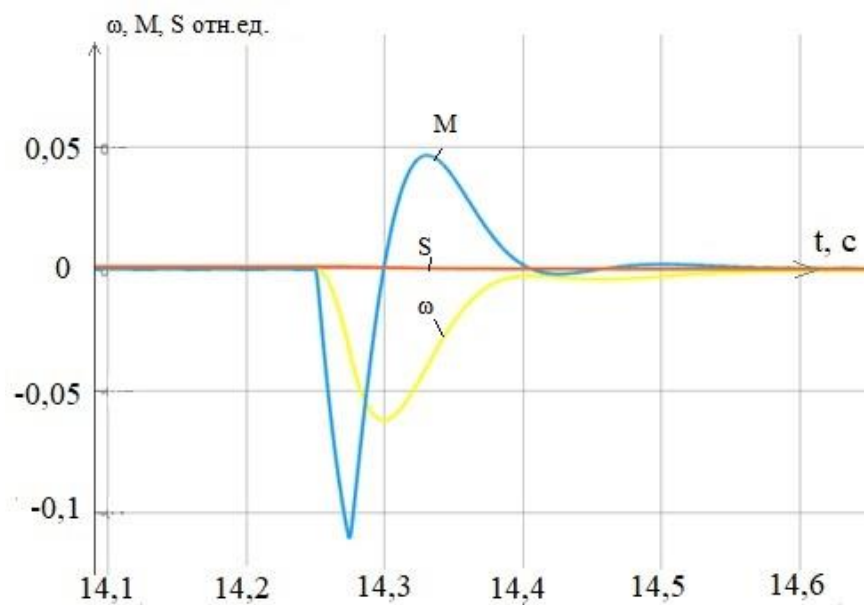


Рисунок 2.10 – Отработка малых перемещений

Принцип подчиненного регулирования координат должен обеспечить оптимальные переходные процессы, то есть величина перерегулирования и точность перемещения должны соответствовать требуемым.

### 3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

#### 3.1 Краткое описание подразделения и выпускаемой продукции

Новый современный цех по производству труб большого диаметра "Высота 239" был запущен в июле 2010 года. Характеристики продукции цеха "Высота 239" соответствуют всем требованиям потребителей. Вся производимая на предприятиях компаний ЧТПЗ продукция прошла добровольную сертификацию российскими и международными сертификационными органами. В таблице 3.1 приведен сортамент труб:

Таблица 3.1 – Сортамент продукции ПАО «ЧТПЗ»

Диаме тр, мм	Толщина стенки, мм
530	8; 9; 10; 11; 12; 14; 15,5; 16; 18; 19; 19,3; 20; 24; 25; 28; 28,5
533,4	22,2
559	15,9; 11,1; 14,3
630	10; 11; 12; 14; 16; 20; 26
711	22,2; 25,4
720	8; 9; 9,5; 10; 10,5; 10,8; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 18; 19,3; 20; 21,6; 22; 23,2 25; 26,5
812,8	37,4; 39
820	8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 18; 19; 22; 25; 30; 40
1016	15
1020	10; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 20,1; 21; 21,1; 21,3; 22,7; 23,2; 24; 27,3; 30; 40

Продолжение таблицы 3.1

1067	11,9; 12; 14; 15,9; 17; 25,4
1153	34,6; 61
1219	17,5; 20,6
1220	12; 12,4; 13; 14; 14,5; 15; 15,2; 16; 16,5; 17; 17,8; 18; 19; 20; 21; 21,3; 22; 22,7; 24; 25; 27,2; 27,3; 30; 32,6; 33; 36
1420	14; 15,7; 16; 16,5; 16,8; 18,7; 19; 19,5; 20; 21; 21,6; 21,7; 23; 23,1; 25; 25,8; 26,4; 27,7; 32; 37,9; 45,8

### 3.2 Расчет производственной программы цеха

Исходя из технологических требований транспортная телеги должна работать круглосуточно в автоматическом режиме, включая праздничные и выходные дни.

$$T_{\text{факт}} = T_{\text{клд}} - T_{\text{кр}} - T_{\text{пр}} \quad (3.1)$$

где  $T_{\text{клд}}$  - календарное время;

$T_{\text{кр}}$  - время капитальных ремонтов;

$T_{\text{пр}}$  - время простоев.

До реконструкции:

$$T_{\text{факт}} = 8760 - 504 - 1296 = 6960 \text{ ч.}$$

После реконструкции:

$$T_{\text{факт}} = 8760 - 504 - 1128 = 7128 \text{ ч.}$$

Годовой объем производства продукции определяется производительностью рассматриваемой системы в единицу рабочего времени и фондом времени работы:

$$V_{\Gamma} = P \cdot T_{\text{факт}},$$

где  $V_{\Gamma}$  - годовой объем производства продукции, тонны;

$P$  – годовая производительность цеха «Высоты 239», тонн/час;

$T_{\text{факт}}$  - фактический годовой фонд рабочего времени работы транспортной тележки, часы.

До реконструкции:

$$V_{\Gamma} = 140,8 \cdot 6960 = 918,720 \text{ т/г}$$

После реконструкции:

$$V_{\Gamma} = 140,8 \cdot 7128 = 940,896 \text{ т/г}$$

### 3.3 Расчет сметы капитальных затрат

Общая величина капитальных вложений включает суммарные затраты на приобретение, транспортировку и монтаж оборудования:

$$K = C_{\text{об}} + T_{\text{р}} + Z_{\text{смп}} + Z_{\text{нр}},$$

где  $C_{\text{об}}$  - стоимость оборудования;

$T_{\text{р}}$  - транспортные расходы;

$Z_{\text{смп}}$  - затраты на строительно-монтажные работы;

$Z_{\text{нр}}$  - непредвиденные расходы;

Стоимость оборудования включает в себя учтенное оборудование (Станция распределенной периферии Wago 750-504) и неучтенное оборудование (кабели, проводка, и прочее) примем в размере 20% от учтенного оборудования.

$$\Pi_{об} = 40588.96 \cdot (1 + 0,2) = 48706.75 \text{ р.}$$

Затраты на монтаж определим в размере 15% от стоимости оборудования, транспортные расходы 10%, резерв на непредвиденные расходы 5%:

$$З_{смп} = \Pi_{об} \cdot 0,15 = 40588.96 \cdot 0,15 = 6088.34 \text{ руб.}$$

$$T_p = \Pi_{об} \cdot 0,1 = 40588.96 \cdot 0,1 = 4058.89 \text{ руб.}$$

$$З_{нр} = \Pi_{об} \cdot 0,05 = 40588.96 \cdot 0,05 = 2029,44 \text{ руб.}$$

Согласно формуле 2, общая величина капитальных вложений определена:

$$K = 48706,75 + 6088,34 + 4058,89 + 2029,44 = 60883,42 \text{ руб.}$$

### 3.4 Расчет РСЭО

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО) за год определяются суммой экономических элементов согласно формуле:

$$I_{тек} = З + O_{сн} + М + А + П_p, \quad (3.2)$$

где  $I_{тек}$  - эксплуатационные расходы, руб.;

$З$  – основная и дополнительная заработная плата;

$O_{сн}$  - отчисления на социальные нужды;

М – материальные затраты;

А – амортизационные отчисления;

П<sub>р</sub> - прочие расходы.

В проекте разрабатывается новая система в новом цехе, затраты определяются только для проектируемой системы.

Эксплуатационные расходы состоят из следующих видов затрат:

а) затраты на электроэнергию ( $\mathcal{E}_i$ );

б) амортизационных отчислений ( $A_i$ );

в) затрат на ремонты и обслуживание электрооборудования ( $C_{mpi}$ ).

Таким образом, затраты на эксплуатацию системы электропривода ( $C_i$ ) можно рассчитать по формуле:

$$C_i = \mathcal{E}_i + A_i + C_{mpi}$$

Стоимость затрат электроэнергии ( $\mathcal{E}_i$ ) для электропривода рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_i = P_i \cdot \mu \cdot T_{\phi} \cdot Ц_э, \quad (3.3)$$

где  $P_i = 4$  кВт - мощность на входе установки (согласно паспортным данным);

$\mu = 0,922$  - КПД установки;

$Ц_э = 3,19$  – себестоимость кВт энергии.

До реконструкции:

$$\mathcal{E}_i = 4 \cdot 0,922 \cdot 6960 \cdot 3,19 = 81882,45 \text{ руб.}$$

После реконструкции:



$$\Theta_i = 4 \cdot 0,922 \cdot 7128 \cdot 3,19 = 83858,92 \text{ руб.}$$

Расчет фонда заработной платы З.

Общий фонд заработной платы (ЗП) определен суммой основной и дополнительной ЗП производственных рабочих, ЗП руководителей и специалистов.

К основной ЗП относится оплата труда по тарифным ставкам и окладам согласно тарифной сетки в зависимости от разряда производственных рабочих. Оплата труда руководителей и специалистов осуществляется в пределах диапазонов должностных окладов, установленных на предприятии, в зависимости от сложности работы, уровня его квалификации и стажа работы.

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

Транспортная телега работает в автоматическом режиме, но тем не менее необходимо присутствие человека для контроля процесса производства. Поскольку присутствие данного производственного рабочего необходимо и оправдано вне зависимости от степени использования транспортной телеги, заработная плата начисляется за весь год, а не только за непосредственное время работы транспортной телеги. Таким образом, рабочий день рассматриваемых производственных рабочих равен 8 часа и имеет 3 смены. Тогда за год количество отработанных часов определено значением 8760 часов.

Определим количество человеко-часов, необходимых на непосредственное обслуживание транспортной телеги, сложив затраченное на текущие и капитальные работы время и время планируемых и внеплановых простоев, и аварий:

$$T_{\text{обсл}} = T_p + T_{\text{п}}, \quad (3.4)$$

где  $T_{\text{обсл}}$  - время, затраченное на непосредственное обслуживание транспортной телеги, чел/часы;

$T_p$  - время, затраченное на текущие и капитальные ремонты, чел/часы;

$T_{\text{п}}$  - время планируемых и внеплановых простоев и аварий, чел/часы.

Затраченное на текущие и капитальные ремонты транспортной телеги время за год найдем из суммы следующих определяемых особенностями технологического процесса условие и уместной оценки человеческих возможностей: текущий ремонт телеги проводить 3 производственными рабочими 6 разряда в течении 22 часов 4 раза в год; колесные пары смазываются производственными рабочими 6 разряда в течении 30 минут 1 раз в 2 дня;

$$T_p = 3 \cdot 25 \cdot 4 + 1 \cdot 0,5 \cdot 182 = 504 \text{ чел/ часа}$$

Время планируемых и внеплановых простоев и аварий за год сократиться благодаря устранения сбоя связанного с нарушением контакта в шине станции распределенной периферии из-за вибрации путем замены станции распределенной периферии компании Siemens на аналогичную станцию компании Wago:

До реконструкции:

$$T_{\text{п}} = 1296 \cdot 2 = 2592 \text{ чел/ часа}$$

После реконструкции:

$$T_{\text{п}} = 1128 \cdot 2 = 2256 \text{ чел/ часа}$$

Полный годовой фонд рабочего времени после реконструкции тогда равен:

До реконструкции:

$$T = 8760 + 2592 + 504 = 11856 \text{ чел./ часа}$$

После реконструкции:

$$T = 8760 + 2256 + 504 = 11520 \text{ чел./ часа}$$

Определим оптимальное количество рабочих, разделив полный фонд рабочего времени на норму рабочего времени, которая на 2018 год составит 2085 часов:

До реконструкции:

$$Ч = 11856 / 2085 = 5,68 \text{ чел.}$$

После реконструкции:

$$Ч = 11520 / 2085 = 5,52 \text{ чел.}$$

Таким образом для обслуживания телеги необходимо 4 производственных рабочих.

Годовая заработная плата производственного рабочего 6 разряда при 5-дневной рабочей неделе и 8-часовой смене равна:

$$З_r = 2085 \cdot 215 = 448\,275 \text{ руб.},$$

где 2085 – годовая норма рабочего времени;

215- часовая тарифная ставка для производственного рабочего 6 разряда.

Годовая заработная плата всех производственных рабочих определена:

После реконструкции:

$$З_o = З_r \cdot Ч; \tag{3.5}$$

$$Z_o = 448275 \cdot 5,52 = 2474478 \text{ руб.}$$

Доплаты за работу в ночное время – 40% оклада, при круглосуточной работе примем 13.33% оклада; доплата за работу в праздничные дни – 2.74%( при условии, круглосуточной работы); доплата за работу с тяжелыми и опасными условиями труда – 12%.

Тогда сумма всех доплат определена:

$$D = Z_o \cdot (0,1333 + 0,0274 + 0,12) \quad (3.6)$$

$$D = 2474478 \cdot (0,1333 + 0,0274 + 0,12) = 694585,97 \text{ руб.}$$

К выплатам стимулирующего характера относят: дифференцированные надбавки к окладу за профессиональное мастерство; доплаты бригадирам, не освобожденным от основной работы( за руководство бригадой от 5 до 10 человек -10%); доплата за совмещение профессий – до 30% оклада. Указанные виды примем в размере 10% оклада.

$$B_{ст} = Z_o \cdot 0,1; \quad (3.7)$$

$$B_{ст} = 2474478 \cdot 0,1 = 247447,8 \text{ руб.}$$

Система материального поощрения вводится в целях обеспечения эффективной мотивации труда, объективной зависимости размера премирования работников от конечных результатов длительности структурного подразделения. При расчетах примем следующие проценты от оклада для премиальных отчислений: основные рабочие – 40%, вспомогательные рабочие, руководители и специалисты – 25%.

Таким образом премиальная оплата труда определена:

$$O_{\text{пр}} = Z_o \cdot 0,4; \quad (3.8)$$

$$O_{\text{пр}} = 2474478 \cdot 0,4 = 989791,2 \text{ руб.}$$

Дополнительная ЗП включает ЗП за непроработанное на производстве, но по трудовому законодательству оплачиваемое время, оплату очередных и дополнительных отпусков и компенсаций за неиспользованный отпуск, оплату больничных листов. Дополнительную ЗП производственных рабочих примем на уровне 13% от основной ЗП:

$$Z_{\text{доп}} = Z_o \cdot 0,13; \quad (3.9)$$

$$Z_{\text{доп}} = 2474478 \cdot 0,13 = 321682,14 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{рег}} = (Z_o + Д + В_{\text{ст}} + O_{\text{пр}} + Z_{\text{доп}}) \cdot 0,15; \quad (3.10)$$

$$Z_{\text{рег}} = (2474478 + 694585,97 + 247447,8 + 989791,2 + 321682,14) \cdot 0,15 = 709197,76 \text{ руб.}$$

Итого годовой фонд оплаты труда производственных рабочих 6 разряда на обслуживание телеги составляет:

$$Z_{\text{полн.}} = Z_o + Д + В_{\text{ст}} + O_{\text{пр}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{рег}}; \quad (3.11)$$

$$Z_{\text{полн.}} = 2474478 + 694585,97 + 247447,8 + 989791,2 + 321682,14 \\ + 709197,76 = 5437182,76 \text{ руб.}$$

### Расчет отчислений на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды установлены в размере 30% от общего фонда ЗП и включают в себя отчисления в пенсионный фонд РФ, федеральный фонд обязательного медицинского страхования, территориальный фонд обязательного медицинского страхования.

После реконструкции:

$$O = Z_{\text{полн.}} \cdot 0,3; \quad (3.12)$$

$$O = 5437182,76 \cdot 0,3 = 1631154,82 \text{ руб.}$$

### Амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления это отчисления части стоимости основных фондов для возмещения их износа. Амортизационные отчисления включены в издержки производства. С помощью накопления этих отчислений производят финансирование мероприятий о ликвидации износа основных фондов путем замены физически изношенных и морально устаревших объектов новыми. Величина амортизации определяется согласно нормам амортизационных отчислений по основным фондам и первоначальной стоимости основных фондов.

Для станции распределенной периферии Wago норма годовой амортизации составит 6,25%

$$A = K \cdot 0,0625; \quad (3.13)$$

$$A = 60883,42 \cdot 0,0625 = 3805,21 \text{ руб.}$$

Таким образом, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования за год определены значением:

$$И = Z_{\text{полн.}} + O + A; \quad (3.14)$$

$$И = 5437182,76 + 1631154,82 + 3805,21 = 7072142,79 \text{ руб.}$$

### 3.5 Расчет прибыли и показателей рентабельности.

Прибыль есть важнейший показатель эффективности работы предприятия. Она определена разностью выручки и затратами на производство.

Для оценки вклада телеги в прибыль, получаемую от всех агрегатов и устройств, участвующих в технологическом процессе, определим относительно процента от его стоимости в чистую прибыль, которая теоретически и приходится на долю системы телеги.

Стоимость цеха «Высота 239» оставляет 50 млрд. руб., а стоимость капитальных вложений составляет 60883,42 руб. Тогда искомый процент приблизительно равен 0,0003%.

По данным технологического задания себестоимость тонны одношовной трубы определена 550000 руб. Произведенная продукция реализуется уже как готовое изделие с наценкой 20% от себестоимости, то есть по цене 660000 руб. за тонну.

Тогда за год выручка цеха от реализации продукции составит:

До реконструкции:

$$918720 \cdot 66000 = 60635520000 \text{ руб.}$$

После реконструкции:

$$940896 \cdot 66000 = 62099136000 \text{ руб.}$$

Себестоимость реализованного по цене 66000 руб. за тонну годового объема продукции составит:

До реконструкции:

$$918720 \cdot 55000 = 50529600000 \text{ руб.}$$

После реконструкции:

$$940896 \cdot 55000 = 51749280000 \text{ руб.}$$

Годовая прибыль от реализации продукции цеха «Высота 239» ПАО ЧТПЗ:

До реконструкции:

$$60635520000 - 50529600000 = 10105920000 \text{ руб.}$$

После реконструкции:

$$62099136000 - 51749280000 = 10349856000 \text{ руб.}$$

Налог на прибыль 20%:

До реконструкции:

$$10105920000 \cdot 0,2 = 2021184000 \text{ руб.}$$

После реконструкции:

$$10349856000 \cdot 0,2 = 2069971200 \text{ руб.}$$



Годовая чистая прибыль от реализации продукции цеха:

До реконструкции:

$$10105920000 - 2021184000 = 8084736000 \text{ руб.}$$

После реконструкции:

$$10349856000 - 2069971200 = 8279884800 \text{ руб.}$$

Тогда чистая прибыль от реализации продукции устройства равна:

$$8279884800 \cdot 0,000003 = 24839,65 \text{ руб.}$$

Определим рентабельность продаж:

$$P = 8279884800 / 10349856000 \cdot 100\% = 8\%$$

### 3.6 Расчет срока окупаемости проекта

Срок окупаемости называют период, начиная с которого первоначальные вложения покроются суммарными результатами его существования. То есть:

$$T = 60883,42 / 24839,65 = 2,45 \text{ г.}$$

### 3.7 Сводная таблица технико-экономических расчетов

Таблица 3.2 – Сводная таблица технико-экономических показателей

№	Наименования показателя	До реконструкции	После реконструкции	Δ
1	Годовой объем производства труб, тонн	918720	940 896	22 176
2	Капитальные вложения, руб.	-	60883,42	60883,42
3	Затраты на эл. энергию, руб.	81882,45	83858,92	1976,47
4	Прибыль за год от реализации продукции, руб.	10105920000	10349856000	243936000
5	Чистая прибыль за год, руб.	8084736000	8279884800	195148800
6	Срок окупаемости, лет	-	2,45	-
7	Рентабельность, %	-	8	-

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы был произведен расчет системы электропривода транспортной тележки поперечного хода на участке сварки цеха «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ». Был рассмотрен технологический процесс и выдвинуты основные требования к исполнительному механизму, произведен выбор и проверка электродвигателя, а также выбраны силовая и защитная часть электропривода.

Разработанная модель системы автоматического управления транспортной тележкой оказалась устойчивой и полностью удовлетворяет всем предъявленным к ней требованиям.

Была рассчитана стоимость установки и эксплуатации системы электропривода транспортной тележки, включая в себя затраты на монтаж оборудования, транспортные расходы, заготовительно-складские расходы и расходы на запасные части, а также годовой фонд заработной платы рабочих, обслуживающих данную систему.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косматов, В.И. Проектирование электроприводов металлургического производства: учебное пособие / В.И. Косматов. – Магнитогорск: МГТУ, 1998. – 239 с.
2. Лукин, А.Н. Преобразователи частоты для асинхронных электроприводов: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 180400 / А.Н. Лукин, В.И. Косматов. – Магнитогорск: МГТУ, 2005. – 49 с.
3. Фомин, Н.В. Системы управления электроприводом / Н.В. Фомин. – Магнитогорск: МГТУ, 2014. – 350 с.
4. Гурин, А.Н. Электрооборудование промышленных предприятий и установок / А.Н. Гурин. – М.: Высшая школа, 1990. – 104 с.
5. Герасимов, В.Г. Электротехнический справочник / В.Г. Герасимов. – М.: Издательство МЭИ, 2001.
6. Корытин, А.М. Автоматизация типовых технологических процессов и установок / А.М. Корытин – М.: Изд-во Энергоатомиздат, 1988. – 324 с.
7. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для студ. высш. учеб. Заведений / М.П. Белов – М.: Изд-во издательский центр «Академия», 2007.–576с.
8. [http://www.chelpipe.com/about/investment\\_projects/height\\_239/](http://www.chelpipe.com/about/investment_projects/height_239/)
9. С.Л. Мурашкин, Технология машиностроения, Иркутск, 2003 г, 145 с.
10. Бруштейн Б. Е. и Дементьев В. И. Токарное дело. Учебник для проф. Техн. училищ./ Изд. 6-е, переработ, и доп. М., «Высш. школа», 1967, 448 с.
11. Мурзин, А.М. Оптимальное проектирование автоматических установок: учебное пособие / А.М. Мурзин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 103 с.
12. Кучина, Е.В. Экономика организации : учебное пособие/ Е.В. Кучина. – Челябинск, 2017. – 52 с.

13. <https://www.wagoproducts.com/remote-i-o/>
14. П 123 Зубкова Н.В. Расчет экономической эффективности: Методическое пособие. Тольятти: ТГУ, 2006. – 123 с.
15. Землянский, Ю.М. Конструкция и расчет исполнительного механизма привода: учеб. пособие / Ю.М. Землянский. – Челябинск: Издательский центр ЮУГУ, 2014. – 61 с.