

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.

Модернизация мехатронной системы тележки для перемещения одной трубы
цеха «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ – 150306.2018.300 ПЗ (ВКР)

Консультант
преподаватель
Е.А. Маклакова

2018 г.

Руководитель работы
доцент, к.т.н.
С.Н. Басков

2018 г.

Нормоконтролер
преподаватель
Е.А. Маклакова

2018 г.

Автор работы
студент группы П-456
Данила Сергеевич Кабанов

2018 г.

Ст. преподаватель
С.С. Воронин

2018 г.

АННОТАЦИЯ

Кабанов Д. С. Модернизация мехатронной системы тележки для перемещения одной трубы цеха «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ». – Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2018, 70 с. 23 ил., библиогр. список – 19 наим.

Данная выпускная квалификационная работа посвящена теме «Модернизация мехатронной системы тележки для перемещения одной трубы цеха «Высота-239» ПАО ЧТПЗ».

Целью работы является анализ технологического процесса, выбор основного оборудования, разработка системы автоматического управления, расчет экономической части. В ходе работы решаются следующие задачи:

- рассмотрение характеристики цеха, и непосредственно тележки для перемещения одной трубы;
- выбор и расчёт системы привода, основного силового оборудования и установок защитных устройств, построение нагрузочных диаграмм и тахограмм;
- разработка системы автоматического управления, выбор контроллеров и датчиков технологических координат, разработка функциональной и структурной схемы, а также моделирование математической модели механизма;
- получение результатов моделирования математической модели САР, которые должны обеспечить оптимальные переходные процессы, то есть величина перерегулирования и точность перемещения должны соответствовать требуемым;
- расчет производительной программы цеха, производительности тележки для перемещения одной трубы;
- расчет затрат на эксплуатацию системы электропривода;
- расчет прибыли, показателей рентабельности проекта и сроков окупаемости модернизации.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	9
1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма.....	9
1.2 Характеристика тележки и кинематическая схема модернизируемого механизма.....	16
1.3 Требования к приводам и системе автоматизации.....	17
2 ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	18
2.1 Выбор системы привода.....	18
2.2 Предварительный выбор двигателя.....	19
2.3 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы (диаграммы перемещения).....	23
2.4 Защиты привода, расчёт установок защитных устройств.....	28
2.5 Выбор функциональной схемы САР тележки для перемещения одной трубы.....	31
3 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	46
3.1 Разработка архитектуры систем автоматизации.....	46
3.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат.....	49
4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ.....	60
4.1 Расчет производственной программы цеха и фактического годового фонда рабочего времени.....	60
4.2 Расчёт производительности агрегата.....	61
4.3 Расчет сметы капитальных затрат.....	61
4.4 Расчет затрат на эксплуатацию системы электропривода.....	62
4.5 Расчет затрат на материалы и оплату труда со страховыми отчислениями.....	64
4.6 Расчет прибыли и показателей рентабельности.....	65
4.7 Расчет срока окупаемости проекта.....	66
4.8 Составление сводной таблицы технико – экономических расходов.....	66

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	69

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 [1].

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.

Тележка для перемещения одной трубы применяется в работе на участке покрытия труб цеха «Высота 239» для обеспечения бесперебойной подачи труб. Она является неотъемлемой частью производственного процесса, её работоспособность влияет на конечную производительность цеха. В современных производственных цехах действуют автоматизированные системы управления. Эти системы позволяют перейти от локальных систем управления механизмами к комплексной автоматизации технологического процесса. Электроприводы основных и вспомогательных механизмов производства выполняются, по системе ПЧ-АД. Применение частотного электропривода механизмов и машин обусловлено рядом достоинств этого типа электропривода.

Целью выпускной квалификационной работы является модернизация мехатронной системы тележки для перемещения одной трубы.

Задачи выпускной квалификационной работы: выбор основного электрического оборудования, силового оборудования, разработка модернизации мехатронной системы тележек для перемещения одной трубы, анализ экономических показателей установки и расчет экономической прибыли модернизации установки.

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма

Первоуральский новотрубный и Челябинский трубопрокатный объединены в единую компанию ЧТПЗ – одну из ведущих промышленных групп металлургического комплекса России. Сложно представить нефте- и газодобывающие отрасли России без продукции этих предприятий.

Сегодня ЧТПЗ – это современный холдинг, один из самых автоматизированных и модернизированных предприятий в своей отрасли, лидер по производству труб в России.

Философия его производства также включает высокий уровень квалификации сотрудников, безопасность, комфортные условия труда и внедрение научно-технологических разработок.

«Высота 239» – современный цех по производству труб большого диаметра для нефте- и газопроводов, был построен в рекордные сроки, за 7 месяцев, и запущен в июле 2010 года, вышел на проектную мощность в 2011 году.

На ЧТПЗ не просто провели модернизацию, здесь впервые объявили начало «белой металлургии», которая отличается от «черной» использованием последних научных разработок, повышенной экологичностью и чистотой.

Мощность цеха составляет 1,8 млн. тонн труб для наземных и подводных трубопроводов диаметром от 508 до 1420 мм с толщиной стенки от 6,4 до 48 мм и длиной 10,6 – 18,2 м, с наружным и внутренним антикоррозийным покрытием. Используются марки стали высоких групп прочности К52 – К80, многодуговая сварка под керамическим флюсом.

Технологии отвечают запросам современного рынка. Характеристики продукции цеха "Высота 239" соответствуют всем требованиям потребителей, вся продукция гарантированного качества, поэтому может быть использована в

суровых условиях, например, районы с постоянными низкими температурами или сейсмически активные, также при прокладке трубопроводов по дну 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 внутримплощадочные 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.

Технологический процесс (сокращенно ТП) – это упорядоченная последовательность взаимосвязанных действий, выполняющихся с момента возникновения исходных данных до получения требуемого результата.

Технологический процесс – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. К предметам труда относят заготовки и изделия.

Практически любой технологический процесс можно рассматривать как часть более сложного процесса и совокупность менее сложных (в пределе – элементарных) технологических процессов.

Элементарным технологическим процессом или технологической операцией называется наименьшая часть технологического процесса, обладающая всеми его свойствами. То есть это такой ТП, дальнейшая декомпозиция которого приводит к потере признаков, характерных для метода, положенного в основу данной технологии. Как правило, каждая технологическая операция выполняется на одном рабочем месте не более, чем одним сотрудником. Примером технологических операций могут служить ввод данных с помощью сканера штрих-кодов, распечатка отчета, выполнение SQL-запроса к базе данных и т. д.

Технологические процессы состоят из технологических операций, которые, в свою очередь, складываются из «технологических переходов».

Технологическим переходом называют законченную часть технологической операции, выполняемую с одними и теми же средствами технологического оснащения.

Вспомогательным переходом называют законченную часть технологической операции, состоящей из действий человека и (или) оборудования.

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 1.1.

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.

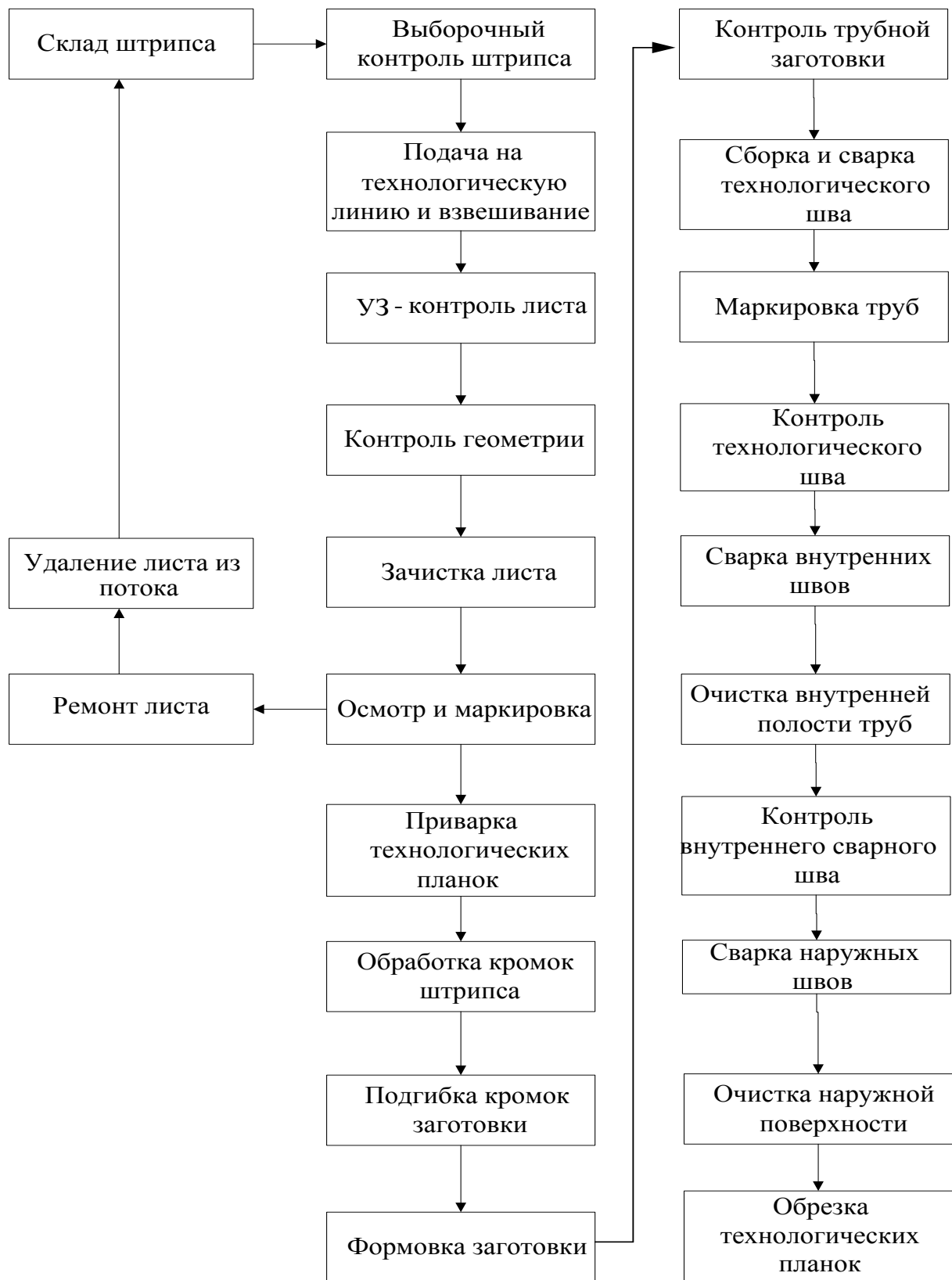


Рисунок 1.1 – Технологический процесс цеха «Высота 239» (см. следующую страницу)



Рисунок 1.1 – Технологический процесс цеха «Высота 239» (продолжение)

Тележка для перемещения одной трубы представлена на рисунке 1.2



Рисунок 1.2 – Тележка для перемещения одной трубы

Тележки для перемещения труб изготавливаются из стального профиля определенной формы, к которому приварены опорные секции. Тележки с цепными седлами оснащены дорожками. Седло тележки изготавливается из стального профиля.

Каждая тележка приводится в движение узлом «приводной мотор-редуктор», который крепится валом к ведомому зубчатому барабану в сборе.

Подъем осуществляется при помощи гидропривода. Силовая гидроустановка соединяется с каждой тележкой при помощи фиксированных и гибких гидравлических шлангов и рукавов.

Дополнительная трубная обвязка и соединительные рукава подают и возвращают гидравлическое масло от установки к клапанам управления. Каждый клапан управляется программой ПЛК.

Тележки перемещаются по двухрельсовым путям.

Тележка забирает трубу с опоры или входного конвейера, затем труба пошагово подается на одну или более станций, и в конце помещается на опору или выходной конвейер. Тележки для перемещения одной трубы обычно эксплуатируют попарно. Трубы поднимаются и перемещаются в следующей последовательности:

- 1) тележки находятся в своей исходной позиции, т.е. оттянуты назад в задней;
- 2) части рельсового пути, куда передаются трубы с существующего стеллажа;
- 3) седло трубы приподнимается и захватывает трубу;
- 4) труба перемещается на один шаг;
- 5) труба опускается;
- 6) пошаговый транспортер готов к следующей последовательности операций.

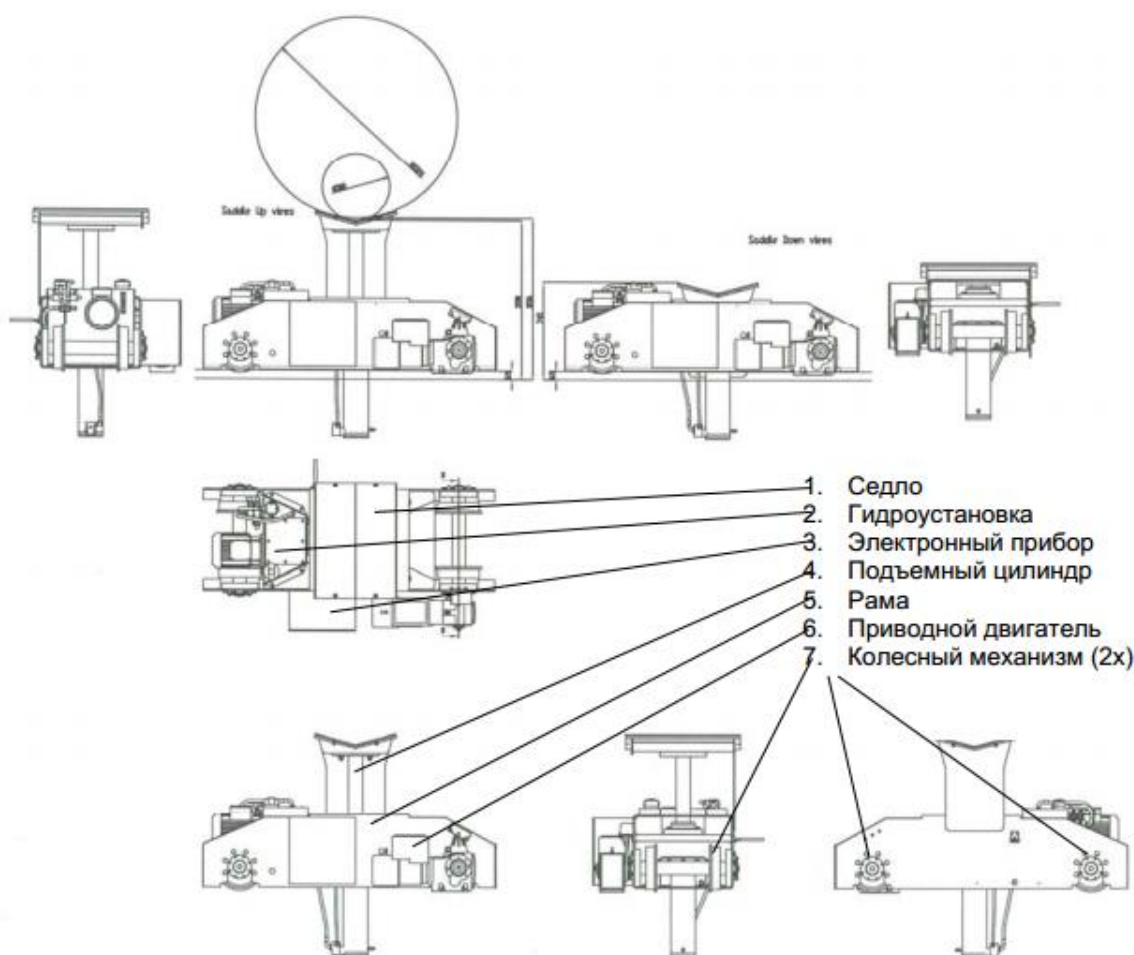


Рисунок 1.3 – Обозначение деталей

1.2 Характеристика тележки и кинематическая схема модернизируемого механизма

Тележка для перемещения одной трубы используется для доставки трубы из одной точки в другую, и поднятии ее на желаемую высоту.

Тележка может быть охарактеризована как мехатронная система, содержащая в своем составе два взаимосвязанных механизма: механизм перемещения тележки по рельсовому пути и механизм подъема и опускания труб. Указанные механизмы должны быть приводными и согласованно управляться единой системой управления.

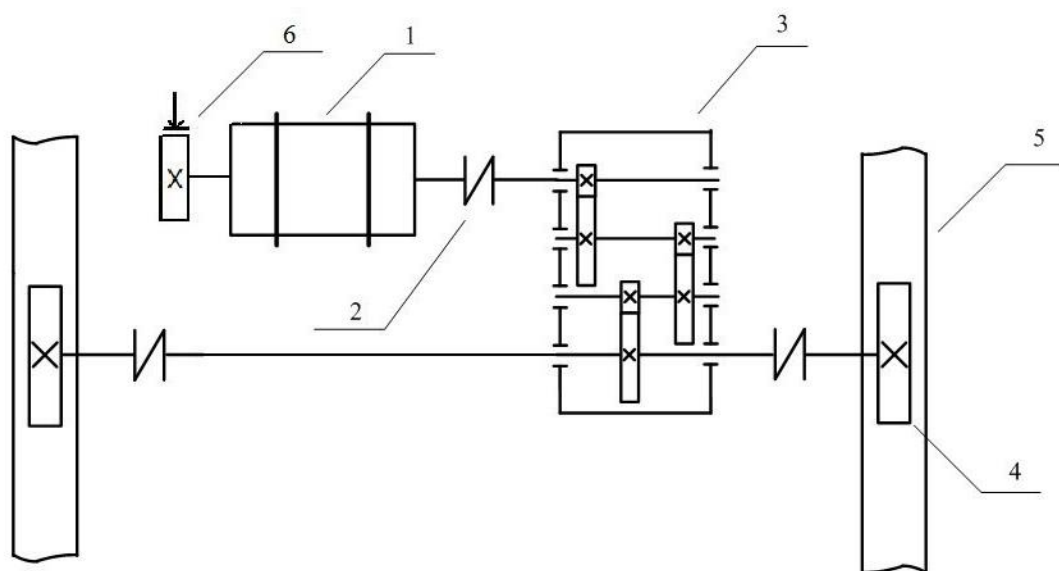


Рисунок 1.4 – Кинематическая схема тележки: 1 – электродвигатель, 2 – муфта, 3 – редуктор, 4 – колесо, 5 – двухрельсовые пути, 6 – тормоз

Отдельные силовые гидроустановки служат для местного приведения в движение каждой тележки. Клапаны управления работают от дистанционной панели оператора. Подразумевается, что такая панель уже установлена и позволяет встроить в нее контрольный переключатель. Данные силовые гидроустановки не поставляются отдельно – они уже вмонтированы в каждую тележку.

1.3 Требования к приводам и системе автоматизации

На основе анализа технологических операций тележки для перемещения одной трубы можно сформулировать следующие требования к приводам мехатронной системы:

- обеспечение остановки тележки в заданной позиции с точностью не менее $\pm 0,1\%$ от максимальной длины транспортировки заготовки;
- обеспечение диапазона регулирования скоростей 1:10;
- обеспечение ускорения не более $0,5 \text{ м/с}^2$;
- перемещение груза общей массой до 24 тонн;
- обеспечение перемещения груза с заданной скоростью вне зависимости от изменения нагрузки;
- электропривод должен обеспечивать реверс.

2 ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

2.1 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 разных условиях оператор принимает решение об изменении параметров перемещения в зависимости от потребностей цеха. Чтобы выполнять технологические требования, привод должен обеспечить стабильный процесс перемещения трубы на определённой скорости и удержания не зависимо от нагрузки.

Заданным требованиям соответствует регулируемый электропривод с трехфазным асинхронным электродвигателем с системой автоматического управления, упрощенная схема которого представлена на рисунке 2.1. Асинхронный двигатель (двигатель переменного тока) является самым распространенным электрическим двигателем, так как он надежен в эксплуатации и имеет простую конструкцию. При этом он отличается низкой ценой. Скорость вращения вала двигателя будет регулироваться посредством изменения частоты напряжения питания, подаваемого на двигатель.

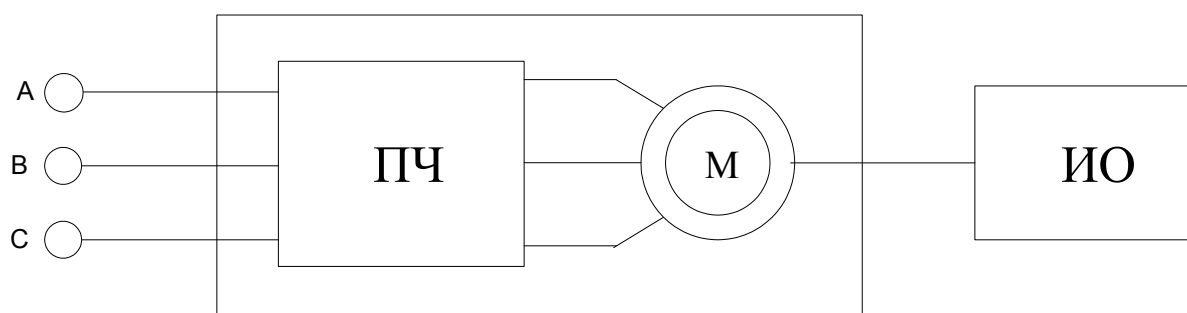


Рисунок 2.1 – Упрощенная схема системы электропривода: ПЧ – преобразователь частоты, М – электродвигатель, ИО – исполнительный орган

2.2 Предварительный выбор двигателя

Для перемещения трубы за необходимое технологическим процессом время, телега должна преодолеть расстояние между позициями $S = 3$ м со скоростью $V = 0,7$ м/с. Отсюда зная значения ускорения $a = 0,5$ м/с² можно определить время разгона и торможения:

$$t_{\text{разгона}} = \frac{V}{a}; \quad (1)$$

$$t_{\text{разгона}} = \frac{0,7}{0,5} = 1,4.$$

Далее найдем время с которой телега передвигается с постоянной скоростью:

$$t_{\text{нагрузки}} = \frac{S}{V} - t_{\text{разгона}}; \quad (2)$$

$$t_{\text{нагрузки}} = \frac{3}{0,7} - 1,4 = 2,9.$$

Зная значения радиуса R колеса можно и линейной скорости перемещения телеги V определим угловую скорость вращения колеса:

$$\omega_{\text{колеса}} = \frac{V}{R}; \quad (3)$$

$$\omega_{\text{колеса}} = \frac{0,7}{0,12} = 5,83 \text{ рад/с.}$$

Далее определим угловую скорость вращения двигателя по следующей формуле:

$$\omega_{\text{двигателя}} = \omega_{\text{колеса}} \cdot i, \quad (4)$$

где i – передаточное число редуктора.

$$\omega_{\text{двигателя}} = 5,83 \cdot 29,66 = 173.$$

Далее определим статическую нагрузку на двигатель, она обусловлена трением качения между колесами и рельсами:

$$F_{\text{стат}} = \frac{f}{R} \cdot m \cdot g; \quad (5)$$

$$F_{c1} = \frac{0,01}{0,12} \cdot 1587 \cdot 9,8 = 1296;$$

$$F_{c1} = \frac{0,01}{0,12} \cdot 3987 \cdot 9,8 = 3260.$$

Используя принцип возможных перемещений, составим уравнение типа [2]:

$$\partial A^F = \sum_{k=1}^n F_k \cdot \partial r_k = 0. \quad (6)$$

Которое в нашем случае можно преобразовать и получить:

$$M_c \cdot I \cdot \eta \cdot 2\pi = 2\pi \cdot F_c. \quad (7)$$

Выразим статический момент на валу двигателя (M_c):

$$M_c = \frac{R \cdot F_c}{I \cdot \eta}, \quad (8)$$

где η – КПД редуктора.

$$M_{c1} = \frac{0,12 \cdot 1296}{29,66 \cdot 0,97} = 5,2 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{c2} = \frac{0,12 \cdot 3260}{29,66 \cdot 0,97} = 13,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При помощи следующей формулы выберем мощность двигателя (P_H) [3]:

$$P_H \geq (1,2 \div 1,5) \cdot M_{\text{э}} \cdot \omega_H; \quad (9)$$

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + \dots + M_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}};$$

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{5,2^2 \cdot 2,9 + 13,4^2 \cdot 2,9}{2,9 + 2,9}} = 10,1;$$

$$P_H \geq 1,5 \cdot 10,1 \cdot 173 \geq 2621 \text{ Вт}.$$

По вычисленному значению мощности выберем из каталога двигатель марки NORD SK 9032 – 112M/4 (рисунок 2.2), его характеристики приведем в таблице 2.1 [4].

Таблица 2.1 – Характеристики двигателя NORD SK 9032 – 112M/4

Параметр	Значение
Электрическое напряжение, В	400
Сила тока, А	9
Перегрузочная способность	1,9
Мощность, кВт	4
Частота вращения, об/мин	1500
Номинальный момент, Н·м	26
Cos(φ)	0,74
Момент инерции J, кг·м ²	0,011

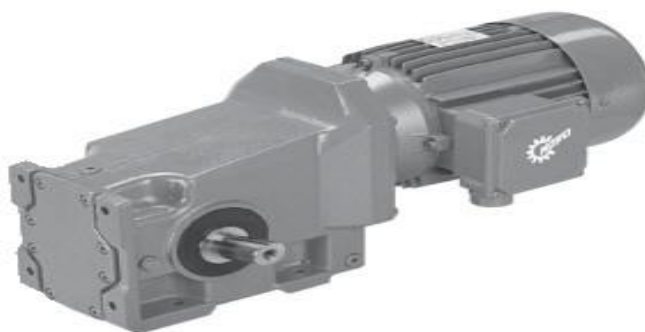


Рисунок 2.2 – Двигатель NORD SK 9032 – 112M/4

Также на данном агрегате установлена гидроустановка с электродвигателем АВЗЕК-В5-132М-4-В1, его характеристики представлены в таблице 2.2

Таблица 2.2 – Характеристики двигателя АВЗЕК-В5-132М-4-В1

Параметр	Значение
Сила тока, А	15,7
Мощность, кВт	7,5

2.3 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы (диаграммы перемещения)

Вычислим динамический момент на валу двигателя (M_d) нагруженной и пустой телеги:

$$J_d = m \frac{V^2}{\omega_{дв}^2}, \quad (10)$$

где m – масса перемещаемых объектов, кг;

a – линейное ускорение тела, m/c^2 .

$$J_{д1} = 1578 \cdot \frac{0,7 \cdot 0,7}{173 \cdot 173} = 0,025;$$

$$J_{д2} = 3987 \cdot \frac{0,7 \cdot 0,7}{173 \cdot 173} = 0,065 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Отсюда вычислим динамические моменты при помощи формул:

$$M_d = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t}; \quad (11)$$

$$J = J_{л1} + J_{д}, \quad (12)$$

где J_d – момент инерции двигателя.

$$M_{д1} = 0,036 \cdot \frac{173}{1,4} = 4,4;$$

$$M_{д2} = 0,076 \cdot \frac{173}{1,4} = 9,4.$$

Используя значения статических и динамических моментов, построим нагрузочную и тахограмму на рисунке 2.3.

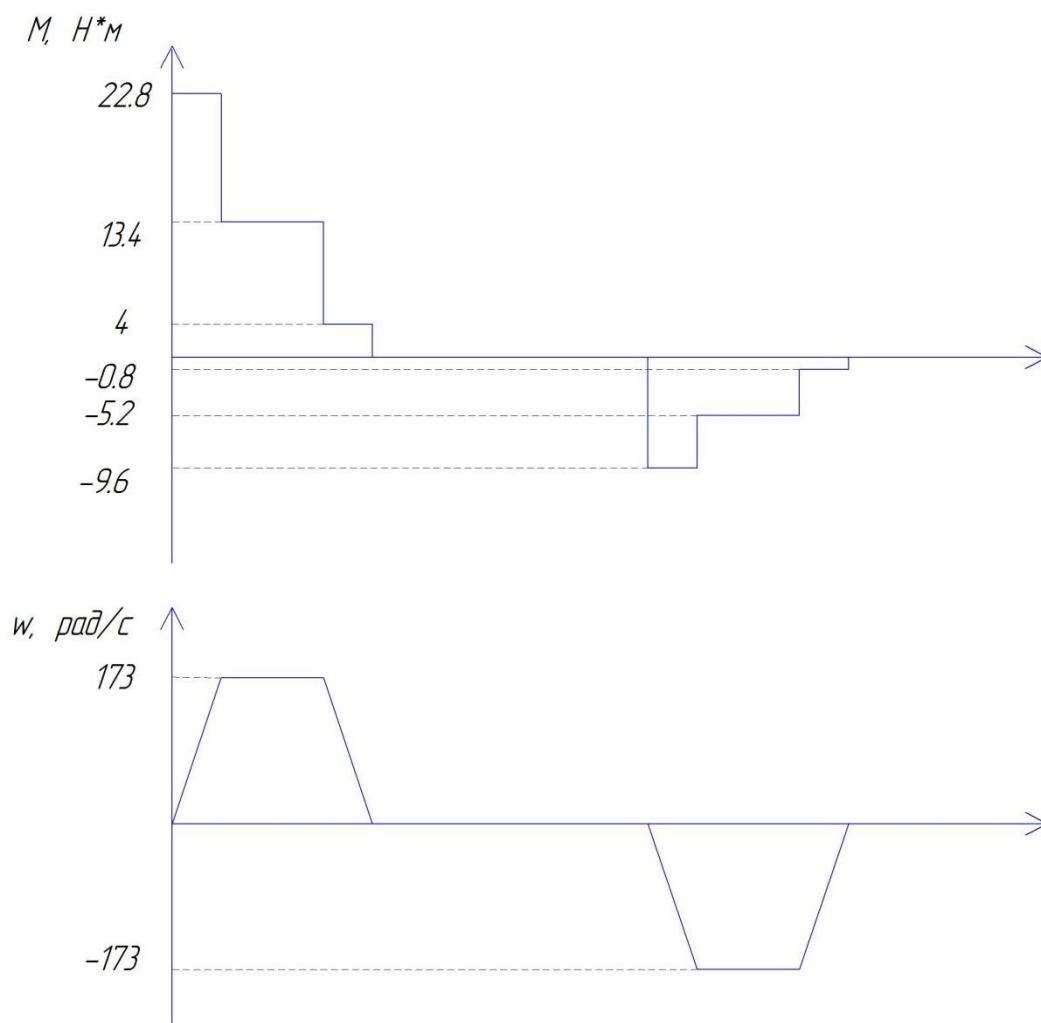


Рисунок 2.3 – Тахограмма и нагрузочная диаграмма

Далее проверим двигатель по нагреву и перегрузке.

Эквивалентный момент должен удовлетворять условию:

$$M_{э} \leq M_n, \quad (13)$$

где M_n – номинальный момент двигателя.

$$M_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{22,8^2 \cdot 1,4 + 13,4^2 \cdot 2,9 + 4^2 \cdot 1,4 + 9,6^2 \cdot 1,4 + 5,2^2 \cdot 2,9 + 0,8^2 \cdot 1,4}{1,4 + 1,4 + 1,4 + 1,4 + 2,9 + 2,9}} = 11,4;$$

$$11,4 \leq 26.$$

Условие выполняется. Далее проверим двигатель по перегрузки, для этого номинальный момент двигателя должен удовлетворять условию [5]:

$$M_{\text{max}} \leq \lambda \cdot M_{\text{н}}; \quad (14)$$

$$22,8 \leq 1,9 \cdot 26 \leq 49,4.$$

Двигатель удовлетворяет все условия. Далее можно приступить к выбору частотного преобразователя. 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 [6]. Он должен удовлетворять условиям:

$$I_{\text{преобр макс}} \geq I_{\text{дв макс}}, \quad (15)$$

где $I_{\text{преобр макс}}$ – ток преобразователя.

$$I_{\text{преобр}} \geq 9 \text{ А};$$

$$U_{\text{преобр}} \geq U_{\text{дв макс}}, \quad (16)$$

где $U_{\text{преобр}}$ – напряжение преобразователя.

$$U_{\text{преобр}} \leq 400 \text{ В}.$$

По каталогу выбираем подходящий частотный преобразователь SK 225E мощностью 4000 Вт. Характеристики частотного преобразователя приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Характеристики частотного преобразователя SK 225E

Параметр	Значение
Мощность, кВт	4

Продолжение табл. 2.3

Питающее напряжение, Гц	230/480В 50/60
Номинальный ток, А	9,5
Диапазон регулирования, Гц	от 0 до 200

Силовая электроника является одной из областей электроники и используется при преобразовании вида, уровня напряжения, числа фаз, порядка их чередования, трансформация постоянного тока, а также при преобразовании энергии источников питания в энергию управляющего воздействия, подаваемого на управляемый объект [7].

По завершению выбора силового оборудования приведем общую силовую схему мехатронной системы перемещения тележки для одной трубы на рисунке 2.4.

В состав силовой части преобразователя частоты входят следующие основные элементы, указанные на упрощенной схеме:

- главный автоматический выключатель, для защиты кабелей и полупроводниковых приборов;
- главный контактор со стороны питания;
- сетевой фильтр;
- выпрямительный блок (АВН), представляющий собой обратимый преобразователь напряжения на IGBT транзисторах, управляемый по методу широтно-импульсной модуляции (ШИМ), обеспечивающий передачу энергии от питающей сети к сети постоянного тока и наоборот;
- индуктивно-емкостный фильтр $L_0 C_0$ звена постоянного тока с блоком предварительной зарядки конденсаторов;
- трехфазный мостовой инвертор напряжения (АИН), выполненный на базе шестиключевого IGBT- модуля, управляемого также по методу широтно-импульсной модуляции (ШИМ);
- выходной фильтр.

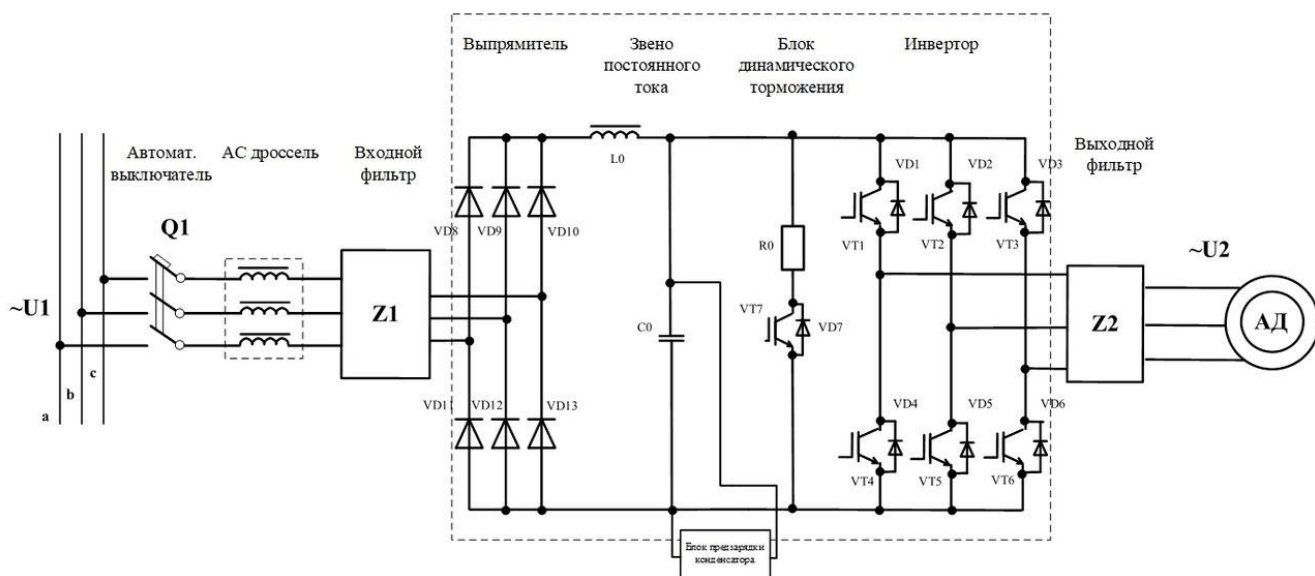


Рисунок 2.4 – Силовая схема

2.4 Защиты привода, расчёт установок защитных устройств

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 [8].

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.

Одним из требований к системе электропривода является безопасность его эксплуатации. С этой целью в силовую часть устанавливается ряд защитных устройств.

Система электропривода ПЧ-АД комплектуется стандартными средствами защиты и коммутации: автоматический выключатель, фильтры.

Синусоидальный фильтр. Синусоидальные фильтры устанавливаются на выходе преобразователей частоты, и токи двигателя протекают через него. Выходные величины преобразователя частот изменяются и фильтруются таким образом, что напряжения и токи на двигателе становятся практически синусоидальными. Это приводит к уменьшению потерь в двигателе, и его работа становится менее шумной.

Сетевой коммутационный дроссель. Уменьшает гармоники потребляемого тока и коммутационные просадки в блоках выпрямления/рекуперации. Он также ограничивает любые выбросы тока, вызванные просадками питающего напряжения (например, вследствие наличия компенсационного оборудования или замыкания на землю).

Помехоподавляющие фильтры (сетевые фильтры). Для приводов большой мощности сетевые фильтры уменьшают напряжение помехи от блоков выпрямления/рекуперации до предельного уровня электрических систем.

Автоматический выключатель используется для защиты силовой части электропривода от короткого замыкания и токов перегрузки. Автоматический выключатель выбирается по значению уставки.

Уставка – заданное пороговое значение некоей величины или параметра, по достижении которой должно произойти срабатывание оборудования.

Выбор уставки токовой защиты:

$$I_{уст} = \lambda \cdot I_{дв}, \quad (17)$$

где $I_{уст}$ – ток уставки;

λ – коэффициент перегрузки двигателя.

$$I_{уст} = 1,5 \cdot 9 = 13,5 \text{ А.}$$

Для защиты электрической части установки применим автоматический выключатель Siemens 5SY4310-7. Характеристики автоматического выключателя представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Характеристика автоматического выключателя Siemens 5SY4310

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	250/440
Количество полюсов	3
Номинальный ток, А	10
Характеристика срабатывания, С	С
Номинальная отключающая способность, кА	10

Отдельно стоит рассмотреть защиту частотного преобразователя. Обычно преобразователь имеет несколько видов защиты от аварийных режимов. К ним относятся: защиты от коротких замыканий между выходными фазами, между выходными фазами и корпусом преобразователя, а также от замыканий внутренних источников питания. Это быстродействующие защиты, их основная задача не допускать выход полупроводниковых приборов за границу безопасного режима работы. Также в преобразователе имеется тепловая защита(терморезистор).

Промышленные предприятия используют системы сигнализации и защиты для предупреждения угроз и предотвращения аварийных ситуаций. Большое внимание уделяется защите промышленных мощностей, осуществляя мониторинг ситуации в режиме реального времени и принимая необходимые меры в случае

возникновения чрезвычайной ситуации.

На установке тележки для перемещения одной трубы отдела внутреннего антикоррозийного покрытия труб предусмотрена сигнализация ошибки на панели оператора, где всплывает окно с ошибкой и моргает красная лампочка «квитировать ошибку».

Система безопасности представлена сетью контроллера безопасности Pilz PNOZm1p 773100. Слева и справа от него коммуникационные модули, модули расширения. К контроллеру по проводам приходят сигналы от аварийных кнопок, защитных дверей, сигналы аварии от соседних установок. Также он обменивается данными по сети Profibus с основным контроллером установки. То есть сигнал об аварийном останове формируется именно контроллером безопасности Pilz. Без разрешения от Pilz установка не работает.

2.5 Выбор и разработка функциональной схемы САР тележки для перемещения одной трубы

Центральной проблемой автоматизации является автоматическое управление. Необходимость автоматического управления возникает в тех случаях, когда требуется заранее с заданной точностью управлять тем или иным физическим параметром (регулируемой величиной) объекта управления при действии на объект внешних возмущающих воздействий.

Более всего распространение получило скалярное управление асинхронным двигателем, когда для управления, например, скоростью вращения вентилятора или насоса, достаточно удерживать постоянной скорость вращения ротора, для этого хватает сигнала обратной связи от датчика давления или от датчика скорости [9].

Принцип скалярного управления прост: амплитуда питающего напряжения является функцией частоты, причем отношение напряжения к частоте оказывается приблизительно постоянным.

Конкретный вид этой зависимости связан с нагрузкой на валу, однако принцип

остается таковым: повышаем частоту, а напряжение при этом пропорционально повышается в зависимости от нагрузочной характеристики данного двигателя [6].

В итоге магнитный поток в зазоре между ротором и статором поддерживается почти постоянным. Если же отношение напряжения к частоте отклонить от номинального для данного двигателя, то двигатель либо перевозбудится, либо недовозбудится, что приведет к потерям в двигателе и к сбоям в рабочем процессе.

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 скалярный принцип частотного управления с замкнутой системой регулирования по скорости и положению (рисунок 2.5). Скалярное управление асинхронного электропривода технически достаточно простое, а обратная связь позволит добиться точности регулирования координат.

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.

Структурной схемой системы автоматического управления называют графическое представление ее математической модели в виде соединений звеньев, изображаемых в виде прямоугольников или окружностей (для сумматора), с указанием входных и выходных переменных. Обычно внутри прямоугольника указывается условное обозначение оператора, изображаемого им звена, а сам оператор в виде передаточной функции или дифференциального уравнения задается вне структурной схемы.

Структурная схема системы автоматического управления тележки для перемещения одной трубы состоит из внутреннего оптимизированного контура регулирования момента (ОКМ). В котором содержится преобразователь частоты,

статорная цепь асинхронного двигателя и регулятор момента, настраиваемый на модульный оптимум.

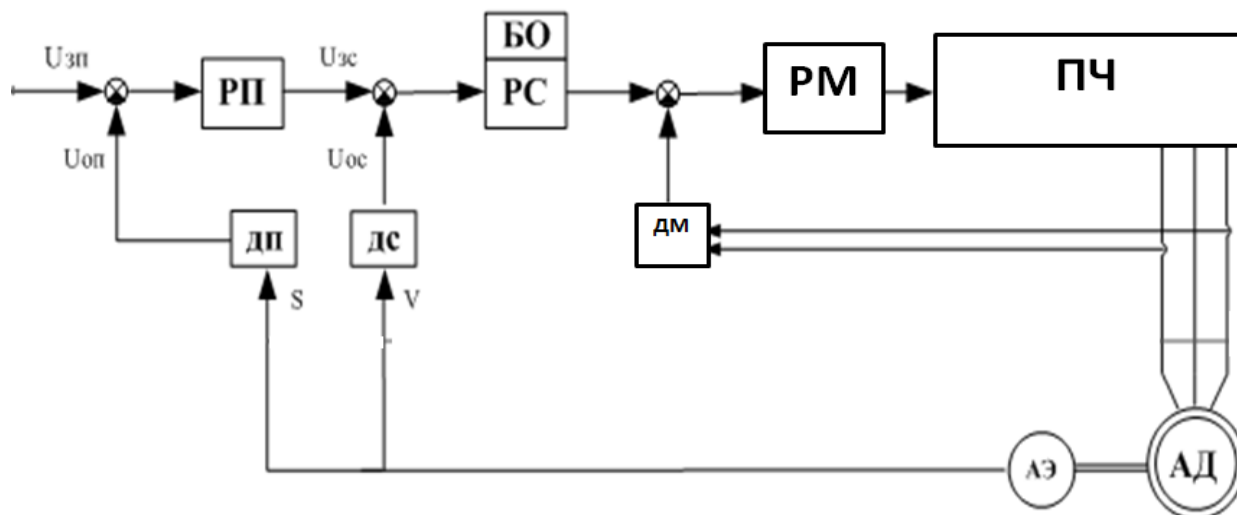


Рисунок 2.5 – Функциональная схема скалярного управления с регулированием по скорости и перемещению: РП – регулятор положения; БО – блок ограничения; РС – регулятор скорости; ПЧ – преобразователь частоты; АД – асинхронный двигатель; АЭ – абсолютный энкодер; ДС – датчик скорости; ДП – датчик положения; ДМ – датчик момента; РМ – регулятор момента

На рис. 2.6 (а) 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. В теории автоматического управления, ввиду малости постоянной времени T_{μ} , допускается проводить аппроксимацию внутреннего оптимизированного контура, в этом случае он примет вид, как показано на рис. 2.6 (б) [10].

Наименьшей постоянной времени T_{μ} обладает преобразователь частоты, так как он является наиболее быстродействующим исполнительным элементом в

системе «ПЧ-АД». Значение постоянной времени принимается равным $T_\mu = 0,002$ с.

Коэффициент обратной связи по моменту K_{OM} рассчитывается по формуле:

$$K_{OM} = \frac{U_{зс\ ном}}{M_{макс}}$$

где $U_{зс\ ном}$ – максимальное напряжение сигнала управления, В;

$M_{макс}$ – максимальный момент двигателя, Н·м.

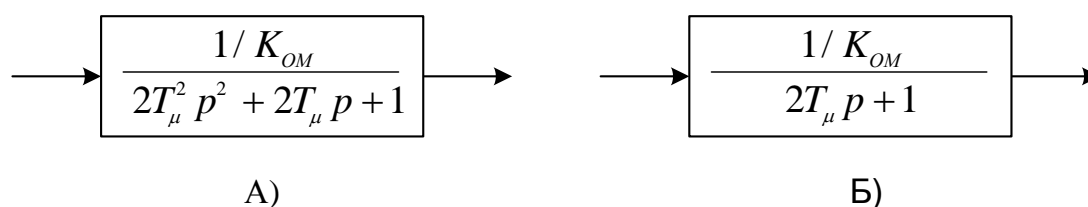


Рисунок 2.6 – Оптимизированный контур момента

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 [11]:

$$W_{pc}(p) = \frac{T_{pc}p+1}{T_{ирс}p} = k_{pc} + \frac{k_{pc}}{8T_\mu p},$$

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

$$K_{pc} = \frac{JK_{OM}}{4T_\mu K_{oc}},$$

где K_{oc} – коэффициент обратной связи по скорости;

K_{om} – коэффициент обратной связи по моменту.

$$K_{oc} = \frac{U_{зс ном.}}{\omega_{max}}$$

Для управления перемещениями передаточной тележки используется регулятор положения. Возникает необходимость отработки каждого заданного перемещения при определённом значении коэффициента РП.

$$K_{оп} = \frac{U_{зс ном.}}{S_{max}}$$

После подбора коэффициентов регуляторов на рисунке 2.7 представлена структурная схема САР тележки для перемещения одной трубы.

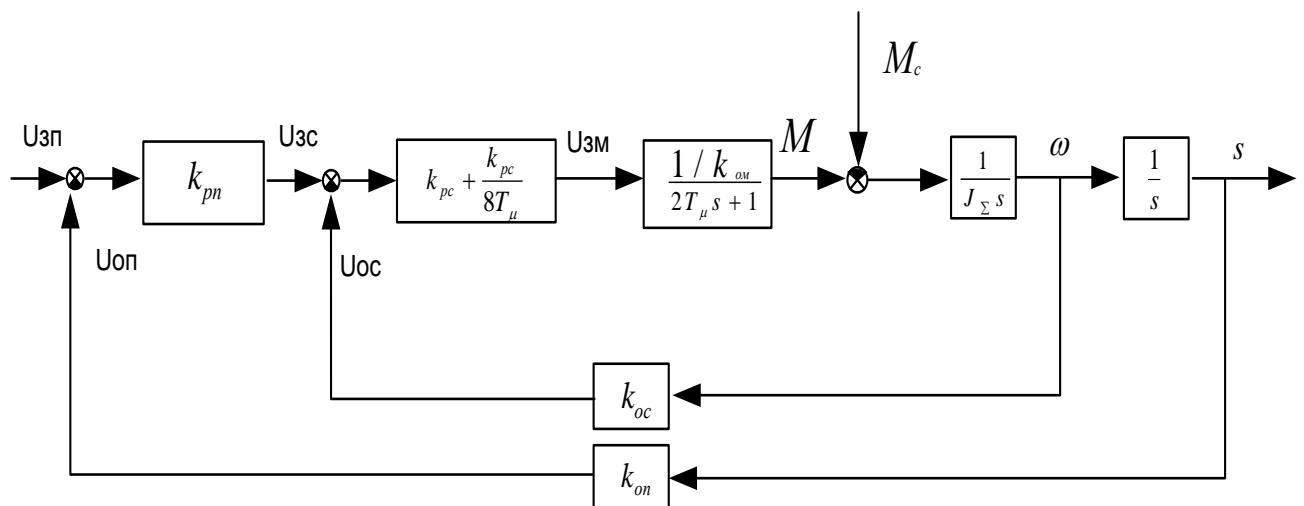


Рисунок 2.7 – Структурная схема САР тележки для перемещения одной трубы

Произведем расчет коэффициентов и функций. Коэффициент $k_{ом}$ находится по следующей формуле:

$$k_{\text{ом}} = \frac{U_{\text{зм}}}{M_{\text{м}}},$$

где $U_{\text{зм}} = 10 \text{ В}$, – максимальный сигнал задания;

$M_{\text{м}} = 26 \text{ Н}\cdot\text{м}$, – максимальный момент двигателя.

$$k_{\text{ом}} = \frac{10}{26} = 0,385;$$

$$W_{\text{окм}}(p) = \frac{1/0,385}{2 \cdot 0,002p + 1} = \frac{2,597}{0,004p + 1}.$$

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости, настроенного на симметричный оптимум имеет следующий вид [12]:

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

Коэффициент k_{pc} определяется выражением:

$$k_{\text{pc}} = \frac{J_{\Sigma}}{4T_{\mu}k_{\text{oc}} \frac{1}{k_{\text{ом}}}}.$$

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

$$k_{\text{oc}} = \frac{U_{\text{зс}}}{\omega_{\text{м}}},$$

где $U_{zc} = 10 \text{ В}$, – максимальное значение сигнала управления;

$\omega_m = 157 \text{ рад/с}$, – максимальная скорость двигателя в течение цикла.

$$k_{oc} = \frac{10}{157} = 0,064;$$

$$k_{pc} = \frac{0,011}{4 \cdot 0,002 \cdot 0,064 \cdot \frac{1}{0,385}} = 8,27;$$

$$W_{pc} = \frac{8,27}{8 \cdot 0,002p} + 8,27 = \frac{516,9}{p} + 8,27.$$

С регулятора скорости формируется сигнал задания на момент, необходим блок ограничения с границами $\pm 2 \text{ В}$. Для ограничения скорости вращения электродвигателя выходное напряжение РП, являющееся заданием скорости вращения электродвигателя, должно быть ограничено на уровне задания максимальной (номинальной) скорости вращения электродвигателя.

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

$$W(p) = \frac{0,12}{29,66} = 0,004046.$$

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

Рассчитаем коэффициент обратной связи по положению:

$$K_{оп} = \frac{U_{zc \text{ ном}}}{S_{\max}};$$

$$K_{оп} = \frac{10}{3} = 3,333.$$

Для нелинейного регулятора положения необходимо определить границы малых, средних и больших перемещений $\Delta U_{п\ min}$ и $\Delta U_{п\ max}$:

$$\Delta U_{п\ min} = 2\varepsilon_{max} k_{оп} k_{и} (16T_{\mu})^2;$$

$$\Delta U_{п\ max} = \frac{\omega_{ном}^2 k_{оп} k_{и}}{2\varepsilon_{max}}.$$

Максимальное ускорение $\varepsilon_{max} = 123,57 \text{ рад/с}^2$. Коэффициент обратной связи по положению $k_{оп}$ и $k_{и}$ вычисляются по формулам:

$$k_{ос} = \frac{U_{зп}}{S_{м}},$$

где $U_{зп} = 10 \text{ В}$ – максимальное значение сигнала управления;

$S_{м} = 3 \text{ м}$ – максимальное перемещение тележки.

$$k_{и} = \frac{D}{2i_{ред}}.$$

Тогда:

$$k_{и} = \frac{0,24}{2 \cdot 29,66} = 0,004046;$$

$$k_{oc} = \frac{10}{157} = 0,064;$$

$$\Delta U_{\text{min}} = 2 \cdot 123,57 \cdot 3,33 \cdot 0,004046 \cdot (16 \cdot 0,002)^2 = 0,00341 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\text{max}} = \frac{157^2 \cdot 3,33 \cdot 0,004046}{2 \cdot 123,57} = 1,344 \text{ В}.$$

Для области малых перемещений ($U_3 < 0,00341 \text{ В}$) коэффициент регулятора $k_{\text{рпм}}$ вычисляется по формуле:

$$k_{\text{рпм}} = \frac{k_{oc}}{16T_{\mu}k_{оп}k_{и}};$$

$$k_{\text{рпм}} = \frac{0,064}{16 \cdot 0,002 \cdot 3,33 \cdot 0,004046} = 148,3.$$

Для области средних перемещений ($0,00341 \text{ В} \leq U_3 < 1,344 \text{ В}$) коэффициент регулятора $k_{\text{рпс}}$:

$$k_{\text{рпс}} = k_{oc} \sqrt{\frac{2\varepsilon_{\text{max}}}{k_{оп}k_{и}}};$$

$$k_{\text{рпс}} = 0,064 \sqrt{\frac{2 \cdot 123,57}{3,33 \cdot 0,004046}} = 8,27.$$

В области больших перемещений ($U_3 \geq 1,344 \text{ В}$) 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. Для ограничения темпа нарастания скорости необходимо установить задатчик интенсивности перед регулятором скорости.

ЗИ реализуется в виде последовательно соединенных функции знака (Sign) и интегратора, замкнутых единичной обратной отрицательной связью [13]. Интегратор имеет следующую передаточную функцию:

$$W_{зи}(p) = \frac{1}{T_{зи} p}$$

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 Memoгу, 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.

Под математической моделью САУ понимают количественную формализацию абстрактных представлений об изучаемой системе.

Математическая модель САУ отображена на рисунке 2.8.

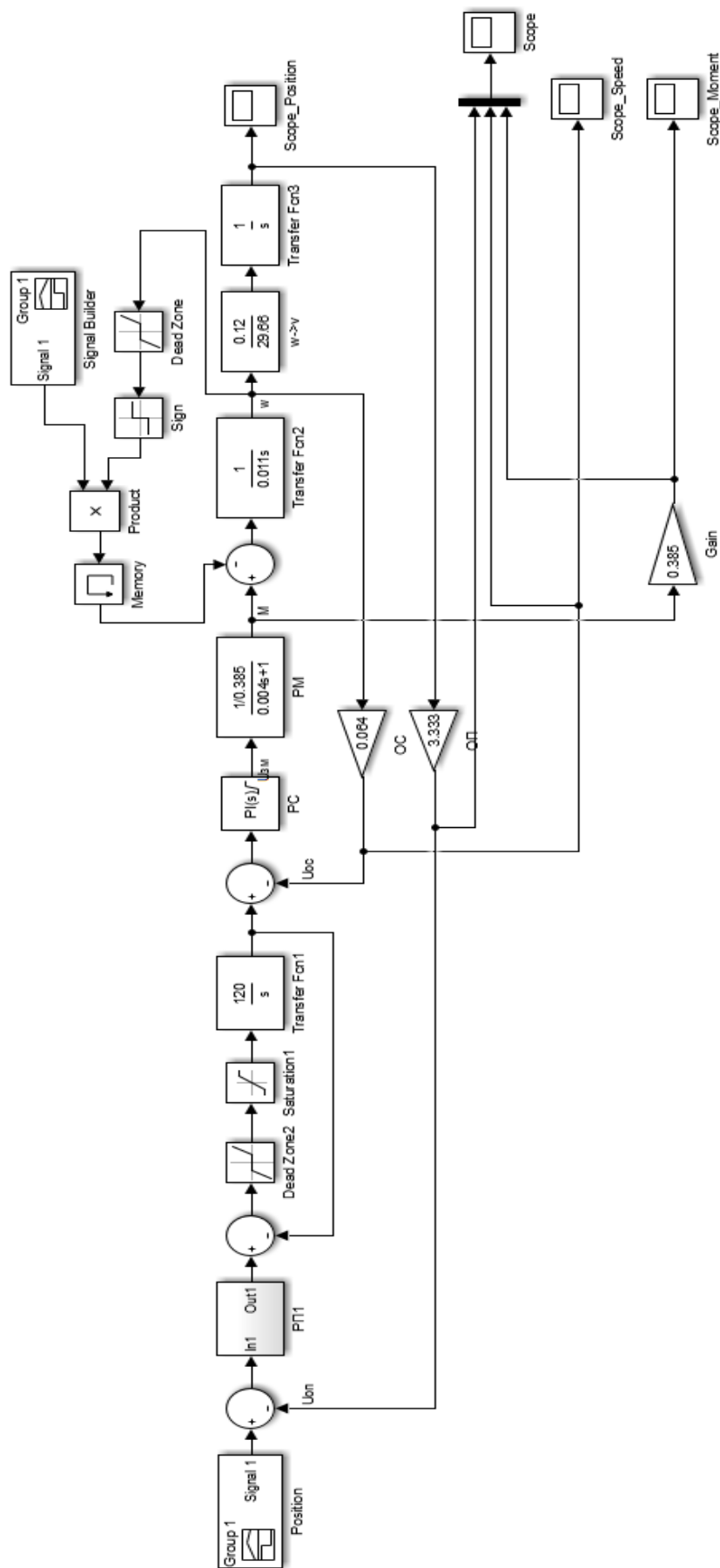


Рисунок 2.8 – Математическая модель САУ

Функция регулятора положения и регулятора скорости была реализована как показано на рисунке 2.9 и 2.10.

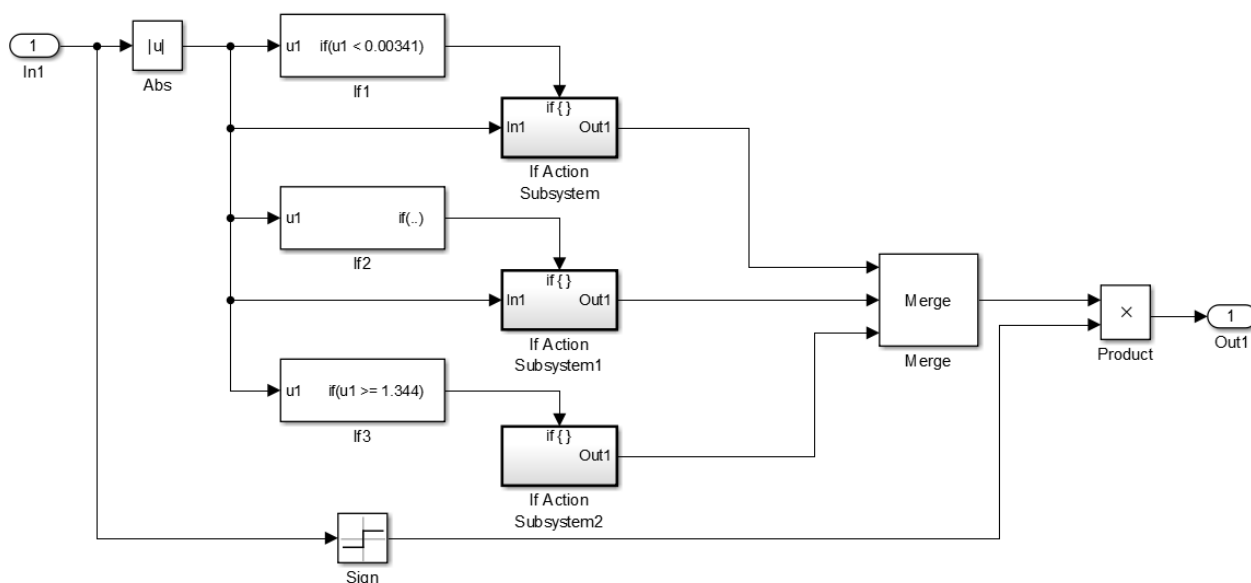


Рисунок 2.9 – Регулятор положения

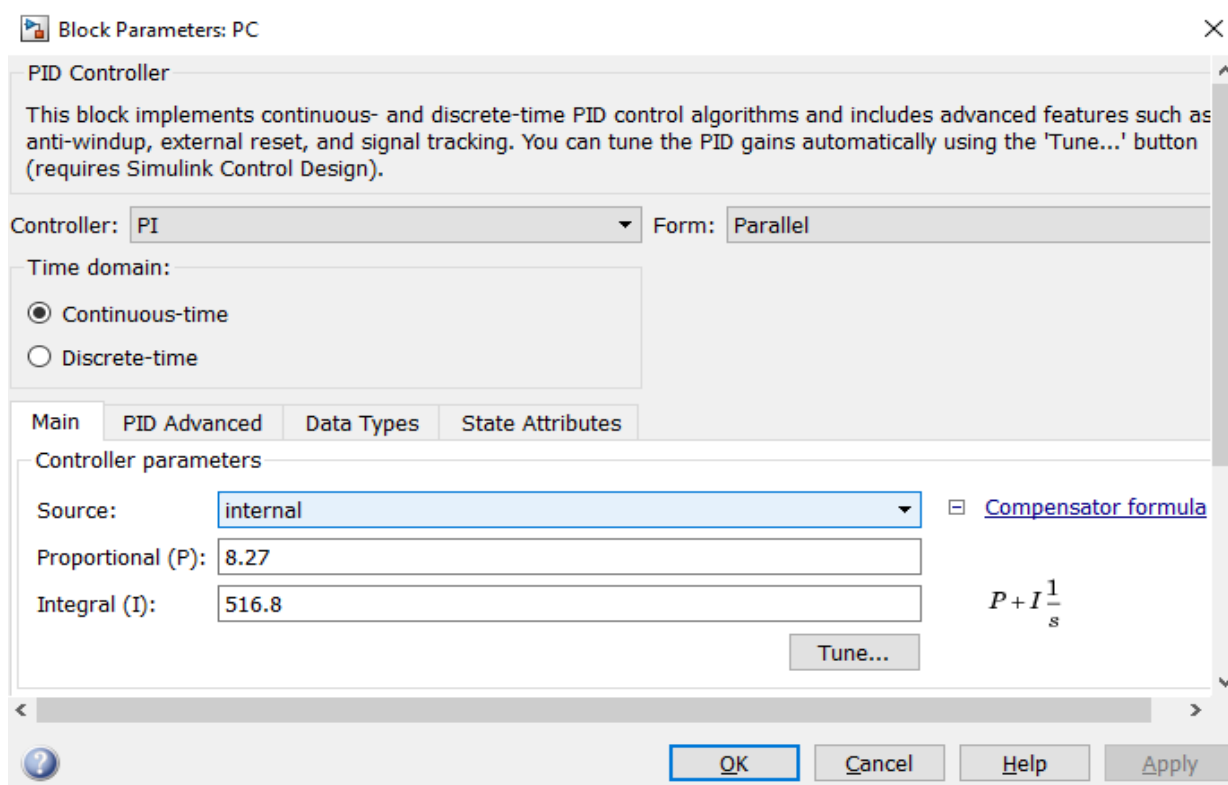


Рисунок 2.10 – Регулятор скорости

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

Отработка больших перемещений (рисунок 2.11) характеризуется тем, что момент и скорость достигают установившегося значения, электропривод работает по трапециидальной тахограмме с заданным ускорением и замедлением. В режиме больших перемещений ограничивается ток якоря и заданная установившаяся скорость, следовательно, в этом режиме двигатель будет разгоняться и тормозиться при постоянном заданном ускорении, а его скорость не превысит максимально допустимое значение. При рассмотрении контура регулирования положения видно, что здесь отсутствует перерегулирование, как и должно быть. Отсюда следует, что ошибка регулирования по положению под нагрузкой равна нулю.

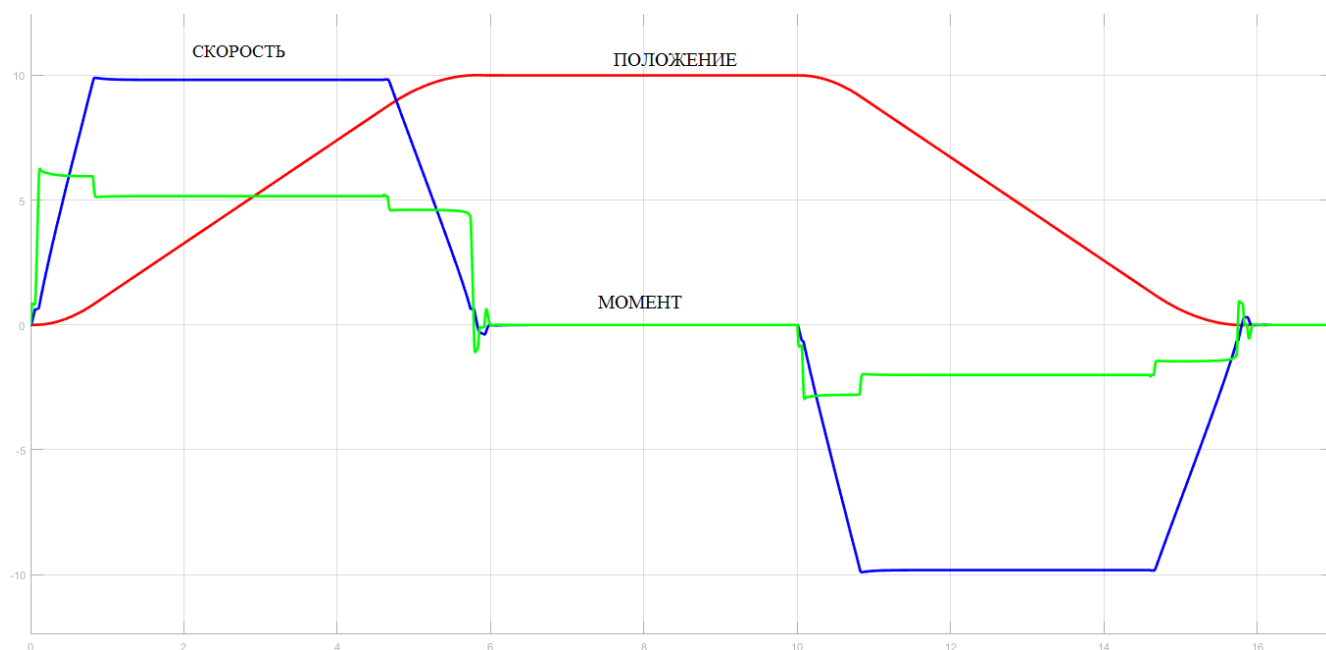


Рисунок 2.11 – Отработка больших перемещений

Отработка средних перемещений (рисунок 2.12) характеризуется тем, что момент достигает установившегося значения, поэтому ускорение достигает заданного, электропривод работает по треугольной тахограмме с заданным ускорением и замедлением.



Рисунок 2.12 – Отработка средних перемещений

Отработка малых перемещений (рисунки 2.13 и 2.14) характеризуется тем, что ни одна из регулируемых координат не достигает установившегося значения.

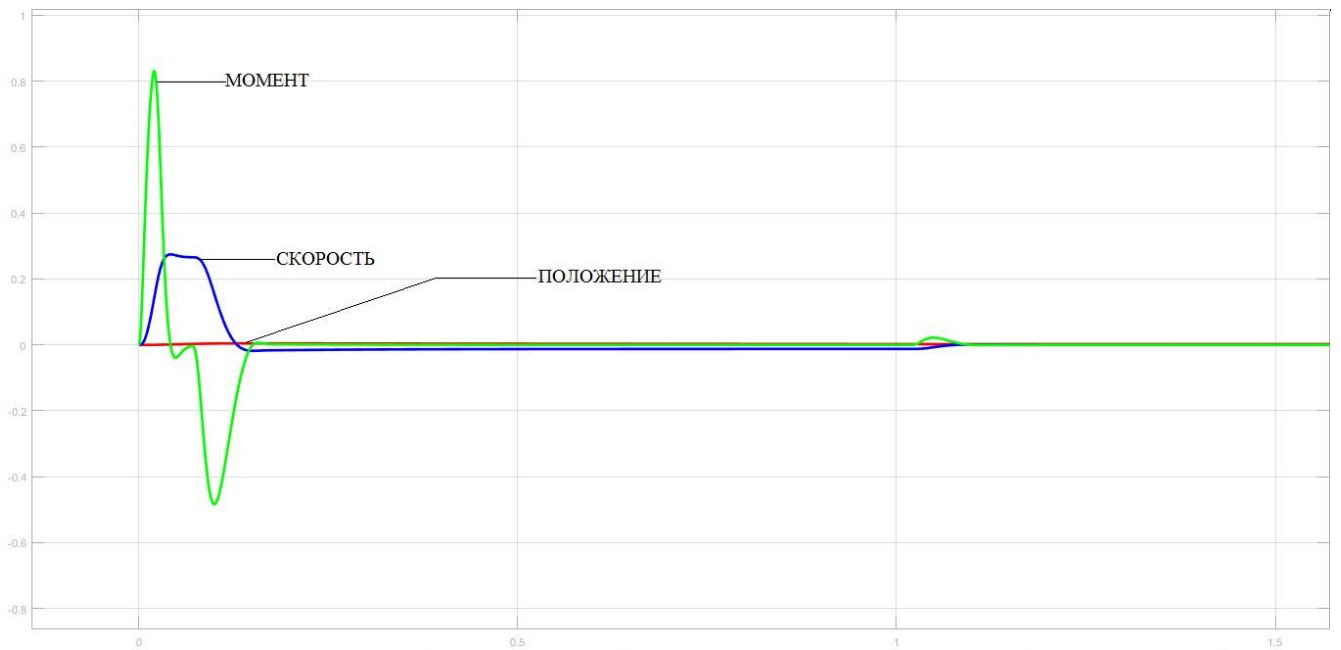


Рисунок 2.13 – Отработка малых перемещений



Рисунок 2.14 – Отработка малых перемещений

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

3 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

3.1 Разработка архитектуры систем автоматизации

АСУ ТП – это человеко-машинная система, которая обеспечивает не только сбор, обработку и хранение информации о ходе протекания технологического процесса, но и управление этим процессом, в том числе и без участия человека.

На структурной схеме отображаются в общем виде основные решения проекта по функциональной, организационной и технической структурам автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) с соблюдением иерархии системы и взаимосвязей между пунктами контроля и управления, оперативным персоналом и технологическим объектом управления [14]. Принятые при выполнении структурной схемы принципы организации оперативного управления технологическим объектом, состав и обозначения отдельных элементов структурной схемы должны сохраняться во всех проектных документах на АСУ ТП, в которых они конкретизируются и детализируются в функциональных схемах автоматизации, структурной схеме комплекса технических средств (КТС) системы, принципиальных схемах контроля и управления, а также в проектных документах, касающихся организации оперативной связи и организационного обеспечения АСУ ТП. АСУ ТП выполняет две основные функции: информационно-вычислительную и управляющую. Под информационно-вычислительной функцией понимают сбор, первичную обработку и хранение технической и технологической информации, визуализацию и диагностику состояний параметров технологического процесса и оборудования, а также автоматический обмен информацией со смежными и вышестоящими системами управления [15]. Управляющая функция регулирует отдельные параметры технологического процесса и координат рабочих органов оборудования.

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. На рисунке 3.1 представлены уровни АСУ ТП

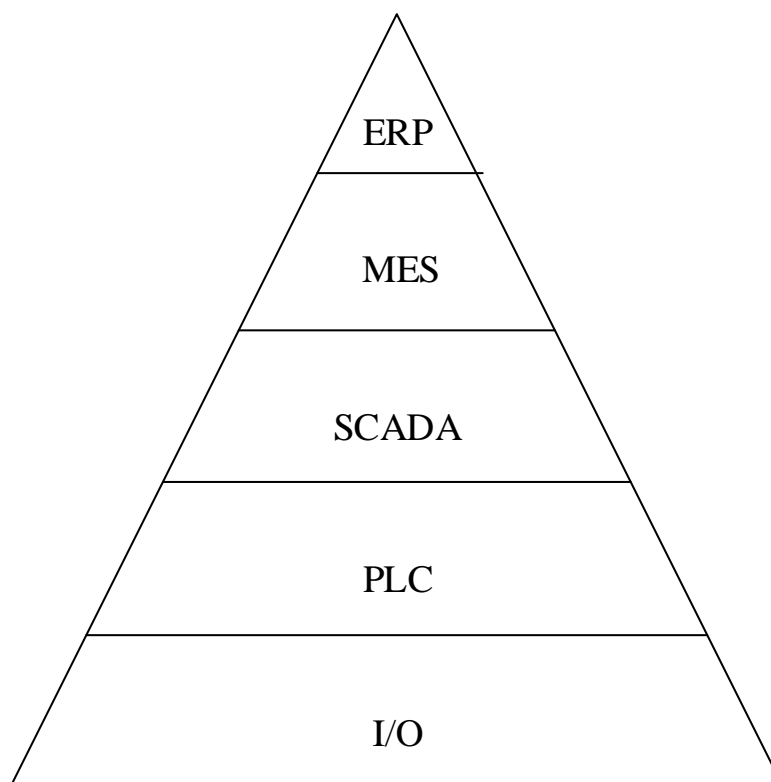


Рисунок 3.1 – Уровни АСУ ТП

Верхний уровень принято называть ERP 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 [16].

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;
- оптические 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 (англ. Supervisory Control and Data Acquisition – рус. сбор данных и диспетчерское управление) – 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.

Выполним разработку архитектуры системы автоматического управления тележки для перемещения одной трубы (рис.3.2), находящийся на участке антикоррозийного покрытия труб цеха «Высота-239» ПАО ЧТПЗ.

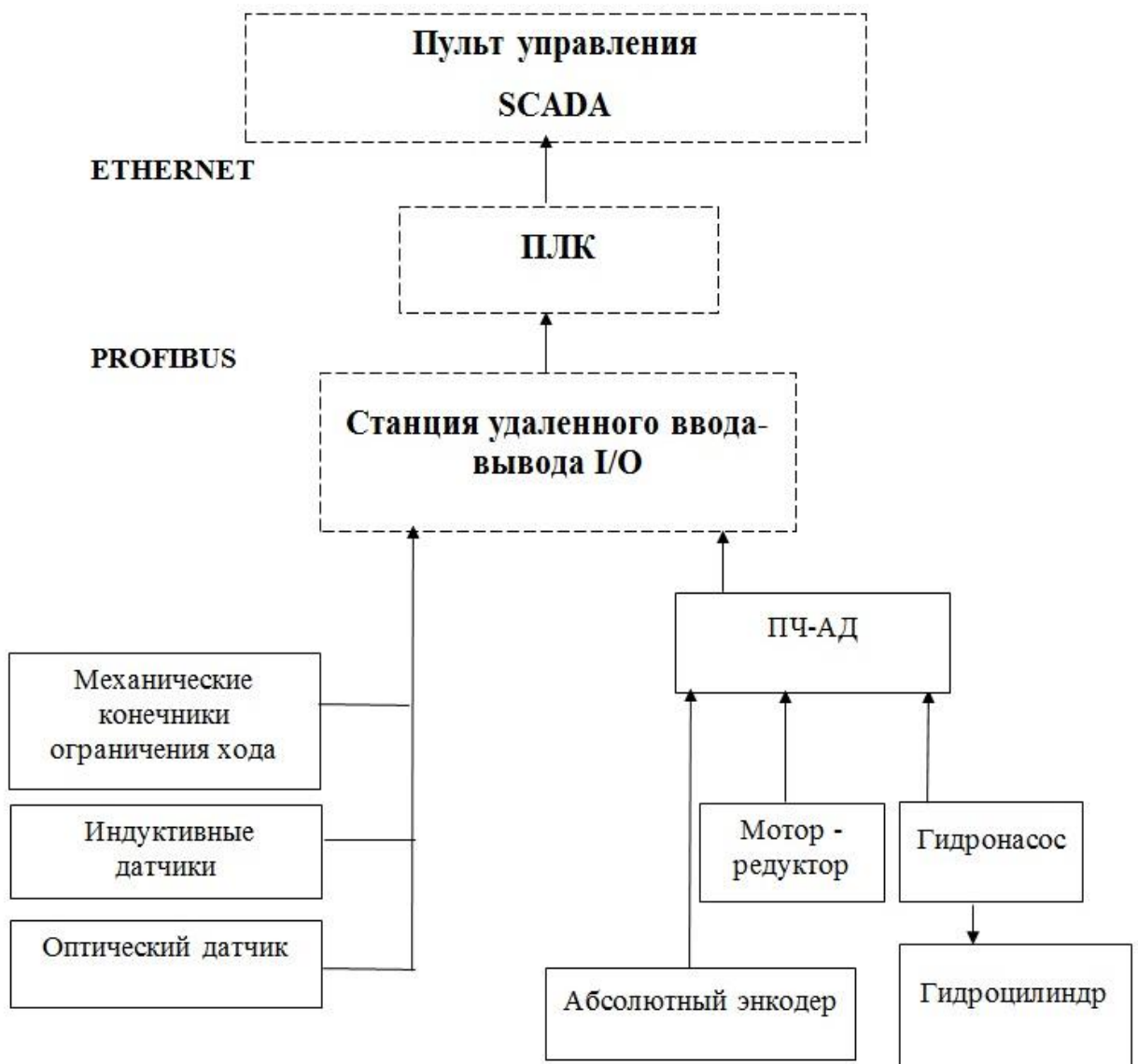


Рисунок 3.2 – Архитектура системы автоматического управления тележки для перемещения одной трубы

3.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат

Программируемый контроллер – промышленный контроллер, используемый для автоматизации технологических процессов. В качестве основного режима работы ПЛК выступает его длительное автономное использование, зачастую в неблагоприятных условиях окружающей среды, без серьёзного обслуживания и практически без вмешательства человека [17].

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

Siemens Simatic S7-300 – это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения систем автоматизации низкой и средней сложности. В линейке контроллеров этого семейства по своей производительности занимает промежуточное положение между семействами S7-200 и S7-400. Количество поддерживаемых входов и выходов до 65536 дискретных/4096 аналоговых каналов. Конструкция контроллера модульная, модули монтируются на профильной шине (рельсе). Центральные процессоры S7-300 оснащены набором встроенных входов и выходов, а также набором встроенных функций, что позволяет применять эти процессоры в качестве готовых блоков управления.

Области применения программируемых контроллеров S7-300 охватывают:

- 1) автоматизацию машин специального назначения;
- 2) автоматизацию текстильных и упаковочных машин;
- 3) автоматизацию машиностроительного оборудования;
- 4) автоматизацию оборудования для производства технических средств управления и электротехнической аппаратуры;
- 5) построение САР и позиционирования;
- 6) автоматизированные измерительные установки и другие.

Контроллеры SIMATIC S7-300 имеют модульную конструкцию и включают в свой состав:

– модуль центрального процессора (CPU). В зависимости от степени сложности решаемой задачи в контроллерах могут быть использованы различные типы центральных процессоров, отличающихся производительностью, объемом памяти, наличием или отсутствием встроенных входов-выходов и специальных функций, количеством и видом встроенных коммуникационных интерфейсов и т.д;

– сигнальные модули (SM), предназначенные для ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов с различными электрическими и временными параметрами;

– коммуникационные процессоры (CP) для подключения к сетям PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface или организации связи по PtP (point to point) интерфейсу;

– функциональные модули (FM) способны самостоятельно решать задачи автоматического регулирования, позиционирования, обработки сигналов. Функциональные модули снабжены встроенным микропроцессором и способны выполнять возложенные на них функции даже в случае отказа центрального процессора ПЛК;

– интерфейсные модули (IM) обеспечивают возможность подключения к базовому блоку (стойка с CPU) стоек расширения ввода-вывода. Контроллеры 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;

– модули блоков питания (PS), обеспечивающие возможность питания контроллера от сети переменного тока напряжением 120/230В или от источника постоянного тока напряжением 24/48/60/110В;

– 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 319/3PN-DP (рис.3.3).



Рисунок 3.3 – Программируемый логический контроллер CPU 319-3 PN/DP

Центральный процессор CPU 319-3 PN/DP - это самый быстрый центральный процессор 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 Siemens Simatic 3RK2400.

Продукция Siemens 3RK2400 позволяет решить целый спектр проблем, обычно возникающих как в ходе производственных циклов, так и в гражданском строительстве. Следует упомянуть, что устройство обладает не только безукоризненными технологическими характеристиками, но и прост при монтаже. Качество прибора доказано центрами сертификации, расположенными во всех уголках планеты, но, что особенно хочется выделить, многолетним опытом эксплуатации устройства на различных типах производства

Станция 3RK2400 предназначена для построения систем распределенного ввода-вывода на основе AS- интерфейса и сетях PROFIBUS или PROFINET IO. Она ориентирована на работу в системах распределенного ввода-вывода программируемых контроллеров SIMATIC S7/ WinCC, но может использоваться в сочетании с программируемыми контроллерами других производителей. Исполнение SlimLine S45 – модули Е/А для использования в коммутационном шкафу IP20.

Широкий спектр модулей, гибкие возможности конфигурирования, монтажа и программирования делают 3RK2400 универсальной периферийной системой ввода-вывода. Данная станция оснащена цифровыми входами/выходами (3/4), 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 сочетании с интеллектуальными интерфейсными модулями станция способна выполнять функции S7-совместимого программируемого контроллера и работать автономно или в составе комплексных систем автоматизации с поддержкой сетевого обмена данными.

На рисунке 3.4 представлена станция удаленного ввода-вывода Siemens 3RK2400.

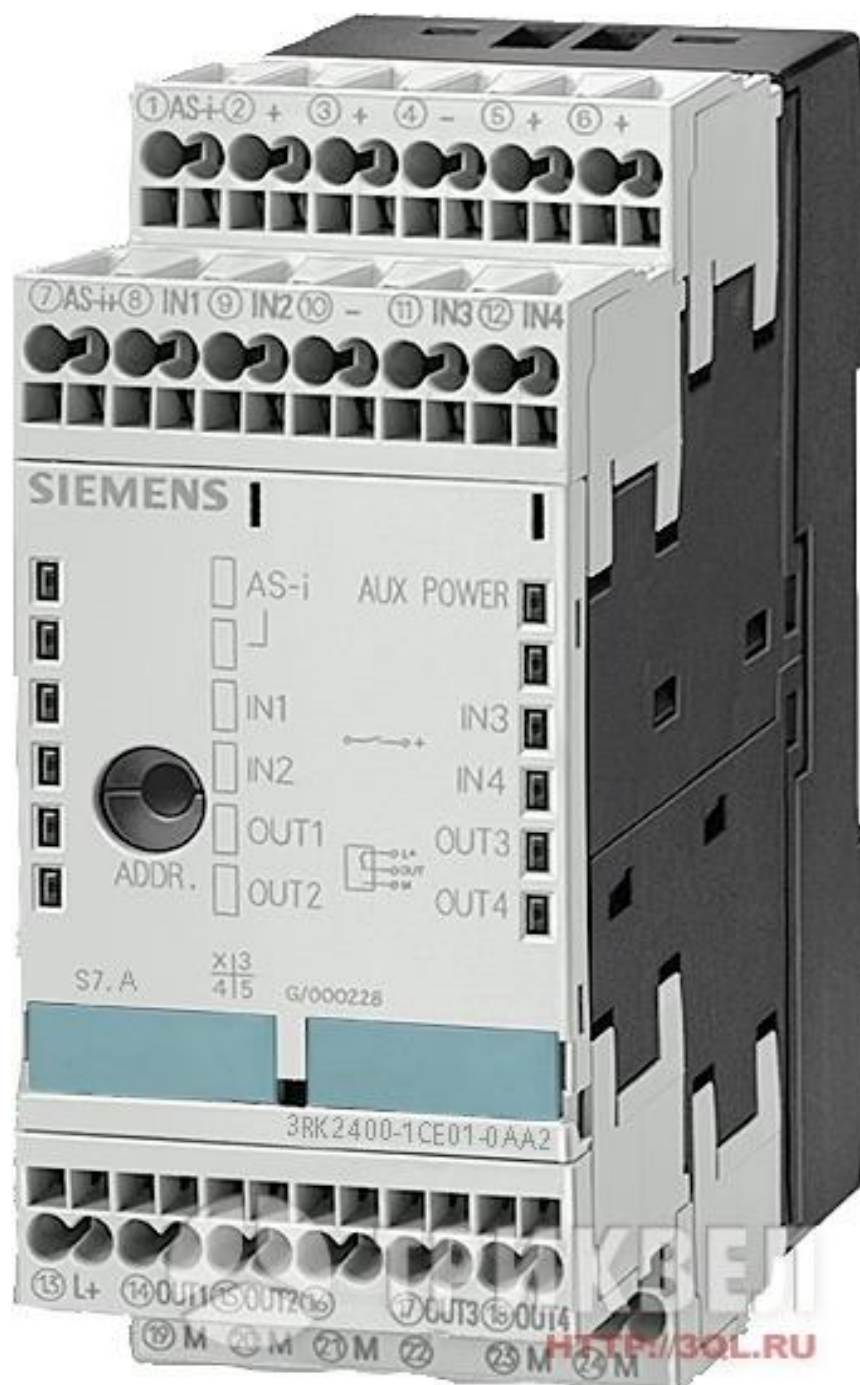


Рисунок 3.4 – Станция удаленного ввода-вывода Siemens 3RK2400

Системы удаленного ввода/вывода очень практичные модульные системы для подключения полевых сигналов во взрывоопасной и безопасной зонах. Системы удаленного ввода/вывода позволяют подключить широкий спектр дискретных и аналоговых датчиков, а также исполнительных устройств к системе управления с помощью цифровой шины. Разнообразие шлюзов позволяет использовать различные протоколы связи. Свободно подбираемые модули ввода/вывода могут

устанавливаться в любых комбинациях. Системы характеризуются высокой долговечностью, надежностью и простотой обслуживания. При модернизации системы управления конфигурация станции может быть легко изменена установкой дополнительного набора модулей. Эти операции требуют минимального времени на монтаж, программирование и конфигурирование.

Входной проводкой является транзистор PNP- перехода.

Для питания выходных цепей необходимо внешнее дополнительное питание (AUX POWER) от 20 до 30В DC. Дополнительное питание должно соответствовать VDE 0106, III класс защиты.

Также в агрегате установлен силовой контактор. Пускатель электромагнитный– низковольтное электромагнитное (электромеханическое) комбинированное устройство распределения и управления, предназначенное для пуска электродвигателя, обеспечения его непрерывной работы, отключения питания, защиты электродвигателя и подключенных цепей, и иногда для реверсирования направления его вращения.

Пускатель обычно представляет собой модифицированный контактор, он может быть укомплектован дополнительными устройствами таким как тепловое реле для аварийного отключения двигателя, дополнительной слаботочной контактной группой или группами, используемыми в цепях управления и/или кнопкой пуска. Иногда пускатели снабжаются устройством аварийного отключения при выпадении (обрыве) одной из фаз трёхфазной сети питания трёхфазных электродвигателей.

Исполнение магнитных пускателей может быть открытым и защищенным в корпусе; реверсивным и нереверсивным; со встроенной тепловой защитой электродвигателя от перегрузки и без неё.

В качестве магнитного пускателя используется силовой контактор Siemens 3RT10251(рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Контактор Siemens 3RT10251

Его технические характеристики приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики контактора Siemens 3RT10251

Параметр	Значение
Производитель	SIEMENS
Тип контактора	3-полюсный
Управляющее напряжение, В	24 (DC)
Рабочий ток макс, А	17

Продолжение табл. 3.1

Контакты	NO x3
МонтажDIN	на панель
Серия контактора	3RT10
Размер	S0

Также в данном агрегате установлен абсолютный энкодер. Под абсолютными энкодерами подразумевают датчики угла поворота, каждому положению вала которых соответствует определённый уникальный код, формируемый на его выходе. Отслеживание положения вала происходит даже при отсутствии напряжения питания, а сигнал положения передаётся в виде цифрового кода. Способность контроля положения вала даже при выключенном напряжении питания является основной причиной использования абсолютных датчиков угла положения в системах с высокими требованиями точности и безопасности. Абсолютные энкодеры, кодирующие положение в пределах одного оборота называются однооборотными, а энкодеры со счётчиком оборотов называются многооборотными. Наиболее распространённые типы выходов – это параллельный код, интерфейсы SSI, CAN-open, Profibus DP. По принципу действия различают магнитные энкодеры и оптические. Последние также, как и инкрементальные энкодеры, фиксируют вращение оптического диска, а магнитные регистрируют прохождение магнитных полюсов мимо чувствительного элемента датчика. Встроенный аккумулятор позволяет энкодеру отслеживать положение вала при выключенном питании, однако передача кода положения происходит только при наличии питания.

Преимущество абсолютных энкодеров: отсутствие быстроизнашиваемых деталей, невосприимчивость к электромагнитным воздействиям, различные варианты интерфейсов.

В качестве абсолютного энкодера выберем из серии Siemens Simodrive sensor абсолютный датчик (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Абсолютный энкодер Siemens Simodrive sensor

Его технические характеристики приведены в таблице 3.2

Приведем таблицу подобранного оборудования:

Таблица 3.2 – Подбранное оборудование и его наименование

Оборудование	Наименование
Программируемый логический контроллер	CPU 319/3PM-DP
Станция удаленного ввода-вывода	Siemens 3RK2400
Силовой контактор	Siemens 3RT10251

Продолжение табл. 3.2

Абсолютный энкодер	Siemens Simodrive sensor
Автоматический выключатель	Siemens 5SY4310-7
Преобразователь частоты	SK 225E

4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

4.1 Расчет производственной программы цеха и фактического годового фонда рабочего времени

Тележка для перемещения одной трубы применяется в работе на участке покрытия труб цеха «Высота 239» для обеспечения бесперебойной подачи труб. Она является неотъемлемой частью производственного процесса, её работоспособность влияет на конечную производительность цеха.

Для того чтобы повысить эффективность производства, станцию тележек для перемещения необходимо было модернизировать, путем внедрения счетчика в пульт управления тележками. Таким образом, благодаря данной модернизации должны значительно уменьшиться расходы на электроэнергию.

В данном разделе будет рассчитываться производственная программа цеха с учетом изменений баланса рабочего времени и часовой производительности агрегата.

Годовой объем производства продукции:

$$W_r = P \cdot T_\phi,$$

где W_r – годовой выпуск продукции, т/год;

P – производительность стана, т/ч;

T_ϕ – годовой фактический фонд рабочего времени оборудования, ч.

Расчёт годового объёма производства начинается с составления баланса времени работы стана [18]. Необходимо рассчитать календарное время (всё время нахождения стана в эксплуатации), номинальное и фактическое время работы.

$T_{\text{вых}} = 0$ ч, – выходные дни, $T_{\text{прз}} = 0$ ч, – праздничные дни, ч.

Годовой фонд рабочего времени:

$$T_\phi = T_{\text{кал}} - T_{\text{кр}} - T_{\text{тр}} - T_{\text{пр}} = 8280 - 240 - 96 - 48 = 7896 \text{ ч},$$

где $T_{\text{кал}} = 24 \cdot 345 = 8280$ – календарное время работы, ч;

$T_{\text{кр}} = 24 \cdot 10 = 240$ – время, затраченное на капитальные ремонты, ч;

$T_{\text{тр}} = 12 \cdot 8 = 96$ – время, затраченное на текущие ремонты, ч;

$T_{\text{пр}} = 24 \cdot 2 = 48$ – время, затраченное на текущие простои, ч.

4.2 Расчёт производительности агрегата

Среднечасовая производительность непрерывного стана:

$$P = \frac{3600 \cdot q \cdot K_r \cdot K_{\text{и}}}{t} = \frac{3600 \cdot 24000 \cdot 0,95 \cdot 0,8}{11,4} = 5760000 \text{ кг/ч},$$

где $t = 11,4$ – продолжительность одного цикла, ч;

$q = 24000$ – масса груза за цикл, кг;

$K_r = 0,95$ – коэффициент выхода годной продукции ГОСТ 27.004-85;

$K_{\text{и}} = 0,8$ – коэффициент использования стана, учитывающий скрытые простои стана.

Производственная программа или годовой объем производства продукции определяется производительностью агрегата в единицу рабочего времени и фондом рабочего времени.

Годовой объем производства продукции вычисляется по формуле:

$$W_r = P \cdot T_{\phi} = 5760000 \cdot 7896 = 45480960 \text{ т/г}.$$

4.3 Расчет сметы капитальных затрат

Капитальные затраты на внедрение и использование новой техники включают капитальные вложения и затраты временного характера (приобретение, доставка, монтаж, наладка и освоение новой техники). Капитальные затраты определяются сметной

стоимостью всех видов работ на стадиях создания новой техники.

Так как мы проектируем систему для цеха, то капитальные затраты рассчитываются:

$$K = O + M + T_p + Z_c + Z_{\text{ч}} + Z_k + \text{Пр},$$

где O – затраты на приобретение оборудования, руб;

M – затраты на монтаж, руб;

T_p – транспортные расходы, руб;

Z_c – заготовительно-складские расходы, руб;

$Z_{\text{ч}}$ – резерв средств на запасное оборудование и запасные части, руб;

Z_k – затраты на комплектацию оборудования, руб;

Пр – премиальные расходы предприятия, руб.

Но в данном случае затраты на внедрение данной модернизации заключались только в поощрение премиальными. Задача ввести счетчик в пульт управления не имела за собой каких-либо дополнительных затрат, так как затрагивала только задачу внедрения программного кода (счетчика) в пульт управления, что является штатной задачей программирования.

Затраты на премиальные расходы берутся из норм предприятия:

$$\text{Пр} = 200000 \text{ руб.}$$

Таким образом, капитальные затраты:

$$K = 200000 \text{ руб.}$$

4.4 Расчет затрат на эксплуатацию системы электропривода

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 ($C_{\text{мрi}}$).

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

$$C_i = \mathcal{E}_i + A_i + C_{\text{мрi}}.$$

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

$$\mathcal{E}_i = P_i \cdot \eta \cdot T_{\phi} \cdot \text{Ц}_э = 2,6 \cdot 0,91 \cdot 7896 \cdot 3,19 = 59595,37 \text{ руб},$$

где $P_i = 2,6$ кВт – мощность на входе установки (согласно паспортным данным);

$\eta = 0,91$ – КПД установки.

Себестоимость 1 кВт·ч энергии $\text{Ц}_э = 3,19$ руб.

Стоимость затрат электроэнергии для гидростанции рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_i = P_i \cdot \eta \cdot T_{\phi} \cdot \text{Ц}_э = 7,5 \cdot 0,91 \cdot 7896 \cdot 3,19 = 171909,73 \text{ руб},$$

где $P_i = 7,5$ кВт – мощность на входе установки (согласно паспортным данным).

Так как в систему управления электропривода вводится таймер на 10 секунд, для отключения питания гидростанции в целях экономии энергии, то рассчитаем среднее время остановки тележки для перемещения одной трубы:

$$T_{\text{ост}} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6}{n} = \frac{15 + 23 + 31 + 22 + 39 + 20}{6} = 25 \text{ с};$$

$$T_{\text{раб.тайм.}} = 10 \text{ с.}$$

Следовательно можно посчитать коэффициент (μ), показывающий время работы гидростанции после введения таймера в систему управления электроприводом:

$$\mu = \frac{T_{\text{раб.тайм.}}}{T_{\text{ост}}} = \frac{10}{25} = 0,4.$$

4.5 Расчет затрат на материалы и оплату труда со страховыми отчислениями

Произведем расчет среднемесячной заработной платы наладчика оборудования, электромонтера по ремонту и обслуживанию электрооборудования, слесаря-ремонтника и инженера по автоматизированным системам управления технологическими процессами. Система оплаты сдельно-премиальная, используется тарифная сетка №1 [19].

В таблице 4.1 представлен расчет фонда оплаты труда.

Таблица 4.1 – Расчет фонда оплаты труда

Наименование профессии	Кол-во работников	Часовая ставка, руб	Средние месячные часы, ч/мес	Сумма заработной платы, руб/мес.
Наладчик оборудования	1	144,58	175,40	25359,45
Электромонтер	2	164,50	215,28	70827,02
Слесарь-рем.	1	175,40	215,28	37760,112

Продолжение табл. 4.1

Инженер автоматизации	1	255,60	115	29,394
Итого без страховых отчислений, руб				163340,582

Сумма страховых отчислений от заработной платы персонала рассчитывается по следующей формуле:

$$C_{\text{стр.взн}} = ЗП \cdot 30\% = 163340,582 \cdot 0,3 = 49002,175 \text{ руб.}$$

Следовательно, расчет затрат на материалы и оплату труда со страховыми отчислениями будет равным:

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{стр.взн}} + ЗП = 49002,175 + 163340,582 = 212342,757 \text{ руб.}$$

4.6 Расчет прибыли и показателей рентабельности

Рассчитаем затраты на электроэнергию до модернизации таким образом:

$$З_i = P_i \cdot n \cdot T_p \cdot Ц_э,$$

где P_i – мощность установки, кВт;

n – количество оборудования в цехе;

T_p – количество рабочего времени агрегата, ч;

$Ц_э$ – стоимость 1Квт энергии в цехе, руб.

$$З_i = P_i \cdot n \cdot T_p \cdot Ц_э = 7,5 \cdot 34 \cdot 7896 \cdot 3,19 = 6423001,2.$$

Теперь рассчитаем затраты на электроэнергию после модернизации:

$$Z_2 = P_i \cdot n \cdot T_p \cdot C_3 \cdot \mu = 7,5 \cdot 34 \cdot 7896 \cdot 3,19 \cdot 0,4 = 2569200,48 \text{ руб,}$$

где μ – коэффициент, показывающий время работы гидростанции после модернизации.

Теперь рассчитаем прибыль проекта за год:

$$\Pi = Z_1 - Z_2 = 6423001,2 - 2569200,48 = 3853800,72 \text{ руб.}$$

4.7 Расчет срока окупаемости проекта

Для оценки экономической эффективности мероприятий по модернизации привода гидростанции тележек для перемещения одной трубы в результате внесения таймера в пульт управления следует произвести расчет и интерпретацию показателя срока окупаемости затраченного капитала.

Срок окупаемости капитальных вложений равен отношению затрат на капитальные вложения к среднегодовому приросту прибыли (либо экономии).

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\Delta_{\text{год}}} = \frac{200000}{3853800,72} = 0,05189 \text{ г (19 календарных дней).}$$

4.8 Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов

Таблица 4.2 – Сводная таблица технико-экономических расчетов

Показатель	До реконструкции	После реконструкции
Годовой объем производства, т/год	45480960	45480960
Капитальные вложения, руб	0	200000

Продолжение табл. 4.2

Затраты на электроэнергию, руб/год	6423001,2	2569200
Экономия за год, руб/год	3853800,72	
Срок окупаемости, дней	19	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы был произведен расчет системы электропривода тележки для перемещения одной трубы на участке внутреннего антикоррозийного покрытия труб 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 тележкой для перемещения одной трубы оказалась устойчивой и полностью удовлетворяет всем предъявленным к ней требованиям.

Экономические расчеты показали достойные показатели прибыли и рентабельности модернизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Косматов, В.И. Проектирование электроприводов металлургического производства: учебное пособие / В.И. Косматов. – Магнитогорск: МГТУ, 1998. – 239с.
- 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. – 49с.
- 3 Фомин, Н.В. Системы управления электроприводом / Н.В. Фомин. – Магнитогорск: МГТУ, 2014. – 350с.
- 4 Гурин, А.Н. Электрооборудование промышленных предприятий и установок / А.Н. Гурин. – М.: Высшая школа, 1990. – 104с.
- 5 Герасимов, В.Г. Электротехнический справочник / В.Г. Герасимов. – М.: Издательство МЭИ, 2001.
- 6 Корятин, А.М. Автоматизация типовых технологических процессов и установок / А.М Корятин – М.: Изд-во Энергоатомиздат, 1988. – 324с.
- 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 Герман-Галкин, С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 / С.Г. Герман-Галкин. - СПб.: Корона принт., 2001. — 320с.
- 9 Землянский, Ю.М. Конструкция и расчет исполнительного механизма привода: учеб. пособие / Ю.М. Землянский. – Челябинск: Издательский центр ЮУГУ, 2014. – 61с.
- 10 Косматов, В.И. Проектирование электроприводов металлургического производства: учебное пособие / В.И. Косматов. - Магнитогорск: МГТУ, 1998. - 224с.

- 11 Краузе, Г.Н. Редукторы: Справ. пособие / Г.Н. Краузе, Н.Д. Кутилин. – Санкт-Петербург: Машиностроение, 1972. – 164с.
- 12 Чернавский, С.А. Курсовое проектирование деталей машин: Учебное пособие / С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернин, Г.М. Ицкович, В.П. Козанцов. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2005. – 416с.
- 13 Лукин, А.Н. Системы автоматизированного электропривода с векторным управлением асинхронных двигателей: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 1804 / А.Н. Лукин. – Магнитогорск: МГТУ, 2002. – 50с.
- 14 Методические указания к курсовому проекту «Электропривод по схеме преобразователь частоты - асинхронный двигатель»
- 15 Поздеев, А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых электроприводах / А.Д. Поздеев. – Чебоксары, 1998. – 171с.
- 16 Терехов, В. М. Системы управления электроприводов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 305с.
- 17 Фомин, Н. В. Системы управления электроприводов: Учеб. Пособие / Н.В. Флмин. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – 87с.
- 18 Методические указания к выполнению экономической части дипломного проектирования. – Екатеринбург: УрГУПС, 2014. – 32с.
- 19 Бахольская, Л.И. Экономика, организация и планирование производства: Методические указания по дипломному и курсовому проектированию для студентов специальности 180400 дневной и заочной форм обучения / Л.И. Бахольская. – Магнитогорск: МГТУ, 2001. – 72с.