

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования

«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Политехнический институт факультет Машиностроения  
Кафедра «Мехатроника и автоматизация»  
Направление «Мехатроника и робототехника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
В.Р. Гасияров

\_\_\_\_\_ 2019 г.

РАЗРАБОТА МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ДРОБЕСТРУЙНОЙ  
МАШИНЫ ЦЕХА ПАО «ЧТПЗ»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ – 15.03.06.2019.114.ПЗ (ВКР)

Нормоконтролер  
Преподаватель  
Гасиярова О.А.

\_\_\_\_\_ 2019 г.

Руководитель работы  
К.т.н./Доцент  
С.Н. Басков

\_\_\_\_\_ 2019 г.

Ст. преподаватель  
Воронин С.С.

\_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор проекта  
студент группы П-456  
Бесков Вениамин Иванович

\_\_\_\_\_ 2019г.

## Техническое задание

## АННОТАЦИЯ

Бесков В.И. Разработка мехатронной системы дробеструйной машины участка антикоррозионного покрытия трубы цеха «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ» – Челябинск: ЮУрГУ, П-456, 71 с., 16 илл., 8 табл., библиогр. список –16 наим.

Цель выпускной квалификационной работы – Разработка мехатронной системы дробеструйной машины участка антикоррозионного покрытия «Высота 239». В выпускной квалификационной работе был описан технологический процесс работы системы, были рассчитаны необходимые механические, электрические параметры системы.

В данной работе была разработана архитектура системы автоматизации. В рамках данной работы было рассчитано и подобрано силовое оборудование и произведена его проверка, так же рассчитаны и подобраны оборудования для защиты привода, построена тахограмма и нагрузочная диаграмма. Для разработки системы автоматического регулирования был использован пакет Simulink программы MATLAB.

В экономической части были приведена смета капитальных затрат и фонд оплаты труда. Были рассчитаны такие параметры как чистая прибыль до и после внедрения разрабатываемой системы и сумма капитальных вложений, которые необходимы для установки данной системы, что позволило оценить эффективность мехатронной системы дробеструйной машины и рассчитать срок окупаемости и определить оправданность предлагаемых изменений.

## СОДЕРЖАНИЕ

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	7
1.1 Описание технологического процесса <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
1.1.1 Подробный технологический процесс исследуемого агрегата .....	14
1.2 Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма.	16
1.3 Требования к приводам и системе автоматизации .....	19
1.4 Выбор системы привода .....	20
1.5 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы .....	21
1.6 Выбор основного силового оборудования .....	32
1.7 Защиты привода, расчет уставок защитных устройств.....	35
2 РАЗРАБОТКА САУ .....	37
2.1 Разработка архитектуры системы автоматизации .....	37
2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат .....	39
2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САР привода проектируемого агрегата .....	44
2.4 Разработка контура регулирования технологических координат.....	46
2.5 Разработка структурной схемы САУ и моделирование типовых режимов работы привода .....	46
3 ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ.....	52
3.1 Характеристика подразделения и выпускаемой продукции .....	52
3.2 Расчет производственной программы цеха .....	55
3.3 Расчет сметы капитальных затрат .....	60
3.4 Расчет СРЭО .....	61

3.5 Расчет показателей прибыли.....	64
3.6 Расчет срока окупаемости .....	67
3.7 Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов .....	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	69
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	70

## ВВЕДЕНИЕ

Для современного производства важно выпускать качественную продукцию, для этого требуется хорошая точность позиционирования рабочего органа. Такую требуемую точность способна обеспечить мехатронная система.

Мехатронная система включает в себя электромеханическую систему и систему управления, предназначена для приведения исполнительного механизма в движение и управление этим механизмом по заданному алгоритму посредством программируемого микроконтроллера. Свойства такой системы определяются характеристиками элементов и образующих её подсистем (механической, электрической и магнитной). Поэтому при проектировании электромеханической системы особое внимание уделяется выбору электромеханической элементной базы (электродвигателей, механической передачи, преобразователей, контроллеров и защите установленных элементов) и ее статическим и динамическим характеристикам.

Для мехатронной системы важно не только выбрать электромеханическую базу, но также требуется правильно настроить систему автоматического управления. Правильная настройка позволит эффективно использовать оборудование и оптимизировать технический процесс согласно необходимым качествам, установленным заранее.

В рамках выпускной квалификационной работы требуется произвести расчет разрабатываемой мехатронной системы, на основании расчетов подобрать необходимое оборудование, дать технико-экономическое обоснование и оценку экономической эффективности производимых изменений. Исходные данные для выполнения выпускной квалификационной работы были собраны во время преддипломной практики на предприятии. Собранные технические и экономические данные соответствуют реальным данным предприятия за предшествующий 2018 год

# 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

## 1.1 Технологический процесс создания трубы

### 1.1.2 Общий технологический процесс

Производство начинается со складирования листового проката. Рабочие склада совместно с машинистом крана складировать лист в штабели по маркам стали, классам прочности, длине, ширине, толщине стенки и заводам-поставщикам.

Листовой прокат, поступивший в цех, подвергается входному, ультразвуковому и геометрическому контролю. После листового проката подвергается поверхностной обработке (дробеметной очистке). Очистку верхней/нижней поверхности листа на дробеменной установке осуществляет оператор с целью удаления ржавчины, окалины с поверхности листа.

После поверхностной обработки на верхнюю поверхность листа наносят идентификационный номер с помощью маркировочной машины. Затем лист по входному рольгангу поступает на станцию приварки технологических пластин. Осуществляется центровка листа. Лист занимает требуемое положение, прижимное устройство выполняет его фиксацию. Два сварочных робота определяют координаты углов листа и передают полученные значения роботам-манипуляторам. Роботы извлекают технологические пластины из кассет, производят их центровку, перемещают к листу и фиксируют в положении, в котором будут выполнять сварку. Сварочные роботы начинают приварку технологических пластин к листу с входной стороны. После того, как выполнена частичная приварка технологических пластин, роботы-манипуляторы возвращаются в своё исходное положение.

По окончании процесса сварки сварочные роботы перемещаются в позицию очистки и охлаждения горелок. Прижимное устройство поднимается вверх, лист с помощью промежуточного рольганга транспортируется в положение для приварки технологических пластин с выходной стороны, одновременно осуществляется задача следующего листа. Процедуру приварки технологических пластин повторяют, но при этом в работе участвуют четыре робота-манипулятора и четыре сварочных робота. Далее отводящий рольганг перемещает лист со станции приварки технологических пластин.

Подготовка продольных кромок листа под сварку осуществляется на кромкофрезерной установке. При необходимости, после операции фрезерования продольных кромок листа производится зачистка зоны подгибки листа от отстающей окалины. Зачистка проводится с внутренней и внешней поверхностей заготовки, в зоне до 280 мм (обеспечивается оборудованием) от обоих продольных краев листа.

Подгибку прикромочной зоны листа для получения на них профиля (радиуса) заготовки трубы производят на кромкогибочном прессе. Процесс подгибки продольных кромок осуществляется одновременно с двух сторон с подачей в зону подгибки шагами. Лист с фрезерованными продольными кромками поступает в пресс по подающему рольгангу. Предпоследний подающий ролик перед прессом и второй отводящий ролик за прессом установлены в качающемся подъемном столе, с высотой подъема выше линии движения листа. Во время каждого цикла гибки эти подъемные ролики поднимают лист синхронно с зажимными балками и срединным рольгангом на высоту зажатия листа. После позиционирования листа для проведения подгибки система управления запускает рабочий цикл прессы. При этом на левом и правом гибочном блоке одновременно происходит подъем рабочими гидроцилиндрами зажимных и гибочных балок, синхронно с ними подъемные ролики поднимают лист. Подъем листа продолжается до тех пор, пока зажимная балка не подведет его к верхней прижимной неподвижной балке.



Далее, зажимные цилиндры создают необходимое для зажатия усилие, и гидросистема прессы поддерживает это усилие до окончания гибки.

В зону прессы лист с фрезерованными и подогнутыми продольными кромками поступает с помощью подающего рольганга. В это время датчики производят замер длины листа, и рольганг устанавливает его с допуском  $\pm 100$  мм относительно поперечной оси прессы. Входной рольганг опускает его на поднятые ролики поперечного рольганга. Далее манипулятор начинает двигать лист к оси формовки на позицию первого шага гибки (до упора в манипулятор). Поперечный рольганг опускается и укладывает лист на опорные балки.

Рабочие цилиндры опускают гибочную траверсу с закрепленным на ней верхним формовочным инструментом вниз до заданной позиции. Из позиции ожидания гибочная траверса производит первый шаг гибки. В это время манипулятор занимает заданную позицию для следующего шага гибки. Возвратные цилиндры поднимают траверсу вверх на заданную высоту над листом (обеспечивающую свободное перемещение листа на следующий шаг). Поперечный рольганг поднимает лист, и манипулятор передвигает лист на заданное расстояние для следующего шага гибки. Поперечный рольганг укладывает лист на опорные балки. Процесс гибки повторяется до тех пор, пока не будет подогнута первая половина листа.

Подогнутый наполовину лист манипулятор перемещает в поперечном направлении, чтобы начать формовку второй половины листа от второй кромки. Процесс гибки второй половины листа, осуществляется аналогично первой половине, только позиционирование листа производится манипулятором.

Контроль трубной заготовки осуществляет машинист формовочного прессы на участке выборочного контроля труб, находящегося по технологической цепочке после прессы шаговой формовки труб. Трубную заготовку, сформованную на прессе шаговой формовки, поперечная транспортная тележка перемещает на участок выборочного контроля.

Машинист формовочного прессы на поворотных роликах поворачивает заготовку в положение для осмотра и контроля профиля заготовки, замера ширины разъема, внутренней и наружной поверхности заготовки, обработанной кромки. Трубная заготовка по подающему рольгангу поступает на сборочно-сварочный стан. Электросварщик с пульта управления позиционирует трубу разъемом вверх, в позицию «12 часов». Заготовку трубы перемещают в сборочную клетку, в которой путём постепенного обжата производят сборку заготовки под профиль готовой трубы. Сварочную головку опускают над трубой, токоподводящие щётки прижимают к трубе. Сварку осуществляют в смеси защитных газов. Перемещение трубы во время сварки через сборочную клетку осуществляют с помощью цепного транспортёра.

После выполнения технологического шва сварочную головку поднимают над трубой, токоподводящие щётки отводят от трубы, отводящий рольганг транспортирует трубу со сборочно-сварочного стана. После сборки трубной заготовки и сварки технологического шва труба с помощью трубопередаточной тележки (далее ТПТ) поступает на участок нанесения маркировки. Тележка с маркирующим узлом (маркировочная машина фирмы «KOHNE») объезжает по очереди оба конца трубы и наносит на наружную поверхность индивидуальный идентификационный номер в продольном направлении на расстоянии 500 мм от торца трубы. Трубу с выполненным технологическим швом с помощью поперечной транспортной тележки переключают на подъёмно-поворотные ролики.

Труба с выполненным технологическим швом по входному рольгангу поступает на стан внутренней сварки. Затем трубу с помощью ТПТ переключают на сварочную телегу и перемещают в позицию начала сварки. Электросварщик с пульта управления позиционирует трубу свариваемым стыком вниз, в позицию «6 часов». Сварочную головку, расположенную внутри трубы, опускают до касания роликов с трубой, токоподводящие щётки прижимают к трубе.

Процесс сварки начинают и заканчивают на технологических пластинах. После выполнения внутреннего шва сварочную головку и токоподводящие щётки поднимают над поверхностью трубы. С помощью ТПТ трубу переключают на выходной рольганг, который перемещает трубу со стана сварки.

Труба с выполненными технологическим и внутренним швами по входному рольгангу поступает на стан наружной сварки. Затем трубу с помощью ТПТ переключают на сварочную телегу и перемещают в позицию начала сварки. Электросварщик с пульта управления позиционирует трубу свариваемым стыком вверх, в позицию «12 часов». Сварочную головку опускают над трубой, токоподводящие щётки прижимают к трубе. Процесс сварки начинают и заканчивают на технологических пластинах. После выполнения наружного шва сварочную головку и токоподводящие щётки поднимают над трубой. С помощью ТПТ трубу переключают на выходной рольганг, который перемещает трубу со стана сварки.

Поперечная тележка перемещает трубу на подъёмно-поворотные ролики. Трубу поворачивают швом в позицию «6 часов», технологические пластины находятся внизу. Подъёмно-поворотные ролики опускают трубу вниз, с помощью рольганга, входную часть трубы помещают в звукоизоляционную кабину в положение отрезки пластин в соответствие с рисунком 28. За до касания с упором. Прижимные салазки с помощью пневмоцилиндров поджимают к трубе, робот перемещает плазматрон в позицию начала резки, выполняют отрезку технологических пластин. Отрезанные пластины падают в жёлоб и поступают в короб для скрапа, упор опускается вниз. Робот перемещается в положение, не препятствующее перемещению труб по рольгангу, прижимные салазки отводят от трубы. Аналогичные операции выполняют при отрезке пластин с выходной стороны трубы. Далее трубу с помощью рольганга и транспортной тележки перемещают в дальнейшее производство.

Участок экспандирования труб состоит из двух одинаковых, работающих независимо друг от друга экспандеров. Трубы длиной от 10 до 12,5 м могут проходить обработку на любом из экспандеров. Трубы длиной от 12,5 до 18,5 м обрабатывают в два этапа: первая половина трубы раздается на первом экспандере, вторая половина трубы - на втором. С помощью поворотного рольганга оператор устанавливает трубу сварным швом точно вверх (на «12 часов»), чтобы во время расширения трубы, шов оказался в канавке верхнего инструмента. Устройство подъема труб поднимает выставленную поворотным рольгангом трубу и устанавливает ее по оси экспандера.

Клещевая тележка захватывает трубу и перемещает ее на первый шаг экспандирования. При этом измеряется длина трубы, и по известной длине рабочей части инструмента и заданному значению перекрытия шага рассчитывается необходимое число шагов экспандирования (с округлением до целого в большую сторону). Далее автоматически включается главный гидроцилиндр на ускоренный ход, и раздвигает сегменты инструмента до тех пор, пока они не будут прилегать к внутренней поверхности трубы по всей окружности. Система слежения за ходом поршня переключает гидроцилиндр на рабочий ход, и экспандер начинает пластически деформировать трубу до достижения заданного значения ее диаметра (с учетом упругой отдачи), останавливает ход на определенное время и потом переключает гидроцилиндр на обратный ход. Поперечная тележка транспортной системы цеха устанавливает трубу, подлежащую обработке, в позицию ожидания.

На транспортной тележке станков установлены подъемные механизмы с призматическими опорами, которые поднимают трубу с позиции ожидания. Затем тележка перемещает трубу в ось станков, а гидравлические подъемные механизмы станков синхронно поднимают трубу в ось обработки. Подъем обеспечивают гидроцилиндры управляемые пропорциональными клапанами. Синхронность подъема настраивается дросселями. Подъемные механизмы поперечной тележки станков опускают призматические опоры.

При поднятии трубы в ось обработки, срабатывают оптические датчики. Система управления станков «M1/M2» перемещает шпиндельные бабки сначала на ускоренном, а затем медленном ходу в позицию перед обработкой. Зажимы обоих станков фиксируют трубу, а шпиндельные бабки с вращающимися планшайбами устанавливают режущий инструмент на рабочую позицию. После этого система управления включает рабочую подачу. Внутренние копирующие ролики отслеживают профиль трубы.

По окончании обработки система управления станков возвращает шпиндельные бабки на высокой скорости на позицию ожидания, разжимает зажимы тележек. Поперечные тележки установлены в позицию ожидания, в то время как обработанная труба лежит на подъемных механизмах станка.

Испытание труб производит калибровщик на гидростатическом испытательном прессе, обеспечивающем создание заданного уровня давления внутри трубы.

При окончательной приемке труб контролёр цеха и инспектор ЦТК проводит измерение геометрических параметров в соответствии с картой контроля.

Перед нанесением маркировки поверхность трубы в месте нанесения должна быть тщательно очищена от пыли, грязи, жировых загрязнений. Очистка должна осуществляться с помощью влажной ветоши. В случае, если при протирке поверхности вода собирается в капли или имеются визуально различимые жировые пятна, поверхность в месте нанесения маркировки должна быть протерта ветошью, смоченной нефрасом. Трубы после окончательной приёмки, взвешивания и маркировки передают на склад готовой продукции .

Также между основными операциями постоянно проводится контроль трубы: геометрических параметров, сварного шва, ультразвуковой контроль и тд.

### 1.1.2 Подробный технологический процесс исследуемого агрегата

На данном этапе производится очистка наружного слоя трубы и придания необходимых качеств трубе, таких как обеспыленность, качество поверхности и шероховатости. Эти качества поверхности трубы необходимы для последующего покрытия наружным слоем полиэтилена.

Участок наружной очистки трубы, представляет собой три конвейера с наружно-очистительной установкой, сопряженной со вторым конвейером.

Работа дробеметной установки делится на 3 зоны:

1. В первой зоне работа происходит в 3 отдельных подэтапа:

- Ожидание поступления трубы. В этот момент времени отсутствует вращение колес.

- После того как труба оказывается на конвейере, приводы раскручивают колеса и двигают трубу с большей скоростью нежели та, что уже находится во второй зоне. Движение трубы с установленной скоростью продолжается до тех пор пока не будет подан сигнал с пульта управления оператора о необходимости сбросить скорость до скорости движения трубы во второй зоне.

- После стыковки труб они движутся с одинаковой установившейся скоростью до тех пор пока труба полностью не переместится из первой зоны во вторую, после чего рольганги останавливаются в ожидании следующей трубы.

2. Зона на которой труба проходит через наружно-очистительную установку. Дробемет состоит из кабины с двумя дробеметными турбинами и системой для сбора, очистки и хранения абразива. Абразив подается из бункеров на дробеметные турбины через дозирующие клапаны, которые контролируют количество подаваемого абразива. Струя абразива выбрасывается вращающимися дробеметными турбинами и ударяется о стенку трубы. Использованный абразив падает на дно дробеметной кабины и

подается в бункер элеватора с помощью шнека абразива. После чего абразив подается вверх с помощью элеватора. Он попадает систему сит, где от него отделяются частицы грязи. Затем абразив проходит через воздушную струю, где выдуваются более легкие частицы и пыль. Частицы падают вниз в коллекторную трубу. Чистый абразив падает вниз в бункер, где он готов к повторному использованию. Очистка воздуха осуществляется пылесборником. Пылесборник дробемета так же улавливает воздух из кабины дробемета, для уменьшения пылевого загрязнения трубы. Этот воздух проходит через предварительный сепаратор, где воздух очищается от частиц абразива. Этот пригодный для использования абразив поступает обратно на элеватор. Схема наружно очистительной установки представлена на рисунке 1.

3. Труба выходящая из очистительной установки должна транспортироваться на следующий этап. Для этого на данном участке труба ускоряется для создания расстояния между трубами и получения времени необходимого на транспортировку.

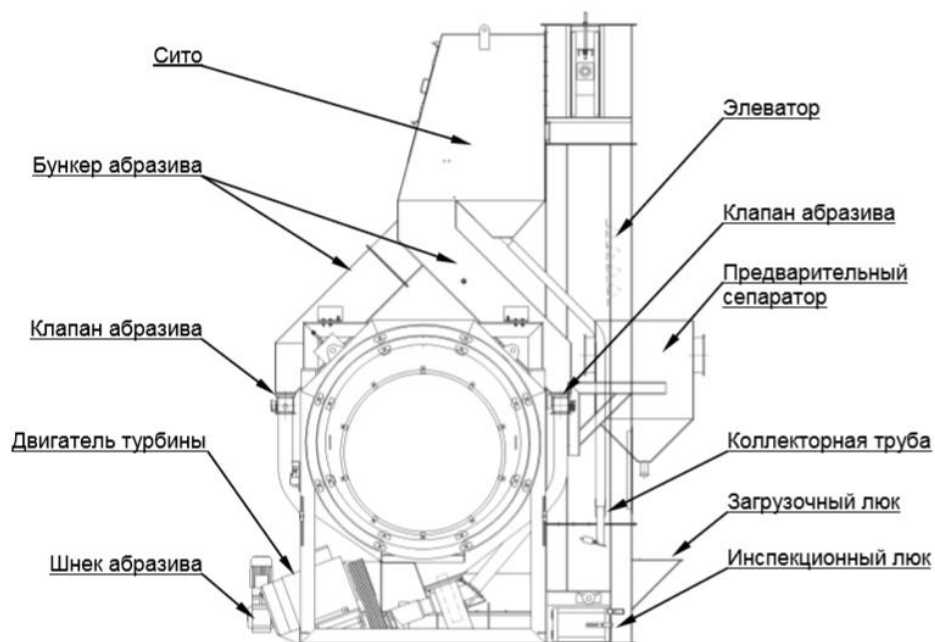


Рисунок 1 схема наружно очистительной установки

Рассматриваемой частью дробеструйной машины является первая зона.

Человеку свойствен такой физический процесс как усталость и как следствие такого состояния совершаются ошибки. А так как оператором является живой человек, которому как и всем людям свойственно утомляться, то он не способен всю рабочую смену правильно оценивать когда необходимо подавать сигнал на начало процесса стыковки последовательно идущих труб, то в этот момент может произойти удар концами труб, из-за чего концы труб повреждаются и труба становится непригодной для дальнейшей продажи, т.е. списывается в бракованную продукцию.

## 1.2 Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма

Конвейер участка дробеметной очистки состоит из ряда отдельных колесных пар. Для перемещения вращающейся трубы, колеса конвейера устанавливаются наклонно под определенным отрегулированным углом. Для того, чтобы сделать это, колеса крепятся на поворотные опоры. Механически конвейер разделен на отдельные секции.

Опоры колес с каждой стороны попарно соединены соединительными тягами регулировки угла для того, чтобы регулировать все соединенные колесные пары на одинаковый угол. Одна опора колеса также подсоединена к приводному шпинделю регулировки угла. При изменении длины шпинделя, все соединенные с ним опоры колес одновременно поворачиваются на равный угол. Каждая сторона имеет свой шпиндель регулировки угла, но при этом оба шпинделя работают одновременно, сохраняя одинаковый угол поворота для обоих колес в колесном ряду. Для обработки труб любого диаметра из рабочего диапазона, может быть обеспечено любое требуемое расстояние между колесами. Колеса установлены на подвижных пластинах, положение которых определяется соединенными между собой шпинделями регулировки центра. Шпиндели одной секции конвейера присоединены к мотору с приводным валом регулировки центра. Это заставляет обе подвижные



пластины регулировки центра перемещаться одновременно на равное расстояние.

Часть колес конвейера приводится в движение приводным мотором. Моторы частотного управления обеспечивают вращение трубы с заданной скоростью. Скорость вращения колес и угол их наклона определяют аксиальную скорость движения трубы. Электрически конвейер разделен на три секции с целью ускорения входных и выходных труб. Трубы должны без разрыва проходить через установку промывки труб, газовое устройство предварительного нагрева и дробемет. После установки вакуумного обеспыливания, предусмотрено создание разрыва между трубами, для обеспечения времени отвода обработанной трубы тележкой. Угол и положение колес конвейера измеряются датчиками, значения отображаются на сенсорном экране для оказания помощи при проведении работ по наладке конвейера. [1]

На кинематической схеме, приведенной на рисунке 2, видно, что асинхронный мотор-редуктор присоединен только к одному из колес из которых состоит «ролик», т.е. задание на необходимую скорость трубы задается только с одного колеса.

Более полный внешний вид конвейера представлен на рисунке 3. На нем видно как расположены колеса. На каждую зону дробеструйной машины приходится по 2 мотор редуктора, между которыми расположены дополнительные ролики, которые необходимы для разделения нагрузки, приходящейся на одну пару колес.

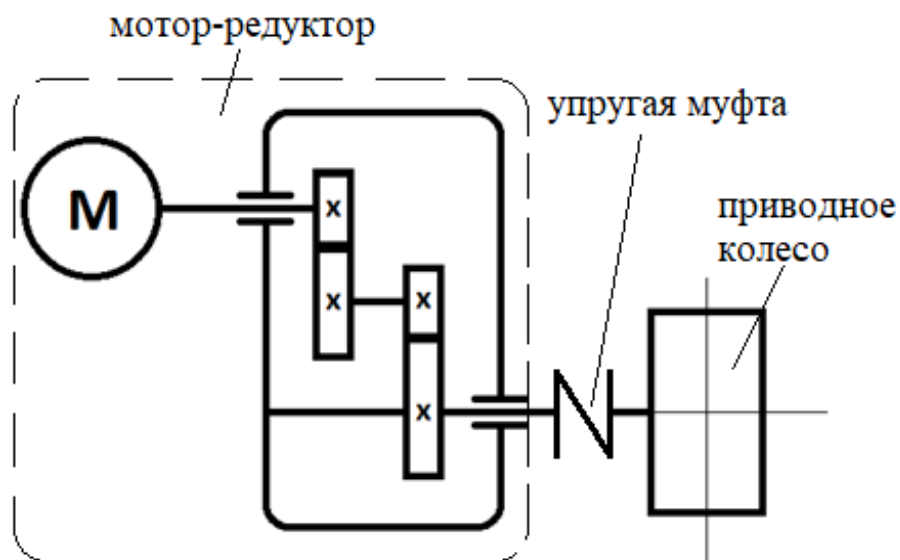


Рисунок 2 – Кинематическая схема исполнительного механизма

Общий вид конвейера дробеструйной машины приведен на рисунке 3

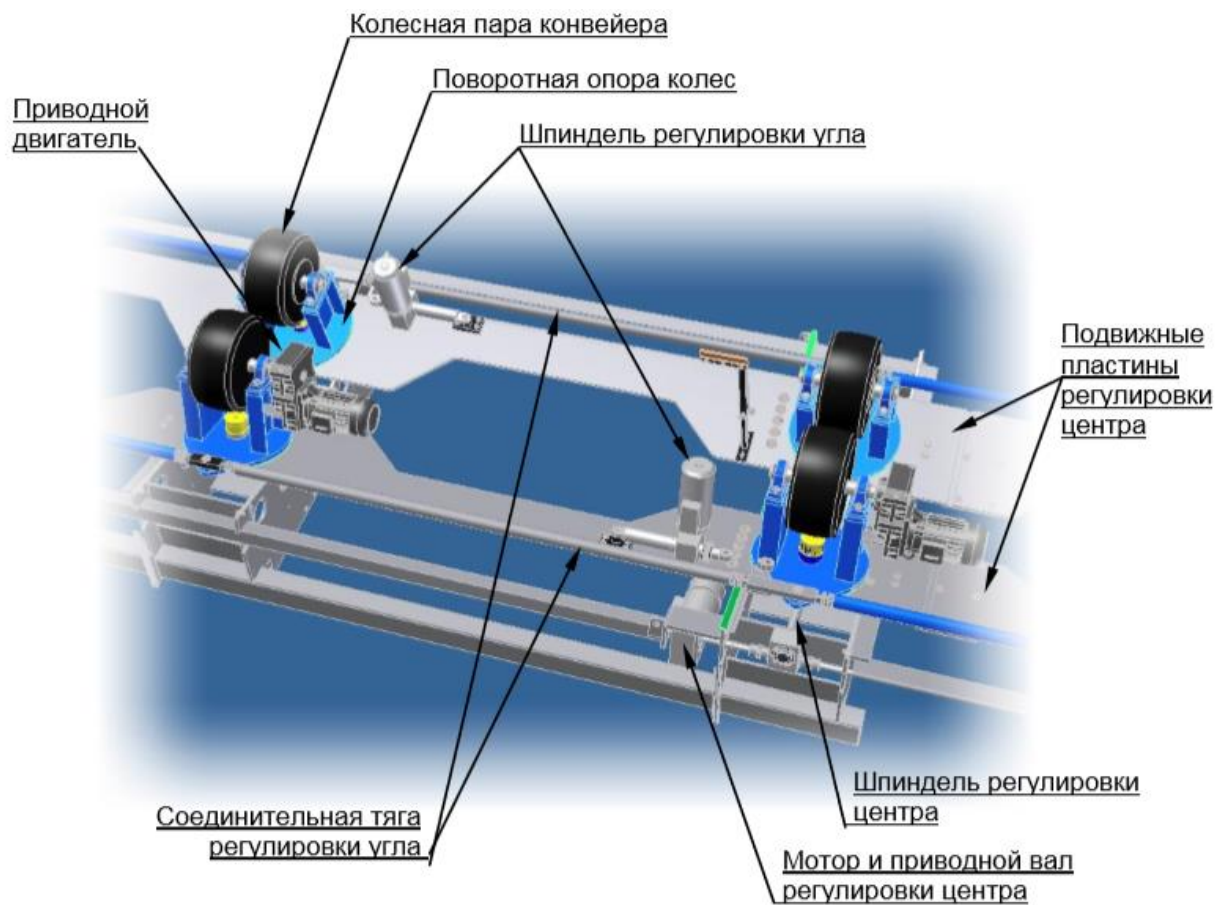


Рисунок 3 – внешний вид конвейера дробеструйной машины

Последовательность действий в работе разрабатываемой мехатронной системы можно разделить на 3 основных этапа

1. Конвейер на который установлена новая труба ожидает сигнал от датчика для начала работы

2. После получения сигнала конвейер начинает работу, которую можно разделить на 2 подэтапа

- Первый заключается в сокращении разрыва расстояния между трубами до определенного значения

- Второй включает в себя сокращение оставшегося расстояния и постепенное приравнивание скоростей труб для исключения удара во время стыковки труб

3. Конвейер работает с постоянной скоростью без необходимости изменять скорость, до тех пор пока труба не пройдет первую зону, после чего система останавливается и завершает цикл работы.

### 1.3 Требования к приводам и системе автоматизации

Требования предъявляемые к приводам и системе автоматизации зависят от технологического процесса

На основе технологического процесса конвейера дробеструйной машины а так же его задач были сформулированы следующие требования:

- Статическая ошибка регулирования угловых скоростей не более 5%;
- Возможность обеспечить необходимую линейную скорость транспортировки продукта 0,14 м/с

- Диапазон регулирования угловых скоростей 1:10;

- Степень защиты электродвигателей не ниже IP54

К задачам системы управления конвейером дробеструйной машины относится необходимость собирать и обрабатывать информацию о расстоянии

между продукцией в пределах датчика, а так же управлять скоростью рольгангов на основе полученных данных и синхронизировать их скорость работы после стыковки труб. На основании задач системы автоматизации, сформулированы следующие требования:

- Высокое быстродействие, время выполнения логической операции не более 0,4 мкс;
- Поддержка функций регулирования технологической координаты;
- Поддержка интерфейса типа Profibus/Profinet;
- Встроенный интерфейс Ethernet

#### 1.4 Выбор системы привода

Выбор системы привода – одна из основных задач, включаемых в перечень мероприятий по разработке мехатронной системы. Для ее решения необходимо учесть следующие параметры:

1. Основное предназначение машины – «контроль» и транспортировка продукции;
2. Продолжительные нагрузки на привод без длительных пауз;
3. Обеспечение стабильных показателей угловых скоростей вращения приводных колес;

Наиболее оптимальным вариантом, подходящим под вышеописанные параметры, является использование асинхронного мотор-редуктора. Асинхронный двигатель способен поддерживать бесперебойное производство в необходимом темпе в течение продолжительного периода времени, а так же имеет относительно небольшую цену, прост обслуживания и имеет возможность регулировать скорость при помощи преобразователей частоты.

## 1.5 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы

Таблица 1 – Параметры колеса

$D_{\text{кол}}, \text{ м}$	0,36
$d_{\text{подшип}}, \text{ м}$	0,165
Резиновый слой, м	0,025
$D_{\text{стали}}, \text{ м}$	0,335
$l_{\text{рол}}, \text{ м}$	0,3
$N_{\text{кол}}, \text{ шт}$	8
$t_{\text{раб}}, \text{ сек}$	342,4
$t_{\text{цикл}}, \text{ сек}$	537,2

Примем 1 ролик как 2 колеса, тогда сила трения качения для 1 ролика составит:

$$F_1 = m_1 \cdot g \cdot \frac{2 \cdot f}{D_{\text{рол}}} \quad (1)$$

где  $m_1 = 28000 / (8/2) = 7000$  – кг масса трубы, приходящаяся на 1 ролик

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;

$f = 0,0008$  – коэффициент трения качения, м.

$$F_1 = 3500 \cdot 9,81 \cdot \frac{2 \cdot 0,0012}{0,36} = 228,9 \text{ Н}$$

Сила трения в подшипниках роликов:

$$F_2 = g \cdot \mu_1 \cdot \frac{d_{\text{подшип}}}{D_{\text{рол}}} \cdot (m_r + m_1) \quad (2)$$

где  $\mu_1 = 0,005$  – коэффициент трения в подшипниках;

$m_r$  – масса одного ролика, кг.

$$m_k = m_{\text{ст}} + m_{\text{рез}} \quad (3)$$

$$m_{\text{ст}} = \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ст}} \quad (4)$$

$$m_{\text{рез}} = \rho_{\text{рез}} \cdot V_{\text{рез}} \quad (5)$$

$$V_{\text{ст}} = \left( \frac{\pi \cdot D_{\text{ст}}^2 \cdot L}{4} - \frac{\pi \cdot d_{\text{подшип}}^2 \cdot L}{4} \right) \quad (6)$$

$$V_{\text{рез}} = \left( \frac{\pi \cdot D_k^2 \cdot L}{4} - \frac{\pi \cdot D_{\text{ст}}^2 \cdot L}{4} \right) \quad (7)$$

$$V_{\text{ст}} = \left( \frac{3,14 \cdot 0,335^2 \cdot 0,15}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,165^2 \cdot 0,15}{4} \right) = 0,01 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{рез}} = \left( \frac{3,14 \cdot 0,36^2 \cdot 0,15}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,335^2 \cdot 0,15}{4} \right) = 0,00375 \text{ м}^3$$

$$m_{\text{ст}} = 7900 \cdot 0,01 = 79,1 \text{ кг}$$

$$m_{\text{рез}} = 1500 \cdot 0,0375 = 5,625 \text{ кг}$$

$$m_k = 79,1 + 5,625 = 84,725 \text{ кг} \quad (8)$$

$$m_r = 2 \cdot m_k$$

$$m_r = 2 \cdot 84,725 = 169,45 \text{ кг}$$

$$F_2 = 9,81 \cdot 0,005 \cdot \frac{0,165}{0,36} \cdot (3500 + 169,45) = 80,6 \text{ Н}$$

Момент сил сопротивления, приходящийся на весь роликанг:

$$M_c = \frac{\left( \frac{F_1 \cdot D_{\text{рол}}}{2} + \frac{F_2 \cdot d_{\text{подшип}}}{2} \right) \cdot N}{i \cdot \eta} \quad (9)$$

$$M_c = \frac{\left( \frac{228,9 \cdot 0,36}{2} + \frac{80,6 \cdot 0,165}{2} \right) \cdot 8}{15 \cdot 0,847} = 30,13 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент эквивалентный:

$$M_э = \sqrt{\frac{M_c^2 \cdot t_p}{t_u}} \quad (10)$$

$$M_э = \sqrt{\frac{30,13^2 \cdot 342,32}{537,2}} = 24,05$$

Момент номинальный выбираемого электродвигателя должен характеризовать возможность двигателя функционировать в режиме.  $k_3 = 1,2$  – коэффициент перегрузок

$$M_n = k_3 \cdot M_э \quad (11)$$

$$M_n = 1,2 \cdot 24,05 = 28,86 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Необходимая линейная скорость трубы на линии наружной очистки составляет  $v_{\text{уст}} = 0,0278$  м/с, максимальная скорость догоняющей трубы составляет  $v_{\text{max}} = 0,131$ , а ускорение при котором труба разгоняется до максимальной скорости и затормаживает при стыковки составил  $a = 0,02345 \text{ м/с}^2$ . Длина датчика  $S_d = 1,9 \text{ м}$ , расстояние на которое удаляется труба от начала датчика при котором начинает свое движение догоняющая  $S_c = 0,5 \text{ м}$ , расстояние до конца датчика на котором должна произойти стыковка

труб  $S_k=0,4\text{м}$ , расстояние между догоняющей трубой, в момент начала движения, до датчика  $S_n=3\text{м}$ , передаточное число мотор редуктора  $i=15$

Исходя из данных описанных выше вычислим остальные необходимые данные:

Линейная скорость колеса:

$$v_k = \frac{v_{уст}}{\sin(5)} \quad (12)$$

$$v_k = \frac{0,0278}{0,087} = 0,32\text{м / с}$$

Угловая скорость колеса:

$$\omega_k = \frac{v_k \cdot 2}{D_k} \quad (13)$$

$$\omega_k = \frac{0,32 \cdot 2}{36} = 1,77\text{рад / с}$$

Частота вращения колеса:

$$n_k = \frac{\omega_k \cdot 30}{\pi} \quad (14)$$

$$n_k = \frac{1,77 \cdot 30}{3,14} = 16,9\text{об / мин}$$

Угловая скорость и частота вращения мотора после стыковки труб составит:

$$\omega_{дп} = \omega_k \cdot i \quad (15)$$



$$\omega_{дп} = 1,77 \cdot 15 = 26,55 \text{ рад / с}$$

$$n_{дп} = n_k \cdot i \quad (16)$$

$$n_{дп} = 16,9 \cdot 15 = 253,5 \text{ об / мин}$$

Из уже известных данных найдем параметры мотор-редуктора до совершения стыковки.

Время которое труба движется с максимальной скоростью

$$t_{мск} = \frac{S_d - S_c - S_k}{v_{уст}} - t_p - t_m \quad (17)$$

Время разгона:

$$t_p = \frac{v_m}{a} \quad (18)$$

$$t_p = \frac{0,131}{0,02345} = 5,6 \text{ с}$$

Время стыковки

$$t_{ст} = \frac{v_m - v_{уст}}{a} \quad (19)$$

$$t_{ст} = \frac{0,131 - 0,0278}{0,02345} = 4,4 \text{ с}$$

Параметры колес при максимальной скорости трубы:

$$\omega_{км} = \frac{v_m \cdot 2}{D_k} \quad (20)$$

$$\omega_{\text{км}} = \frac{1,74 \cdot 2}{0,36} = 8,36 \text{ рад / с}$$

$$n_{\text{км}} = \frac{\omega_{\text{км}} \cdot 30}{\pi} \quad (21)$$

$$n_{\text{км}} = \frac{8,36 \cdot 30}{3,14} = 79,83 \text{ об / мин}$$

Параметры мотор-редуктора при максимальной скорости трубы:

$$\omega_{\text{дм}} = \omega_{\text{км}} \cdot i \quad (22)$$

$$\omega_{\text{дм}} = 8,36 \cdot 15 = 125,4$$

$$n_{\text{дм}} = n_{\text{км}} \cdot i \quad (23)$$

$$n_{\text{дм}} = 79,83 \cdot 15 = 1197,5 \text{ об / мин}$$

Номинальная частота вращения вала выбираемого мотор-редуктора должна быть больше или равна расчетной частоте

$$n_{\text{н}} \geq n_{\text{дм}} \quad (24)$$

$$1440 \text{ об / мин} \geq 1197,5 \text{ об / мин}$$

А номинальная мощность должна соответствовать следующему соотношению:

$$P_{\text{н}} \geq M_{\text{н}} \cdot \omega_{\text{дм}} \quad (25)$$

$$P_{\text{н}} \geq 3827,6 \text{ Вт}$$

На основании рассчитанных данных, а именно частоты вращения и мощности, был выбран асинхронный мотор-редуктор фирмы BAURER с цилиндрическим редуктором типа BF30.[4] Параметры выбранного оборудования приведены в таблице 2

Таблица 2 – Параметры мотор-редуктора

$P_{\text{ном}}$ , кВт	5,5
$n_{\text{ном}}$ , об/мин	1440
$I_{\text{ном}}$ , А	11,5
$\eta$ , %	84,7
$I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$	6
$M_{\text{пуск}}/M_{\text{н}}$	2,2
$M_{\text{макс}}/M_{\text{н}}$	2,6
$J$ , кг*м <sup>2</sup>	0,0276
$S$ , %	5
$i$	15



Рисунок 4 – Выбранный мотор-редуктор

Для того, чтобы оценить соответствие выбранного электродвигателя заданным параметрам и его работоспособность в известных эксплуатационных условиях, проводится проверка двигателя на перегрев и перегрузочную способность, а так же строится нагрузочная диаграмма.

Момент номинальный выбранного электродвигателя рассчитывается:

$$M_n = \frac{P_n \cdot 30}{n_n \cdot \pi} \quad (26)$$

где  $P_n$  – номинальная мощность мотор–редуктора,

$n_n$  – номинальное число оборотов мотор–редуктора,

$$M_n = \frac{5500 \cdot 30}{1440 \cdot 3,14} = 36,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Суммарный момент инерции системы:

$$J_{\text{сум}} = J_{\text{мр}} + \frac{J_{\text{рол}} \cdot N}{i^2} \quad (27)$$

где  $J_{\text{мр}}$  момент инерции мотор-редуктора,

$J_{\text{рол}}$  момент инерции одного ролика.

$$J_{\text{рол}} = \frac{1}{2} \cdot m_r + \left( \left( \frac{D_{\text{рол}}}{2} \right)^2 + \left( \frac{d_{\text{подшип}}}{2} \right)^2 \right) \quad (28)$$

$$J_{\text{рол}} = \frac{1}{2} \cdot 169,76 + \left( \left( \frac{0,36}{2} \right)^2 + \left( \frac{0,165}{2} \right)^2 \right) = 3,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{\text{сум}} = 0,0276 + \frac{3,3 \cdot 8}{15^2} = 0,136$$

Время цикла у обоих мотор редукторов будет одинаковым, будут различаться лишь время их работы так как один из них расположен на расстоянии 7м от начала трубы, а второй 13м .

Уравнение движения привода одномассовой системы:

$$M_i = M_c \pm J_{\text{сум}} \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (29)$$

Расчет моментов для всех этапов технологического процесса:

Участок разгона:

$$M_1 = 30,13 + 0,136 \cdot \frac{125,4}{5,6} = 33,17 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Участок с максимальной скоростью:

$$M_2 = 30,13 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Участок стыковки:

$$M_3 = 430,13 + 0,136 \cdot \frac{26,55 - 125,4}{5,6} = 27,08 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Участок после стыковки:

$$M_4 = 30,13 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Участок завершения работы:

$$M_5 = 30,13 + 0,136 \cdot \frac{0 - 26,55}{1,2} = 27,128 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Так как в каждой зоне используется 2 асинхронных мотор-редуктора, то нагрузочная диаграмма и тахограмма были рассчитаны для обоих из них для рассмотрения различий в их работе. Так же стоит отметить что время цикла работы у обоих двигателей одинаковое, так как начинают работу они в один момент времени.

Полученные данные для второго двигателя были представлены на рисунке 5 и рисунке 6, тахограмма и нагрузочная диаграмма соответственно. Графики для первого двигателя изображены на рисунке 7 и рисунке 8 в аналогичном порядке.

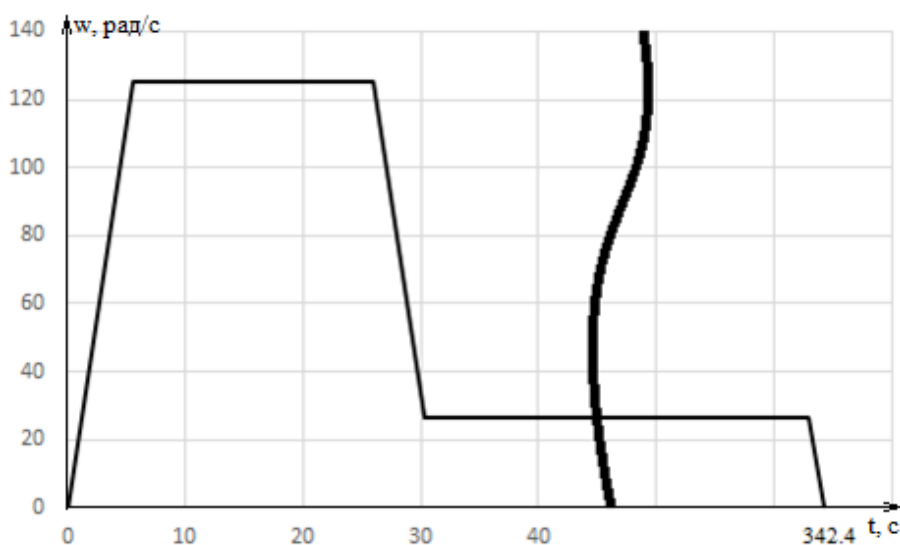


Рисунок 5 – тахограмма второго мотор-редуктора

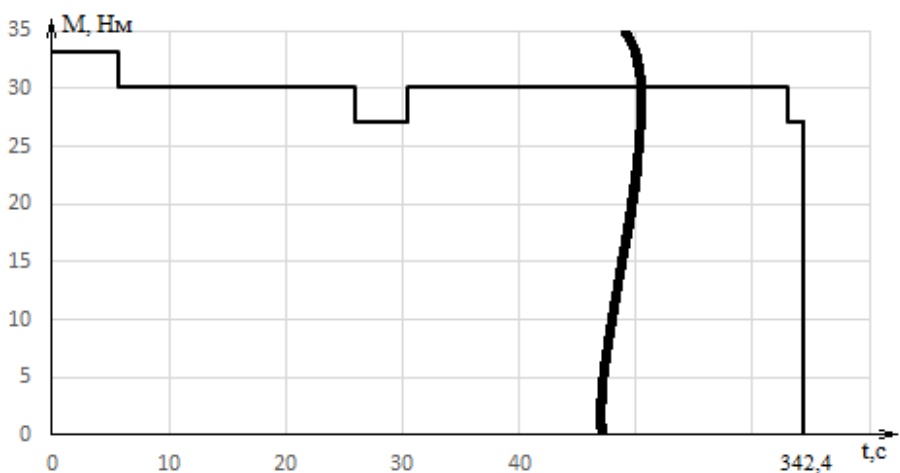


Рисунок 6 – нагрузочная диаграмма второго мотор-редуктора

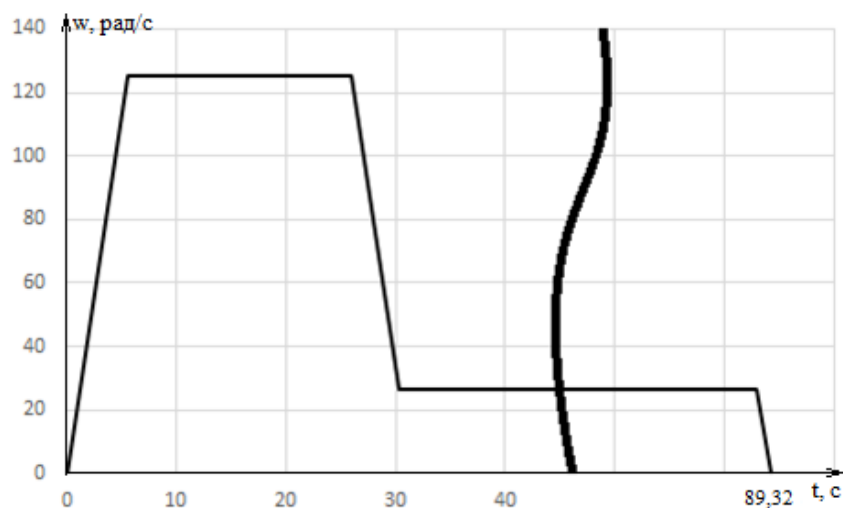


Рисунок 7 – тахограмма первого мотор-редуктора

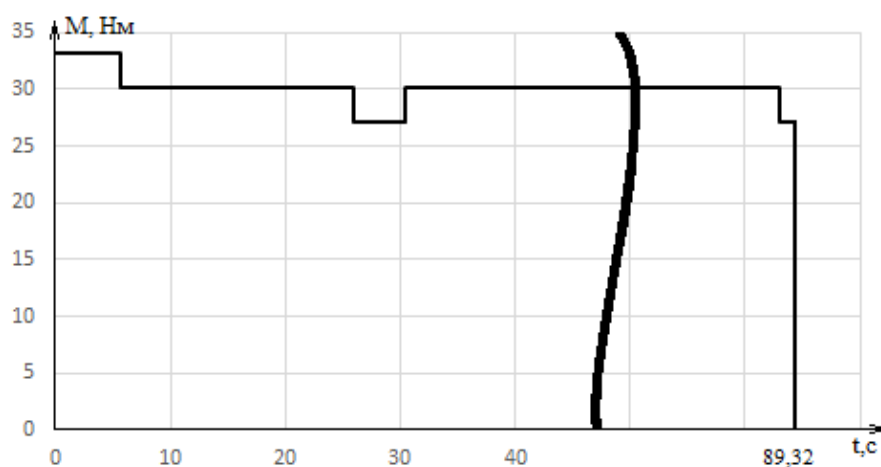


Рисунок 8 – нагрузочная диаграмма первого мотор-редуктора

Так как при сравнении получившихся графиков для первого и второго мотор-редукторов различия составили только общее время работы, а так как время цикла не изменится и рассматриваемый промежуток времени, а именно процесса сокращения расстояния между трубами, идентичный в обоих случаях, то в дальнейшем будет рассматриваться только второй мотор редуктор.

На основании полученных и паспортных величин моментов проводится проверка на перегрев и перегрузку выбранного электродвигателя.

Способность двигателя выдерживать перегрев проверяется следующим соотношением:

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_{\text{разг}} + M_2^2 \cdot t_{\text{устм}} + M_3^2 \cdot t_{\text{торм}} + M_4^2 \cdot t_{\text{уст}} + M_5^2 \cdot t_{\text{ост}}}{t_{\text{ц}}}} \quad (30)$$

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{43,98^2 \cdot 5,6 + 40,94^2 \cdot 25,97 + 37,9^2 \cdot 4,4 + 40,94^2 \cdot 25,97 + 37,9^2 \cdot 342,32}{537,2}} =$$

$$= 30,13 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Рассчитанный эквивалентный момент меньше нежели номинальный момент двигателя, следовательно, выбранный электродвигатель прошел проверку на перегрев.

Проверка двигателя на устойчивость по перегрузочной способности осуществляется по следующему неравенству

$$M_{\text{мах рассчитанный}} \leq M_{\text{мах справочный}} \quad (31)$$

Максимальным расчетным моментом является момент, прикладываемый во время разгона роляганга, 33,17Н·м.

Максимальный справочный момент для электродвигателя определяется из соотношения максимального и номинального моментов (паспортная величина). В данном случае:

$$M_{\text{мах справочный}} = 2,6 \cdot M_{\text{ном}} \quad (32)$$

$$M_{\text{мах справочный}} = 36,5 \cdot 2,6 \text{ Н} = 94,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$33,17 \leq 94,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Паспортная способность двигателя выдерживать перегрузку удовлетворяет необходимым расчетным требованиям системы по нагрузке[5]

## 1.6 Выбор основного силового оборудования



Основной целью разработки мехатронной системы контроля зазора между трубами дробеструйной машины является снижение брака продукции, происходящего из-за удара труб при процессе стыковки. Система контроля расстояния между трубами и регулировки скорости движения трубы по рольгангам решает эту проблему.

Установка преобразователей частоты для изменения и контроля скорости электродвигателя, приводящего в движение роликовые конвейера, позволяет осуществлять регулировку скоростей исполнительных органов – роликов – в зависимости от расстояния на котором находятся трубы. Уменьшение бракованной продукции приведет к увеличению продаж и экономии на себестоимости бракованной продукции.

Выбор частотного преобразователя обосновывается максимальным токопотреблением, режимом работы всего электропривода (величина и длительность перегрузок) и способностью самого преобразователя к работе в режиме перегрузок. Помимо прочего, выбранный преобразователь частоты должен способствовать обеспечению выполнения предъявляемых к приводу и системе автоматизации технологических требований. [6]

Выбор осуществляется на основании выполнения следующего соотношения: [8]

$$I_{\text{ном}}^{\text{пч}} \geq \frac{\lambda_{\text{двиг}}}{\lambda_{\text{пч}}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{двиг}} \quad (33)$$

где  $I_{\text{пч.ном}} = 62 \text{ А}$  – номинальный ток, потребляемый преобразователем частоты;

$\lambda_{\text{двиг}} = 2,6$  – паспортная перегрузочная способность двигателя;

$\lambda_{\text{пч}} = 1,5$  – паспортная перегрузочная способность преобразователя частоты при увеличении перегрузок не более 150% и длительности не более 1 минуты;

$I_{\text{двиг.ном}} = 11,5 \text{ А}$  – номинальный ток, потребляемый двигателем.

$$62 \geq \frac{2,6}{1,5} \cdot 11,5 = 19,9\text{A}$$

Параметры выбранного преобразователя частоты представлены в таблице 3, а внешний вид на рисунке 9.



Рисунок 9 – Преобразователь частоты G120

Таблица 3 – Характеристики преобразователя частоты

Sinamics	G120 pm250
Мощность, кВт	32
Номинальный ток, А	62
Встроенный коммуникационный интерфейс	profinet
Питающее напряжение, В	380
Перегрузочная способность	1,5
Степень защиты	IP65

## 1.7 Защиты привода, расчет уставок защитных устройств

Защиты привода – средства, направленные на превентивную блокировку аварийной ситуации, влекущую за собой выход из строя технологического оборудования и нарушение/прекращение технологического процесса производства в случае невыполнения нормальных эксплуатационных условий или сбоев в работе электродвигателя.

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок», каждая электроустановка, в том числе и электродвигатели, необходимо снабжать автоматическими выключателями, прерывающими работу электропривода в случае возникновения больших перегрузок и коротких замыканий.

Автоматический выключатель — контактный коммутационный аппарат (механический или электронный), способный включать токи, проводить их и отключать при нормальных условиях в цепи, а также включать, проводить в течение нормированного (заданного) времени и автоматически отключать токи при нормированных ненормальных условиях в цепи, таких как токи короткого замыкания

Выбранный автоматический выключатель должен удовлетворять условие:

$$\begin{aligned} U_{\text{НОМ}}^{\text{QF}} &= U_{\text{НОМ}}^{\text{ДВИГ}} \\ I_{\text{НОМ}}^{\text{QF}} &\geq I_{\text{НОМ}}^{\text{ДВИГ}} \end{aligned} \quad (34)$$

где  $U_{\text{QF.НОМ}}$  — номинальное напряжение автомата, В;

$U_{\text{ДВИГ.НОМ}}$  — номинальное напряжение электродвигателя, В;

$I_{\text{QF.НОМ}}$  — номинальный ток автомата, А;

$I_{\text{ДВИГ.НОМ}}$  — номинальный ток электродвигателя, А.

Из каталога был выбран автоматический выключатель фирмы shneider [8], внешний вид которого представлен на рисунке 10, а технические характеристики указаны в таблице 4

Таблица 4 Технические характеристики автомата защиты

Номин. продолжительный ток, А	14
Тип расцепителя:	термомагнитный
Номин. коммутируем. мощность, кВт	5,5
Диапазон уставки тока расцепления:	9



Рисунок 10 – Автомат защиты двигателя

Помимо автоматов защитного отключения, для защиты электропривода используются термодатчики, располагающиеся внутри электродвигателей, сигнализирующие о превышении допустимого уровня нагрева посредством изменения своего сопротивления в зависимости от температуры; сетевые дроссели, устанавливающиеся на вход преобразователей частоты и ограничивающие привод от сетевых помех; фильтра, компенсирующие реактивную мощность и подавляющие прочие помехи; блоки динамического торможения.

## 2 РАЗРАБОТКА САУ

### 2.1 Разработка архитектуры системы автоматизации

Для поддержания разработанного алгоритма выполнения работы оборудования в автоматическом режиме необходима система позволяющая выполнять данный алгоритм без участия человека при выполнении ее циклов. Спроектированная система должна соблюдать технологические требования и выполнять поставленные задачи, обрабатывать информацию приходящую на датчики и управление электроприводами установки.

В иерархии системы управления верхний уровень занимает система MES (Manufacturing Execution System). Эта система выполняет упорядоченную обработку информации о ходе изготовления продукции в различных цехах предприятия, обеспечивает управление качеством и предоставляет в реальном времени необходимую информацию для следующих уровней управления предприятием. Серверы технологических данных и автоматизированные рабочие места операторов технологического оборудования образуют SCADA-системы, верхний уровень АСУ ТП. SCADA – аббревиатура от английского Supervisory Control and Data Acquisition, что переводится как «сбор данных и диспетчерское управление». Серверы обеспечивают работу SCADA-системы, поддерживая протокол обмена данными с технологическими устройствами (контроллерами, интеллектуальными датчиками и исполнительными механизмами) и протокол работы с сетью персональных компьютеров.

Идущий следом уровень АСУ ТП – это уровень взаимодействия оператора с оборудованием SCADA. На этапе обработки трубы этот уровень реализован следующим образом: оператор сидящий в кабине недалеко от агрегата следит за технологическим процессом и непосредственно выявляя ошибки в работе дробеструйной машины.

Два нижних уровня, являются исследуемыми и модернизируемыми в данной работе.

В предпоследнем уровне осуществляется автоматизированное управление технологическим процессом. В рассматриваемой системе контроллер отвечает за синхронизацию работы исполнительных механизмов приводов рольганга по заданному режиму работы, а так же регулирует выходные координаты на основании полученной информации, поступающей от датчиков наличия трубы и расстояния. Обменивается информация с верхним уровнем с помощью сети Ethernet.

Нижний уровень полностью состоит из исполнительных механизмов и измерительных приборов. На основе данных полученных от датчиков на этом уровне и задаются необходимые алгоритмы воздействия на более высоких уровнях

Разработка мехатронной системы дробеструйной машины контроля зазора между трубами на последних двух уровнях основывается на технологическом процессе, исключения удара при стыковки труб подробно рассмотренным в пункте 1.3

Процесс стыковки труб будет происходить на основании полученных данных от датчика расстояния и датчика наличия трубы. Мотор-редуктор начинает свое вращение после получения двух сигналов, а именно от датчика наличия трубы при появлении трубы на рольганге и сигнала датчика расстояния при достижении предыдущей трубы необходимого расстояния от самого датчика расстояния. Информация собранная датчиками поступает на контроллер, который подает управляющий сигнал на исполнительный механизм, представленный преобразователем частоты и асинхронным мотор-редуктором. Управление скоростью вращения асинхронных двигателей осуществляется преобразователями частоты, непосредственно связанными с приводами, в зависимости от поданного с контроллера сигнала

Разработанная АСУ ТП представлена на рисунке 11

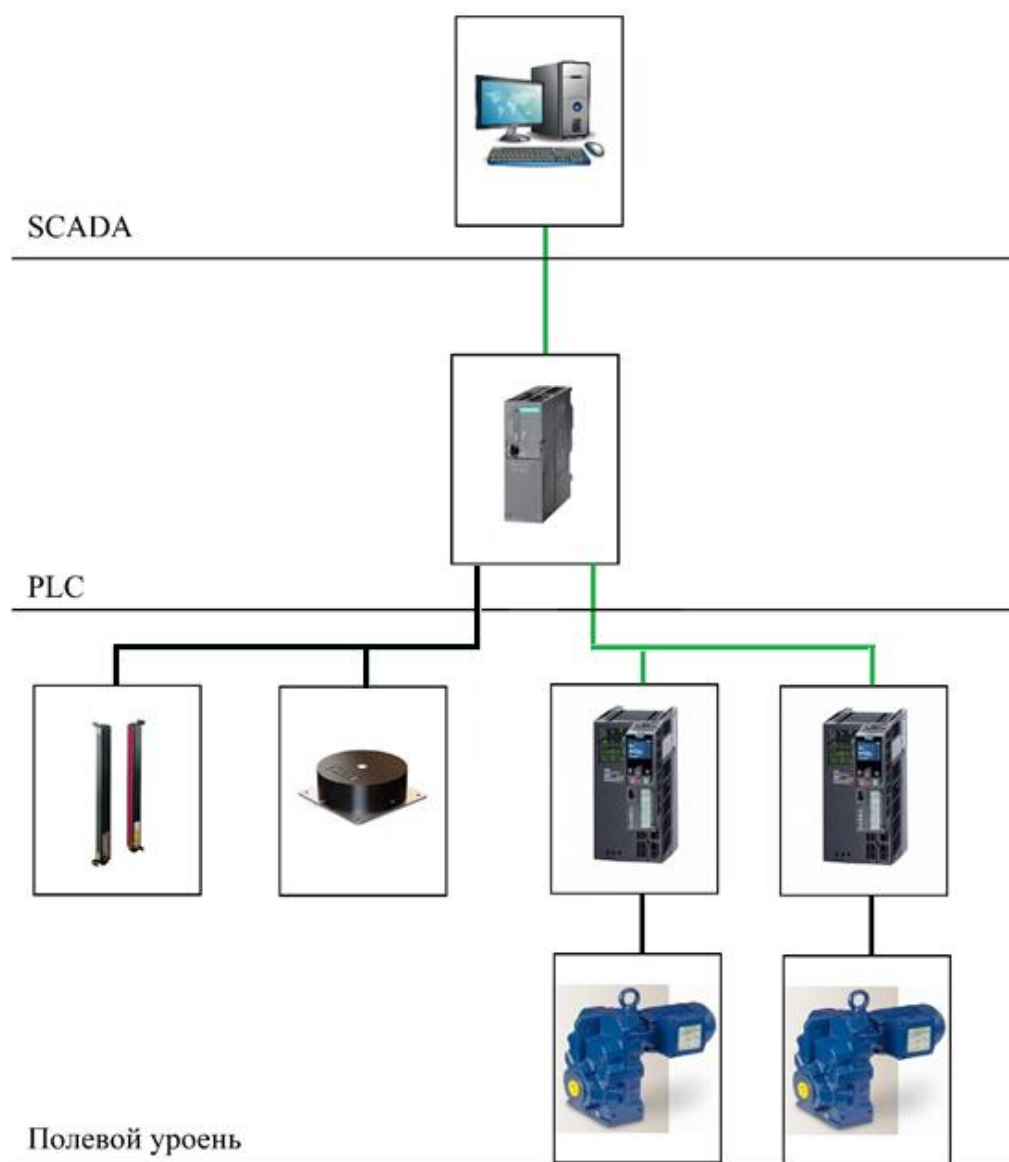


Рисунок 11 – Архитектура нижних уровней системы автоматизации

## 2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат

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.

Siemens Simatic S7-300 – это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения систем автоматизации низкой и средней сложности. 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.

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.

В качестве программируемого контроллера было решено оставить уже установленный Siemens Simatic S7-300 CPU 315-3PN/DP.

CPU 315-3 PN/DP - это 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. Он может использоваться в качестве центрального контроллера производственной линии или для автоматизации машин, предъявляющих повышенные требования к скорости обработки информации.



Рисунок 12 – Программируемый логический контроллер

Для контроля включения и выключения рольгангов рассматриваемой зоны дробеструйной машины был выбран индуктивный датчик наличия трубы ISN IC7P5-43P-R50-LZS4. Данные по выбранному датчику представлены в таблице 2.1.

Таблица 5 – Параметры индуктивного датчика ISN IC7P5-43P-R50-LZS4.

Диапазон рабочих температур, °C	-25...+75
Степень защиты	IP65
Максимальный рабочий ток, mA	400
Частота переключения, Гц	100
Номинальный зазор, мм	28...60

Индуктивный датчик (бесконтактный индуктивный выключатель) - это устройство, реагирующее только на металл. Принцип действия таких устройств основан на изменении амплитуды колебаний генератора при

внесении в чувствительную зону выключателя металлического, магнитного, ферромагнитного или аморфного материала определенных размеров. При подаче питания на конечный выключатель в области его чувствительной поверхности образуется изменяющееся магнитное поле, наводящее во внесенном в зону материале вихревые токи, которые приводят к изменению амплитуды колебаний генератора. В результате вырабатывается аналоговый выходной сигнал, величина которого изменяется от расстояния между устройством и контролируемым предметом. Триггер преобразует аналоговый сигнал в логический, устанавливая уровень переключения и величину гистерезиса.

Для контроля скоростей двух асинхронных двигателей для правильной стыковки труб идущих друг за другом необходимо установить дополнительный датчик размера, который будет определять расстояние между трубами и при достижении заданных параметров будет подавать сигнал.

Измерительный световой индикатор Banner A-GAGE® MINI-ARRAY идеально подходит для работы в таких условиях, как определение размеров продукта, управление кромками и направляющие по центру, управление натяжением петли, резьбовые детали отверстий и т.д.

Типичная система MINI-ARRAY состоит из следующих компонентов:

- Модуль контроллера
- Ресивер
- Эммитер

Система MINI-ARRAY обеспечивает широкий спектр чувствительности выходного сигнала, включает: режимы измерения («анализ сканирования») и методы сканирования, которые могут определять общий размер, общую высоту или общую ширину целевого объекта. Внешний вид датчика представлен на рисунке 2.3



Рисунок 13 – Датчик размера Mini array Bmel7232A

Технические параметры датчика размера представлены таблице 1.2

Таблица 6 – параметры датчика Mini array Bmel7232A

Количество встроенных датчиков	192
Расстояние между датчиками, мм	9,5
Длинна корпуса, мм	1880
Максимальное расстояние между эмиттером и ресивером, м	6,1
Минимальная чувствительность, мм	12,7

2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САР привода проектируемого агрегата

Объектами регулирования в разрабатываемой системе являются два привода установленные в первой зоне дробеструйной машины, отвечающие за сокращение расстояния между идущими друг за другом трубами. Для

требований к регулированию скоростей асинхронных двигателей на рисунке 14 приведена функциональная схема САР[10]

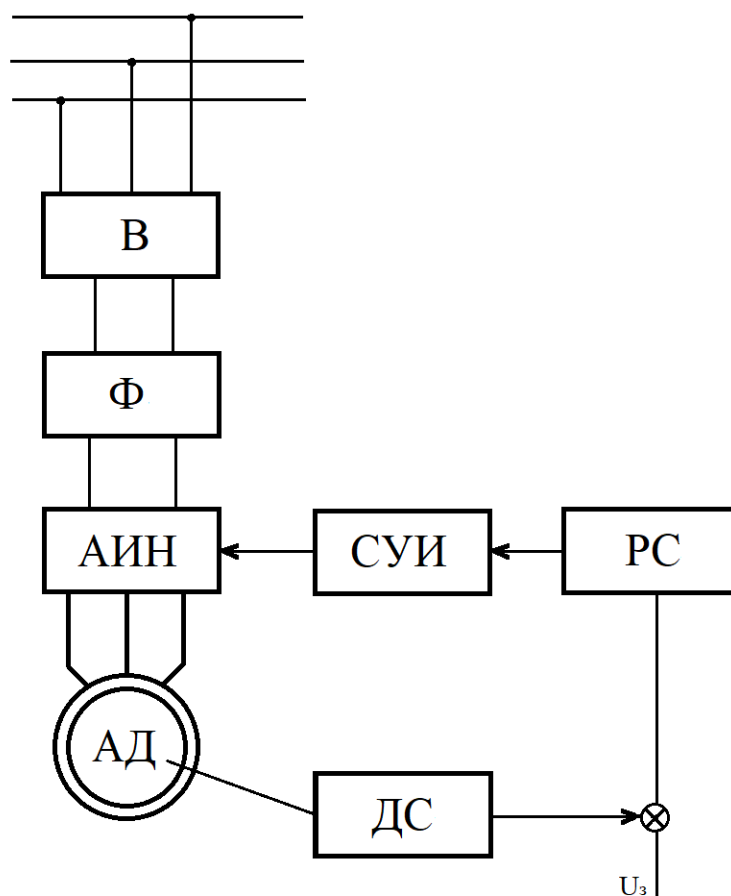


Рисунок 14 – Функциональная схема системы автоматического регулирования электроприводов рольгангов дробеструйной машины

Управляющее воздействие представляет собой сигнал задания ( $U_z$ ) на регулятор скорости

Функциональная схема САР привода представляет собой основные функциональные блоки привода (в состав системы регулирования входят: В – активный выпрямитель напряжения, АИН – автономный инвертор напряжения, СУИ – система управления инвертором, АД – асинхронный двигатель, РС – регулятор скорости, ДС – датчик скорости, Ф – фильтр

## 2.4 Разработка контура регулирования технологических координат

Разработка мехатронной системы дробеструйной машины подразумевает под собой систему контроля непрерывно поступающих труб для непрерывной работы наружно-очистительной установки. Регулируемыми координатами являются скорости вращения рольгангов.

Система контроля и регулирования этой координаты представляет собой последовательную структуру, во главе которой стоит контроллер, задающий задание на пуски остановку, а так же разгон и торможение до заданных скоростей.

САРС электроприводов рольгангов будет реализована по следующему алгоритму:

1. Сигналы о наличии трубы на конвейере по достижении определенного расстояния, поступающие от датчика наличия трубы и датчика расстояние являются ключевыми для начала работы рольгангов, с максимальной скоростью при которой труба догоняет вторую трубууже идущую во второй зоне работы дробеструйной машины.

2. После нового сигнала датчика расстояния о достижении определенного расстояния между трубами запускается процесс стыковки, в процессе которого скорость догоняющей трубы постепенно приравнивается к скорости догоняемой трубы.

3. После стыковки труб продолжается равномерное движение трубы до конца первой зоны дробеструйной машины, а после система встает в ожидание сигнала о наличии трубы.

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

Разработка структурной схемы системы автоматического управления (САУ) электропривода включает в себя формирование типовых звеньев,

реализующих функции объекта управления (электродвигателя), регуляторов (регулятора скорости со встроенным блоком-ограничителем), обратной связи (датчиков) и оптимизированного контура момента, на основе которого осуществляется регулирование технологической координаты привода – угловой скорости вращения вала электродвигателей, приводящих в движение роликовые конвейера. На рисунке 2.4 приведена обобщенная структурная схема реализации подчиненного регулирования угловой скорости электроприводов рольгангов машины контроля состояния участка фасовки готовой продукции в мягкую упаковку. Основными блоками, включаемыми в структурную схему, являются:

1. Объект управления – апериодическое звено, представляющее собой электродвигатель;
2. Система автоматического регулирования - оптимизированный контур момента, состоящий из преобразователя частоты, статорной цепи асинхронного двигателя и регулятора момента;
3. Регулятор скорости;
4. Обратная связь по скорости.

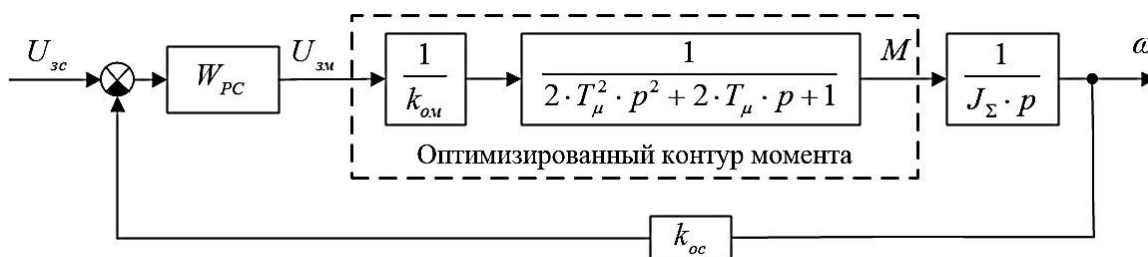


Рисунок 15 – Обобщенная структурная схема САУ

В теории автоматического управления допускается проводить аппроксимацию внутреннего оптимизированного контура момента, так как малая некомпенсируемая постоянная времени, отвечающая за время протекания переходного процесса, принимает незначительную величину (следовательно, второй порядок знаменателя звена окажет малое влияние на

общую картину регулирования). Помимо аппроксимации, последовательно к регулятору скорости необходимо подключить блок ограничения. Имея ввиду данные преобразования, приведем видоизмененную структурную схему системы автоматического управления приводами на рисунке 16.

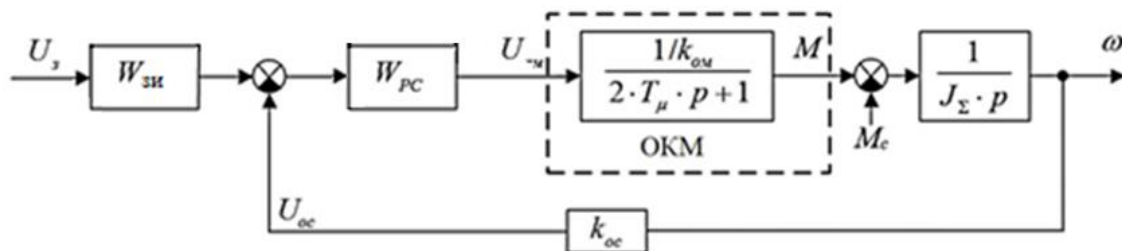


Рисунок 16 – Структурная схема системы автоматического управления с аппроксимированным ОКМ и блоком-ограничителем БО

Рассчитаем коэффициенты для формирования звеньев структурной схемы и последующего моделирования типовых режимов работы электроприводов в среде Matlab Simulink. Индекс «1» соответствует электроприводу отводящего роликового конвейера, индекс «2» – электроприводу «забирающего» роликового конвейера.

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$K_{oc} = \frac{U_{\max}}{\omega_{\max}}, \quad (35)$$

где  $U_{\max}$  – максимальное напряжение управления, В;

$\omega_{\max}$  – максимальная угловая скорость электродвигателя, рад/сек.

$$K_{oc} = \frac{U_{\max}}{\omega_{\max}} = \frac{10}{150.7} = 0,066$$



Передаточная функция пропорционально-интегрирующего регулятора скорости:

$$W_{PC} = K_{pc} \quad (36)$$

$$K_{PC} = \frac{J_{\Sigma} \cdot K_{ом}}{4 \cdot K_{oc} \cdot T_{\mu}} \quad (37)$$

$$K_{PC} = \frac{0,137 \cdot 0,105}{4 \cdot 0,08 \cdot 0,005} = 14,5$$

$$W_{PC} = 14,5 + \frac{14,5}{8 \cdot 0,005 \cdot p} = 14,5 + \frac{362,5}{p}$$

Коэффициент-ограничитель блока ограничения:

$$U_{зм.мах} = 10 \cdot \frac{M_{мах}}{M_{н}} \quad (38)$$

где  $M_{ном}$  – номинальный момент электродвигателя, н\*М.

$$U_{зм.мах} = 10 \cdot \frac{M_{мах1}}{M_{н1}} \quad (39)$$

$$U_{зм.мах} = 10 \cdot 2,6 = 26$$

Передаточная функция оптимизированного контура момента:

$$W_{ОКМ} = \frac{1/K_{ом}}{2 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1} \quad (40)$$

$$W_{ОКМ} = \frac{1/0,26}{2 \cdot 0,005 \cdot p + 1} = \frac{3,846}{0,01 \cdot p + 1}$$

Остальными исходными параметрами, необходимыми для построения математической модели типового режима работы электроприводов, являются значения времени работы и остановок электродвигателей, а так же данные с нагрузочных диаграмм, построенных в ходе подбора оборудования для разработки мехатронной системы дробеструйной машины. Регуляторы скорости и блоки-ограничители реализованы на базе звеньев «PID-Controller», для реализации остальных элементов модели были использованы стандартные звенья. Общая реализованная математическая модель работы электроприводов рольгангов машины контроля состояния представлена на рисунке 17.

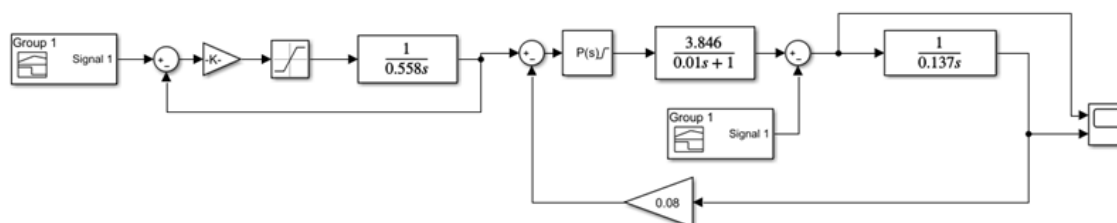


Рисунок 17 – Реализованная в среде Matlab математическая модель типового режима работы электроприводов исполнительных механизмов

Для оценки работы системы и понимания влияния нагрузки на итоговую величину регулируемой технологической координаты, приведем графики переходных процессов регулирования угловой скорости, а так же проанализируем качественные показатели системы автоматического регулирования скорости, такие как величина перерегулирования и время протекания переходного процесса (длительность достижения установившегося значения регулируемой величины). Регулирование скоростей двух электроприводов осуществляется в разные временные промежутки посредством задания управляющего воздействия на каждый из двигателей рольгангов в зависимости от требований к технологическому процессу фасовки и последующего контроля состояния групповой упаковки.

Графики переходных процессов представлены на рисунке 18.

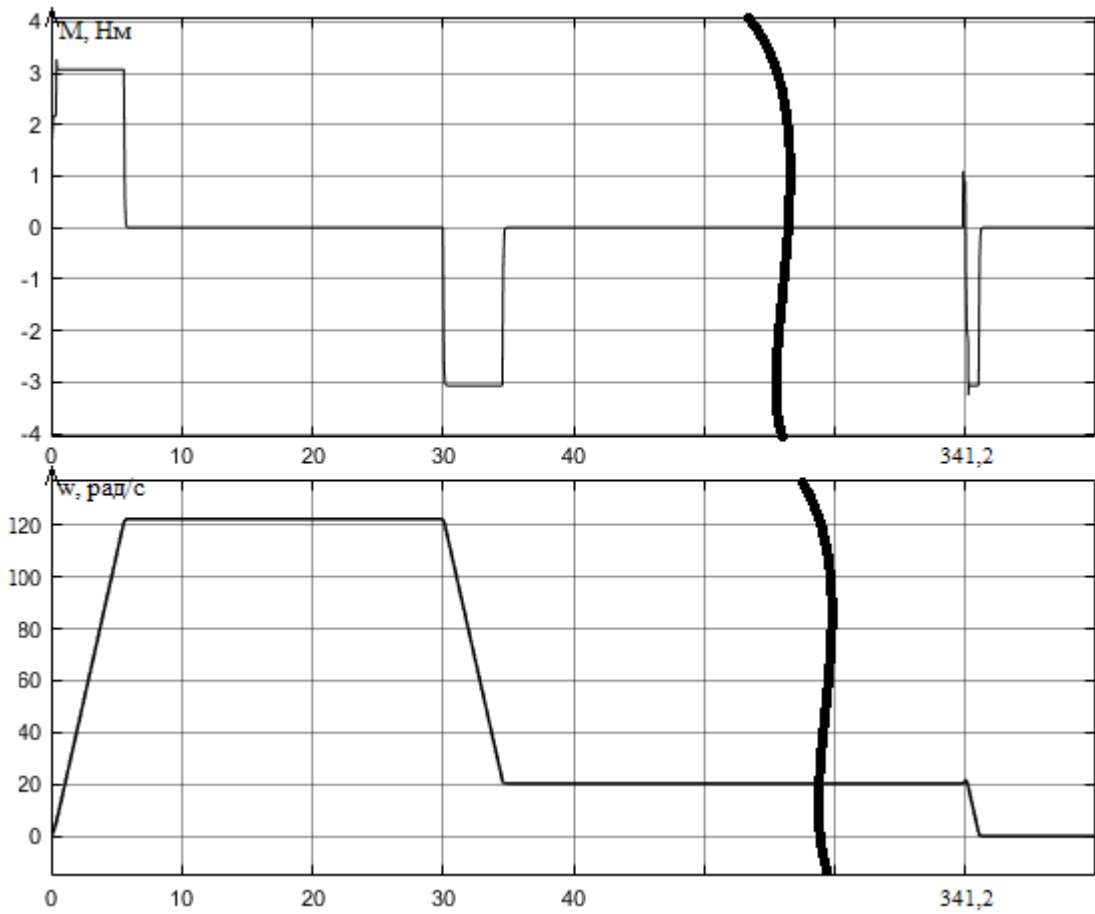


Рисунок 18 – Переходный процесс регулирования скорости

На графике переходных процессов видно, что в полученных результатах отсутствует перерегулирование, что полностью удовлетворяет требованию предъявляемому к разрабатываемой системе.

## 3 ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

### 3.1 Характеристика подразделения и выпускаемой продукции

Группа ЧТПЗ объединяет предприятия и компании черной металлургии: Челябинский трубопрокатный завод, Первоуральский новотрубный завод, складской комплекс, осуществляющий реализацию трубной продукции Группы в регионах, компанию по заготовке и переработке металлолома «МЕТА»; предприятия по производству магистрального оборудования «СОТ», «ЭТЕРНО», MSA (Чехия); нефтесервисный бизнес представлен компанией «Римера».

Основной целью Группы ЧТПЗ является комплексное удовлетворение потребностей российских и мировых компаний топливно-энергетического комплекса за счет разработки и поставки интегрированных решений для магистрального и внутрипромышленного трубопроводного транспорта.

Обладая достаточным количеством мощностей по производству сварных и бесшовных труб широкого сортамента, развитой системой складов, Группа ЧТПЗ позиционирует себя как эффективного универсального игрока на трубном рынке России и стран СНГ, специализирующегося на изготовлении трубной продукции для всех основных секторов экономики.

«Высота 239» — цех по производству труб большого диаметра, флагман Белой металлургии, запущенный в июле 2010 года на Челябинском трубопрокатном заводе. Необычное название связано с расположением: предприятие находится на высоте 239 метров над уровнем моря, выше остальных трубных заводов в мире. По мнению журналов Forbes, Афиша и жюри Best Building Awards, этот цех — одно из самых красивых промышленных зданий в мире.

Высота 239 — это первый инвестиционный проект в металлургической отрасли, реализованный благодаря государственным гарантиям. В конце 2008 года ЧТПЗ включили в список стратегических предприятий страны, а уже в

начале 2010 года «Газпромбанк» предоставил кредит в 5 млрд рублей на завершение строительства цеха.

Благодаря запуску «Высоты» российская топливно-энергетическая отрасль может полностью обеспечить себя трубами большого диаметра, необходимость в импорте отпала. Кроме этого, стратегическим партнером ЧТПЗ по выпуску труб большого диаметра на «Высоте 239» является Магнитогорский металлургический комбинат, реализовавший проект по строительству стана 5000.

Каждая труба проходит несколько этапов контроля, что позволяет гарантировать заказчикам высокое качество продукции. На «Высоте 239» трубы проходят ультразвуковой и рентгенотелевизионный контроль. Затем — обязательные гидравлические испытания, имитирующие процесс эксплуатации, но с большими нагрузками. По требованию заказчика на трубу может наноситься внутреннее и/или наружное антикоррозионное покрытие. Перед отправкой на участок отгрузки продукция маркируется и отправляется клиентам.

Благодаря использованию новейших технологий, "белая металлургия" ЧТПЗ разрушает один из наиболее устойчивых в прошлом стереотипов о том, что работа с металлом традиционно относится к "черным", грязным производствам — именно поэтому и для того, чтобы подчеркнуть высокую культуру производства, работники компании работают в белоснежной спецодежде.

Цех производит трубы большого диаметра для нефте- и газопроводов. Они предназначены для использования в строительстве магистральных трубопроводов в районах шельфовых разработок, сейсмически активных зонах, районах вечной мерзлоты, труднодоступной местности, при прокладке подводных и морских трубопроводов.

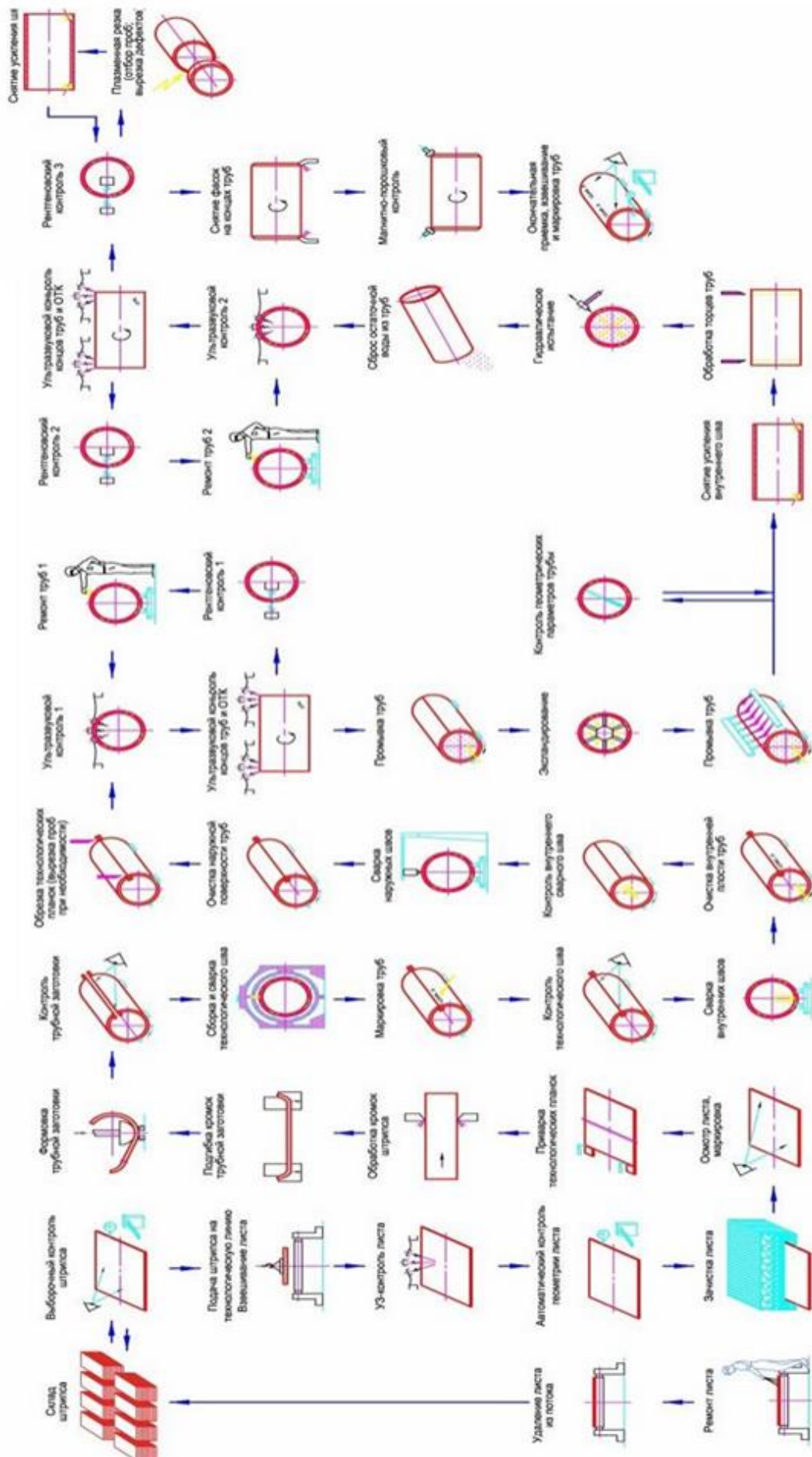


Рисунок 19 – Схема основных технологических операций

Сегодня основной продукцией компании являются:

- трубы электросварные диаметром 12 – 76 мм,
- трубы сварные большого диаметра 508 – 1422 мм (в том числе с покрытием: наружным и внутренним антикоррозионным, внутренним гладкостным),
- трубы бесшовные горячедеформированные диаметром 32 – 550 мм, в т.ч. нержавеющие диаметром 89 – 159 мм,
- трубы бесшовные холоднодеформированные диаметром 0,3 – 426 мм, в т.ч. нержавеющие диаметром 0,3 – 426 мм,
- насосно-компрессорные трубы диаметром 60 – 114 мм, обсадные трубы диаметром 114 – 178 мм и 245 – 426 мм, муфты к ним,
- профильные трубы,
- баллоны для сжатых газов,
- керамические флюсы для сварки и наплавки.

Используя информацию из методического пособия Т.В. Попп «определение экономической эффективности технических решений в дипломных проектах» буду дальше рассчитывать производственную программу цеха, смету капитальных затрат, показание прибыли и срок окупаемости.

### 3.2 Расчет производственной программы цеха

Таблица 7 - Производственная программа цеха

	План, т	Фактически, т	Фактически, шт
Отгрузка	453600	458863,764	97720
Стан «508-1420»			
Товарный выпуск	777000	71768,105	32167
НГП 1020		1896,723	615
НГП 1220		1106,273	173

Продолжение таблицы 7

НПП 1420	77700	11103,209	1167
НПП 530		19966,56	13664
НПП 630		9611,11	5088
НПП 720		12918,209	5940
НПП 820		13941,045	5334
НПП 914		0	0
УАПТ 630		51,490	26
Полуфабрикаты		389237,101	71045
Валовый выпуск	457500	461399,283	103240
УАПТ цеха «Высота 239»			
Товарный выпуск	375900	381245,422	65443
Итого	453600	454086,79	98111

Для увеличения эффективности производства труб большого диаметра, для уменьшения себестоимости законченного продукта, так же для увеличения расчетного плана, необходимо добиться снижения технологического цикла на каждом этапе обработки продукции, минимизировать количество бракованной продукции, сократить время на ремонт и уменьшить время простоя агрегатов цеха «Высота 239».

Для достижения вышеперечисленных факторов работники цеха «Высота 239» достигают путем модификации уже установленного оборудования и программного обеспечения или установки более современного ее аналога

Использование вышеперечисленных способов позволяют улучшить технико-экономические показатели без ухудшения качества выпускаемой продукции.



Годовой объем производства труб большого диаметра цеха «Высота 239» определяться по следующей формуле:

$$V_{\text{год}} = P \cdot T_{\text{фонд}} \quad (41)$$

где,  $V_{\text{год}}$  – годовой объем производства, тонн;

$P$  – производственная мощность станка, тонн/ч;

$T_{\text{фонд}}$  – годовой фонд рабочего времени станка, ч

Ранее было сказано, что цех «Высота 239» способен производить около 454086,79 тонн продукции в год, следовательно, это значение принимаем за годовой объем производства. Далее для полного расчета фактического годового фонда рабочего времени агрегата, необходимо из номинального времени работы данной установки вычитать время простоев. Время простоев определяется суммой времени аварии и внеплановых ремонтов. В свою очередь для определения номинальной работы любой установки необходимо из календарного исключить значение времени планово-предупредительных ремонтов.

Формула для расчета фактического годового фонда работы дробеметной установки:

$$T_{\text{фл}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{тп}} - T_{\text{ппр}} \quad (42)$$

где  $T_{\text{ппр}}$  – планово-предупредительные ремонты оборудования, ч;

$T_{\text{тп}}$  – текущие простои оборудования, ч.

$T_{\text{кал}}$  – Плановое время работы

В  $T_{\text{тп}}$  входит время которое в которое оборудование останавливалось по иным причинам, например внеплановые проверки, среднее число которое оборудование стоит в ожидании заказов, а так же из-за поломок оборудования

которое предшествует рассматриваемому в данной работе, так как нельзя выброть один из пунктов технического процесса создания трубы.

Так как цех «Высота 239» планоно работает 365 дней в году без праздников и выходных, с непрерывным производством, то Плановое время работы цеха составит:

$$T_{\text{кал}} = 365 \cdot 24 = 8760$$

Тогда время фактического годового фонда работы дробеметной установки составит:

$$T_{\text{ф1}} = 8760 - 735 - 600 = 7425 \text{ часов}$$

При расчете максимальной производительности агрегата, необходимо знать значение фактического годового фонда работы дробеметной линии, что было рассчитано выше, и необходимо знать годовой объём производства. Используя формулу (41), рассчитаем производительность цеха.

$$P_1 = \frac{V_{\text{1год}}}{T_{\text{фонд}}} \quad (43)$$

где,  $P_1$  – производительность до добавления системы

$V_1$  годовой объём выпускаемой продукции до добавления системы

$$P_1 = \frac{454086,79}{7425} = 61,156 \text{ тонн / час}$$

Разработка мехатронной системы конвейера линии дробеметной установки включает в себя установку датчика размера, который будет контролировать

расстояние между трубами. Так как на данный момент этот процесс выполняется оператором, то есть возможность что при увеличении скорости трубы которая только попала на конвейер он не сможет достаточно близко расположить ее к трубе которая уже находилась на конвейере, что в свою очередь приведет к удар труба об трубу и как следствие повреждение фасок на одной из труб и приведение одной из них, а может и сразу обеих в непригодное для использования состояние. Данный датчик позволит максимально точно контролировать расстояние между трубами и плавно уменьшать скорость идущей следом трубы, что позволит полностью избежать повреждений трубы на данном этапе.

Без использования данной мехатронной системы среднее количество отбракованных труб в год составляет примерно 87 труб. При использовании же этой системы количество бракованного продукта сводится к нулю.

Тогда производительность цеха после установки системы составит

$$P_2 = \frac{V_{2\text{год}} + (n_T \cdot m_T)}{T_{\text{фонд}}} \quad (42)$$

где,  $P_2$  производительность после добавления системы;

$V_2$  годовой объем выпускаемой продукции после добавления системы;

$n_T$  количество отбракованных труб при производстве без мехатронной системы;

$m_T$  средняя масса трубы.

$$P_2 = \frac{454086.79 + (87 \cdot 9)}{7425} = 61.262 \text{ тонн / час}$$

Тогда годовой объем производимой продукции составит

$$V_{2\text{год}} = V_{1\text{год}} + (n_T \cdot m_T) \quad (43)$$

В результате установки разработанной мехатронной системы дробеструйной машины станка, прогнозируется исключение бракованных труб следовательно, производительность и годовой выпуск продукции увеличится, значения показаны в таблице 1.

$$\Delta V_{\text{год}} = V_2 - V_1 \quad (44)$$

$$\Delta V_{\text{год}} = 454165,09 - 454086,79 = 783 \text{ тонн}$$

$$\Delta P_{\text{год}} = P_2 - P_1 \quad (45)$$

$$\Delta P_{\text{год}} = 61,262 - 61,156 = 0,106 \text{ тонн / час}$$

### 3.3 Расчет сметы капитальных затрат

Для определения экономической эффективности будущих изменений необходимо определить капитальные затраты на их внедрение.

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

$$K = C_{\text{об}} + T_p + Z_{\text{смп}} + Z_{\text{нр}} \quad (46)$$

где  $C_{\text{об}}$  – общая стоимость оборудования, руб;

$T_p$  – транспортные расходы, 6-10% от  $C_{\text{об}}$ , руб;

$Z_{\text{нр}}$  – непредвиденные расходы, , 3-5% от  $C_{\text{об}}$ , руб.

$Z_{\text{смп}}$  – строительные работы и монтажные работы, , 10-15% от  $C_{\text{об}}$ , руб;

В качестве устанавливаемого датчика был выбран BMEL7232A. Поставщиком данного продукта является иностранная компания BANNER. Цена на который составляет 78073,17 рублей.

Исходя из указанных выше данных, рассчитываем полный объем затрат на доставку и установку разработанной системы.

$$T_p = Ц_{об} \cdot 0,1 \quad (47)$$

$$T_p = 78073,17 \cdot 0,1 = 7807,317 \text{руб}$$

$$З_{сmp} = Ц_{об} \cdot 0,15 \quad (48)$$

$$З_{сmp} = 0,15 \cdot 78073,17 = 11710,97 \text{руб}$$

$$З_{np} = Ц_{об} \cdot 0,05 \quad (49)$$

$$З_{np} = 78073,17 \cdot 0,05 = 3903,66 \text{руб}$$

$$K = 78073,17 \cdot 7807,317 + 11710,97 + 3903,66 = 101495,12 \text{руб}$$

### 3.4 Расчет СРЭО

Эксплуатационные расходы, связанные с работой датчика:

- сумма амортизационных отчислений (А)
- потери электроэнергии (Э)
- стоимость ремонта оборудования (С<sub>тр</sub>)

Следовательно, величину на эксплуатацию системы электропривода можно рассчитать по формуле:

$$C = A + Э + C_{тр} \quad (50)$$

Расчёт амортизационных отчислений определяться на основе капитальных затрат на оборудование и нормы амортизации для него.

Норму амортизации находим по следующей формуле:

$$H_a = \frac{100}{T_a} \quad (51)$$

$$H_a = \frac{100}{12} = 8,3\%$$

где  $T_a$  – срок службы нового оборудования, лет.

Величина амортизации нового оборудования определится как:

$$A = \frac{K \cdot H_a}{100}, \quad (52)$$

$$A = \frac{101495,12 \cdot 8,3}{100} = 8424 \text{руб},$$

Стоимость ремонта и обслуживания нового оборудования складывается из множества факторов, но в рамках дипломного проекта примем 0.2 от А

$$C_{\text{тр}} = 0,2 \cdot 8424 = 1684,8 \text{руб}$$

Расчет потерь электроэнергии сличается по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = M \cdot \mathcal{C}_3 \cdot T_{\phi}, \quad (53)$$

где  $M$ – мощность на входе установки. Номинальная мощность установленного датчика составляет 0,018 кВт;

$T_{\phi}$ – фактическое время работы электрооборудования за год, ч;

$\mathcal{C}_3$  – себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии равная 3,1руб за кВт.

$$\mathcal{E} = 0,018 \cdot 3,1 \cdot 7425 = 414,32 \text{руб}$$

Таким образом, сумма годовых затрат на эксплуатацию системы электропривода составит:

$$C = 8424 + 414,32 + 1684,8 = 10523,12 \text{руб}$$

За процессом наблюдает 2 специалиста из службы общецехового оборудования, месячная тарифная ставка одного из них составляет:

$$185 \cdot 120 = 22200 \text{руб}$$

где 185 – часовая тарифная ставка оператора;

120 – среднегодовая норма часов в месяц.

Премияльная оплата труда (15 %):

$$22200 \cdot 0,15 = 3330 \text{руб}$$

Уральский коэффициент (15 %):

$$(22200 + 3330) \cdot 0,15 = 3829 \text{руб}$$

Таким образом, итоговой месячный фонд оплаты труда оператора технолога составит:

$$22200 + 3330 + 3829 = 29359 \text{руб}$$

Годовой ФОТ составляет:

$$29359 \cdot 12 = 352314 \text{руб}$$

Следовательно ФОТ двух специалистов составит

$$352314 \cdot 2 = 704628 \text{руб}$$

Отчисления в социальные нужды установлены в размере 30 % от общего фонда заработной платы (22 % в пенсионный фонд РФ, 5,1 % в федеральный фонд обязательного медицинского страхования, 2,9 % в территориальный фонд обязательного медицинского страхования). Таким образом, годовые отчисления на социальные нужды составят:

$$352314 \cdot 0,3 = 105694 \text{руб}$$

Годовые затраты на заработную плату одному оператору технологу составят:

$$352314 + 105694 = 458008 \text{руб}$$

Специалист из службы общецехового оборудования наблюдает за показаниями системы, принимает решения о необходимости ремонта и проводит технический осмотр.

### 3.5 Расчет показателей прибыли

Прибыль важнейшая составляющая показателя эффективности работы предприятия. Она определяется разностью выручки и затратами на производство.

Себестоимость – это стоимостное выражение суммы всех затрат, которые несет предприятие при производстве, хранении и сбыте продукции. А чистая прибыль является основным и главным показателем деятельности организации, на который она влияет.

Для оценки вклада в прибыль модернизируемого привода, получаемую от всех агрегатов, которые участвуют в технологическом процессе, необходимо



определить чистую прибыль, которая приходится на долю машины газовой резки.

По данным себестоимость тонны трубы составляет  $C_{1т}=50360$  рублей. Произведенная продукция реализуется уже как готовое изделие с наценкой 6% ( $K=1+6/100$ ). Тогда выручка от продаж рассчитывается по следующей формуле:

$$\Pi_{\text{цд}} = V_{\text{пр}} - C_{\text{общ}} \quad (54)$$

Где  $V_{\text{пр}}$  – выручка полученная от продаж готовой продукции

$C_{\text{общ}}$  – общая себестоимость всей готовой продукции

$$V_{\text{пр}} = V_{\text{год}} \cdot C_{1т} \cdot K_{\text{пр}} \quad (55)$$

$$V_{\text{пр}} = 454086,79 \cdot 50360 \cdot 1,06 = 24239,88 \text{млн.руб}$$

$$C_{\text{общ}} = C_{1т} \cdot V_{\text{год}} \quad (56)$$

$$C_{\text{общ}} = 50360 \cdot 454086,79 = 22867,81 \text{млн.руб}$$

Тогда расчет прибыли цеха до :

$$\Pi_{\text{цд}} = 24239,88 - 22867,81 = 1372,07 \text{млн.руб}$$

Прибыль цеха, до установки системы приходящаяся на агрегат

$$\Pi_{\text{цду}} = 1372,07 \cdot 0,00139 = 1,9 \text{млн.руб}$$

Так как при уменьшении бракованной продукции общая себестоимость производимой продукции остается прежней то расчет прибыли за счет уменьшения брака:

$$\Pi_{\text{шт}} = (n_{\text{т}} \cdot m_{\text{т}} + V_{\text{год}}) \cdot C_{1\text{т}} \cdot K_{\text{пр}} - B_{\text{пр}} \quad (57)$$

$$\Pi_{\text{шт}} = (87 \cdot 9 + 454086,79) \cdot 50360 \cdot 0,06 - 22867,81 = 1413,87 \text{млн.руб}$$

Цена за 1 единицу готового товара не меняется, а прибыль возрастает, значит изменяется себестоимость 1 единицы товара

Расчет себестоимости продукции после модернизации:

$$C_{2\text{т}} = \frac{V_{\text{год}} \cdot C_{1\text{т}}}{V_{2\text{год}}} \text{руб.} \quad (58)$$

$$C_{2\text{т}} = \frac{454086,79 \cdot 50360}{454869,79} = 50273,3 \text{руб} / \text{т}$$

Чистая прибыль – это часть балансовой прибыли цеха, остающаяся в распоряжения предприятия после уплаты налогов, сборов, отчисления. Далее вычтем налог на прибыль и найдем чистую прибыль предприятия. Налог на прибыль равен 20%.

$$\Pi_{\text{чи}} = 1413,87 \cdot (1 - 0,2) = 1131,096 \text{млн.руб}$$

$$\Pi_{\text{чд}} = 1372,07 \cdot (1 - 0,2) = 1097,656 \text{млн.руб}$$

Следовательно, прирост чистой прибыли от добавления данной системы составил:

$$\Delta\Pi_{\text{ч}} = 1131,096 - 1097,656 = 33,4 \text{млн.руб}$$

Прирост чистой прибыли на рассматриваемом агрегате:

$$\Pi_{\text{чду}} = 1097,656 \cdot 0,00139 = 1,5257 \text{млн.руб}$$

$$П_{\text{шт}} = 1131,096 \cdot 0,00139 = 1,572 \text{млн.руб}$$

$$\Delta П_{\text{чу}} = 1572000 - 15257000 = 46300 \text{руб}$$

### 3.6 Расчет срока окупаемости

Срок окупаемости - это время, необходимое компании для возмещения ее первоначальных инвестиций. Это наиболее распространенный и понятный показатель оценки эффективности инвестиционного проекта, так как позволяет судить о том, как быстро возвратятся средства, вложенные в его реализацию.

Определяется делением первоначальных капитальных вложений на притоки денежных средств, полученные в результате либо увеличения доходов, либо экономии на расходах.

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\Delta П_{\text{чу}}} \quad (59)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{101495,12}{46481,6} = 2,36 \text{года}$$

### 3.7 Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов

Таблица 8 – Сводная таблица

Показатель	До	После	Δ
Годовой объем производства, т	454086,79	454869,79	783
Производительность цеха, т/ч	61,156	61,262	0,106
Себестоимость, руб./т	50360	50278,5	81,5
Капиталовложения, руб.	–	101495,12	101495,12

Продолжение таблицы 8

Годовой ФОТ	704628	704628	0
Эксплуатационные затраты на обслуживание нового оборудования, руб	–	10416,2	-10416,2
Электроэнергия		414,32	414,32
Амортизация		8424	8424
Текущий ремонт и содержание электрооборудования		1684,8	1684,8
Чистая прибыль руб.	1525700	1572000	46300
Срок окупаемости, лет	2,36		

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы было выполнено индивидуальное задание по разработке мехатронной системы дробеструйной машины наружной очистки трубы участка антикоррозийного покрытия ТЭСЦ «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ»

Был произведен анализ технологического процесса. Представлена характеристика дробеструйной машины наружной очистки трубы участка антикоррозийного покрытия. Предоставлена характеристика и кинематическая схема транспортной тележки. В соответствии с требованиями необходимым для корректного выполнения технологического процесса были рассчитаны и выбраны основные элементы разрабатываемой системы, такие как привод, преобразователь частоты, контроллер и защитных устройств привода.

Разработана архитектура системы управления технологическим процессом. Вместо оператора, управляющего процессом стыковки, был добавлен датчик расстояния подающий сигнал на снижение скорости более точно, что помогает избежать удара труб. Произведены расчеты контуров регулирования. Разработана структурная схема системы автоматического управления, произведено моделирование типовых режимов работы, используя пакет Simulink в среде MATLAB R2017b, а так же сняты нагрузочная диаграмма и тахограмма исполнительного механизма.

Представлена краткая характеристика подразделения и выпускаемой продукции. Произведен расчет производственной программы цеха и сметы капитальных затрат, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования добавляемого для получения мехатронной системы. По результатам расчета данные были представлены в виде сводной таблицы. Использование разработанной системы приводит к увеличению прибыли предприятия за счет уменьшения бракованной продукции и как следствие увеличение продаж.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Технологический процесс работы дробеструйной машины наружной очистки трубы. Руководство пользователя участка антикоррозийного покрытия глава 4 «Высота 239», 2007. – 232 с.
- 2 Борисов, А.М. Основы построения промышленных сетей автоматики: учебное пособие / А.М. Борисов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2012. – 108 с
- 3 Косматов В.И. Проектирование электроприводов металлургического производства/ В.И. Косматов. – Магнитогорск: Редационно-издательский отдел МГМА им. Г.И. Носова, 1998. – 244 с.
- 4 Мотор-редуктор. <https://www.bauergears.com>
- 5 Драчев Г.И. Теория электропривода: учебное пособие часть 1. – Челябинск изд-во ЮУрГУ, 2005. – 209 с.
- 6 Герасимов В.Г. Электротехнический справочник. Том 4 / В.Г. Герасимов. – М.: МЭИ, 2004. – 696 с.
- 7 Косматов В.И. Преобразователь частоты для асинхронных электроприводов / А.В. Лукин. – Магнитогорск: Издательский центр МГТУ им. Г.И. Носова, 2005. – 49 с.
- 8 Преобразователь частоты. – [https://www.siemens-pro.ru/docs/sinamics\\_gv/g120/Control\\_Units\\_CU240B\\_2\\_and\\_CU240E\\_2\\_ru\\_1\\_13.pdf](https://www.siemens-pro.ru/docs/sinamics_gv/g120/Control_Units_CU240B_2_and_CU240E_2_ru_1_13.pdf)
- 9 Автоматические выключатели. <https://www.se.com/ru/ru/all-products/>
- 10 Корытин А.М. Автоматизация типовых технологических процессов и установок / А.М Корытин. – М.: Изд-во Энергоатомиздат, 1988. – 324 с.
- 11 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. – 576 с
- 12 Контроллер. – <https://www.siemens-pro.ru/components/s7-300.htm>

13 Цех «Высота 239» Челябинского трубопрокатного завода. –  
<https://chelpipe.ru>

14 Челябинский трубопрокатный завод (ЧПТЗ) «Высота 239». –  
<https://chistoprudov.livejournal.com/144991.html>

15 Определение экономической эффективности технических решений в  
дипломных проектах: методические указания / сост. Т.В. Попп. –  
Екатеринбург: УрГУПС, 2014. – 30 с.

16 Расчет сметы капитальных затрат. –  
<http://refleader.ru/jgepolotrbewrna.html>