

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
В.Р. Гасияров

2017 г.

---

Разработка мехатронной системы перемещения обвязки стальных прутьев  
чистового участка сортового прокатного стана ПЦ №1 ПАО «ЧМК»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ – 15.03.06.2017.239. ПЗ (ВКР)

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

2017 г.

---

Руководитель работы  
Ст. преподаватель  
С.С. Воронин

2017 г.

---

Нормоконтролер  
Преподаватель  
Е.А. Маклакова

2017 г.

---

Автор работы  
студент группы П-456  
Елизавета Павловна Шперлинг

2017 г.

---

Ст. преподаватель  
С.С. Воронин

2017 г.

---

Челябинск 2017

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

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

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ В.Р. Гасияров  
подпись

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПОЛНЕНИЕ ВЫПУСКНОЙ  
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА**

Студенту группы П-456 Шперлинг Елизавета Павловна

1 Тема работы

Разработка мехатронной системы перемещения обвязки стальных прутьев  
чистового участка сортового прокатного стана ПЦ №1 ПАО «ЧМК»

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

2 Срок сдачи студентом законченной работы \_\_\_\_\_

3 Исходные данные к работе материалы производственной практики

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

Введение

1. Анализ технологического процесса и выбор основного оборудования.

1.1. Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма

1.2. Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма

1.3. Требования к приводам и системе автоматизации

1.4. Выбор системы привода

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

1.6. Выбор основного силового оборудования

1.7. Защиты привода, расчет уставок защитных устройств

2. Разработка САУ

2.1. Разработка архитектуры систем автоматизации

2.2. Выбор контроллеров и датчиков технологических координат

2.3. Выбор и разработка функциональной схемы САУ привода проектируемого агрегата

2.4. Разработка контура регулирования технологических координат

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

3. Техничко-экономические расчеты

- 3.1. Краткая характеристика подразделения и выпускаемой продукции
- 3.2. Расчёт производственной программы цеха (расчет фактического годового фонда рабочего времени и производительности оборудования)
- 3.3. Расчёт сметы капитальных затрат (расчёт стоимости приобретенного оборудования, затрат на монтаж оборудования, величины транспортных расходов, заготовительно-складских расходов, затрат на запасные части и расходов на комплектацию оборудования)
- 3.4. Расчет РСЭО (затраты на содержание и эксплуатацию оборудования потери электроэнергии, расчет амортизационных отчислений, затраты на ремонты и обслуживание электрооборудования)
- 3.5. Расчет затрат на материалы и на оплату труда со страховыми отчислениями
- 3.6. Расчет прибыли и показателей рентабельности
- 3.7. Расчет срока окупаемости проекта
- 3.8. Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов
- Заключение

5 Перечень графического и иллюстративного материала

- 1. Кинематическая схема и технические характеристики механизма
- 2. Тахограммы (диаграмма перемещения) и нагрузочные диаграммы проектируемого привода
- 3. Требование к проектируемому приводу и системе автоматизации
- 4. Архитектура САУ
- 5. Функциональная схема САР и характеристики выбранного оборудования
- 6. Функциональная схема проектируемой САУ
- 7. Математическая модель проектируемой САУ
- 8. Результаты моделирования типовых режимов работы привода
- 9. Технико-экономические показатели

Всего 9 листов

**Согласовано:**

Консультант по экономике и  
управлению производством:

\_\_\_\_\_

подпись

Кучина Е.В.  
Фамилия И.О.

**Руководитель** \_\_\_\_\_

подпись

**старший преподаватель** \_\_\_\_\_

Должность, звание

Воронин С.С.  
Фамилия И.О.

Дата выдачи задания « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_г.

**Задание принял к исполнению студент** \_\_\_\_\_

подпись

Шперлинг Е.П.  
Фамилия И.О.

## АННОТАЦИЯ

Шперлинг Е.П. Разработка мехатронной системы перемещения обвязки стальных прутьев чистового участка сортового прокатного стана ПЦ №1 ПАО «ЧМК». – Челябинск: ЮУрГУ, П–456, 67 с., 24 рис., 11 табл., библиогр. список – 16 наим.

В выпускной квалификационной работе произведен анализ технологического процесса по перемещению обвязки стальных прутьев, определены основные характеристики механизма. Выведены основные требования к гидроприводу и системе автоматизации. Сделан расчет и построение диаграммы перемещения привода.

Изучена архитектура системы автоматизации вязальной машины, разработаны функциональная и структурная схемы САР гидропривода.

Проведен технико-экономический расчет. Определены капиталовложения. Произведен расчет технологической себестоимости, также рассчитана заработная плата рабочих с начислениями. Рассчитана себестоимость по изменяющимся статьям затрат, определен срок окупаемости от внедрения автоматического устройства.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	6
1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма.....	6
1.2 Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма ...	13
1.3 Требования к гидроприводу и системе автоматизации .....	26
1.4 Выбор системы привода.....	29
1.5 Расчет и построение диаграммы перемещения привода .....	30
2 РАЗРАБОТКА И ОПИСАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЯЗАЛЬНОЙ МАШИНЫ.....	36
2.1 Описание исследуемой вязальной машины .....	36
2.2 Архитектура системы автоматизации.....	36
2.3 Разработка функциональной схемы САР гидропривода .....	39
2.4 Разработка структурной схемы САР гидропривода .....	40
3 ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ .....	52
3.1 Данные по цеху до внедрения автоматизации .....	52
3.2 Определение капиталовложений .....	52
3.3 Расчет технологической себестоимости .....	54
3.4 Затраты на заработную плату рабочих с начислениями .....	56
3.5 Составление себестоимости по изменяющимся статьям затрат .....	61
3.6 Определение срока окупаемости .....	61
3.7 Расчет оценочных показателей проекта .....	62
3.8 Сводные технико–экономические показатели.....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	64
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	65

## ВВЕДЕНИЕ

Объектом выпускной квалификационной работы является вязальная машина, гидроцилиндры, система управления, прокатный стан, система перемещения машины обвязки стальных прутьев.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка мехатронной системы перемещения машины обвязки стальных прутьев чистового участка сортового прокатного стана ПЦ №1 ПАО «ЧМК».

Задачи работы:

1. Анализ технологического процесса;
2. Ознакомление с характеристикой цеха;
3. Описание технологического процесса работы механизма;
4. Изучение кинематической схемы, проектируемого механизма;
5. Построение диаграммы и тахограммы перемещения механизма;
6. Разработка архитектуры системы автоматизации вязальной машины;
7. Расчет функциональной и структурной схемы САР гидропривода;
8. Проведение технико-экономического расчета.

# 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

## 1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма

ПАО «Челябинский металлургический комбинат» – одно из крупнейших отечественных предприятий полного металлургического цикла по выпуску качественных и высококачественных сталей, а также основной производитель нержавеющей стали в России. ЧМК – одно из немногих предприятий страны, которому дано право присваивать продукции собственный индекс «ЧС» («Челябинская Сталь»). Комбинат входит в металлургический дивизион Группы Мечел, находящийся под управлением ООО «УК Мечел–Сталь».

Мечел – глобальная горнодобывающая и металлургическая компания, в которой работают 67 тыс. человек. Продукция компании поставляется в Европу, Азию, Северную и Южную Америку, Африку. Мечел объединяет производителей угля, железной руды, стали, проката, ферросплавов, тепловой и электрической энергии. Все предприятия работают в единой производственной цепочке: от сырья до продукции с высокой добавленной стоимостью.

Прокатный цех №1 вступил в строй действующих в июне 1943г.

На основании приказа генерального директора ОАО "Мечел" № 417 от 24.08.98г. "О создании сталепрокатного завода" с 11 ноября 1998г. были объединены Прокатный цех №1, участок отделки бывшего Обжимного цеха №2 и Сортопрокатный цех №1. С 01.01.2010 на основании Приказа УДК № 669 от 16.12.2009 в состав Прокатного цеха №1 вошло Термическое производство (1, 2 отделение) бывшего Термического цеха. В состав объединенного Прокатного цеха №1 входят в настоящее время подразделения, представленные в таблице 1. Прокатные станы цеха предназначены для прокатки качественных углеродистых и легированных конструкционных и инструментальных марок сталей, высоколегированных сталей, коррозионностойких, жаростойких сталей и сплавов,

рессорных полос, низколегированных сталей для армирования железобетонных конструкций.

Таблица 1 – Подразделения цеха №1

Наименование подразделения	
Участок отделки металла сортовым станам	1951
Отделение зачистки и термообработки металла	1964
Стан горячей прокатки 780 с участком отделки	1951
Стан горячей прокатки 300–2	1955
Стан горячей прокатки 240 с участком отделки	1951
Термическое производство (2–е отделение)	1975
Стан горячей прокатки 350 с участком отделки	1943

Через прокатные цеха металлургического завода проходит почти вся сталь, выплавляемая в сталеплавильных цехах, и только небольшое количество через литейные и кузнечные цеха. Технологический процесс получения готового проката является завершающей стадией металлургического производства.

Для прокатки металла на металлургических заводах устанавливают станы различного типа и назначения. Прокатный стан – это комплекс машин и агрегатов, предназначенных для осуществления пластической деформации в валах (собственно прокатки), дальнейшей его обработки (правки, резки и т.д.) и транспортирования.

В прокатных цехах также установлены нагревательные печи и колодцы, печи для отжига и нормализации металла, агрегаты для очистки поверхности и нанесения защитных покрытий, другие машины и агрегаты, необходимые для выпуска готовой продукции требуемого качества.

В зависимости от состава прокатных станов и сортамента продукции все металлургические заводы подразделяют на: листового профиля (установлены только листовые станы), сортового профиля (установлены только сортопрокатные станы) и смешанного профиля.

Технологический процесс прокатного производства на современном металлургическом заводе состоит из двух стадий: получения полупродукта (заготовка) и прокатка полупродукта в готовый прокат.

В общем случае технологическая схема включает следующие операции: подготовка исходных материалов к прокатке, нагрев, прокатку, охлаждение, термическую обработку, отделку, упаковку и отгрузку.

Однако число технологических операций может возрасти, если возникает необходимость придавать металлу тех или иных свойств, а также при обработке специальных сталей. Так в зависимости от обрабатываемых сталей технологический процесс производства листовой стали, осуществляется по разным схемам. Число операций может быть различным, но в составе схем обработки имеют следующие пределы предварительной термической обработки, очистки поверхности горячекатаных полос от окалины, промежуточной и окончательной термической обработки, отделки готового проката.

Основными задачами при производстве готового проката, является получение необходимых размеров и формы в максимально возможном количестве и при минимальных затратах, а также получение проката высокого качества, которое характеризуется не только физико–химическими свойствами, но и состоянием поверхности. Эти задачи могут быть выполнены только при точном соблюдении режима всех технологических операций, к которым относят: подготовку исходных материалов к прокатке, нагрев материалов перед прокаткой, прокатка, отделка (включая резку, охлаждение, правку, удаление поверхности дефектов и другое).

Стан непрерывный, имеет 11 горизонтальных и 3 вертикальных клетки, скомпонованные в 2 группы. Прокатанный и разрезанный на летучих ножницах раскат подаётся на холодильник реечного типа, после охлаждения по рольгангу передаётся на участок порезки и уборки готового проката.

В конце линии стоят две вязальные машины, каждая из гидравлически задействованных вязальных машин заключает в себе вязальную головку, закрепленной на троллее, который движется по вертикали по направляющим, прикрепленным к движущейся раме (тележке). Тележка движется поперечно к

конвейеру упаковок по направляющим, закрепленным на горизонтальной раме. Приводом тележки является гидроцилиндр, который выдает внутрь вязальную головку, опуская ее целиком, и таким образом в так называемом режиме исключения облегчает проведение технического процесса.

Вязальная машина, находящаяся после рольганга формирования связок, предназначена для обвязки связок прутков. Машина увязывает связки прутков как одной плотной петлей, так и двойной проволочной обмоткой.

Вязальная машина стационарна, и связка прутков проходит через рольганг и направляющее кольцо, закрепленное на опорной плите вязальной головки.

Когда связка находится в положении увязки, захватывающее устройство связки замыкается для прихватывания всех прутков, машина двигается вперед на связку, а вязальная головка двигается вертикально по направляющим тележки, спускается и опирается на связку для ее увязки. Положение крутильное устройство делает так, чтобы проволочный узел сформировался на верхней кромке связки.

Для осуществления узла предусмотрено устройство с захватами (крутильное устройство) для скрещивания двух концов проволоки, которое держит их вместе и при вращении скручивает их.

Технические данные стационарной машины:

- Оборудование: вязальная машина
- Тип: стационарная
- Черт. Общего вида: L 90FA/D–1000–6,5
- Работа: гидравлическая
- Серийный номер: 55.103.01
- Размеры
  - Длина: 1,7 м
  - Ширина: 4,5 м
  - Высота: 3,8 м
- Тип вязки: одинарное или двойное
- Скручивание: проволокой

- Диаметр вязальной проволоки: 6,5 мм
- Диаметр связки не более: 500 мм
- Диаметр направляющего кольца проволоки: 1000 мм
- Среднее время : 9 с
- Поперечный ход тележки: 1200 мм
- Вертикальный ход вязальной головки мм: 700

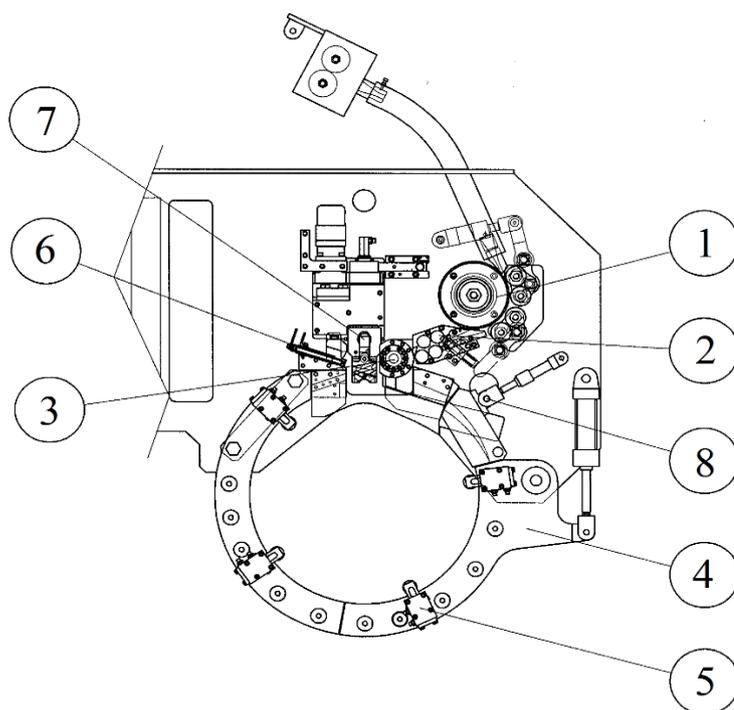


Рисунок 1– Схема вязальной головки:

1–приводной узел проволоки; 2–правильный узел проволоки; 3–режущее устройство; 4–направляющее кольцо проволоки; 5–тянуще–покрывающие устройства направляющего кольца; 6–фиксатор проволочного конца; 7–крутильное устройство проволоки и счетчик оборотов; 8–вертикальная стрелка проволоки.

На рисунке 2 представлена схема вязальной машины, которая передвигается по рельсам на тележке и к ней прикреплена вязальная головка, которая была представлена ранее. Далее описаны циклы работы всей вязальной машины. И всё, что входит в механизм, включая вязальную головку.

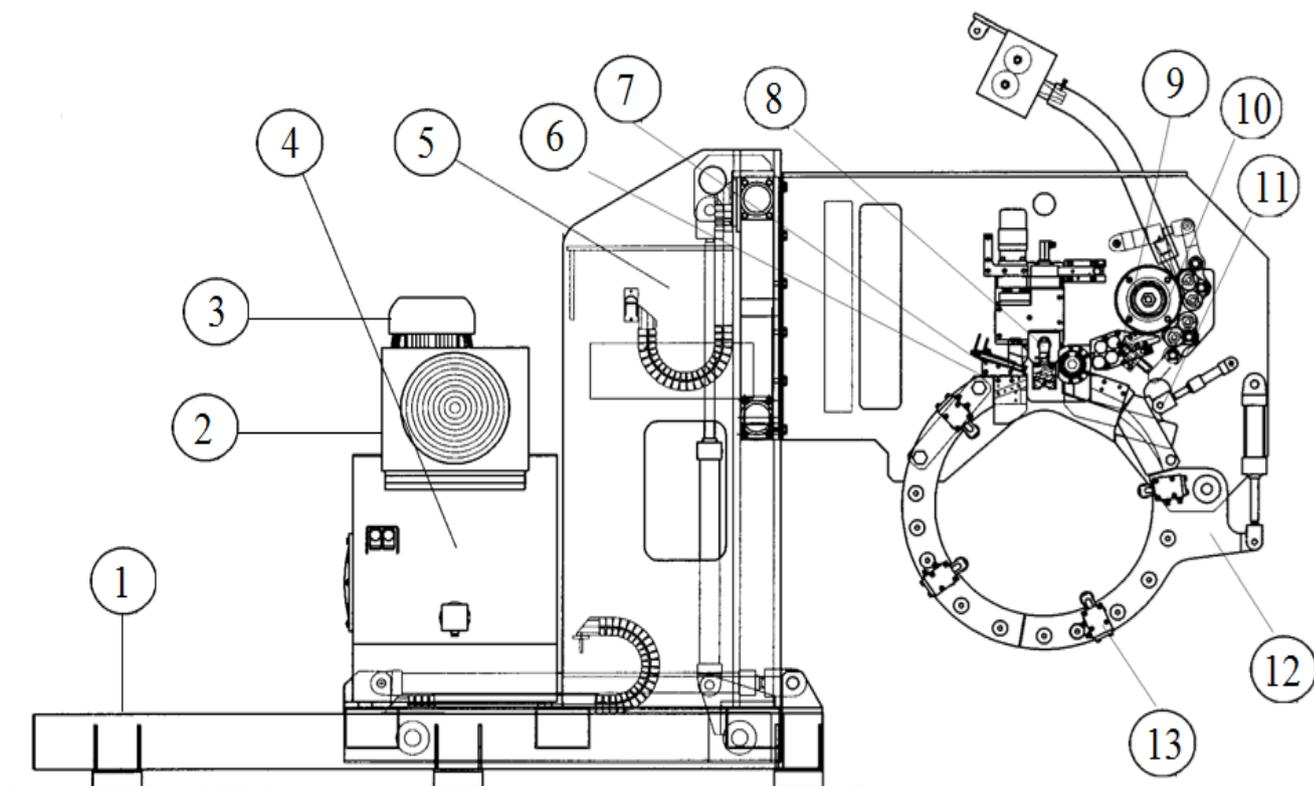


Рисунок 2 – Схема вязальной машины:

1–рельсы; 2–охладитель; 3–насос; 4–гидростанция; 5–опорная плита; 6–режущее устройство; 7–фиксатор проволочного конца; 8–крутильное устройство проволоки и счетчик оборотов; 9–приводной узел проволоки; 10–правильный узел проволоки; 11–вертикальная стрелка проволоки; 12–направляющее кольцо проволоки; 13–тянуще-покрывающее устройства направляющего кольца.

Описание автоматического цикла вязальной петли:

Когда связка готова к увязке, вязальная машина получает сигнал, который приводит к замыканию захватывающему устройству, а также дает команду машине двигаться вперед и вязальной головке опереться на связку.

Головка останавливается при приеме сигнала, переданного фотодатчиком. Этот сигнал передает команду приводному диску проволоки, который вращается обратно и втягивает на себя проволоку. Проволока постепенно обтягивает связку прутков и путем последовательного открывания тянущих роликов проволоки, установленных вдоль направляющего кольца проволоки, образуется плотная петля.

В заданное время при открывании последнего тянущего ролика приводной двигатель проволоки останавливается, рычаги крутильного устройства замыкаются и зажимают два скрещенных конца проволоки, а одновременно фиксатор проволочного конца открывается. Теперь скрещенные конца проволоки могут быть скручены при вращении рычагов крутильного устройства на образование проволочного узла. Устройство, которое сгибает вниз концы узла, пускается непосредственно в работу, крутильное устройство размыкается для пропускания узла, и вязальная головка поднимается по команде концевика «головка вверх». В это время захватывающее устройство связки размыкается, и машина возвращается назад на расстояние (до концевого выключателя), необходимого для того, чтобы связка прутков смогла направиться по рольгангу.

Дает команду машине двигаться вперед и вязальной головке опереться на связку.

Головка останавливается при приеме сигнала, переданного фотодатчиком. Этот сигнал передает команду приводному диску проволоки, который вращается обратно и втягивает на себя проволоку. Проволока постепенно обтягивает связку прутков и путем последовательного открывания тянущих роликов проволоки, установленных вдоль направляющего кольца проволоки, образуется плотная петля.

В заданное время при открывании последнего тянущего ролика приводной двигатель проволоки останавливается, рычаги крутильного устройства замыкаются и зажимают два скрещённых конца проволоки, а одновременно фиксатор проволочного конца открывается. Теперь скрещенные конца проволоки могут быть скручены при вращении рычагов крутильного устройства на образование проволочного узла. Устройство, которое сгибает вниз концы узла, пускается непосредственно в работу, крутильное устройство размыкается для пропускания узла, и вязальная головка поднимается по команде концевика «головка вверх». В это время захватывающее устройство связки размыкается, и машина возвращается назад на расстояние (до концевого выключателя), необходимое для того, чтобы связка прутков смогла направиться по рольгангу.

Вязальная машина получает сигнал на введение проволоки (различный сигнал в зависимости от требуемого вида увязки) и подготавливает проволоку в направляющем кольце по следующей последовательности (подготовка устройств):

1. Закрывание и центровка рычагов захватывающего устройства плюс закрывание тянуще–покрывающих роликов направляющего кольца.

2. Введение проволоки при переднем вращении диска приводного узла до того, как конец проволоки прижимает пруток, который развозбуждает датчик введения проволоки.

3. Сигнал, переданный датчиком, дает команду на закрывание фиксатора проволочного конца, которое поддерживает конец проволоки во время перевязки проволоки, и также одновременно на закрывание крутильного устройства таким образом, чтобы проволока могла проскользнуть назад.

4. Ожидание нахождения связки прутков в положении обвязки и следующей команды на увязку.

## 1.2 Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма

В конце линии стоят две вязальные машины, каждая из гидравлически задействованных вязальных машин заключает в себе вязальную головку, закрепленной на троллее, который движется по вертикали по направляющим, прикрепленным к движущейся раме (тележке). Тележка движется поперечно к конвейеру упаковок по направляющим, закрепленным на горизонтальной раме. Приводом тележки является гидроцилиндр, который выдает внутрь вязальную головку, опуская ее целиком, и таким образом в так называемом режиме исключения облегчает проведение технического процесса.

Вязальная машина, находящаяся после рольганга формирования связок, предназначена для обвязки связок прутков. Машина увязывает связки прутков как одной плотной петлей, так и двойной проволочной обмоткой.

Вязальная машина стационарна, и связка прутков проходит через рольганг и направляющее кольцо, закрепленное на опорной плите вязальной головки.

Когда связка находится в положении увязки, захватывающее устройство связки замыкается для прихватывания всех прутков, машина движется вперед на связку, а вязальная головка движется вертикально по направляющим тележки, спускается и опирается на связку для ее увязки. Положение крутильное устройство делает так, чтобы проволочный узел сформировался на верхней кромке связки.

Для осуществления узла предусмотрено устройство с захватами (крутильное устройство) для скрещивания двух концов проволоки, которое держит их вместе и при вращении скручивает их.

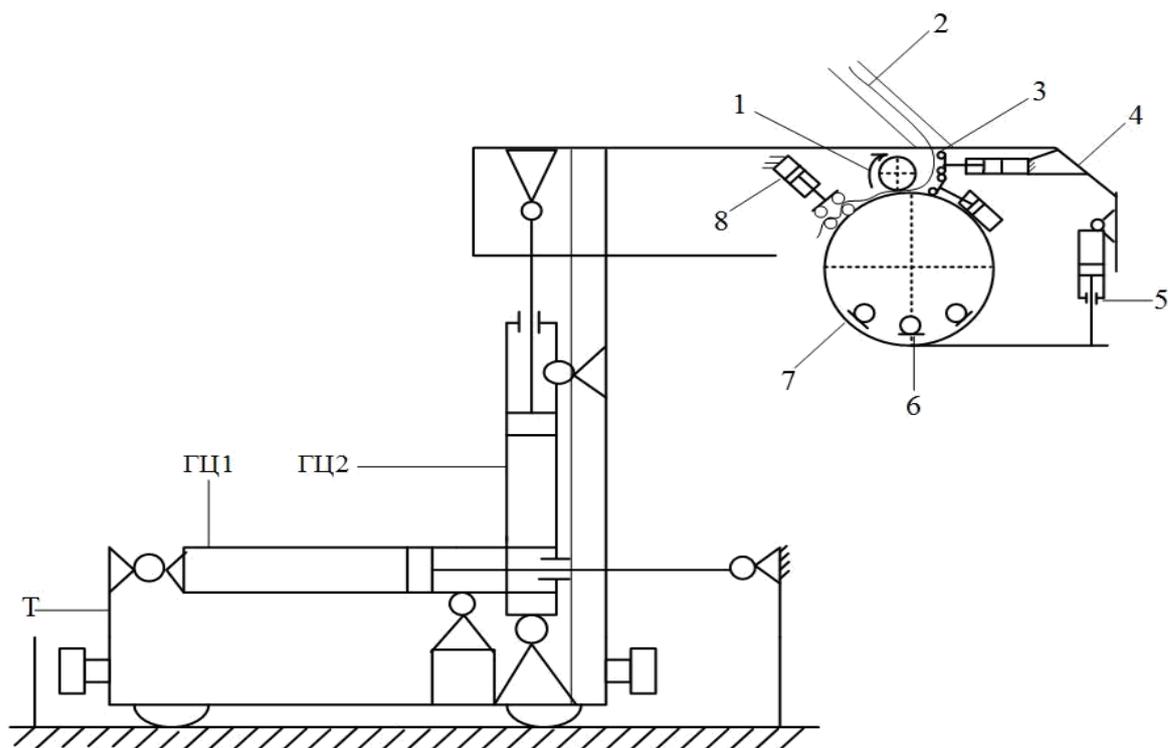


Рисунок 3 – Кинематическая схема вязальной машины:

Т – тележка; ГЦ1–гидроцилиндр горизонтального перемещения; ГЦ2–гидроцилиндр вертикального перемещения; 1 – гидромотор подачи проволоки; 2 – проволока; 3 – крутильное устройство проволоки и счетчик оборотов; 4,8 – направляющее проволоки; 5 – разжим тянуще-покрывающего устройства; 6 – тянуще-покрывающее устройства направляющего кольца; 7 –направляющее устройство барабана.

Операционные циклы вязальной машины:

Она состоит из нескольких механизмов: тележка, голова, кольцо направления проволоки, направляющие ролики, подающий ролик, прижимные ролики, фиксатор конца проволоки, крутилка, механизм загиба концов, нож–рез проволоки, двойная вязка. Вязальная машина стационарна, и связка прутков проходит через рольганг и направляющее кольцо, закрепленное на опорной плите вязальной головки. Движением вперед управляет соленоид, который отключается, когда тележка достигла переднего положения. Движение останавливается, когда кнопка отпущена или, когда получен сигнал от одного из датчиков крайних положений.

Тележка передвигается на горизонтальных направляющих и используется, чтобы переместить машину от передового рабочего положения на столе рольганга к обратному положению обслуживания и наоборот.

Перемещением тележки управляет гидравлический цилиндр и только в ручном режиме.

Движением вперед управляет соленоид, который отключается, когда тележка достигла переднего положения.

Движением назад управляет соленоид, который отключается, когда тележка достигла заднего положения.

Движение останавливается, когда кнопка отпущена или, когда один из сигналов датчиков крайних положений получен.

Когда кнопка нажата, вспыхивающий сигнал дан, чтобы указать, что тележка перемещается. Тележка движется только, когда голова находится в верхней позиции.

Голова состоит из вертикальной мобильной пластины, приспособленной с механическими единицами, которые везут двигатели или гидравлическими цилиндрами как описано ниже, так, чтобы она могла быть помещена на связку во время процесса вязки.

Подъем или опускание головы осуществляется гидравлическим цилиндром.

Опускание головы – возбуждается соленоид.

Подъем головы – возбуждается соленоид, который отключается, когда голова находится в верхней позиции.

Опускание головы, в ручном режиме, прекращается, когда кнопка отпущена или, когда фотоэлемент засвечен – голова на пакете.

Подъем головы, в ручном режиме, прекращается, когда кнопка отпущена, или, когда голова находится в верхней позиции.

Голова может быть опущена только, когда тележка в передней позиции и когда девиатор опора ползуна удалена т.е. находится в заднем положении.

Начальная позиция для головы определяется датчиком– голова в стартовой позиции. В конце цикла вязки, подъем головы осуществляется до стартовой позиции, а не до максимального положения, далее машина ждет нового старта цикла.

Кольцо направления проволоки установлено к главной пластине и состоит из двух полуколец, одно из которых открывается в целях обслуживания или удаления проволоки, если есть какие–нибудь забои.

Открытие или закрытие кольца осуществляет гидравлический цилиндр, возможны только в ручном режиме.

Чтобы открыть кольцо, используется соленоид; сигнал с соленоида снимается, когда кольцо находится в открытом положении. Чтобы закрыть кольцо используется соленоид; сигнал с соленоида снимается, когда кольцо находится в закрытом положении.

Движение останавливается, когда кнопка отпущена или, когда получен сигнал от одного из датчиков крайних положений.

Открытие или закрытие кольца возможны только, когда присутствует сигнал, указывающим, что тележка находится в передней позиции.

Сигнал с датчика указывающий, что кольцо находится в закрытом положении, разрешает движение проволоки.

Кроме того, кольцо направления проволоки оснащено десятью роликами, каждый управляется собственным гидравлическим устройством (5 роликов используются и для одинарной, и для двойной вязки, и 5 используются для двойной вязки).

Направляющие ролики и натяжение проволоки.

Эти функции выполнены следующим образом:

- Во время фазы вставки проволоки все направляющие ролики находятся в закрытом положении, чтобы препятствовать тому, чтобы провод вышел из своего углубления.

- Во время вытягивания проволоки направляющие ролики открываются согласно запрограммированной последовательности и постепенно натягивают провод вокруг пакета.

Чтобы позволить роликам вводную и заключительную последовательность, пилотный соленоид поставлен последовательно с соленоидами роликов.

Чтобы открыть индивидуальный ролик, связанный с ним соленоид возбуждается, и закрывается ролик, когда соленоид обесточен.

Чтобы открыть ролики в ручном режиме, оператор должен сначала выбрать направляющие ролики, а затем открыть индивидуальные ролики.

С 1–ым импульсом кнопки 10–ый ролик открыть, возбуждая соленоид, с 2–ым импульсом кнопки, 9–ый ролик открыть, возбуждая соленоид, и так далее пока первый ролик ряда не достигнут. Чтобы закрыть ролики в ручном режиме, оператор должен нажать закрыть, чтобы обесточить все соленоиды сразу.

Чтобы открыть ролики в автоматическом режиме, пилотный соленоид и соленоид ролика возбуждаются для двойной вязки и соленоид ролика возбужден для одинарной вязки. После задержки соленоиды, которые следуют, возбуждаются последовательно, пока 1–ый ролик ряда не откроется.

Чтобы закрыть ролики в автоматическом режиме, все соленоиды обесточены одновременно.

Подающий ролик – гофрированный диск, который тянет проволоку в обе стороны вдоль проводной системы. Вращение ролика осуществляет гидравлический двигатель. Когда соленоид возбужден, проволока перемещается назад. Когда соленоид возбужден, проволока перемещается вперед; соленоид обесточивается. Когда соленоиды возбуждены одновременно проволока подается на быстрой скорости.

В ручном режиме останавливается обратное движение проволоки, когда кнопка отпущена.

В автоматическом режиме обратное движение проволоки останавливается автоматически после выдержки времени на открывание направляющих роликов.

В ручном режиме проволока прекращает движение, когда кнопка отпущена или появляется сигнал, проволока заправлена (конец проволоки).

Быстрый ввод проволоки возможен только в автоматическом режиме и останавливается автоматически после выдержки времени (T12).

Ввод проволоки в ручном режиме возможен, когда девиатор и опора ползуна находятся в начальном положении.

Чтобы тянуть проволоку в двух направлениях, и не дать ей выскользнуть, подающий ролик оснащен четырьмя прижимными роликами, два из которых с гидравлическим приводом и могут быть только открыты или закрыты в ручном режиме.

Чтобы открыть прижимные ролики соленоид возбуждается, закрыть их, соленоид обесточен.

Прижимные ролики обычно открываются только для начальной заправки проволоки (например, после замены катушки, и т.д.).

С гидравлическим приводом проводной зажим при исполнении служебных обязанностей в рулоне повышения. Устройство состоит из неподвижной остановки, которая перемещается против сформированной части мобильного долота, обеспеченной до конца гидравлического цилиндрического прута. Наконечник захватывает на конец провода, чтобы мешать этому отречься во время фазы восстановления. Вышеупомянутое устройство захвата входит в операцию, когда проводной наконечник нажимает против прута, связанного с датчиком, который указывает конец фазы вставки.

Фиксатор конца проволоки открыт – возбужден соленоид.

Фиксатор конца проволоки закрыт – возбужден соленоид.

Закрытие фиксатора конца проволоки возможно и в ручном и автоматическом режиме, но только когда есть сигнал– проволока заправлена. В автоматическом

режиме закрытое положение фиксатора конца проволоки позволяет обратное движение подающего ролика.

Чтобы сделать узел, крутилка вращается, открывается и закрывается.

Крутилка состоит из шахты скручивания, вращающейся с помощью двигателя, соединенного с двумя зубчатыми колёсами. Крутилка закрывается после того, как проволока была затянута вокруг пакета. Практически, устройство зажимает концы проволоки, в то время как нож выполняет рез проволоки; крутилка открывается после того как сформирован узел и загнуты концы.

Счетчик оборотов установлен на крутилки, который состоит из рычага с пружиной, который находится в постоянном контакте с кулаком, связанным с устройством скручивания.

Фактически, с каждым поворотом крутилки, управляемый кулаком рычаг возбуждает датчик, импульсы которого позволяют считать обороты. Когда крутилка поворачивается назад, зуб кулака останавливает ее в правильном положении (углубление в устройстве выравнивается к проволоке, прибывающей от подающего ролика).

Движение устройства по часовой стрелке или против нее, осуществляется посредством гидравлического двигателя.

Чтобы вращать устройство по часовой и против часовой стрелки используются соленоиды.

По часовой стрелке вращение устройства в ручном режиме останавливается, когда кнопка отпущена, а в автоматическом режиме устройство останавливается, когда счетчик насчитает нужное количество оборотов (2) и после задержки остановки.

Против часовой стрелки вращение устройства в ручном режиме останавливается, когда кнопка отпущена, а в автоматическом режиме после задержки остановки.

Открытие и закрытие устройства осуществляется гидравлическим приводом.

Чтобы закрыть и открыть устройство используются соленоиды.

Открытие возможно только, когда механизм загиба концов поднят.

Механизм загиба концов:

Крутилка оснащена механизмом загиба концов, который перемещается с помощью гидравлического цилиндра.

Чтобы опустить механизм загиба концов используется соленоид.

Чтобы поднять механизм загиба концов необходимо обесточить соленоид.

Когда механизм загиба концов поднят активен датчик.

В ручном режиме опускание механизма загиба концов возможно, когда крутилка в открытом или закрытом положении.

В автоматическом режиме загиб концов происходит в конце операции скручивания узла, загибая концы проволоки вниз с кольцом вокруг крутки.

Нож – рез проволоки:

Рез осуществляется с использованием соленоида.

Возвращение лезвия ножа осуществляется обесточиванием соленоида.

В ручном режиме возвращается нож, когда кнопка отпущена, тогда как в автоматическом режиме, соленоид обесточивается после выдержки времени.

В автоматическом цикле, рез проволоки осуществляется после того, как был сжат зажим крутки вокруг связки, чтобы позволить вращение крутки.

Двойная вязка: чтобы выполнить двойной ввод проволоки необходим девиатор, который перемещает проволоку от 1-ого до 2-ого углубления.

Передвижение опоры ползуна девиатора вперед и назад осуществляется гидравлическим цилиндром.

Чтобы установить опору ползуна девиатора используется соленоид, который обесточивается, когда она установлена.

Чтобы удалить опору ползуна девиатора используется соленоид, который обесточивается, когда она удалена

Движение опоры ползуна девиатора возможно только, когда присутствует сигнал, указывающий, что девиатор втянут (удален).

Передвижение девиатора вперед и назад осуществляется гидравлическим цилиндром.

Чтобы установить девиатор используется соленоид, который обесточивается, когда девиатор начинает удаляться.

Чтобы удалить девиатор используется соленоид, который обесточивается, когда девиатор удален.

Установка девиатора возможна только, когда опора ползуна установлена и, что механизм загиба концов поднят.

Автоматический цикл [8]:

Пакетовязальная машина, для работы в автоматическом режиме, ждет сигнала на заправку проволоки (в зависимости от типа вязки, которая будет выполнена), и вставляет проволоку в кольцо направления проволоки.

Последовательность при одинарной вязке:

- Закрытие и поворот крутилки и закрытие направляющих роликов.
- Заправка проволоки подающим роликом, до наконечника, который выдвигается и дает сигнал, что проволока заправлена.
- Сигнал, данный этим датчиком, останавливает подающий ролик и закрывает фиксатор проволоки на время пока не началась фаза формирования узла.

Последовательность при двойной вязке:

- Девиатор установлен
- Закрытие и поворот крутилки и закрытие направляющих роликов.
- Заправка проволоки подающим роликом, до наконечника, который выдвигается и дает сигнал, что проволока заправлена.
- Сигнал, данный этим датчиком, останавливает подающий ролик и закрывает фиксатор проволоки на время пока не началась фаза формирования узла.
- Девиатор удален

Когда пакет на рольганге готов для вязки, машина получает команду на вязку, опускает голову на пакет и останавливается, когда засвечена фотоголовка (световой датчик).

Сигнал запускает заправку проволоки подающим роликом [9]. Провод постепенно сжимается вокруг пакета благодаря направляющим роликам,

установленным вдоль кольца направления проволоки, которые открываются последовательно.

В выдержкой времени от открытия последнего ролика, останавливается подающий ролик, крутилка захватывает проволоку, происходит обрезка проволоки и фиксатор конца проволоки открывается.

Теперь пересеченные концы проволоки свободны для скручивания крутилкой, которая формирует узел.

В конце скручивания узла, устройство загиба концов опускается, чтобы загнуть концы проволоки вниз.

Крутилка открывается, и голова поднимается до датчика— голова в стартовой позиции, и машина готова к следующему циклу вязки.

Вязка в автоматическом режиме [10]:

Чтобы вязальная машина была готова начать 1–ый цикл, должны быть соблюдены условия:

- Тележка в передней позиции.
- Голова в стартовой позиции.
- Кольцо направления проволоки закрыто.
- Направляющие ролики закрыты.
- Прижимные ролики закрыты.
- Крутилка в фазе (подтверждение от соленоида вращение против часовой, импульс).
- Крутилка закрыта (подтверждение от соленоида–импульс).
- Фиксатор конца проволоки открыт (подтверждение от соленоида).
- Проволока не заправлена.
- Механизм загиба концов поднят.
- Девиатор удален.
- Опора ползуна удалена.
- Гидравлический насос запущен.
- Нет сигнала тревоги.

- Машина в автоматическом режиме.

Цикл 1: когда выбран 1 цикл заправки проволоки (одинарная вязка), крутилка закрыта и вращалась против часовой стрелки одновременно.

Подающий ролик вращается вперед быстро.

Когда проволока продвинулась достаточно, подающий ролик замедляется, обесточивая соленоид быстрой скорости.

Когда поступает сигнал, что провод заправлен, плюс время задержки на остановку ввода проволоки – обесточивается соленоид подающего ролика. И в то же время фиксатор конца проволоки закрывается.

После выдержки времени от закрытия фиксатора конца проволоки крутилка открывается, обесточивая соленоид, а затем держа открытый соленоид, возбужденный некоторое время, это дает сигнал, что проволока вставлена.

В автоматическом режиме, когда проволока заправляется, возбуждается клапан на закрытие кольца направления проволоки, приблизительно на 100 миллисекунд, чтобы избежать несвоевременного открытия, вызванного, заправкой проволоки.

Теперь машина готова к циклу вязки, который должен быть выполнен через 9.5 секунд (полное время для одинарной вязки с загибом узла).

Со стартом цикла вязки, голова опускается на пакет, возбуждая соленоид.

После обнаружения пакета, засвечена фотоголовка, опускание головы останавливается и, в то же время, возвращая провод, подающий ролик крутится назад и дается разрешение на пилотный соленоид направляющих роликов.

Далее открывается направляющий ролик №5 возбуждая соленоид, после выдержки времени соленоид ролика 4, а затем соленоид ролика 3, соленоид ролика 2 и последний из всех соленоидов ролик 1.

После открытия ролика №1, подающий ролик прекращает движение назад, обесточивается соленоид, и в то же время крутилка закрывается, возбуждая соленоид. Далее происходит обрезка проволоки – соленоид, возбужденный в течение данного времени, и открывается фиксатор конца проволоки, возбуждая соленоид.

Когда рез был закончен, проволока вытягивается обратным движением подающего ролика.

После реза крутилкой формируется узел, возбуждая соленоид вращение по часовой стрелке.

После достижения, заданного числа оборотов (кол-во оборотов считается датчиком) крутилка останавливается – обесточивается соленоид, и в то же время происходит опускание механизма загиба концов – возбуждая соленоид.

После опускания механизма загиба концов, обесточивая соленоид и крутилка открывается, обесточивая соленоид, а затем возбуждая соленоид открытия в течение выдержки времени.

Верхнее положение механизма загиба концов (сигнал датчика), дает сигнал конца цикла вязки.

Через некоторое время от открытия крутилки, голова поднимается возбуждая соленоид и обесточивается соленоид направляющие ролики – разрешение открытия, направляющие ролики закрываются обесточивая соленоиды, крутилка закрывается и поворачивается против часовой стрелки, возбуждая соленоиды.

Перед тем как голова начнет подниматься, крутилка должна получить короткий импульс (100 мс) вращения против часовой стрелки чтобы позволить крутилке освободиться от узла, который был только что выполнен.

После того, как голова поднята, дается сигнал разрешения движения рольганга и сигнал, что машина готова к вводу проволоки.

Когда получен сигнал, что голова в стартовой позиции (сигнал от датчика) голова прекращает подниматься, обесточивая соленоид, и ожидает сигналы для заправка проволоки и старт цикла вязки.

Цикл 2:

Когда выбран 2 цикл заправки проволоки (двойная вязка), крутилка закрыта и вращалась против часовой стрелки одновременно, возбуждая соленоиды и опора ползуна девиатора была установлена

Подающий ролик вращается вперед быстро (возбуждаются соленоиды)

Когда опора ползуна установлена, девиатор устанавливается, возбуждая соленоид.

После выдержки времени от установки девиатора подающий ролик вращается вперед быстро (возбуждаются соленоиды).

Когда проволока продвинулась достаточно, подающий ролик замедляется, обесточивая соленоид быстрой скорости.

Когда поступает сигнал, что провод заправлен, плюс время задержки на остановку ввода проволоки – обесточивается соленоид подающего ролика. И в то же время фиксатор конца проволоки закрывается.

С сигналом что девиатор удален опора ползуна удаляется, возбуждая его соленоид поэтому, это дает сигнал, что проволока вставлена.

Машина теперь готова к циклу вязки, который должен быть выполнен через 11 секунд (полное время для двойной вязки с загибом узла).

После опускания механизма загиба концов, обесточивая соленоид и крутилка открывается, обесточивая соленоид, а затем возбуждая соленоид открытия в течение выдержки времени.

Верхнее положение механизма загиба концов (сигнал датчика), дает сигнал конца цикла вязки.

Через некоторое время от открытия крутки, голова поднимается возбуждая соленоид и обесточивается соленоид направляющие ролики – разрешение открытия, направляющие ролики закрываются обесточивая соленоиды, крутилка закрывается и поворачивается против часовой стрелки, возбуждая соленоиды.

Перед тем как голова начнет подниматься, крутилка должна получить короткий импульс (100 мс) вращения против часовой чтобы позволить крутке освободиться от узла, который был только что выполнен.

После того, как голова поднята, дается сигнал разрешения движения рольганга и сигнал, что машина готова к вводу проволоки.

Когда получен сигнал, что голова в стартовой позиции (сигнал от датчика), голова прекращает подниматься, обесточивая соленоид, и ожидает сигналы для заправки проволоки и старт цикла вязки.

### 1.3 Требования к гидроприводу и системе автоматизации

Требования к гидроприводам перемещения вязальной машины:

Все гидравлическое оборудование должно соответствовать требованиям ТЗ, ТУ и комплекту конструкторской документации. В состав гидропривода вязальной установки должны входить: бак с маслом и системой поддержания температуры масла, насосы, гидравлическая система поддержания давления в гидросистеме, гидроцилиндры, гидромоторы, гидроклапана.

Вязальная машина должна работать без постоянного присутствия эксплуатационного персонала. Номинальное давление в гидросистеме 16 Мпа, при расходе гидравлической жидкости через гидрораспределитель  $Q = 8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ . Максимальная скорость гидроцилиндра вертикального перемещения равна 0,5 м/с, гидроцилиндра горизонтального перемещения равна 0,5 м/с. Максимальное ускорения гидроцилиндра вертикального перемещения – 1,3 м/с<sup>2</sup>, гидроцилиндра горизонтального перемещения – 1,3 м/с<sup>2</sup>. Рабочий диапазон горизонтального перемещения – 1500 мм, вертикального перемещения – 900 мм. Максимальное КПД гидравлической системы должно быть не менее 85 %.

Параметры переходных процессов (гарантии регулирования):

- наибольшее давление на входе в полость гидроцилиндра при сбросах 100 % нагрузки и при расчетном напоре должно быть не более 5 % номинального;
- максимальное повышение давления при сбросе 100 % нагрузки должно быть не более 10 % номинального;
- ошибка позиционирования при сбросе 100 % нагрузки должна быть не более 0,05 м.

Требования по надежности:

Установка обвязки стальных прутков должна иметь следующие показатели надежности:

- срок эксплуатации между капитальными ремонтами – не менее 2 лет при наработке не менее 15000 ч;
- полный срок эксплуатации – не менее 15 лет;

- коэффициент готовности – не менее 0,97;
- коэффициент технического использования – не менее 0,93;
- средняя наработка на отказ гидрооборудования – не менее: для пикового режима работы – 2500 ч; для полупикового – 3700 ч; для базового – 8000 ч.

В конструкции установки должны быть учтены требования к ее ремонтпригодности.

Требования к системе автоматического управления вязальной машиной:

Аппаратура автоматики вязальной машины должна выполнять следующие функции:

- контроль позиции гидроцилиндров;
- управление агрегатом обвязки;
- управление режимами работы обвязывающего устройства;
- контроль целостности гидравлических предохранительных устройств;
- контроль крайних положений гидроцилиндров;
- контроль температуры гидравлических механизмов;
- контроль расхода гидравлической жидкости.

Автоматика вязальной машины должна состоять из шкафа электрооборудования, датчиков и исполнительных устройств. Реализация функций автоматического управления должна осуществляться с помощью микропроцессорных устройств, рассчитанных на устойчивую работу при отклонении напряжения питания от нормы на 10 – 15 %.

Комплекс технических средств (КТС) должен быть достаточным для выполнения функций, перечисленных в настоящих ТТТ, обеспечивать возможность создания на его базе автоматизированных систем управления различного масштаба и назначения, а также их модернизацию и расширение в процессе эксплуатации. Подключение новых объектов автоматизации к существующей системе не должно создавать серьезных проблем и приводить к существенным дополнительным затратам.

Технические средства, используемые в составе КТС, должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к современным программно–техническим средствам

АСУ ТП, основными отличительными свойствами которых являются открытая архитектура и полное соответствие международным стандартам, обеспечивающим техническую поддержку программно–техническому комплексу (ПТК) разными фирмами–производителями.

В КТС должны использоваться унифицированные средства серийного производства со сроком службы не менее 10 лет. Должна обеспечиваться возможность замены в процессе эксплуатации однотипных элементов и устройств ПТК.

Устройства связи с объектом для ввода аналоговых сигналов должны воспринимать сигналы от источников, применяемых в энергетике. Наиболее распространенными являются унифицированные сигналы постоянного тока 4 – 20 и 0–5мА и термопреобразователей сопротивления стандартных градуировок.

Источниками дискретной информации являются:

- концевые выключатели электрифицированной арматуры;
- блок–контакты контакторов и соленоидов включения механизмов;
- контакты реле или реле–повторителей кнопок и ключей управления;
- сигнализаторы предельных значений аналоговых сигналов;
- дискретные датчики (реле расхода, давления, уровня, электроконтактные манометры и пр.).

Электропитание КТС должно производиться от собственных источников питания, получающих энергию от трехфазной сети переменного тока 400/230В.

Характеристики первичной сети питания:

- номинальное линейное напряжение – 400 В (–15... +10 %);
- число фаз – 3;
- частота сети –  $50 \pm 2$  Гц;
- коэффициент не синусоидальности – 5 %.

Требования к системе регулирования вязальной машины:

Система автоматического регулирования перемещением вязальной машины должна включать электрогидравлический регулятор перемещения.

Электрогидравлический регулятор состоит из шкафа электрооборудования (ПЛК), распределительной аппаратуры, механизма обратных связей.

Панель электрооборудования (ПЛК) должна обеспечивать формирование сигналов управления регулирующими органами

гидроцилиндров в соответствии с командами на изменение режима работы вязальной машины и измеряемыми значениями давления в системе и положения гидроцилиндров.

Для ввода обратных связей по положению регулирующих органов должны использоваться малоинерционные датчики перемещения с выходным сигналом, соответствующим ГСП. Мертвая зона в измерении перемещений не должна быть более 0,2 %.

На выходе панели электрооборудования должен формироваться сигнал управления электрогидравлическим преобразователем (ЭГП).

В панели электрооборудования должен быть предусмотрен вывод следующей информации:

- текущая позиция вязальной машины;
- текущий этап процесса обвязки;
- давление в гидросистеме;
- режим работы вязальной машины.

При исчезновении электропитания, при отказе ПЛК, при неисправности электрических обратных связей, отказе электрической комбинаторной связи должен быть обеспечен автоматический переход на ручное управление.

#### 1.4 Выбор системы привода

Вязальная машина работает на основе гидравлического привода. Так как механизм работает за счет линейного перемещения и в работе нужна высокая точность. Гидравлический привод служит для передачи механической энергии от электродвигателя к исполнительным механизмам рабочего оборудования в котором механическая энергия на входе преобразуется в гидравлическую, а затем на выходе снова в механическую, приводящую в действие механизмы рабочего

оборудования. Гидравлическая энергия передается жидкостью (масло), которая служит рабочим телом гидропривода и называется рабочей жидкостью.

Основные функции гидравлического привода [1]:

1. Приводной двигатель передает вращающий момент на вал насоса, который сообщает энергию рабочей жидкости;

2. Рабочая жидкость по гидролиниям через регулируемую аппаратуру поступает в гидродвигатель, где гидравлическая энергия преобразуется в механическую;

3. После этого рабочая жидкость по гидролиниям возвращается либо в бак, либо непосредственно к насосу.

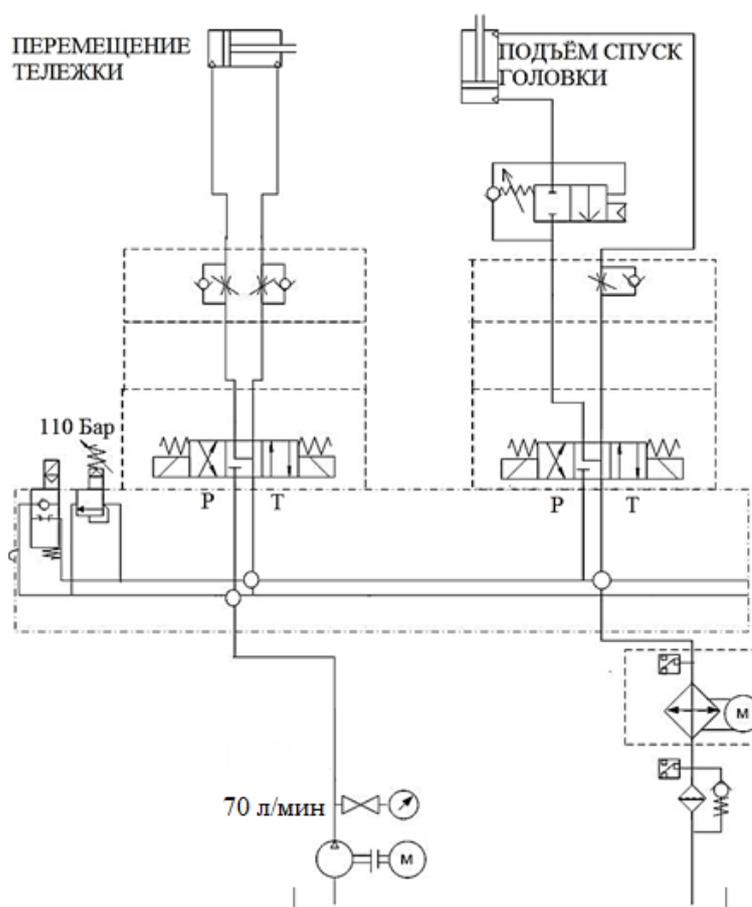


Рисунок 5 – Гидравлическая схема работы вязальной машины

### 1.5 Расчет и построение диаграммы перемещения привода

Заданы следующие основные характеристики: усилие на штоке( $R$ )  $5 \cdot 10^6$ , ход поршня ( $h$ ) 1500 мм, скорость движения поршня ( $U_{\text{п}}$ )=0,25 м/с.

Номинальное давление в системе равно 16 Мпа. Тогда можно рассчитать рабочую площадь при выдвигении штока, используя следующее выражение [2], Н:

$$R = p \cdot S; \quad (1)$$

где  $p$  – давление в штоковой полости, Мпа;

$S$ –площадь штока, м<sup>2</sup>

Тогда

$$S = \frac{R}{p}; \quad (2)$$

$$S = \frac{5 \cdot 10^6}{16 \cdot 10^6} = 0,312.$$

Зная площадь, найдем диаметр поршня из следующего выражения, м<sup>2</sup>:

$$D_{\text{п}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}; \quad (3)$$

$$D_{\text{п}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,312}{3,14}} = 0,63.$$

Для расчета параметров гидроцилиндра обратимся к библиографическому списку [1]. По таблице выберем следующие параметры соотношения площадей, сил и объемного расхода гидроцилиндра (таблица 2, рисунок 6).

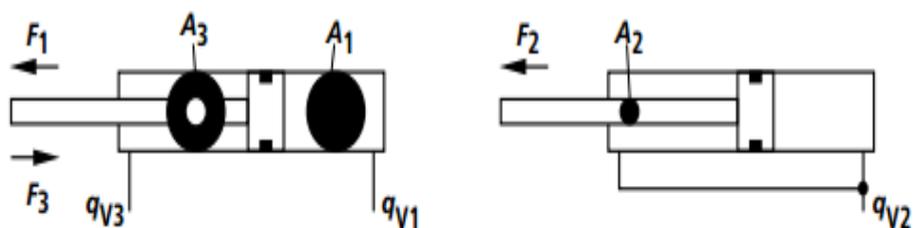


Рисунок 6 – Обозначения параметров гидроцилиндра

Таблица 2 – Параметры соотношения площадей, сил и объемного расхода гидроцилиндра

Поршень	Шток	Соотношение площадей	Площади		
			Поршень	Шток	Кольцо
$D_{п}, \text{ мм}$	$d_{шт}, \text{ мм}$	$\varphi = \frac{A_1}{A_3}$	$A_1, \text{ м}^2$	$A_2, \text{ м}^2$	$A_3, \text{ м}^2$
63	36	1,47	$3,12 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	$2,12 \cdot 10^{-3}$

Таблица 3 – Параметры соотношения сил и объемного расхода гидроцилиндра

Усилие при 160 бар			Объемный расход при 0,1 м/с		
Давление	Разность	Растяжение	Выход	Разность	Вход
$F_1, \text{ кН}$	$F_2, \text{ кН}$	$F_3, \text{ кН}$	$q_{V1}, \text{ л/мин}$	$q_{V2}, \text{ л/мин}$	$q_{V3}, \text{ л/мин}$
50	16	34	120,6	23,1	97,5

Вычислим объемный расход гидроцилиндра при скорости поршня 0,25 см/с:

$$q_{v1} = 0,25 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,063}{4} = 7,8 \cdot 10^{-4}, \text{ м}^3 / \text{ с}.$$

Рассчитаем диаграмму перемещения по формуле:

$$t = \frac{S}{V}; \quad (4)$$

Участки t1–t2:

$$\frac{0,900}{0,25} = 3,6\text{с.}$$

Участки t2–t3:

$$\frac{1,5}{0,25} = 6\text{с.}$$

Участок t4–t5:

$$\frac{0,9 - 0,15}{0,25} = 3\text{с.}$$

Участок t6–t7:

$$\frac{0,9 - 0,15}{0,25} = 3\text{с.}$$

Участок t8–t9:

$$\frac{0,9 - 0,15}{0,25} = 3\text{с.}$$

Участок t11–t12:

$$\frac{0,15}{0,25} = 0,6\text{с.}$$

При горизонтальном расположении гидроцилиндра и перемещаемого груза допустимая длина хода для выбранного цилиндра при 10 МПа равняется 610 мм, что соответствует условиям задания [2].

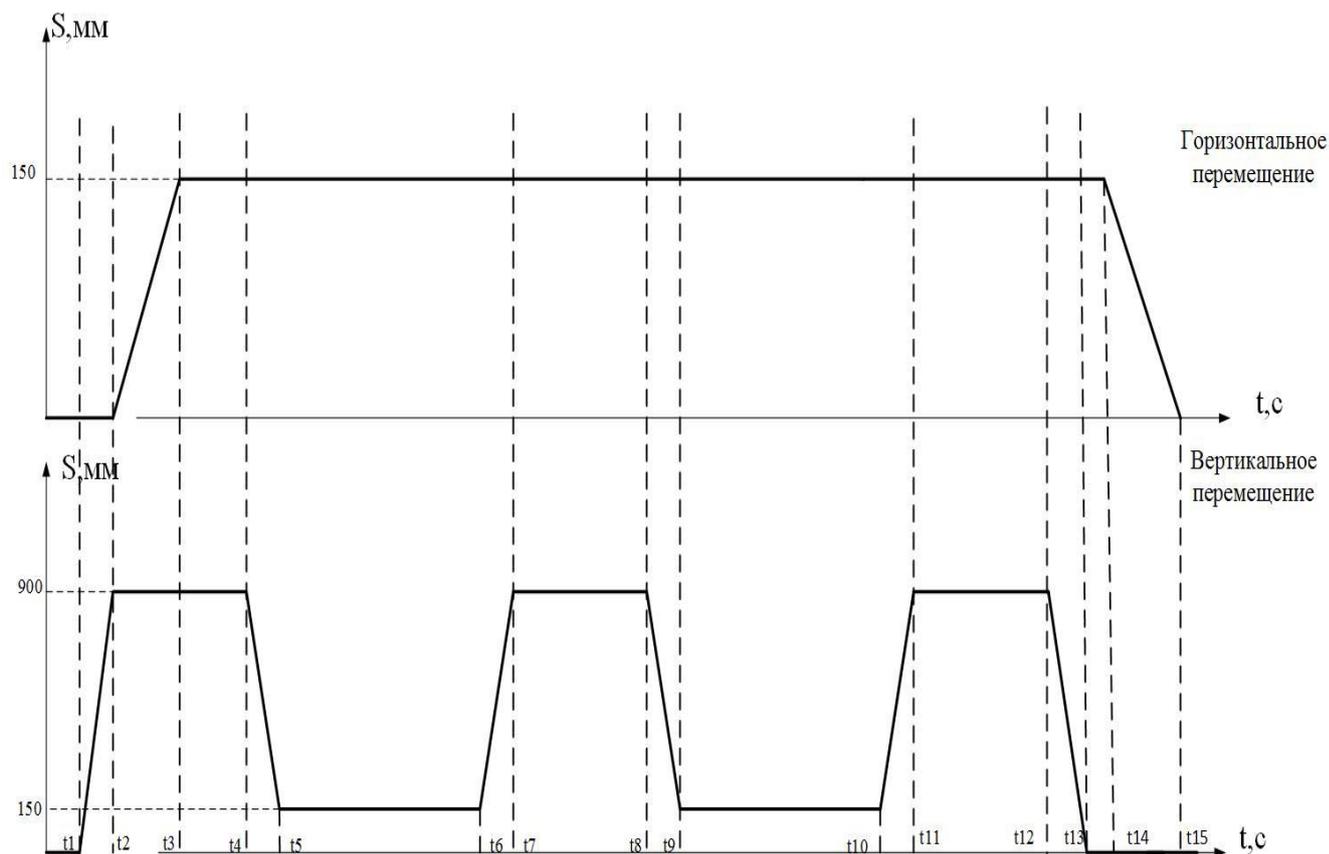


Рисунок 7 – Диаграмма перемещения

На диаграмме перемещения в момент времени  $t_1$ – $t_2$  поднимается механизм;  $t_2$ – $t_3$  механизм перемещается в сторону обвязки;  $t_4$ – $t_5$  механизм опускается для обвязки стальных прутов;  $t_5$ – $t_6$  происходит обвязка стальных прутов;  $t_6$ – $t_7$  механизм поднимается;  $t_7$ – $t_8$  пруты продвигаются вперед;  $t_8$ – $t_9$  механизм опускается для обвязки стальных прутов;  $t_9$ – $t_{10}$  происходит обвязка стальных прутов;  $t_{10}$ – $t_{11}$  механизм поднимается;  $t_{11}$ – $t_{12}$  пруты продвигаются вперед;  $t_{12}$ – $t_{13}$  механизм окончательно вертикально опускается и горизонтально обратно возвращается в начальное положение. Если подъехала следующая партия прутов, то механизм возвращается в положение  $t_1$ , если нет следующей партии прутов, то она остается в положении  $t_{14}$ – $t_{15}$ .

На рисунке 8 представлена нагрузочная диаграмма гидроцилиндров, она аналогична диаграмме перемещения, потому что построена по тому же методу.

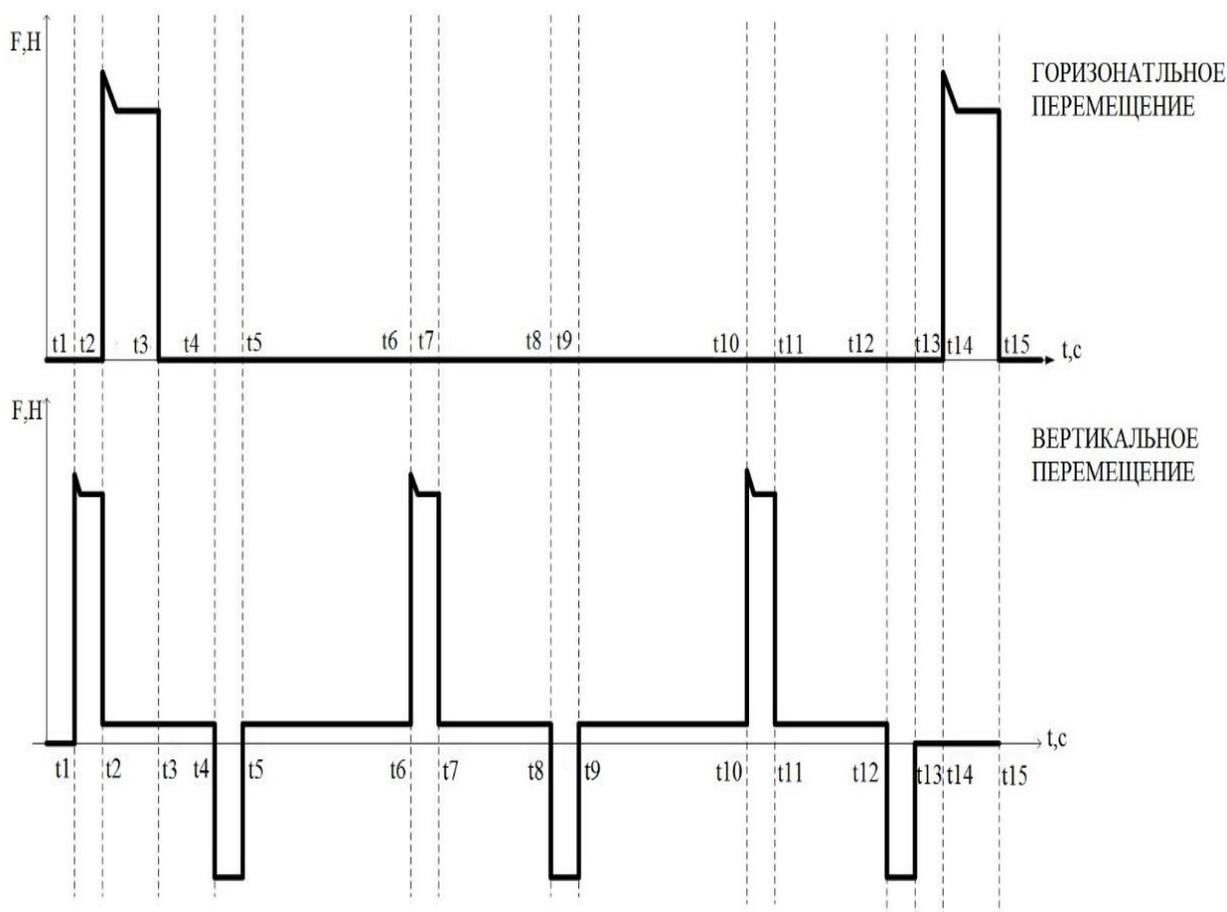


Рисунок 8 – Нагрузочная диаграмма гидроцилиндров

Горизонтальное перемещение:

В момент времени  $t_1$  механизм держится на опоре. На участке  $t_2$ – $t_3$  скачок силы происходит из-за того, что гидроцилиндру необходимо преодолеть статическую силу трения. В области  $t_2$ – $t_3$  происходит перемещение механизма вязальной машины, т.е. перемещение массы происходит и поэтому остается значение усилия для перемещения. Положение обвязки и начальное положение.

Вертикальное перемещение:

Механизм в момент времени  $t_1$ – $t_2$  находится в положении опоры, после чего начинает работать в моменте времени  $t_2$ – $t_3$  для продолжения сил трения. С момента времени  $t_3$ – $t_{12}$  он находится в нижнем положении, а в конце момента времени  $t_{12}$ – $t_{13}$  приходит в движение и на момент времени  $t_{13}$  переходит в нижнее положение.

## 2 РАЗРАБОТКА И ОПИСАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЯЗАЛЬНОЙ МАШИНЫ

### 2.1 Описание исследуемой вязальной машины

Вязальная машина, предназначена для обвязки связок прутков намазанной 6,5–мм метровой проволокой марки Fe37. Машина увязывает связки прутков как одной плотной петлей, так и двойной проволочной обмоткой.

Вязальная машина стационарна, и связка прутков проходит через рольганг и направляющее кольцо, закрепленное на опорной плите вязальной головки.

Вязальная машина состоит из:

- Тележки;
- Головы;
- Кольца направления проволоки;
- Направляющих роликов;
- Подающего ролика;
- Прижимных роликов;
- Фиксатора конца проволоки;
- Крутилки;
- Механизма загиба концов;
- Ножа – рез проволоки;
- Двойной вязки;
- Одинарной вязки.

### 2.2 Архитектура системы автоматизации

Архитектура системы автоматизации вязальной машины представлена на рисунке 9.

Автоматизированная система вязальной машины включает в себя:

Нижний уровень(полевой) АСУ ТП обеспечивает сбор данных о параметрах технологического процесса и состояния оборудования, реализует управляющие

воздействия [3]. Основными техническими средствами нижнего уровня являются индуктивные концевые датчики и исполнительные устройства, панель управления, гидравлические клапаны и гидроцилиндры. Система состоит из гидроцилиндров, в объем которой входят:

– Центральный гидроузел, установленный на тележке, который состоит из: бака емкостью 350 литров, асинхронного электродвигателя мощностью 18,5 кВт., насоса производительностью 60 л/мин., фильтра обратной линии, масло–водяного теплообменника и разных инструментов. Масло откачивается под давлением насосом в гидравлические двигатели и цилиндры, являющиеся приводами машины, в зависимости от сигналов управления. После фильтрации масло используется для смазки и защиты внутренних частей двигателей и цилиндров.

– Система электроклапанов и шлангов, соединенных с различными потребителями, в т.ч. и гидравлическими двигателями и цилиндрами.

Гидроцилиндры 2–х стороннего действия управляются соленоидными клапанами, которые предназначены для регулирования потоков всех типов жидкостей и газов. Принцип его работы заключается в том, что на электромагнитную катушку клапана подаётся электрическое напряжение, после чего магнитный сердечник втягивается в соленоид, что приводит к открытию либо закрытию клапана. Сердечник помещён внутри закрытой трубки катушки соленоида – это необходимо для герметичности электромагнитного клапана. Устройство электромагнитного клапана подобно устройству обычного запорного клапана, однако открытие либо закрытие электромагнитного клапана осуществляется без механических усилий – посредством электромагнитной катушки (соленоида) путём подачи на неё электрического напряжения. С его помощью можно дистанционно подать требуемый объём жидкости, пара или газа в нужный момент времени. Для позиционирования прутьев используются концевые индуктивные датчики, которые предназначены для срабатывания по достижению рабочего органа оборудования заданной точки.

Физический уровень предназначен непосредственно для передачи потока данных. Осуществляет передачу электрических сигналов в кабель, соответственно,

их приём и преобразование в биты данных в соответствии с методами кодирования цифровых сигналов. Контроллер PLC Siemens S7 CPU 315 2DP – оснащен встроенным интерфейсом PROFIBUS DP и способен выполнять программы среднего и большого объема. Он находит применение в системах автоматизации, оснащенных развитыми системами локального и распределенного ввода–вывода. В сети PROFIBUS DP CPU 315–2DP способен выполнять функции ведущего или ведомого устройства. Он включает в себя модули: входных дискретных сигналов (два модуля по 32 сигнала), выходных дискретных сигналов (три модуля по 32 сигнала). Контроллер для общения с датчиками и гидроприводами использует интерфейс Point-to-Point (PtP). Для программного контроллера, соединившегося с ЭВМ (программным) также по сети есть возможность соединения с ЭВМ (операторным).

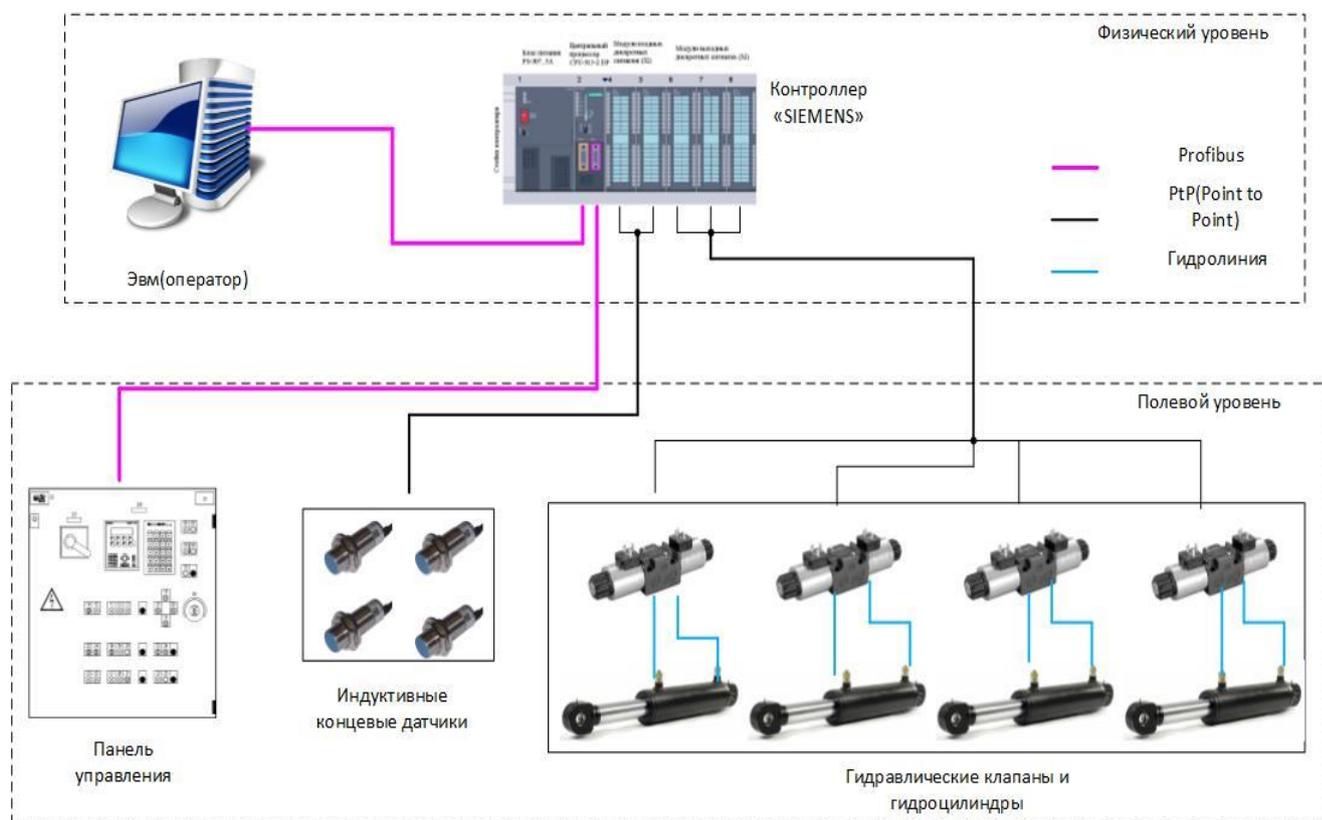


Рисунок 9 – Структура автоматизированной системы вязальной машины

## 2.3 Разработка функциональной схемы САР гидропривода

На рисунке 10 представлена функциональная схема участка обвязки.

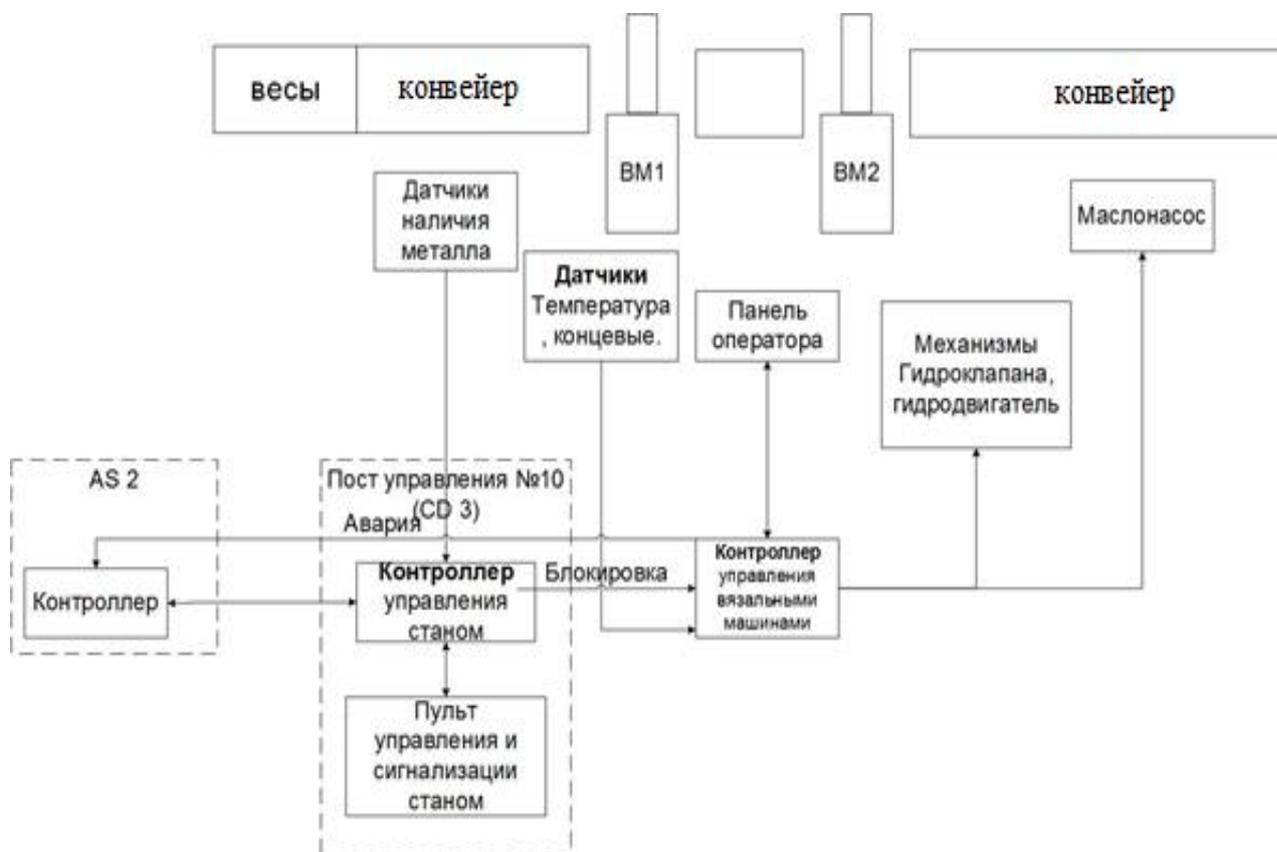


Рисунок 10 – Функциональная схема участка обвязки:

ВМ<sub>1</sub> – вязальная машина №1; ВМ<sub>2</sub> – вязальная машина №2

Источник гидравлической энергии(насос) создает давление в гидросистеме. Перепад давления возникает на гидрораспределитель, который управляется с помощью электромагнитных переключателей от контроллера. В зависимости от направления перемещения ГРУ, в полости гидроцилиндра создается давление. Шток гидроцилиндра начинает перемещаться с определенным усилием и скоростью. Сигналы положения и скорости исполнительного механизма передаются на управляющее устройство, которое обрабатывает эти сигналы и в соответствии с алгоритмом работы формирует управляющие сигналы для ГРУ.

Полная схема участка обвязки, где показаны все механизмы, задействованные в работе машины.

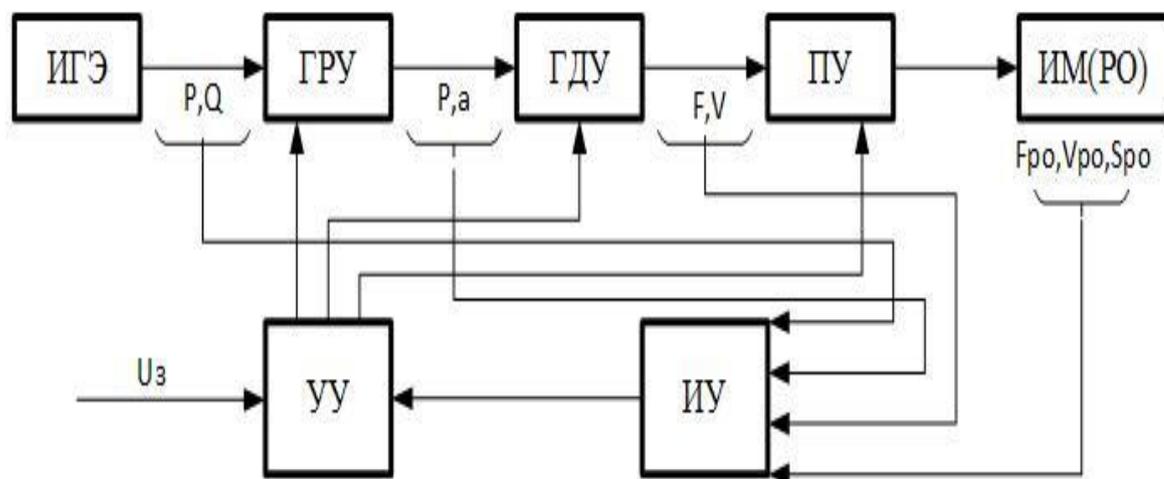


Рисунок 11 – Функциональная схема гидропривода перемещения вязальной машины:

ИГЭ – источник гидравлической энергии(насос); ГРУ – гидравлическое распределительное устройство (гидрораспределитель); ГДУ – гидравлическое двигательное устройство (гидроцилиндр); ПУ – передаточное устройство (шток); ИМ (РО) – исполнительный механизм (рабочий орган); ИУ – информационное устройство; УУ – управляющее устройство.  $U_z$  – сигнал задания [В];  $P$  – давление [Па];  $Q$  – объемный расход [ $m^3/c$ ];  $F$  – усилие [Н];  $V$  – скорость[м/с];  $V_{po}$  – скорость рабочего органа [м/с];  $F_{po}$  – усилие, развиваемые рабочим органом [Н];  $S_{po}$  – перемещение рабочего органа [м].

## 2.4 Разработка структурной схемы САР гидропривода

После введения в гидравлическую схему изменений, а именно [4]: введение регулирующего клапана на перемещение обвязывающей головки, ввода линейного датчика перемещения обвязывающей головки, добавления аналогового выхода в систему управления для выдачи управляющего напряжения на клапан, ввода в программное обеспечение блока ПИД–регулирования необходимо рассчитать параметры этого ПИД–регулятора.

Расчет произведен в программе Matlab, Simulink.

Использованы следующие условные исходные данные объекта регулирования.

Таблица 4 – Параметры объекта регулирования

$T_L$	0
$A_C$	0
$K_1$	0
$K_2$	0
$R$	0,2
$K_{FI}$	0,075
$K_{ph}$	8
$K_{xp}$	5
$K_{ПЭ}$	0,8
$T_{ГУ}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
$T_{ЭМП}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
$C_{ЭПМ}$	100
$\xi$	0,28

Описание порядка расчетов:

1. Построение модели объекта управления

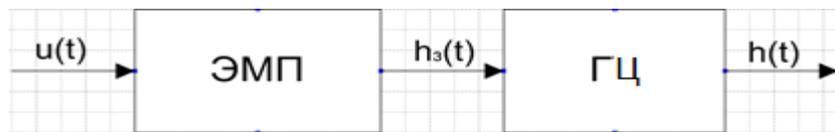


Рисунок 12 – Схема объекта управления

2. Электромеханический преобразователь [5]

Электрическая часть ЭМП, которая преобразует входное напряжение  $u(t)$  в ток  $i(t)$ , состоит из катушки индуктивности и сопротивления. На основании закона Кирхгофа ее уравнение будет иметь вид:

$$U(t) = R_i(t) + L \frac{di}{dt}; \quad (5)$$

где  $R$  – сопротивление обмотки по которой течет ток, Ом;  $i(t)$  – ток в обмотке, А;  $L$  – индуктивность катушки, Гн;  $u(t)$  – напряжение подаваемое на вход, В.

В преобразовании Лапласа формула приобретает такой вид:

$$U(s) = I(s)R\left(\frac{L}{R}s + 1\right); \quad (6)$$

где  $L/R$  – постоянная времени  $T_L$ .

Из уравнения (6) можно получить передаточную функцию такого вида:

$$W_1(s) = \frac{I(s)}{U(s)} = \frac{1/R}{T_L s + 1}; \quad (7)$$

Передаточная функция из уравнения (4) является первой частью из общей передаточной функции ЭМП [6].

Вторая часть ЭМП преобразует полученный ток  $i(t)$  в перемещение штока гидроцилиндра  $h_3(t)$ . Для получения передаточной функции, необходимо записать уравнение движения штока гидроцилиндра на основе второго закона Ньютона. На золотник действует несколько сил: сила, которая приводит его в движение посредством тока (4), сила упругости, подчиняющаяся закону Гука (5), сила вязкого трения (6).

$$F = k_{\text{fi}}i(t); \quad (8)$$

где  $k_{\text{fi}}$  – коэффициент усиления тяговой характеристики.

$$F_{\text{тр}} = -C_{\text{эмп}}h(t); \quad (9)$$

где  $C_{\text{эмп}}$  – коэффициент жесткости.

$$F_{\text{в.тр.}} = -b \frac{dh_3}{dt}; \quad (10)$$

где  $b$  – коэффициент вязкого демпфирования.

Итоговое уравнение получается следующего вида:

$$m \frac{dh_3}{dt^2} = k_{fi} i(t) - C_{\text{ЭМП}} h_3(t) - b \frac{dh_3}{dt}; \quad (11)$$

где  $m$  – масса золотника.

В преобразовании по Лапласу уравнение (11) приобретает вид:

$$ms^2 H(s) = k_{fi} I(s) - C_{\text{ЭМП}} H_3(s) - bsH_3(s); \quad (12)$$

Путем несложных преобразований получается передаточная функция второй части ЭМП [6]:

$$W_2(s) = \frac{H_3(s)}{I(s)} = \frac{k_{fi}}{ms^2 + bs + C_{\text{ЭМП}}}; \quad (13)$$

Уравнение (13) необходимо привести к виду типового колебательного звена, путем математических преобразований. Конечная передаточная функция выглядит так:

$$W_2(s) = \frac{H_3(s)}{I(s)} = \frac{k_{\text{ЭМП}}}{T_{\text{ЭМП}}^2 s^2 + 2\lambda_{\text{ЭМП}} T_{\text{ЭМП}} s + 1}; \quad (14)$$

где  $T_{\text{ЭМП}} = \sqrt{m/C_{\text{ЭМП}}}$  – электромеханическая постоянная времени;

$\lambda_{\text{ЭМП}} = b/(2\sqrt{C_{\text{ЭМП}}m})$  – коэффициент относительного демпфирования;

$k_{\text{ЭМП}} = k_{hi}/C_{\text{ЭМП}}$  – коэффициент передачи.

Получив обе части передаточной функции ЭМП (уравнения 7 и 14) их можно объединить в одну соединив последовательно. Так как по заданию  $T_L = 0$  уравнение (7) преобразуется к виду:

$$W_1 = \frac{1}{R}; \quad (15)$$

В электромеханическом преобразователе также возникает противоэдс (16), которая уменьшает значения входного напряжения, и потому в схеме ЭМП появится отрицательная обратная связь:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = k_{\text{пэ}} \cdot s; \quad (16)$$

Соединив звенья с полученными функциями (14), (15) и (16) получится схема ЭМП (рисунок 12).

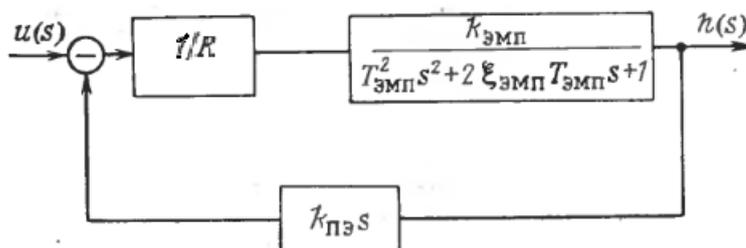


Рисунок 12 – Схема электромеханического преобразователя

### 3. Гидроцилиндр

Передаточной функцией гидроцилиндра является апериодическое звено с коэффициентом усиления мостика по давлению  $k_{\text{рн}}$  и коэффициентом пропорционального преобразования давления  $k_{\text{хр}}$ :

$$W(s) = \frac{k_{\text{рн}}}{T_{\text{гв}} s + 1} \cdot k_{\text{хр}}; \quad (17)$$

### 4. Схема ОУ и ее моделирование

Путем соединения ЭМП и ГЦ как показано на рисунке 12, получится требуемый объект управления (рисунок 13).

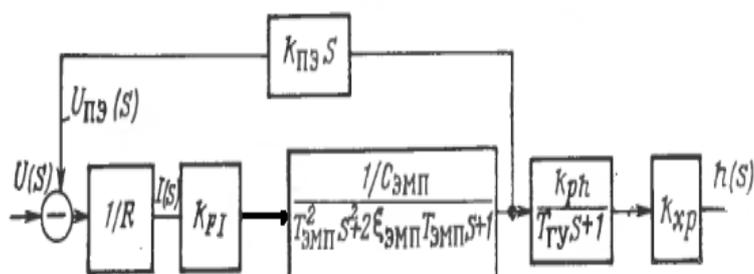


Рисунок 13 – Схема объекта управления в общем виде

Подставив все заданные величины из своего варианта (таблица 4) в звенья представленной схемы (рисунок 13), получилась следующая схема объекта управления (рисунок 14).

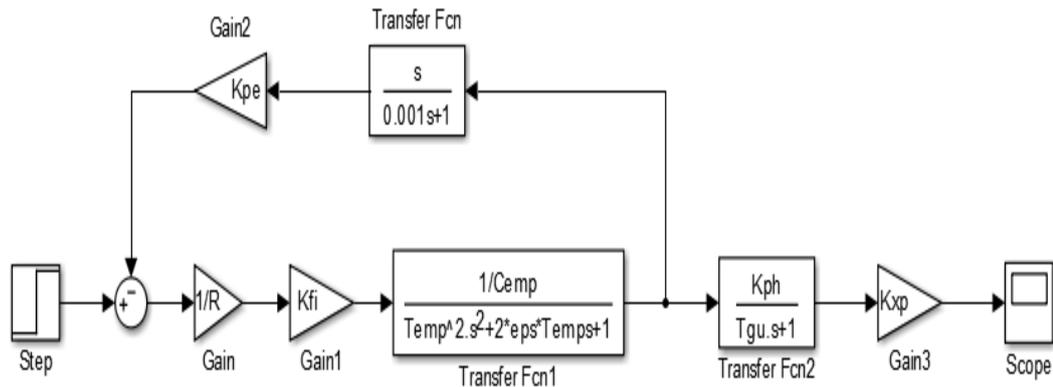


Рисунок 14 – Схема объекта управления

Используя необходимые правила, сворачиваем данную схему и получаем передаточную функцию объекта управления (рисунок 14). Переходный процесс ОУ представлен на рисунке 15.

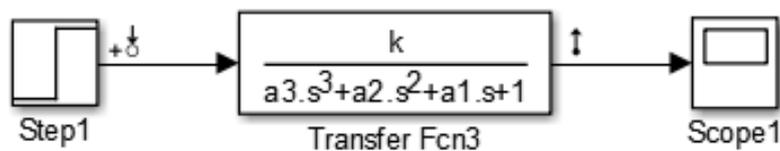


Рисунок 15 – Передаточная функция объекта управления

Коэффициенты из передаточной функции объекта управления представлены ниже.

$$k = 0,15; a_3 = 6,25 \cdot 10^{-10}; a_2 = 8,45 \cdot 10^{-6}; a_1 = 0,005.$$

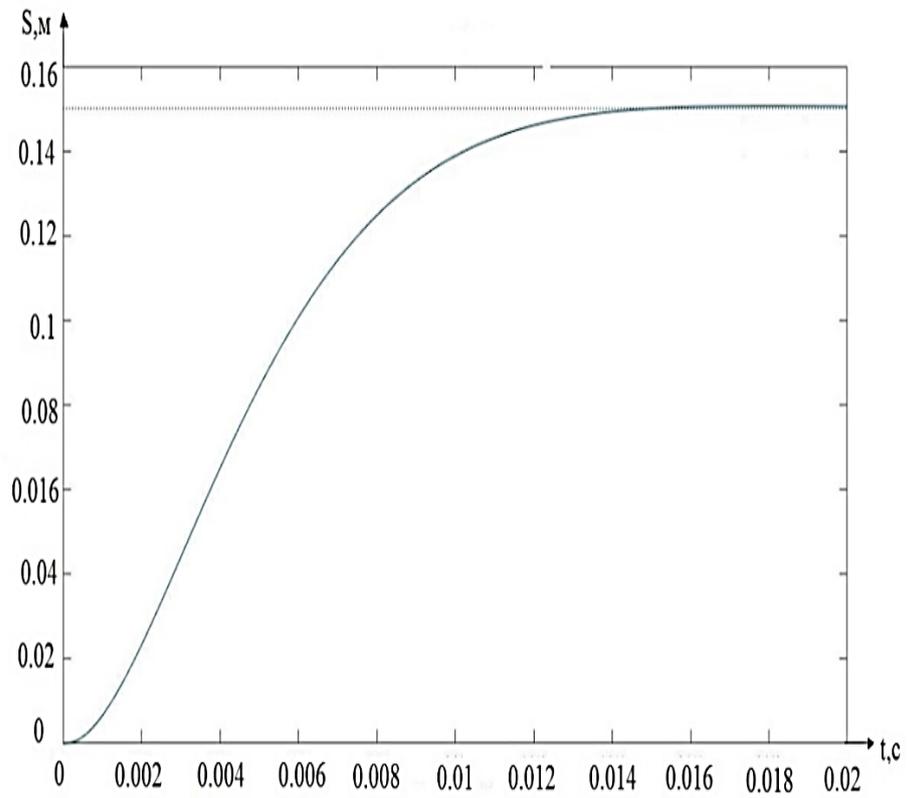


Рисунок 16 – Реакция гидроцилиндра на ступенчатое воздействие

Модель замкнутой системы ОУ представлена на рисунке 17. Переходный процесс на рисунке 18.

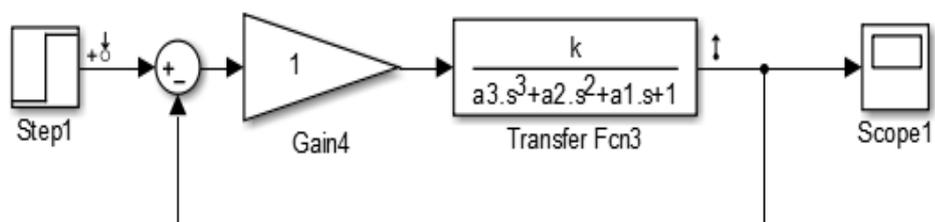


Рисунок 17 – Замкнутая модель ОУ

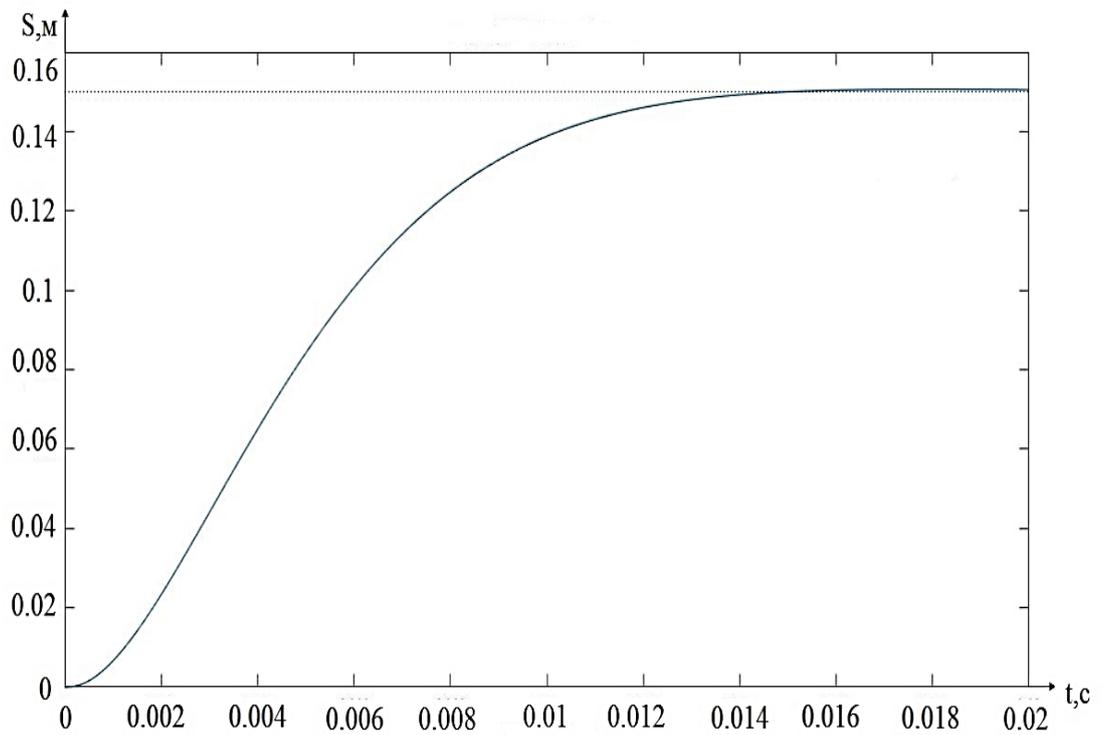


Рисунок 18 – Кривая переходного процесса перемещения замкнутой систем.

Регулятор по заданной переходной характеристике:

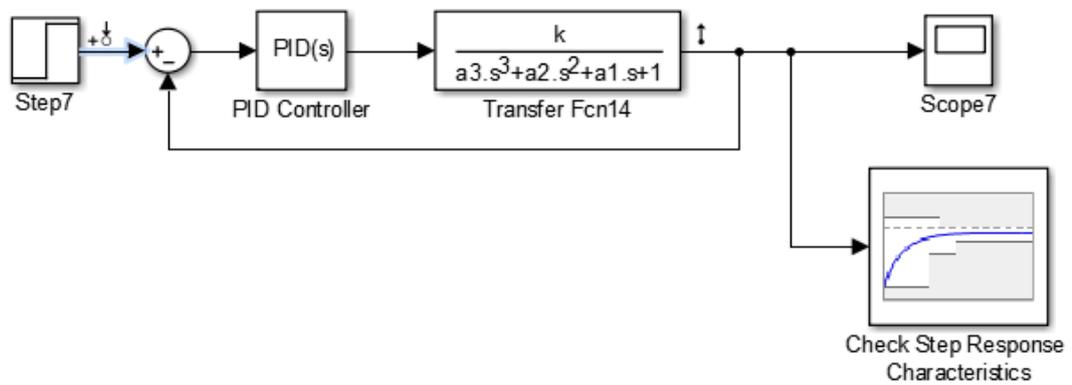


Рисунок 19 – Модель с автоматическим расчетом ПИД-регулятора

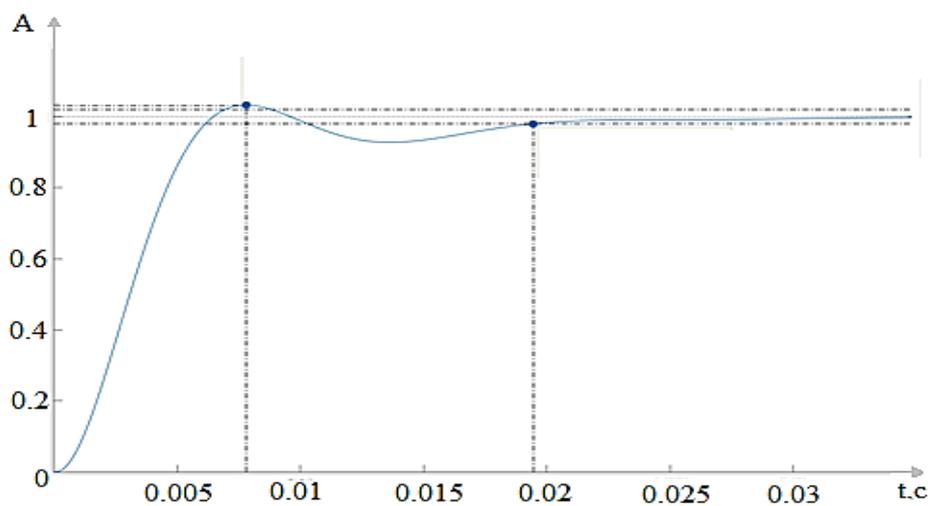


Рисунок 20 – Реакция ЭМП на скачкообразное воздействие

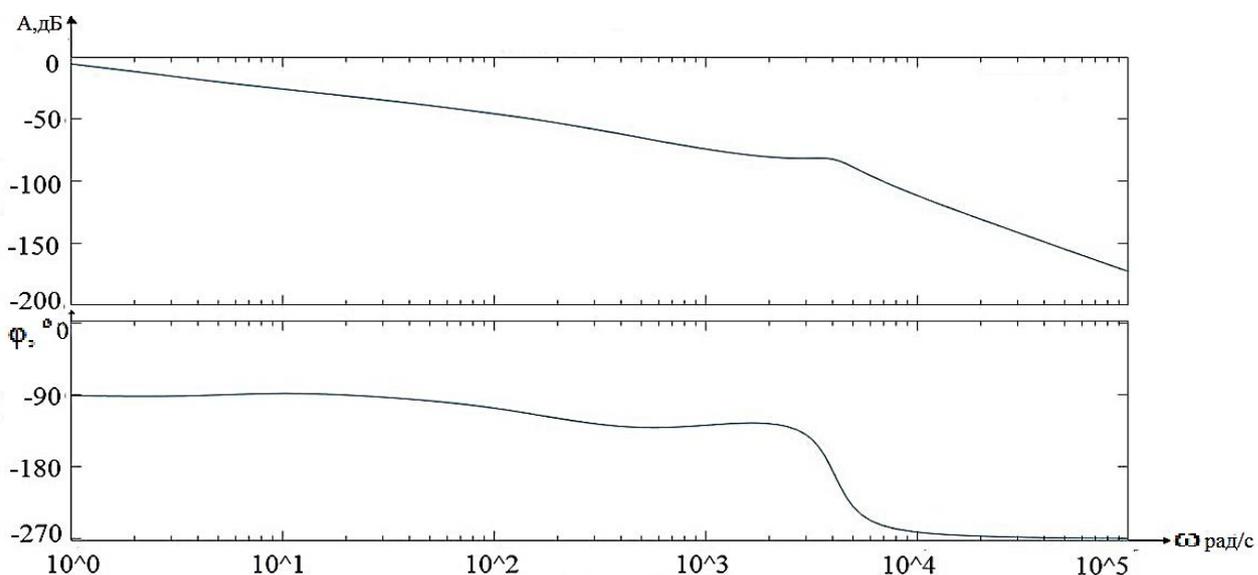


Рисунок 21 – ЛАЧХ системы с ПИД-регулятором

Итоговые значения параметров ПИД-регулятора.

В результате выполнения расчетов в программе MatLab получены следующие значения параметров:

Таблица 5 – Показатели качества системы управления

Тип регулятора	$k_p$	$k_i$	$k_d$	$t_{рег}, c$	$\sigma, \%$	$\epsilon_{уст}$	$\alpha, dB$	$\gamma, ^\circ$
ПИД (авто)	1,356	5,926	0,021	0,0195	3,28	0	29,7	62,3

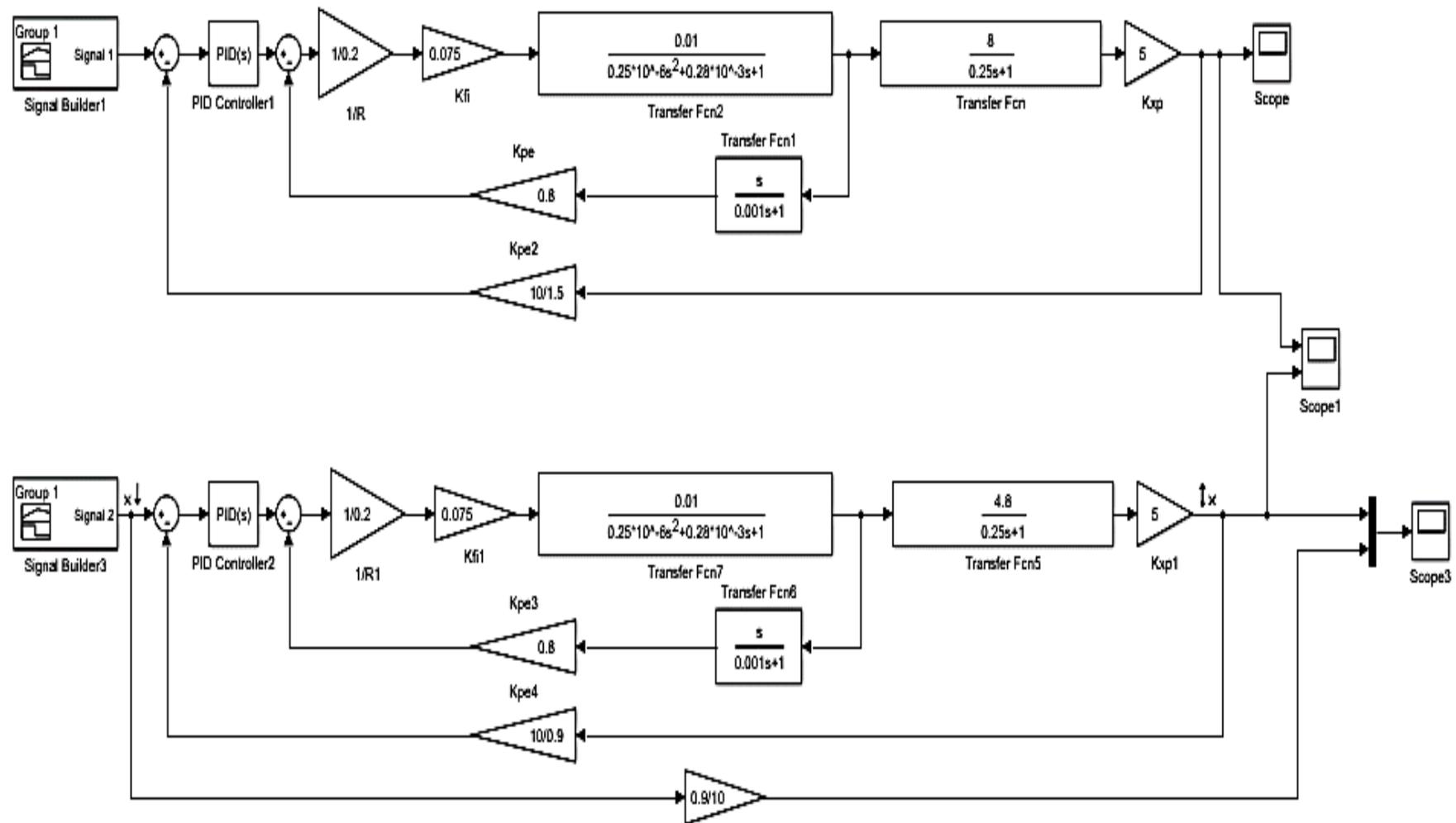


Рисунок 22 – Схема Matlab горизонтального и вертикального перемещения

На рисунке 23 описан график сигналов задания для вертикального и горизонтального перемещения. Для горизонтального перемещения 10В означает 1500 мм, для вертикального перемещения 900мм.

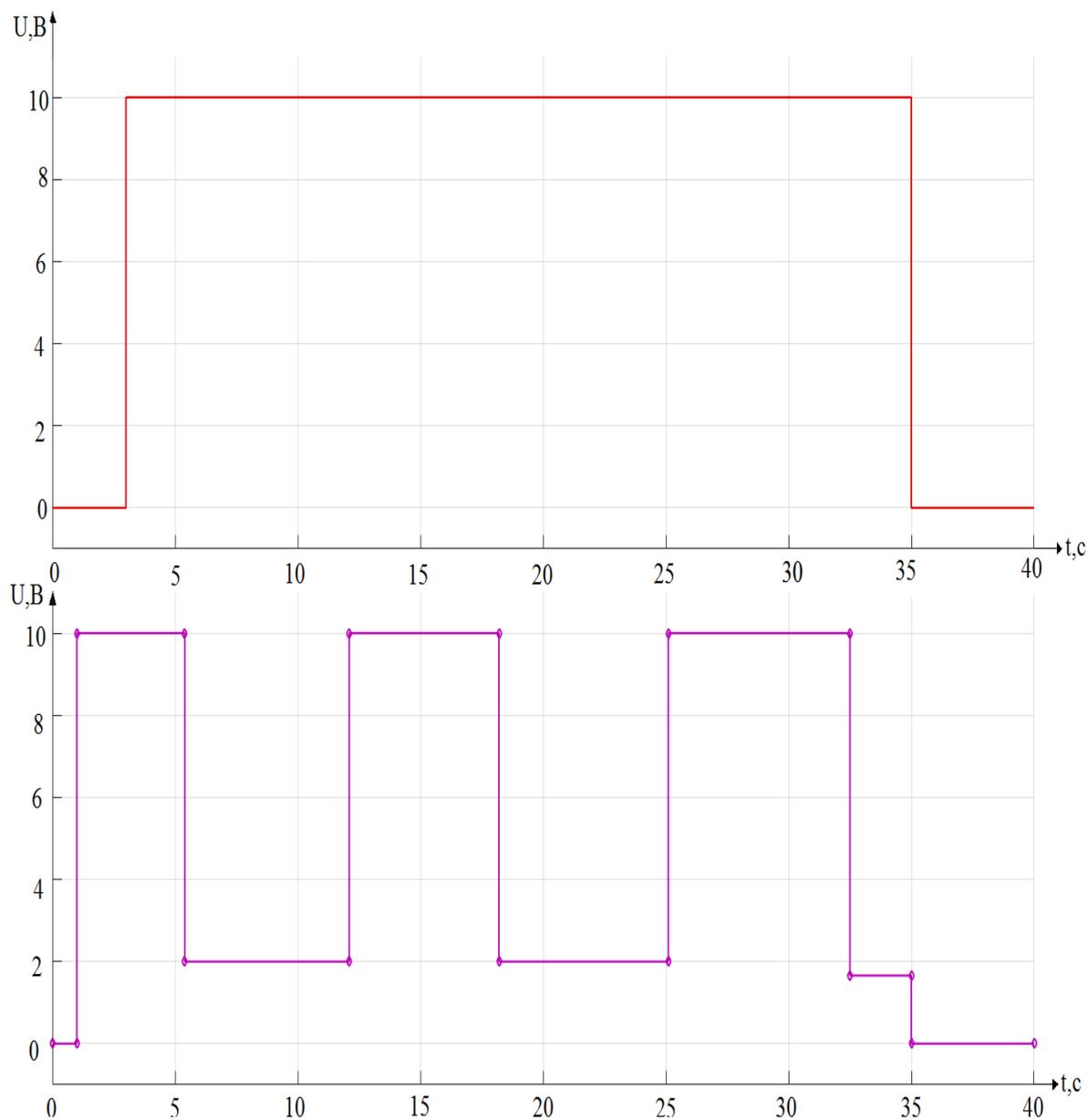


Рисунок 23 – Сигналы задания на горизонтальное и вертикальное перемещение

На рисунке 24 представлен график результатов моделирования гидропривода (рабочего цикла) горизонтального и вертикального перемещения. Красным цветом обозначено горизонтальное перемещение. Черный цветом вертикальное перемещение.

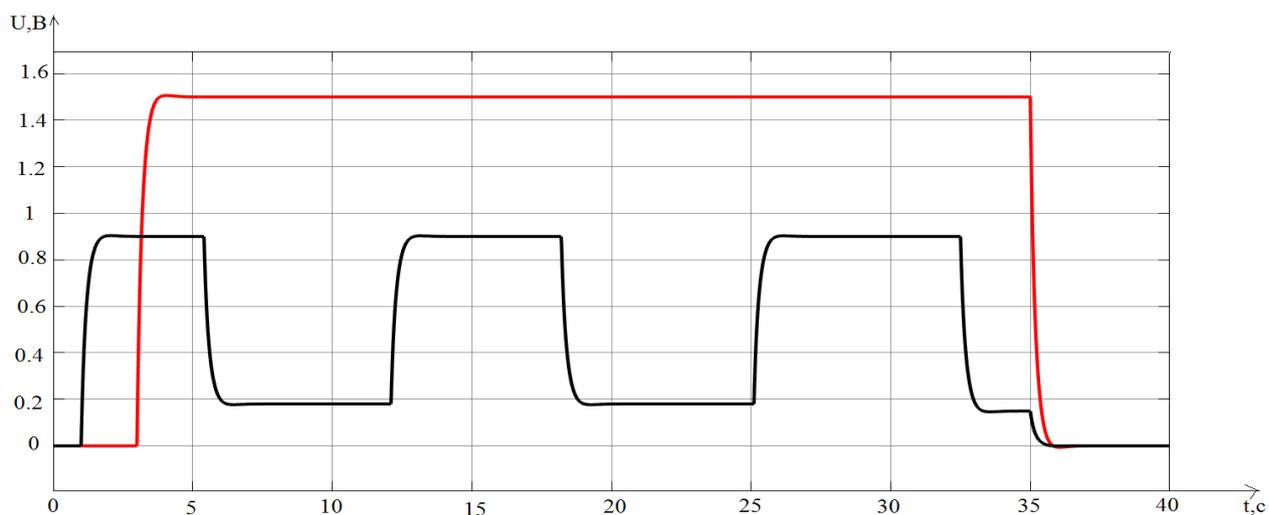


Рисунок 24 – Результаты моделирования гидропривода (рабочего цикла) горизонтального и вертикального перемещения вязальной машины

Красной линией на рисунке 24 обозначается горизонтальное перемещение вязальной машины, черной линией обозначается вертикальное перемещение вязальной машины.

График описывает цикл работы машины, машина работает корректно.

### 3 ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

#### 3.1 Данные по цеху до внедрения автоматизации

В таблице 6 приведены исходные для расчета экономической эффективности внедрения автоматизации.

Таблица 6 – Исходные данные

Показатель	Единица измерения	Варианты	
		Базовый	Планируемый
Годовой выпуск продукции	т	350000	350000
Часовая тарифная ставка	руб	85	180
– до 8 чел – 3р – после 2 чел – 5р			
Мощность электродвигателя	кВт*ч.	–	1,5
Цена единицы электроэнергии, кВт*ч	руб.	–	2,8

#### 3.2 Определение капиталовложений

Капитальные вложения складываются из затрат на:

1. возведение зданий передаточных устройств (стоимость);
2. приобретение и монтаж оборудования;
3. транспортно–заготовительные и складские расходы;
4. затраты на запасные части;
5. прочие затраты (расходы на проектные работы, содержание штата административного персонала и т.п.).

Затраты на приобретение и изготовление оборудования составили: 1000000 рублей.

Транспортно–заготовительные и складские расходы принимают в размере 7% от стоимости оборудования и рассчитывают по формуле:

$$Z_{тр} = C_{обор} \cdot 0,07, \quad (18)$$

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

$Z_{\text{тр}}$  – транспортно–заготовительные расходы.

$$Z_{\text{тр}}=1000000 \cdot 0,07=70000 \text{ рублей.}$$

Стоимость монтажных работ по установке оборудования, приобретаемого со стороны и изготавливаемого силами предприятия, принимают по укрупненным показателям в размере 10% стоимости оборудования:

$$Z_{\text{м.р.}} = C_{\text{обор}} \cdot 0,1, \quad (19)$$

где  $Z_{\text{м.р.}}$  – затраты на монтажные работы.

$$Z_{\text{м.р.}}=1000000 \cdot 0,1=100000 \text{ рублей}$$

Затраты на запасные части принимают в размере 3% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{з.ч.}} = C_{\text{обор}} \cdot 0,03, \quad (20)$$

где  $Z_{\text{з.ч.}}$  – затраты на запасные части.

$$Z_{\text{з.ч.}}=1000000 \cdot 0,03=30000 \text{ рублей}$$

Плановые накопления принимают в размере 6% от суммы транспортно–заготовительных и складских расходов, стоимости монтажных работ и затрат на запасные части:

$$N_{\text{пл}} = (Z_{\text{тр}} + Z_{\text{м.р.}} + Z_{\text{з.ч.}}) \cdot 0,06, \quad (21)$$

где  $N_{\text{пл}}$  – плановые накопления.

$$N_{\text{пл}}=(70000+100000+30000) \cdot 0,06=12000 \text{ рублей.}$$

Таблица 7 – Капитальные вложения на изготовление и монтаж автоматического устройства

Затраты	Сумма, руб.
Стоимость оборудования	1000000
Транспортно–заготовительные затраты	70000
Стоимость монтажных работ	100000
Затраты на запасные части	30000
Итого:	1200000
Плановые накопления	12000
<b>ИТОГО Сметная стоимость</b>	<b>1212000</b>

### 3.3 Расчет технологической себестоимости

Технологической себестоимостью называется себестоимость по изменяющимся статьям затрат [7]. В данном расчете изменяются следующие статьи:

1. Затраты на электроэнергию;
2. Затраты на текущий ремонт и межремонтное обслуживание оборудования;
3. Амортизационные отчисления;

Рассчитаем технологическую себестоимость.

1. Затраты на электроэнергию рассчитываются на основе норм расхода, установленных на единицу продукции и преysкуранных цен.

$$Z_{\text{эл}} = Ц \cdot N_p, \quad (22)$$

где  $Z_{\text{эл}}$  – затраты на электроэнергию;

$Ц$ –стоимость электроэнергии для промышленных предприятий, руб.;

$N_p$  – мощность двигателя кВт·ч;

Ч—количество часов

а) после внедрения автоматизации:

$$Z_{эл2} = Ц \cdot Н_{р2}, \quad (23)$$

где  $Z_{эл2}$  – затраты на электроэнергию после внедрения автоматизации;

$Н_{р2}$  – норма расхода электроэнергии после внедрения.

$$Z_{эл2} = 2,8 \cdot 1,5 \cdot 4000 = 16800 \text{ рублей}$$

2. Затраты на текущий ремонт и межремонтное обслуживание принимаются в размере 12% от стоимости оборудования:

$$Z_{т.р.м.о.} = C_{см} \cdot 0,12, \quad (24)$$

где  $Z_{т.р.м.о.}$  – затраты на текущий ремонт и межремонтное обслуживание;

$C_{см}$  – сметная стоимость оборудования.

$$Z_{т.р.м.о.} = 1212000 \cdot 0,12 = 145440 \text{ рублей}$$

Амортизационные отчисления по автоматическому устройству рассчитываются, исходя из его стоимости и действующих годовых норм амортизации.

Сумма амортизационных отчислений рассчитывается по формуле:

$$A = C_{обор} \cdot Н_a, \quad (25)$$

где  $A$  – сумма амортизационных отчислений;

$C_{обор}$  – стоимость оборудования, руб.;

$Н_a$  – норма амортизации, %.

$$A = 1000000 \cdot 0,1 = 100000 \text{ рублей}$$

Таблица 8 – Амортизационные отчисления

Оборудование	Стоимость оборудования, руб.	Норма амортизации, %	Сумма амортизационных отчислений, руб.
Автоматизация объекта	1000000	10	100000

### 3.4 Затраты на заработную плату рабочих с начислениями

В этой статье учитывается плата, высвобождаемая при сокращении производственного персонала рабочих по явочной численности с учетом премиальных выплат [7], планируемого размера дополнительной заработной платы и отчислений в фонд социальной занятости населения и страховой фонд.

Рассчитаем заработную плату рабочих до и после внедрения автоматизации.

А) до внедрения автоматизации:

Рабочий 3–ого разряда:

Тарифный фонд заработной платы определяется по формуле:

$$T_{\phi 1} = T_{\text{час}1} \cdot N_{\text{р.в.1}} \cdot P_1, \quad (26)$$

где  $T_{\phi 1}$  – тарифный коэффициент рабочего 3 разряда;

$T_{\text{час}1}$  – часовая тарифная ставка, руб.;

$N_{\text{р.в.1}}$  – среднегодовая норма часов;

$P_1$  – количество работников до внедрения.

$$T_{\phi 1} = 85 \cdot 165 \cdot 8 = 112200 \text{ рублей}$$

Дополнительная заработная плата составляет 20% от тарифного фонда заработной платы [11]:

$$\text{ДЗП}_1 = T_{\phi 1} \cdot 0,2, \quad (27)$$

где  $\text{ДЗП}_1$  – дополнительная заработная плата до внедрения.

$$\text{ДЗП}_1 = 112200 \cdot 0,2 = 22440 \text{ рублей}$$

Премия составляет 25% от тарифного фонда заработной платы:

$$П_1 = Т_{ф1} \cdot 0,25, \quad (28)$$

где  $П_1$  – премия до внедрения;

$Т_{ф1}$  – тарифный фонд заработной платы до внедрения.

$$П_1 = 112200 \cdot 0,25 = 28050 \text{ рублей}$$

Уральский коэффициент в размере 15% :

$$У_1 = (Т_{ф1} + П_1 + Д_1) \cdot 15\% \quad (29)$$

где  $У_1$  – уральский коэффициент

$Д_1$  – доплаты за вредные условия;

$Т_{ф1}$  – тарифный фонд заработной платы до внедрения;

$П_1$  – премия до внедрения.

$$У_1 = (112200 + 22440 + 28050) \cdot 0,15 = 24398 \text{ рублей}$$

Месячный фонд оплаты труда рабочих 3 разряда для 8 человек составляет:

$$ОФЗП_1 = Т_{ф1} + П_1 + Д_1 + У_1, \quad (30)$$

где  $ОФЗП_1$  – месячный фонд оплаты труда рабочих 3 разряда для 8 человек.

$$ОФЗП_1 = 112200 + 22440 + 28050 + 24398 = 187048 \text{ рублей}$$

Годовой фонд заработной платы равен:

$$ФЗП_1 = ОФЗП_1 \cdot 12, \quad (31)$$

где  $ФЗП_1$  – годовой фонд заработной платы до внедрения.

$$ФЗП_1 = 187048 \cdot 12 = 2244576 \text{ рублей}$$

Отчисления в фонд социальной защиты населения с фонда заработной платы составляют 30%.

$$O_{\text{фсзн.1}} = \Phi ЗП_1 \cdot 0,3, \quad (32)$$

где  $O_{\text{фсзн.1}}$  – отчисления в фонд социальной защиты населения до внедрения.

$$O_{\text{фсзн.1}} = 2244576 \cdot 0,3 = 673373 \text{ рублей}$$

Фонд заработной платы с отчислениями:

$$\Phi З_1 = \Phi ЗП_1 + O_{\text{фсзн.1}} \quad (33)$$

где  $\Phi З_1$  – фонд заработной платы с отчислениями до внедрения.

$$\Phi З_1 = 2244576 + 673373 = 2917949 \text{ рублей}$$

Б) после внедрения автоматизации:

Тарифный фонд заработной платы определяется по формуле:

$$T_{\text{ф2}} = T_{\text{час2}} \cdot N_{\text{р.в.2}} \cdot P_2, \quad (34)$$

где  $T_{\text{ф2}}$  – тарифный коэффициент рабочего 3 разряда;

$T_{\text{час2}}$  – часовая тарифная ставка, руб.;

$N_{\text{р.в.2}}$  – среднегодовая норма часов;

$P_2$  – количество работников до внедрения.

$$T_{\text{ф2}} = 180 \cdot 165 \cdot 2 = 61050 \text{ рублей}$$

Дополнительная заработная плата составляет 20% от тарифного фонда заработной платы:

$$\text{ДЗП}_2 = T_{\text{ф2}} \cdot 0,2, \quad (35)$$

где  $\text{ДЗП}_2$  – дополнительная заработная плата до внедрения.

$$\text{ДЗП}_2 = 61050 \cdot 0,2 = 12210 \text{ рублей}$$

Премия составляет 25% от тарифного фонда заработной платы:

$$\text{П}_2 = \text{Т}_{\text{ф}2} \cdot 0,25, \quad (36)$$

где  $\text{П}_2$  – премия до внедрения;

$\text{Т}_{\text{ф}2}$  – тарифный фонд заработной платы до внедрения.

$$\text{П}_2 = 61050 \cdot 0,25 = 15263 \text{ рублей}$$

Уральский коэффициент в размере 15%:

$$\text{У}_2 = (\text{Т}_{\text{ф}2} + \text{П}_2 + \text{ДЗП}_2) \cdot 15\% \quad (37)$$

где  $\text{У}_1$  – уральский коэффициент

$\text{ДЗП}_2$  – дополнительная заработная плата;

$\text{Т}_{\text{ф}2}$  – тарифный фонд заработной платы до внедрения;

$\text{П}_2$  – премия до внедрения.

$$\text{У}_2 = (61050 + 12210 + 15263) \cdot 0,15 = 26557 \text{ рублей}$$

Месячный фонд оплаты труда рабочих 3 разряда для 8 человек составляет:

$$\text{ОФЗП}_2 = \text{Т}_{\text{ф}2} + \text{П}_2 + \text{ДЗП}_2 + \text{У}_2, \quad (38)$$

где  $\text{ОФЗП}_2$  – месячный фонд оплаты труда рабочих 3 разряда для 8 человек.

$$\text{ОФЗП}_2 = 61050 + 15263 + 12210 + 26557 = 115080 \text{ рублей}$$

Годовой фонд заработной платы равен:

$$\text{ФЗП}_2 = \text{ОФЗП}_2 \cdot 12, \quad (39)$$

где  $\text{ФЗП}_2$  – годовой фонд заработной платы до внедрения.

$$\text{ФЗП}_2 = 115080 \cdot 12 = 1380960 \text{ рублей}$$

Отчисления в фонд социальной защиты населения с фонда заработной платы составляют 30%.

$$O_{\text{фсзн.2}} = \text{ФЗП}_2 \cdot 0,3, \quad (40)$$

где  $O_{\text{фсзн.2}}$  – отчисления в фонд социальной защиты населения до внедрения.

$$O_{\text{фсзн.2}} = 1380960 \cdot 0,3 = 414288 \text{ рублей}$$

Фонд заработной платы с отчислениями:

$$\text{ФЗ}_2 = \text{ФЗП}_2 + O_{\text{фсзн.2}} \quad (41)$$

где  $\text{ФЗ}_2$  – фонд заработной платы с отчислениями до внедрения.

$$\text{ФЗ}_2 = 1380960 + 414288 = 1795248 \text{ рублей}$$

Таблица 9 – Расчет годового фонда заработной платы.

Показатели	До внедрения автоматизации	После внедрения автоматизации
Численность рабочих, чел.	8	2
Разряд	3	5
Часовая тарифная ставка, руб.	85	180
Среднегодовая норма часов	165	165
Тарифный фонд заработной платы, руб.	112200	61050
Дополнительная заработная плата, руб.	22440	12210
Премия, руб.	28050	15263
Уральский коэффициент	24398	26557
Месячный фонд оплаты труда	187048	115080
Отчисления в страховой фонд, руб.	673373	414288
Фонд заработной платы с отчислениями, руб.	2917949	1795248

### 3.5 Составление себестоимости по изменяющимся статьям затрат

Составим таблицу 10, чтобы определить себестоимость по изменяющимся статьям затрат.

Таблица 10 – Себестоимость по изменяющимся статьям затрат.

Статьи затрат	Сумма затрат продукции, руб.		Экономия или перерасход
	Базовый	Планируемый	
Затраты на электроэнергию	–	6048	–16800
Затраты на текущий ремонт и обслуживание	–	145440	–145440
Амортизационные отчисления	–	100000	–100000
Затраты на заработную плату	2917949	1795248	1122701
ИТОГО:	2917949	2046736	860461

Таким образом, экономия от сокращения персонала экономия на заработной плате составила 860461 рублей.

### 3.6 Определение срока окупаемости

Срок окупаемости капитальных вложений определяется по формуле [8]:

$$T = K / \Delta_r, \quad (42)$$

где  $T$  – срок окупаемости, лет,

$K$  – капитальные вложения в автоматическое устройство по планируемому варианту.

Срок окупаемости составляет:

$$T = 1212000 / 871213 = 1,4 \text{ года.}$$

### 3.7 Расчет оценочных показателей проекта

Чистый доход рассчитывают по формуле:

$$\text{ЧДД} = \sum d \cdot a_t - k; \quad (43)$$

где  $k$  – капитальные затраты;

$\sum d$  – суммарные дисконтированные доходы (прибыль или экономия);

$a_t$  – коэффициент дисконтирования:

$$a_t = \frac{1}{(1+i)^t}; \quad (44)$$

где  $i$  – норма дисконта (ставка дисконтирования);

$t$  – Номер шага расчета

$$a_1 = \frac{1}{(1+0,18)^1} = 0,85;$$

$$a_2 = \frac{1}{(1+0,18)^2} = 0,72;$$

$$a_3 = \frac{1}{(1+0,18)^3} = 0,60.$$

Рассчитаем чистый дисконтированный доход за расчетный период [8]:

$$\text{ЧДД} = (860461 \cdot 0,85 + 860461 \cdot 0,72 + 860461 \cdot 0,60) - 1212000 = 655200,37$$

Индекс доходности рассчитывается путем деления суммарного дисконтированного дохода (прибыли или экономии) на объём капитальных вложений [8].

$$\text{ИД} = \frac{\sum d}{k} \cdot a_t; \quad (45)$$

$$\text{ИД} = \frac{860461 \cdot 0,85 + 860461 \cdot 0,65 + 860461 \cdot 0,52}{1212000} = 1,42.$$

На основании полученных результатов, можно сделать выводы:

–условием эффективности проекта является то, что ЧДД>0, а так как в нашем случае ЧДД=655200,37 рублей, то внедрение вязальной машины для обвязки стальных прутков можно считать экономически эффективным;

–ИД=1,42>1, этот проект эффективен.

### 3.8 Сводные технико–экономические показатели

Таблица 11 – Сводные технико–экономические показатели

Показатели	Ед измерения	Варианты	
		базовый	планируемый
Капитальные вложения	руб	-	12120000
Годовой выпуск	т	350000	350000
Численность работников	чел	8	2
Затраты на заработную плату	руб	2917949	1795248
РСЭО			
Затраты на электроэнергию (в месяц)	руб	-	16800
Затраты на ремонт и обслуживание	руб	-	145440
Амортизационные отчисления	руб	-	100000
Срок окупаемости	год	1,4	
Итоговая экономия	руб	860461	

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы изучена кинематическая схема мехатронной системы перемещения обвязки стальных прутьев чистового участка сортового прокатного стана ПЦ №1 ПАО «ЧМК», выявлены требования к приводам и системе автоматизации.

Рассчитаны и построены диаграммы перемещения механизма.

Разработана архитектура системы автоматизации вязальной машины, составлена функциональная и структурная схемы САР гидропривода.

В программе «Visio 2013» созданы графические схемы механизма, а также построены диаграмма и тахограмма горизонтального и вертикального положений. С помощью программы «Matlab» и «Simulink» рассчитаны и построены модели управления вязальной машины.

Произведен технико–экономический расчет с целью обоснования эффективности введения оборудования. Установлено, что срок окупаемости инвестиций составит 1,4 года.

На основании полученных результатов, были сделаны выводы о том, что введение нового механизма в производство оказалось выгодным.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Немировский, И.А. Расчет гидроприводов технологических машин / И.А. Немировский, Н.Г. Снисарь – Киев: «Техника», 1992. – 181 с.
2. Попов, Д.Н. Динамика и регулирование гидро– и пневмосистем. Учеб. для машиностроительных вузов. – М.: «Машиностроение», 1976. – 424 с.
3. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов – М.: Наука, 1972. – 768 с.
4. Васильченко, В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин / В.А. Васильченко. – М.: Машиностроение, 1983. – 301 с.
5. Герц, Е.В. Динамика пневматических систем машин / Е.В. Герц – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
6. Навроцкий, К.Л. Теория и проектирование гидро– и пневмоприводов: Учебник для студентов вузов по специальности “Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика / К.Л. Навроцкий – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.
7. Горфинкель, В.Я. Экономика предприятия / В.Я. Горфинкель – Израиль: Юнити–Дана, 2007.– 350 с.
8. Ящура, А.И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования / А.И. Ящура – М.: Издательство НЦЭНАС, 2006. – 500 с.
9. Фомин, Н.В. Системы управления электроприводом / Н.В. Фомин. – Магнитогорск: МГТУ, 2014. – 350 с.
10. Акимов, Л.В. Динамика двухмассовых систем с нетрадиционными регуляторами скорости и наблюдателями состояния / Л.В. Акимов, В.И. Колотило, В.С. Марков. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 93 с.
11. Булатов, М.Ю. Экономика / М.Ю. Булатов. – М.: БЕК, 1988. – 96 с.
12. Клюев, А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А.С. Клюев – М.: Издательство Энергоатомиздат, 1990 – 350 с.

13.Агравал, Г.П. Системы автоматического управления : теория,применение, моделирование в MATLAB / Г.П. Агравал. – СПб. : Лань, 2013 – 208 с.

14.Вальков, В.Б. Автоматизированные системы управления технологическими процессами / В.Б. Вальков. – М.: Политехника, 1991 – 269 с.

15.Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств / А.А. Иванов. –М.: Форум, 2012 – 224 с.

16.Кангин, В.В. Промышленные контроллеры в системах автоматизации технологических процессов / В.В. Кангин.–Ст. Оскол: ТНТ, 2013- 408 с.