

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.

РАЗРАБОТКА МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕШЕНИЯ
ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПРИЗМЫ ДЛЯ ЗАЖИМА ТРУБЫ ТОРЧЕФАСОЧНОГО
СТАВКА ЦЕХА «ВЫСОТА 239» ПАО «ЧТПЗ»

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

Нормоконтролер
Преподаватель
Гасиярова О.А.

_____ 2019 г.

Руководитель работы
К.т.н./Доцент
И.А. Якимов.

_____ 2019 г.

Ст. преподаватель
Воронин С.С.

_____ 2019 г.

Автор проекта
студент группы П-456
Андрей Владимирович Захлебин

_____ 2019г.

АННОТАЦИЯ

Захлебин А.В. Мехатронная система перемещения гидравлической призмы для зажима трубы торцефасочного станка цеха «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ» – Челябинск: ЮУрГУ, П-456, 70 с., 28 илл., библиогр. список –20 наим.

В выпускной квалификационной работе был описан технологический процесс работы перемещения гидравлической призмы для зажима трубы торцефасочного станка участка экспандирования и описаны основные технологические операции цеха «Высота-239» ПАО «ЧТПЗ».

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

В экономической части была рассчитана смета всех капитальных затрат, амортизационные отчисления, фонд оплаты труда. Далее была проведена оценка эффективности капитальных вложений от внедрения результатов ВКР.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	5
1.1 Характеристика цеха.....	5
1.2 Кинематическая и гидравлическая схема механизма.....	11
1.3 Требования к приводу и системе автоматизации.....	13
1.4 Расчет силового оборудования.....	13
1.5 Выбор гидроаппаратуры.....	24
1.6 Расчет защитного оборудования.....	26
1.7 Построение нагрузочной диаграммы привода.....	31
2 ИНФОРМАЦИЯ ПО САР.....	33
2.1 Архитектура системы автоматизации торцефасочного агрегата.....	33
2.2 Описание датчиков технологических координат.....	35
2.3 Описание контроллера и его периферии.....	39
2.4 Описание существующей функциональной схемы САР привода агрегата.....	47
2.5 Разработка контура регулирования технологических координат.....	48
3 РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ЦЕХА.....	56
3.1 Расчет сметы капитальных затрат.....	60
3.2 Расчёт стоимости приобретенного оборудования.....	61
3.3 Расчёт затрат на монтаж и транспортировку оборудования.....	62
3.4 Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования.....	63
3.5 Расчёт амортизационных отчислений.....	64
3.6 Расчёт затрат на электроэнергию.....	65
3.7 Расчёт заработной платы.....	65
3.8 Расчет показателей прибыли предприятия.....	657
3.9 Расчёт затраты на материалы на оплату труда.....	657
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	71
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	72

ВВЕДЕНИЕ

Во всем мире производство набирает быстрый темп в развитии технологий, применяющихся в производстве. Современное производство характеризуется изменением параметров внешних и внутренних сред, необходимостью применения современных технологий в изготовлении продукции, внедрением эффективных технологических процессов.

Цели работы:

- Рассчитать и выбрать ряд оборудования для гидропривода;
- Разработать систему автоматического управления гидравлической призмы для зажима трубы торцефасочного станка;
- Рассчитать технико-экономические показатели гидравлической призмы для зажима трубы торцефасочного станка.

Для достижения целей работы необходимо решить следующие задачи:

- Описать основные технологические операции цеха «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ»;
- Описать технологический процесс работы гидравлической призмы для зажима трубы торцефасочного станка;
- Определить требования к гидроприводу и системе автоматизации;
- Рассчитать показатели уставок защитных устройств;
- Построить тахограмму работы гидравлической призмы для зажима трубы торцефасочного станка и нагрузочную диаграмму работы привода.
- Построить схему гидропривода и так же подобрать программируемый контроллер и ряд датчиков технологических координат.
- Построить структурную схему САР, провести моделирование типовых режимов работы привода;
- Провести анализ эффективности капитальных вложений, за счет внедрений.

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Характеристика цеха.

"Высота 239" – самый необычный завод металлургической отрасли России. Современное здание, не стандартный дизайн для походных предприятий, необходимая продукция, автоматизация процесса работы производства труб большого диаметра

В июне 2010 года был запущен новый цех по созданию и производству труб большого диаметра. На полную мощность в 2011 году, описанный выше завод, способен производить на 550 000 тонн труб большого диаметра в год. Как следствие того, что годовой объем производства этого вида труб на ЧТПЗ увеличится почти в два раза. В цехе приобретено и установлено новое оборудования для создания одношовных труб диаметром до 1420 мм с внешним и внутренним покрытием. Данный вид продукции отвечает всем требованиям заказчика, и могут быть использованы в суровых климатических условиях при повышенной сейсмической активности или даже трубопроводах на морском дне.

Производство труб – это полностью автоматизированный процесс. После открытия данного цеха – "Высота 239" впервые началось использовать понятие как "Белая металлургия". "Белая металлургия" - новый стандарт металлургического производства, появившийся в России в 2010 году. [1]

Развитие цеха "Высота 239" не стоит на месте, каждый раз внедряются более современные методы производства. Из разных городов, стран приглашаются самые лучшие специалисты из разных областей технических специальностей

Для превосходства на рынке, сотрудники проходят строгий отбор для соответствия самым жестким и современным стандартам их квалификации. Около 55% всего рабочего состава компании - это люди с высшим образованием.

Далее составлено краткое описание каждого из этапов изготовления трубы:

1. Складирование листа Исходным материалом для производства труб служат металлические листы (штрипсы).

2. Выборочный контроль, подача на линию и взвешивание Выборочно лист подаются на кантователь, где он проходит визуальный осмотр, после чего взвешивается на рольганговых весах.

3. Лист проходит ультразвуковой контроль на наличие дефектов

4. Автоматический контроль геометрии листа. На данном этапе производят замеры длины, ширины и толщины листа, а также измеряют его серповидность и волнистость. При обнаружении несоответствия необходимым параметрам, бракованные листы снимают с линии.

5. Дробометная очистка поверхности Лист попадает на дробометную установку, где производится очистка его верхней и нижней поверхностей от грязи.

6. Лист визуально осматривают и маркируют

7. Приварка технологических планок к четырем углам листа в продольном направлении привариваются технологические пластины.

8. Обработка продольных кромок под сварку Лист поступает на кромкофрезерную установку, где производится подготовка под сварку, путем обработки продольных кромок фрезой.

9. Подгибка кромок. Происходит одновременное пошаговое загибание обеих кромок листа на кромкогибочном прессе.

10. Шаговая формовка трубной заготовки. Два трубоформовочных пресса для труб, длиной 12 и 18 метров осуществляет пошаговую формовку листов в трубные заготовки. Операция состоит из двух этапов: сначала манипуляторы вталкивают лист на рабочую позицию, где производится формовка одной половины листа. Затем лист опускается, и 11 манипуляторы, поворачивая лист поперек, снова вталкивают лист под пресс и осуществляется формовка второй половины.

11. Осмотр, сборка и сварка технологического шва Трубная заготовка проходит визуальный контроль и замеры профиля заготовки. Затем труба поступает на сборочно-сварочный стан, где производится сварка трубной заготовки по всей длине технологического шва.

12. Маркировка трубы Маркировочное устройство наносит номер на оба конца трубы в продольном направлении.

13. Осмотр, сварка внутреннего шва. После маркировки проводится осмотр технологического шва и, при необходимости, производится ручной ремонт ошибок, обнаруженных на технологическом шве. Далее труба отправляется на сварку внутреннего шва.

14. Очистка внутренней полости. На этом этапе внутреннюю полость трубы очищают от шлаков, образовавшихся в процессе сварки, с помощью передвижного щеточного узла. Вытяжка пыли осуществляется с помощью специального пылесоса.

15. Сварка наружного шва. Производится последний этап сварки трубы на установке для сварки наружного шва.

16. Очистка наружной полости Щеточные блоки удаляют шлаки с поверхности трубы, образовавшиеся в процессе сварки наружного шва, после чего производится охлаждение шва душевыми соплами.

17. Обрезка технологических планок Промышленный робот удаляет технологические пластины на обоих торцах трубы с помощью устройства плазменной резки.

18. Автоматизированный контроль геометрии трубы. Осуществляется визуальный осмотр шва и замеры геометрических параметров трубы.

19. Ультразвуковой контроль сварного соединения. На установке УЗ-контроля осуществляется контроль шва. Дефекты, обнаруженные при ультразвуковом контроле, подвергаются рентгеновскому контролю. Трубы, у которых были обнаружены дефекты сварного шва в ходе УЗК или рентгеновского контроля, снимают с производственной линии и отправляют на расположенный рядом стенд

для ремонта шва. После исправления дефектов с помощью электросварочного или газорезательного оборудования, отремонтированная труба проходит повторный УЗ-контроль и возвращается на производственную линию.

20. Промывка трубы. Перед экспандированием, внутреннюю часть трубы промывают эмульсией.

21. Экспандирование трубы. Механический однопозиционный экспандер служит для ступенчатого расширения трубы и придания ей необходимой геометрии. Расширение трубы длиной 18 метров осуществляется в два этапа: клещевая тележка захватывает трубу и постепенно подает на первый экспандер, который в свою очередь пошагово расширяет первую половину трубы. Затем поперечная транспортная тележка перемещает трубу на второй экспандер, который расширяет вторую часть трубы по той же схеме что и на первом экспандере. Расширение трубы длиной 12 метров производится в один этап на первом экспандере.

22. Промывка трубы Внутренняя и внешняя поверхности уже расширенной трубы промываются чистой водой.

23. Снятие усиления шва и предобработка торцов трубы Шлифовальным методом производится удаление внешнего и внутреннего усиления шва на обоих концах трубы. Затем труба поступает на торцовочный станок, где производится предобработка торцов трубы для испытания на гидростатическом прессе.

24. Гидравлические испытания. На гидростатическом прессе проводятся гидравлические испытания труб. Это осуществляется по следующей технологической схеме: трубу герметизируют с обоих концов испытательными манжетами, после чего заполняют внутреннюю полость испытательной водой, одновременно выкачивая воздух. Трубу выдерживают под давлением определенное время и затем сливают испытательную воду через спускной клапан.

25. Сброс остаточной воды из трубы Гидравлические домкраты наклоняют трубу, и оставшаяся вода сливается из ее полости.

26. Окончательный УЗ-контроль соединения. Вторая УЗ-установка осуществляет автоматический ультразвуковой контроль на наличие дефектов сварного шва уже готовой трубы. В случае обнаружения дефектов труба отправляется на рентгеновский контроль и по его результатам труба либо возвращается на производственную линию, либо отправляется на рядом расположенный участок ремонта труб.

27. Рентгеновский контроль качества концов труб Концы сварных соединений (350мм от обоих торцов) готовых труб подвергаются рентгеновскому контролю. Трубы, не прошедшие рентгеновское испытание, отправляются на плазменную обрезку дефектных концов, после чего проходят рентгеновский контроль повторно.

28. Контроль тела трубы. На инспекционной площадке проводятся замеры геометрических параметров трубы, проверка на наличие отклонений по овальности и прямолинейности, а также визуальный осмотр на наличие дефектов шва.

29. Обработка торцов и снятие фасок Установка для снятия фаски, аналогичная торцовочному станку, снимает фаски с торцов трубы.

30. Магнитно-порошковый контроль. На устройстве магнитопорошковой дефектоскопии проводится проверка фасок трубы на наличие трещин. На обработанные торцы наносится специальный раствор и флуоресцирующий железный порошок. Фаски труб намагничивают переменным током и включают ультрафиолетовое освещение. Под действием тока намагниченные частицы железного порошка скапливаются в местах дефектов.

31. Контроль геометрии концов трубы. На этом участке труба подвергается окончательному визуальному осмотру, так же проводятся контрольная проверка геометрических параметров и размеров трубы.

32. Готовые трубы взвешивают на весах, маркируют и отправляют на склад

1.2 Кинематическая и гидравлическая схема механизма

Работа торцефасочного станка заключается в том, что после подачи трубы на рабочую позицию, гидравлические зажимные призмы начнут зажимать трубу, после зажатия шпиндельные бабки перемещаются на рабочие позиции. После обработки шпиндельные бабки возвращаются к позиции ожидания, зажимные призмы – разжимаются.

Мехатронная система перемещения гидравлической призмы для зажима трубы торцефасочного станка – гидравлическое зажимное устройство труб, которое состоит из механизма с осевым кулачковым зажимом формы призмы, с гидравлическим приводом. Кинематическая схема представлена на рисунке 2

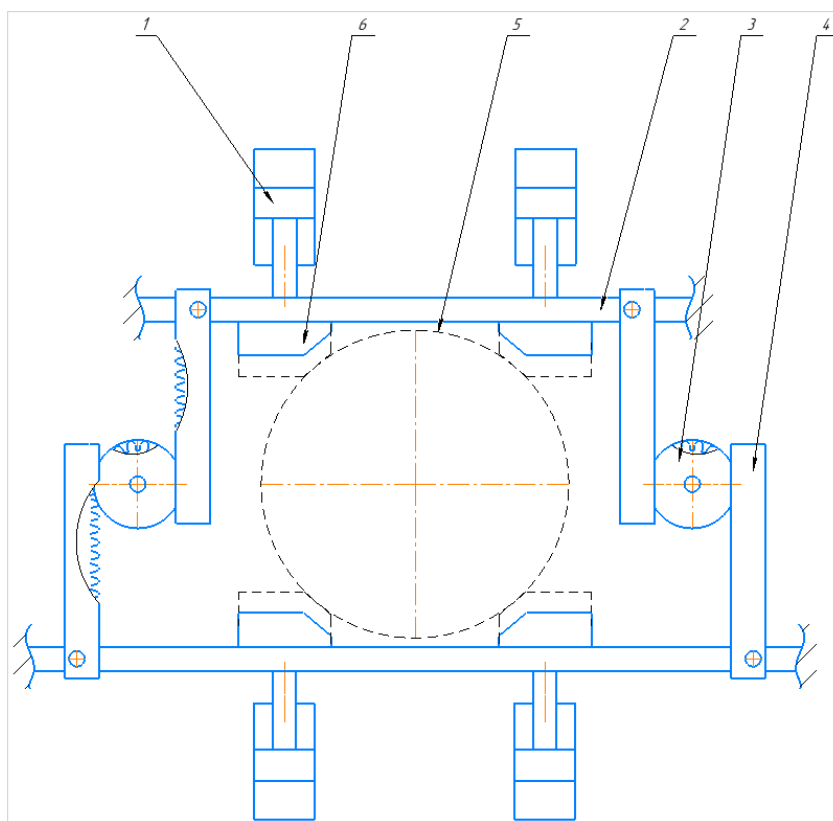


Рисунок 2 – Условная кинематическая схема механизма: 1. гидроцилиндр
2. опорная плита для призматических зажимов 3. шестеренное колесо 4. зубчатая рейка 5. труба для обработки 6. призматические зажимы

В зависимости от диаметра труб и их толщины стенки привод необходимо регулировать. Следовательно, нужно установить ряд аппаратного обеспечения и оснастить механизм датчиками. Для безопасной работы с трубой, необходимо управлять давлением зажима призмы торцефасочного станка. Так же положение гидроцилиндра регулируется конечным выключателем.

Мехатронная система перемещения гидравлической призмы состоит из сварной рамы, в которой две балки перемещаются горизонтально с помощью четырех гидравлических цилиндров. Зубчатая рейка необходима, чтобы исключить ресинхронизацию хода двух балок механизма. Балки оснащены призматическими кулачками, которые способны менять свою позицию, положение для того чтобы получить оптимальный угол зажима в зависимости от диаметра труб. На рисунке 3 представлена гидравлическая схема гидропривода

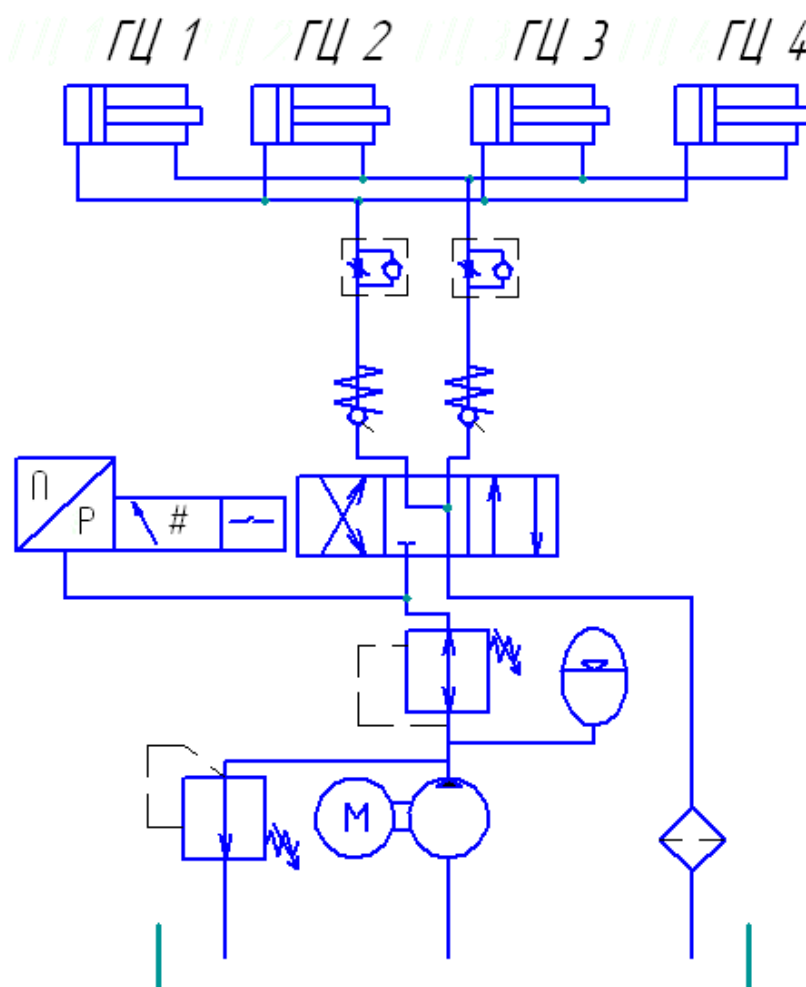


Рисунок 3 – Упрощённая гидравлическая схема агрегата

1.4 Требования к приводу и системе автоматизации

Для необходимости адекватной работы рассматриваемой системы необходимо чтобы она соответствовала следующим технологическим требованиям:

1. Максимальное усилие в штоковой полости 110 кН.
2. Максимальный ход зажима: 480 мм.
3. Максимальная скорость перемещения 350 мм/с
4. Максимальное развиваемое давление зажима: 150 бар.
5. Давление необходимое для зажима трубы, 90 Бар

Требования к рабочей жидкости гидропривода.

1. Вязкость рабочей жидкости = 46 мм²/с.
2. Пятый класс частоты рабочей жидкости
3. Оптимальная температура рабочей жидкости 45-55 градусов по Цельсию.
4. Класс вязкости рабочей жидкости ISO – VG 46.
5. Тип рабочей жидкости – масло на минеральной основе HLP 68

В технологическом процессе механизм зажима трубы должен работать автоматически, в связи, с чем к его системе автоматизации предъявляются следующие требования:

1. Возможность управления установкой от промышленного контроллера Simatic
2. Контроль конечных позиций с помощью бесконтактных датчиков конечного положения.
3. Отображение процесса работы установки на экране оператора (HMI система)
4. Наличие станции распределенной периферии ET200 IM151.

1.5 Расчет силового оборудования

Главное силовое оборудование это гидравлический цилиндр. Гидравлический цилиндр представляет собой объемный гидравлический

двигатель, который в свою очередь приводит в движение исполнительные органы.

Для последующего расчета силового оборудования необходимо начать с расчета давлений в полостях гидроцилиндра и так же подбора физических характеристик гидроцилиндра, диаметр поршня и штока.

Обозначим полезные площади поршня нештоковой и штоковой полостях гидроцилиндра соответственно через F_1 и F_2 , а давления в полостях через P_1 и P_2

$$A = \pi D^2 / 4 \quad (1)$$

Выражение для нахождения площади поршня в штоковой полости:

$$A = \pi(D^2 - d^2) / 4 \quad (2)$$

D и d – диаметры поршня и штока гидроцилиндра соответственно.

Уравнение равновесия поршня гидроцилиндра с одним штоком без учета сил инерции

$$P_1 F_1 = P_2 F_2 + R + T \quad (3)$$

F_1 – площадь поршня со стороны поршневой полости, m^2 ;

F_2 – площадь поршня со стороны штоковой полости, m^2 ;

R – усилие на штоке, кН;

T – сила трения, приложенная к поршню.

Уравнения для P_1 давления в поршневой полости

$$P_1 = P_{\text{Насос}} - \Delta P_{\text{Золотник1}} - \Delta P_{\text{Труба}} \quad (4)$$

где $P_{\text{Насос}}$ – давление, развиваемое насосом, МПа:

Уравнение для P_2 давление в штоковой полости

$$P_2 = \Delta P_{\text{Дроссель}} + \Delta P_{\text{Золотник2}} + \Delta P_{\text{Фильтр}} + \Delta P_{\text{Труба}} \quad (5)$$

Перепады давлений, возможно, определить по справочным данным, приведенным в таблице 1

Таблица 1 – Перепады давлений на гидроаппаратуре

Гидроаппаратура	Перепады давлений, Мпа
Гидрораспределитель	0,2
Дросселирующий гидрораспределитель	0,3
Обратный клапан	0,15
Гидродроссель	0,3
Регулятор потока	0,3–0,5
Клапан редуционный	0,5
Гидроклапан давления	0,6
Фильтр для очистки рабочей жидкости	0,1

Подставим значения перепадов давления в формулы (4) и (5) и получим, что

$$\Delta P_1 = 6,3 - 0,2 - 0,2 = 5,9 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_2 = 0,3 + 0,2 + 0,1 + 0,2 = 0,8 \text{ МПа}$$

Определим площади гидроцилиндра F_1 и F_2 , применяя соотношения:

$$v_{\text{нр}} = \frac{S}{t_p} \quad (6)$$

$$v_{np} = \frac{S}{t_x} \quad (7)$$

где v_{np}, v_{nx} – скорости поршня при рабочем и холостом ходе.

Преобразуем формулы (6) и (7) для расчета скорости поршня к виду

$$\frac{v_{np}}{v_{nx}} = \frac{t_x}{t_p} \quad (8)$$

Расход жидкости, поступающий в рабочие полости гидроцилиндра, можно определить по формуле:

$$Q = v_{п} \cdot F \quad (9)$$

где $v_{п}$ – скорость движения поршня гидроцилиндра, м/с.

Если расход жидкости, поступающей в гидроцилиндр, при рабочем и холостом ходе одинаков, то

$$Q = v_{п} \cdot F_1$$

$$Q = v_{п} \cdot F_2$$

Откуда следует, что

$$\frac{v_{np}}{v_{nx}} = \frac{F_2}{F_1}$$

Из выражений выше следует, что

$$\frac{t_x}{t_p} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{(D_2 - d_2)}{D_2} \quad (10)$$

А следовательно, упростив выражение (10) получим, что

$$d = D \sqrt{1 - \frac{t_x}{t_p}}$$

Общий вид выражения площади поршня:

$$F_1 = \pi \frac{D^2}{4} \quad (11)$$

Общий вид выражения площади штока:

$$F_2 = \pi \frac{D^2 - d^2}{4} \quad (12)$$

Если брать во внимание выражение (11), то площадь штока будет принимать соответственный вид:

$$F_2 = \pi \frac{\left(D^2 - D^2 \left(1 - \frac{t_x}{t_p} \right) \right)}{4}$$

Необходимо рассчитать силу трения T , для того что бы рассчитать диаметр поршня гидроцилиндра D . С увеличением давления жидкости в гидроцилиндре сила трения так же увеличивается, и находится в диапазоне.

$$T = (0,02..0,1)R \quad (12)$$

Подставив значения усилия на штоке в выражение (10) для определения силы трения получим, что

$$T = (0,02...0,1)R = 0,08 \cdot 47 = 3,76 \text{ кН}$$

Подставив выражения площадей F_1 и F_2 , в формулу (3) сможем определить диаметр поршня гидроцилиндра:

$$D = \sqrt{\frac{4(R + T)}{\pi \left(P_1 - P_2 \left(\frac{t_x}{t_p} \right) \right)}} = \sqrt{\frac{4(47000 + 3760)}{3,14(6,3 \cdot 10^6 - 0,8 \cdot 0,7 \cdot 10^6)}} = 0,125 \text{ м}$$

Исходя из расчетных, данных был выбран гидроцилиндр Hanchen hydraulic, представленный на рисунке 4. Характеристика данного гидроцилиндра – 125/50/480,

где $D = 125$ мм, $d = 50$ мм, $x = 480$ мм – ход цилиндра, $P^* = 15$ МПа (P^*) номинальное давление гидроцилиндра.

Найдем площадь поршня гидроцилиндра из формулы (11) в поршневой и (12) штоковой полости

$$F1 = (\pi D^2) / 4 = 3,14 \cdot 0,125^2 / 4 = 9,5 \cdot 10^{(-3)} \text{ м}^2$$

$$F2 = (\pi(D^2 - d^2)) / 4 = 3,14 \cdot ((0,125^2 - 0,050^2)) / 4 = 7,56 \cdot 10^{(-3)} \text{ м}^2.$$

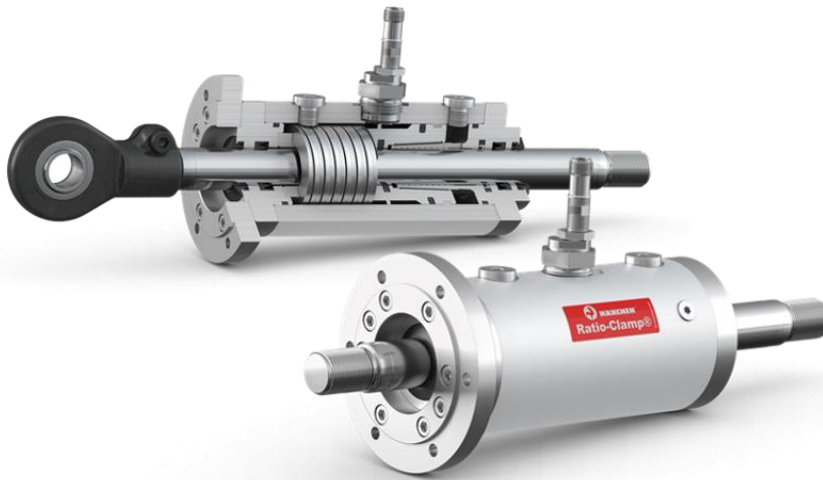


Рисунок 4 – Гидроцилиндр фирмы Hanchen hydraulic

Насос является одним из самых важных объектов в системе силового оборудования. Для его выбора необходимо произвести расчетные мероприятия. Выбор насоса производится по номинальному давлению P^* и подаче Q .

Рассчитаем расход рабочей жидкости в поршневой полости рассматриваемого гидроцилиндра.

$$Q_{Цл} = v_{пр} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (14)$$

где $v_{пр}$ – скорость выдвижения штока (скорость перемещения поршня)

$$v_{пр} = \frac{(\pi D^2)}{t_p} = \frac{0.5}{10} = 0,05 \text{ м / с} \quad (15)$$

подставим расчетные значения в формулу (14)

$$Q_{Цл} = 0,05 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,125^2}{4} = 0,475 \cdot 10^{-3} = 0,473 \text{ л / с}$$

Определим производительность насоса:

$$Q_H = (Q_{Ц1} + \Delta Q_{Ц}) \cdot X + \Delta Q_{зол} + \Delta Q_{ПК} \quad (16)$$

где $\Delta Q_{Ц}$ – утечки гидроцилиндре;

$\Delta Q_{зол}$ – утечки в аппаратуре управления потоком жидкости (гидрораспределитель);

$\Delta Q_{ПК}$ – утечки пред-хранительного клапана = 0,1 Q_H ;

X – число гидроцилиндров в рассматриваемом ОГП.

Утечки в силовом гидроцилиндре $\Delta Q_{Ц}$ и в гидрораспределитель $\Delta Q_{зол}$ приведены в таблице 2 (основные параметры гидроцилиндров) и в таблице 3, соответственно.

Таблица 2 – Утечки в силовом гидроцилиндре

Единицы измерения	Значения внутренних диаметров гидроцилиндров D, мм								
	40	50	63	70	80	90	100	110	125
Номинальный расход Q, л/мин	20	25	40	50	50	50	80	100	100
Максимальное усилие на штоке, кН	7,75	12,0	18,8	23,7	31	39,2	48,5	58,6	75,8
Ход поршня, мм	200	200	200	300	400	630	630	630	800
Утечки $\Delta Q_{Ц}$ при давлении P = 10 МПа, см ³ /мин	25	32	40	45	50	56	63	70	80

Таблица 3 – Основные параметры гидрораспределителя.

Диаметр условного прохода, мм	8	10	12	16	20	32
Значения утечек рабочей жидкости $\Delta Q_{\text{зол}}$ при давлении $P = 10$ МПа, см ³ /мин	50	100	150	200	250	300

Действительные утечки рабочей жидкости в гидроцилиндре и в гидрораспределителе можно найти, если P_1 отличается от P номинального, через соотношение

Расчет утечек в гидроцилиндре:

$$\Delta Q_{\text{ц}} = \Delta Q_{\text{ц}} \cdot \frac{P_1}{P} = 70 \cdot 10^{-3} \cdot 6,3 / 10 = 0,042 \text{ л/мин.} \quad (18)$$

Расчет утечек рабочей жидкости в золотнике:

$$\Delta Q_{\text{зол}} = \Delta Q_{\text{зол}} \cdot \frac{P_1}{P^*} = 90 \cdot 10^{-3} \cdot 6,3 / 10 = 0,073 \text{ л/мин.} \quad (19)$$

Полученные значения утечек подставим в уравнение (16) и найдем $Q_{\text{н}}$.
 Параметры насоса определяют из справочной литературы и промышленных каталогов, представляемых заводами - изготовителями объемных гидромашин.

$$Q_{\text{н}} = (28,4 + 0,042)4 + 0,073 + 0,1Q_{\text{н}}$$

$$Q_{\text{н}} = (28,4 + 0,042)4 + 0,073 / 0,9 = 36,3 \text{ л/мин.}$$

Общий вид формулы для определения рабочего объема насоса:

$$q = \frac{Q_{\text{н}}}{n\eta_0}, \quad (20)$$

где n – частота вращения ротора насоса;

η_0 – объемный коэффициент полезного действия насоса.

$$q = \frac{36,3}{1000 \cdot 0,9} = 0,040 \text{ л} = 40 \text{ см}^3.$$

После всех расчётов необходимо подобрать гидронасос. Гидронасос – это устройство, которое преобразует энергию потока жидкости в механическую энергию, которая позже воздействует на рабочий механизм. Кроме того, одной из основных функций гидравлического насоса является подача жидкости под давлением в трубопровод.

Для системы был выбран шестеренный гидронасос фирмы Rexroth с внутренним зацеплением PGF3-3X, представленный на рисунке 5.



Рисунок 5 – Шестеренный насос фирмы Rexroth

По формуле (21) уточним расход жидкости, сбрасываемой через предохранительный клапан.

$$\Delta Q_{ПК} = qn\eta_0 - 4(Q_{Ц1} + \Delta Q_{Ц}) - \Delta Q \quad (21)$$

Подставим значения и получим что:

$$36 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \cdot 0,9 - 4(28,4 + 0,042) - 0,073 = 9,85 \text{ л/мин} = 0,164 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Рассчитаем диаметр гидротрубопроводов. В зависимости от давления насоса P_n по требованиям ГОСТ выбираем скорость движения жидкости.

Рекомендуемые значения скорости (по ГОСТ) движения рабочей жидкости в напорных трубопроводах показаны в таблице 4

Таблица 4 – Значения скорости

$P_{\text{насоса}}, \text{ МПа}$	2,5	6,3	16	32	63	100
$v_{\text{раб.жид.}}, \text{ м/с}$	2	3,2	4	5	6,3	10

Найдем внутренний диаметр труб

$$d_T = \sqrt{\frac{4Q_{цл}}{\pi v_{рж}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,473 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 3,2}} = 0,019 \text{ м} \quad (22)$$

Полученное расчетное значение внутреннего диаметра трубопроводов в соответствии ГОСТ 16516-80 до ближайшего стандартного в большую сторону, т.е. $d_T = 20 \text{ мм}$.

Относительно внутреннего диаметра трубы, найдем среднюю скорость движения рабочей жидкости в трубах.

$$v_{рж1} = \frac{4Q_{цл}}{\pi d_T^2} = \frac{4 \cdot 0,473 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,2^2} = 2,54 \text{ м/с} \quad (23)$$

1.6 Выбор гидроаппаратуры

Исходя из расчетных данных и описанной ранее схемы гидропривода, необходимо произвести расчет и выбор всех гидроаппаратуры системы.

Подбор гидроаппаратуры происходит в соответствии с расчетными значениями расхода рабочей жидкости и давления. Зная эти данные, осуществляется выбор предохранительного клапана, гидрораспределителя, дросселя и фильтра и т.д..

Утечки рабочей жидкости через уплотнения, манжеты, зазоры – является одним из недостатков гидропривода. Особенно этот недостаток актуален для золотниковых распределителей. Вследствие этого в гидроцилиндре, находящемся под нагрузкой, шток медленно опускается. Для того что бы минимизировать эффект от утечек и служат гидрозамки.

Гидравлический замок называется управляемым обратным клапаном, который предназначен для передачи потока жидкости в одном направлении, и его блокировкой в обратном направлении, когда нет управляющего воздействия, и когда последний присутствует, работает для пропускания жидкости в обоих направлениях.

По расчетам, произведённым ранее, выбираем гидрозамок фирмы Rexroth Z2S10-1-3X, S10 представленный на рисунке 6, с характеристиками: максимальное рабочее давление 315 бар, максимальный рабочий расход 120 л/мин, различные давления открытия, с предварительной разгрузкой от давления.



Рисунок 6 – Гидрозамок S10 фирмы Rexroth

Для распределения и изменения направления рабочей жидкости в гидравлической системе служит гидравлический распределитель. За счет внешнего воздействия перемещается золотник, который, в зависимости от своего положения, определяет направление жидкости. Гидрораспределители отличаются:

По типу управления, бывают с пневматическим, механическим, пневматическим, гидравлическим, электрическим приводом

По типу запорно-регулирующих элементов, распределители разделяют на золотниковые, крановые, и клапанные.

Для системы был рассчитан и выбран гидрораспределитель 4WE 6J6ZX/EG112ZN9K4 4WE фирмы Rexroth, с максимальным расходом 70 л/мин,



Рисунок 7 – Гидрораспределитель 4WE фирмы Rexroth

Дроссель предназначен для изменения сопротивления гидролинии путем изменения размера проходного сечения дросселя. Вследствие изменения гидравлического сопротивления дросселя, меняется перепад давления на нем, а, следовательно, и расход через дроссель. При этом изменяется скорость движения поршня гидроцилиндра. В системе был выбран дроссель Z2FS 10-5-3X/V фирмы Rexroth, с максимальным объёмным расходом 80 л/мин и максимальным рабочем давлением 315 бар. Дроссель Z2FS представлен на рисунке 1.8.



Рисунок 8 – Дроссель Z2FS фирмы Rexroth

Гидроаккумулятор в гидроприводе используется для накопления энергии при медленных движениях рабочих органов, для получения достаточно больших токов рабочей жидкости под давлением при ускоренных движениях. Установка гидроаккумулятора повышает КПД, при работе гидропривода появляются пульсации, которые описанный ранее гидроаппарат компенсирует и поддерживает необходимое давление на рабочих элементах зажимного устройства. Также данное устройство применяют для компенсации утечек гидропривода.

В рассматриваемой гидравлической системе подобраны два гидр аккумулятора SB 330-24 A1/112U-330A фирмы Rexroth, с характеристиками: максимальное рабочее давление 330 бар, номинальный объём 24л.

1.7 Расчет защитного оборудования

Для безопасной работы любого привода необходимо устанавливать защитные, предохранительные устройства. Для гидропривода защитные устройство от перепада давления в системе используется предохранительный

клапан. Для того, чтобы правильно рассчитать и выбрать этот гидроаппарат, необходимо узнать величину действительных перепадов давления в гидроприводе.

Предохранительный клапан – защитное устройство, которое срабатывает при достижения в системе давления настройки. При достижении в системе давления больше давления настройки клапана, данный клапан путем автоматического слива избытка рабочей жидкости защищает привод от механического разрушения оборудования избыточным давлением.

Перепады давлений находим из этой формулы

$$\Delta P_{\text{зол1}} = \Delta P_{\text{зол}}^* (Q_{\text{ц1}} // Q_{\text{зол}}^*)^2 \text{ и } \Delta P_{\text{зол2}} = \Delta P_{\text{зол}}^* (Q_{\text{ц2}} // Q_{\text{зол}}^*)^2 \quad (24)$$

где $\Delta P_{\text{зол}}^*$ – перепад давлений на золотнике при расходе $Q_{\text{зол}}^*$;

$Q_{\text{ц1}}$ – расход жидкости в полости нагнетания цилиндра;

$Q_{\text{ц2}}$ – расход жидкости в полости слива.

Следующее действие, определение расхода.

$$Q_{\text{ц2}} = Q_{\text{ц1}}(D^2 - d^2) / D^2 \quad (25)$$

Подставим значения в формулу 24 и получим:

$$0,473 \cdot 10^{(-3)}(0,125^2 - 0,050^2) / D^2 = 0,388 \cdot 10^{(-3)} \text{ м}^3 / \text{с} = 23,28 \text{ л} / \text{мин.}$$

Далее расчет перепадов давлений.

$$\Delta P_{\text{зол 1}} = 0,22 \cdot (28,4 / 33)^2 = 0,178 \text{ МПа,}$$

$$\Delta P_{\text{зол 2}} = 0,22 \cdot (23,28 / 33)^2 = 0,114 \text{ МПа.}$$

Относительно средней скорости движения рабочей жидкости в сливной магистрали, определим действительный перепад давления в трубопроводах.

$$v_{pж2} = 4Q_{ц2} / \pi d_T^2 = 4 \cdot 0,388 \cdot 10^{-3} / 3,14 \cdot 0,02^2 = 2,12 \text{ м/с}$$

Расчет числа Рейнольдса

$$Re_1 = v_{pж1} d_T / \nu = 2,54 \cdot 0,02 / 0,59 \cdot 10^{-4} = 634;$$

$$Re_2 = v_{pж2} d_T / \nu = 2,12 \cdot 0,02 / 0,59 \cdot 10^{-4} = 517.$$

где ν – вязкость рабочей жидкости:

$$\nu = \nu_{50} \cdot (50 / T_M)^n \quad (26)$$

где ν_{50} – кинематическая вязкость индустриального масла, $\text{м}^2/\text{с}$;

T_M – температура масла;

n – показатель степени, зависящий от ν_{50} находится из таблицы 5.

Таблица 5 – Показатель степени

Значения кинематического коэффициента вязкости рабочей жидкости при температуре 50 по цельсию, $\nu_{50} \cdot 10^{-4}$, $\text{м}^2/\text{с}$	Значения показателя степени n
0.028	1.39
0.0625	1.59
0.09	1.72
0.118	1.79
0.212	1.99
0.293	2.13

продолжение таблицы 5

0.373	2.24
0.451	2.32
0.529	2.42
0.606	2.49
0.684	2.52
0.8	2.56

Следовательно:

$$v = v_{50} (50 / T_M)^n = 0,8 \cdot 10^{-4} (50 / 55)^{2,56} = 0,59 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с},$$

Для дальнейших расчетов необходимо определить безразмерный коэффициент гидравлического трения, который зависит от режима течения

В зависимости от числа Рейнольдса определяется режим течения жидкости, если расчетное число Рейнольдса меньше 2300, следовательно, режим течения ламинарный, следовательно, коэффициент гидравлического сопротивления рассчитывается по формуле:

$$\Lambda_1 = 75 / \text{Re}_1 = 75 / 634 = 0,12$$

$$\Lambda_2 = 75 / \text{Re}_2 = 75 / 517 = 0,15$$

Следующий шаг, находим перепады давлений в трубах

$$\Delta P_1 = \rho \lambda_1 l_1 / d T v_{\text{рж1}}^2 / 2 = 920 \cdot 0,147 \cdot (9 / 0,02) \cdot (2,54^2 / 2) = 0,19 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_2 = \rho \lambda_2 l_2 / d T v_{\text{рж1}}^2 / 2 = 920 \cdot 0,147 \cdot (4 / 0,02) \cdot (2,12^2 / 2) = 0,07 \text{ МПа}$$

где ρ – плотность индустриального масла, $\text{кг}/\text{м}^3$;

λ_1 и λ_2 –коэффициенты гидравлического трения в напорной и сливной гидролинии.

$$\Delta P_{\text{ДР1}} = \Delta P_{\text{ДР2}} = 0,3 \text{ МПа}$$

Далее рассчитаем перепады давлений в полостях гидроцилиндра

$$P_2 = \Delta P_{\text{ДР}} + \Delta P_{\text{зол2}} + \Delta P_{\text{ф}} + \Delta P_2 = 0,3 + 0,2 + 0,1 + 0,07 = 0,67 \text{ МПа}$$

$$P_1 = P_2 F_2 + R + T / F_1 = 0,67 \cdot 10^6 \cdot 7,56 \cdot 10^{(-3)} + 47000 + 3760 / 9,5 \cdot 10^{(-3)} = 5,8 \text{ МПа}$$

Давление нагнетаемое насосом:

$$P_{\text{Н}} = P_1 + \Delta P_{\text{зол1}} + \Delta P_1 = 5,8 + 0,178 + 0,19 = 6.168 \text{ МПа}$$

После всех расчетов, можем выбрать, подходящий для системы, гидроклапан. В системе установим запорный клапан фирмы Rexroth DA 6 VA2–4X/315–17М и защитный блок AB2SS30M-3X/210E/V с давлением отключения 315 бар и объемным расходом 80 л/мин, рисунок 12.

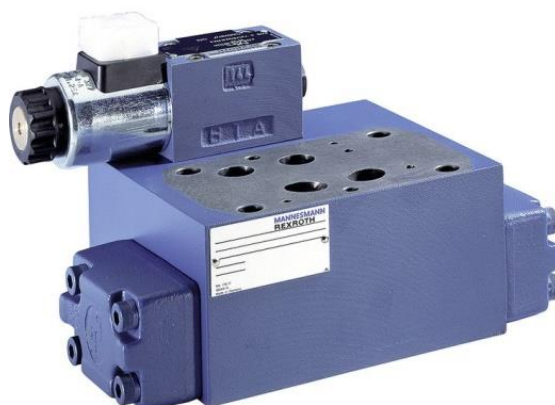


Рисунок 9 – Запорный клапан типа DA фирмы Rexroth

1.8 Построение нагрузочной диаграммы привода

Для построения нагрузочной диаграммы гидропривода, необходимо обратиться к снимку на график изменения давления в системе от времени рабочего цикла торцевания трубы. График зависимости давления от времени представлен на рисунке 10.

Для построения тахограммы скорости перемещения штока привода, необходимо знать скорости выдвижения и втягивания штока гидроцилиндра. Время необходимое на выдвижения равно 5 секунд, разгон занимает около двух секунд, следовательно, необходимо рассчитать скорость, с которой шток будет двигаться оставшиеся три секунды по формуле 25

$$v = \frac{X_{\max} - \left(\frac{X_{\max}}{4}\right)}{t - 2} = 0,35 \text{ м / с} \quad (25)$$

Выдвижение штока и зажатие трубы происходит на первом участке времени.. Плавное торможение обеспечивают демпферы штоковой полости. После того как скорость упала практически до нуля происходит зажатие трубы. Время промежутка – 4 секунды. По формуле 26 найдем усилие на поршень при прямом ходе [5]

$$F_1 = P_H \cdot S_{\Pi} , \quad (26)$$

где F_1 – усилие на шток при выдвижении, Н;

P_H – давление настройки, Па.

$$F_1 = 9 \cdot 10^6 \cdot 0,001227 = 110,4 \text{ кН}$$

Далее рассчитаем усилие, оказываемое на штоки нижних гидроцилиндров. Система имеет 4 нижних гидроцилиндра, 2 гидроцилиндра на каждую сторону, следовательно, нагрузка от трубы будет распределяться на 4 гидроцилиндра, учтём это в расчете усилия

$$F_H = -\frac{m_T \cdot g}{4} = -\frac{9000 \cdot 9,8}{4} = -22,05 \text{ кН}$$

Следующий промежуток времени, после окончания торцовки трубы, происходит разжатие обработанной трубы и вытягивание штоков в первоначальное состояние. По формуле 27 найдем усилие необходимое на вытягивание штока.

$$F_3 = P_H \cdot S_{III} = 9 \cdot 10^6 \cdot 0,00328 = 29,53 \text{ кН}$$

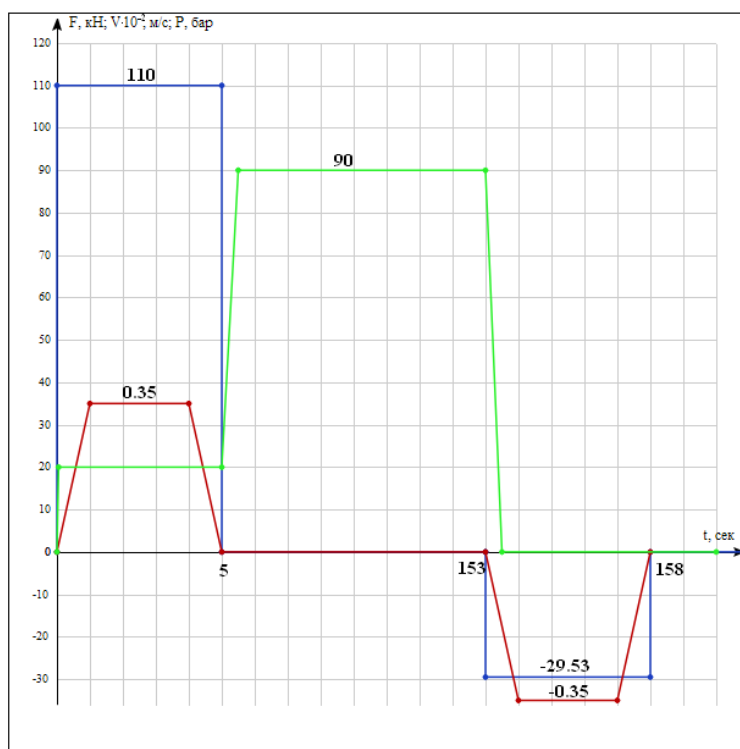


Рисунок 11 –Нагрузочная диаграмма и тахограмма скорости перемещения штока привода

2 ИНФОРМАЦИЯ ПО САР

2.1 Архитектура системы автоматизации торцефасочного агрегата.

Автоматизированная система управления технологическим процессом – это система, которая обеспечивает сбор информации ее обработку о ходе протекания технологического процесса, так же хранение этой информации.

В автоматизированной системе управления технологическим процессом выделяется две основные функции: информационно-вычислительную и управляющую функцию.

За сбор информации, ее первичную обработку и хранение технологической информации, так же за диагностику аппаратной части и оборудования отвечает информационно-вычислительная функция.

В свою очередь управляющая функция управляет отдельными параметрами технологического процесса и регулирует координаты рабочих органов агрегата.

Автоматизированная система управления технологическим процессом зажимных призм состоит из пяти уровней (рисунок 12).

Мехатронная система перемещения гидравлической призмы имеет следующие комплектующие:

- ET - 200S – Станция удаленной периферии.
- SIMATIC S7 – 400 – Программируемый логический контроллер.
- Гидравлический узел, входящие в его состав датчики, измеритель расстояния, клапаны

Датчики, исполнительные устройства, регуляторы, приводы, так же устройства для измерения технологических координат в совокупности представляют собой полевой уровень системы (I/O-уровень). Все описанные ранее устройства предназначены для сбора информации и для реализации исполнительных воздействий на заготовку.

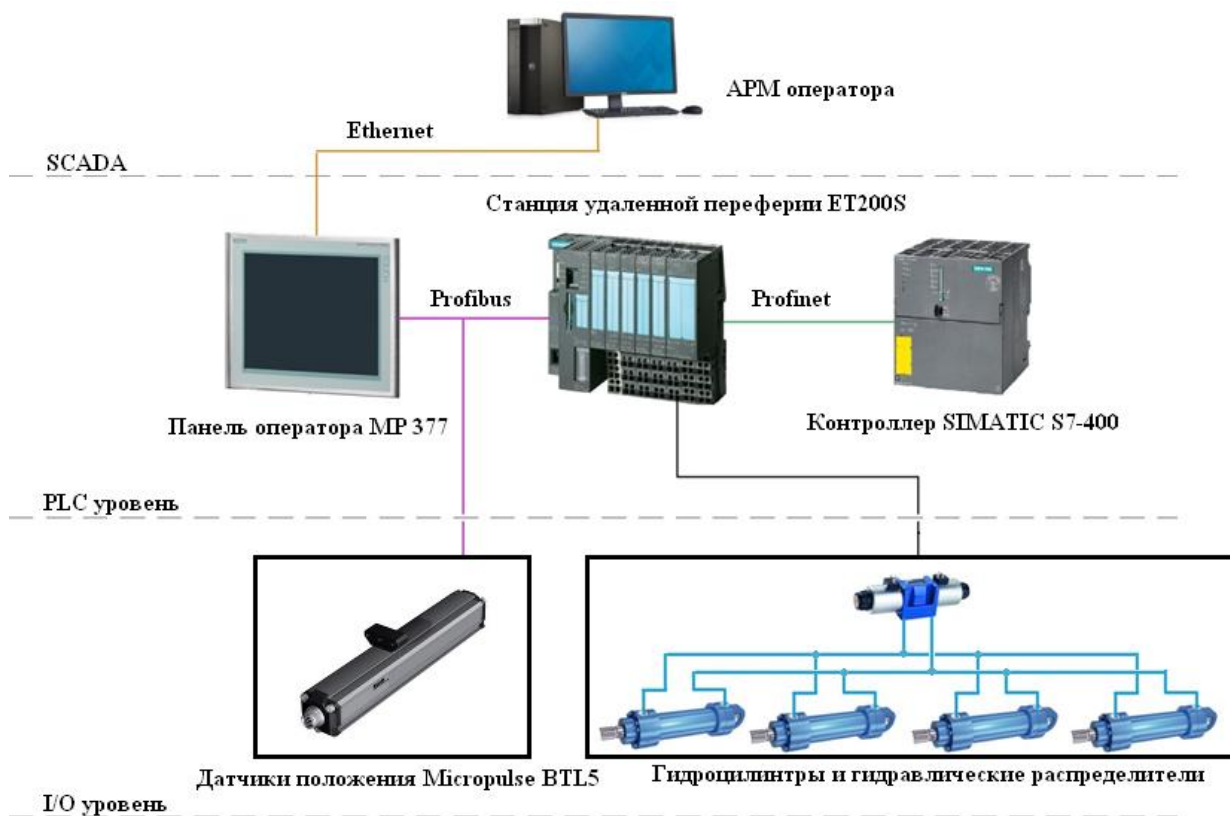


Рисунок 12 – Иерархическая структура гидравлических зажимных призм в общем виде

Обмен собранной информацией между устройствами I/O-уровня осуществляться по сети передачи данных.

На PLC-уровне располагаются программируемые логические контроллеры, Это устройство установлено по необходимости автоматического управления технологическими процессами. Путем сборки информации о состоянии технологических параметров системы и ее последующую обработку обеспечивает управление системой. Связь между промышленными кнтроллерами и станциями верхнего уровня производится по сети Ethernet.

SCADA (англ. Supervisory Control and Data Acquisition) – следующий уровень в котором располагается станция для обеспечения диспетчерского управления технологическим процессом. Это совокупность настроек, которые необходимые для обеспечения работы в реальном времени систем для сбора информации, ее обработки. Серверы технологических данных и АРМы операторов

технологического оборудования образуют, SCADA систему, верхний уровень АСУ ТП.

MES (англ. Manufacturing Execution System) – обрабатывает информацию о ходе производства в отдельных цехах, обеспечивает контроль качества и предоставляет информацию, необходимую для следующего уровня управления компанией в режиме реального времени. ERP (англ. Enterprise Resource Planning). Он был разработан для автоматизации анализа и прогнозирования производственного планирования и финансовой деятельности, поставок и продаж. По данным современной идеологии, основные задачи, решаются на нижнем уровне системы, тем самым повышая производительность системы, а также от передачи дополнительной информации на более высокий уровень компьютера, отображение текущего состояния автоматического производства.

2.2 Описание датчиков технологических координат

Управление гидравлическим приводом осуществляется с помощью пропорционального регулятора с обратной связью. Обратная связь реализована с помощью датчиков расстояния. Регулирование пропорционального клапана осуществляется через аналоговый сигнал с диапазоном измерения ± 10 в, который устанавливается программируемым логическим контроллером (ПЛК) по заранее заданному алгоритму. Основной сигнал, указанный технологами в MES (manufactory execution systems), проходит через процесс связи (CP) в PLC (программируемый логический контроллер). После обработки сигнал отправляется на удаленную периферию ET-200S, показанную на рисунке 13. Затем сигнал поступает в гидравлический блок, состоящий из всех гидроаппаратов.

ET200S это станция для создания распределенной системы ввода – вывода на основе сети Profibus – DP. Станция установлена в шкафах управления и

оснащена степенью защиты IP 20. Используется в распределенных системах ввода-вывода SIMATIC S7. Имеет номинальное напряжение 24 В.

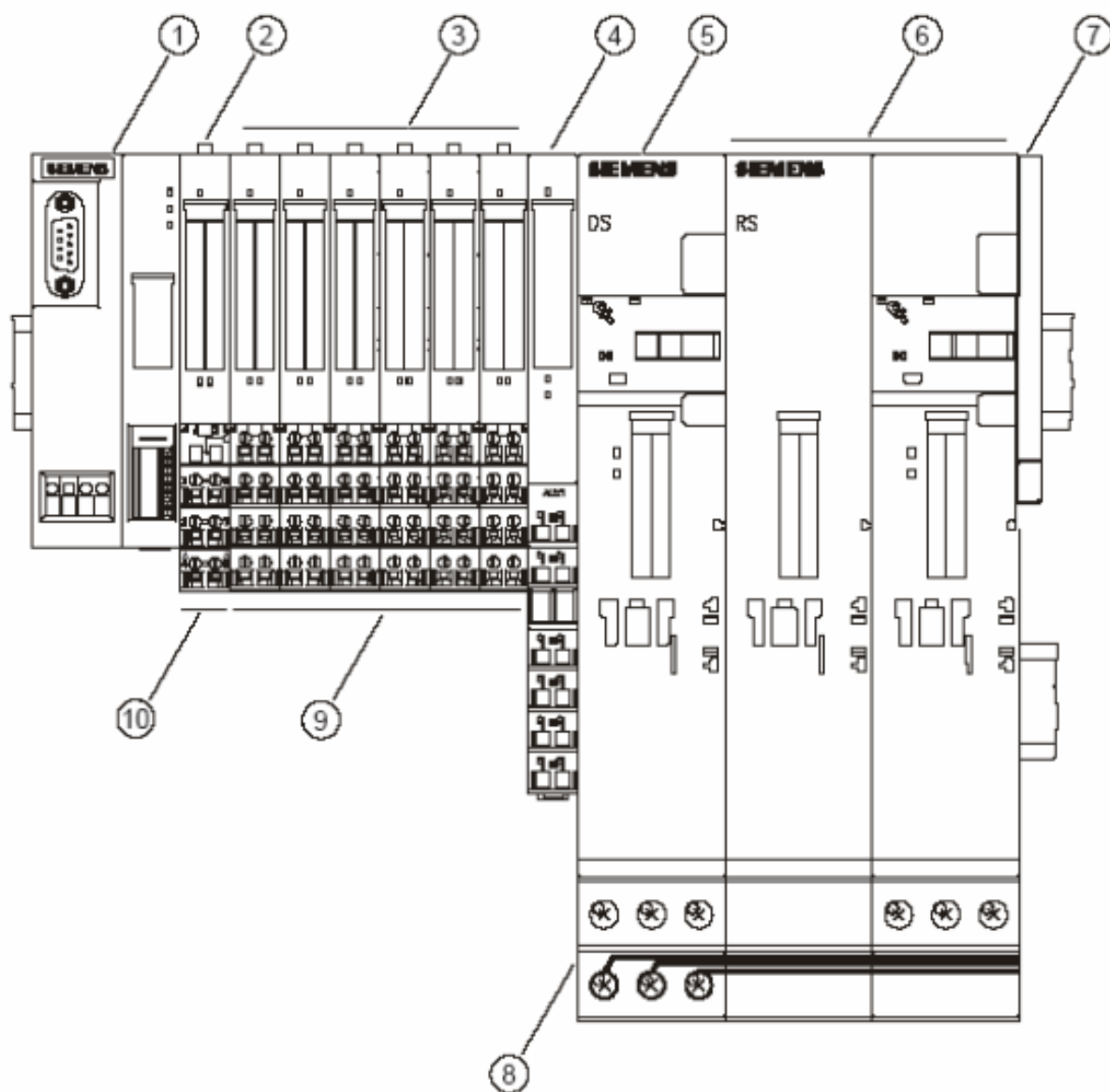


Рисунок 13 – ET200S: 1. Интерфейсный модуль ET 200S IM151-1 2. Блок питания PM-E для электронных модулей 3. Электронные модули 4. Блок питания PM-D для пускателей 5. Пускатель для прямого включения 6. Реверсивный пускатель 7. Замыкающий модуль 8. Силовая шина. 9. Клеммные модули TM-E для электронных модулей 10. Клеммные модули TM-P для блоков питания

Для нормальной и безопасной работы агрегата были установлены ряд датчиков: ультразвуковой датчик измерения расстояния, реле давления.

Рассмотрим первый датчик – концевой выключатель. Данный датчик обладает роликовым рычагом регулируемой высоты, скорость срабатывания 1,5 м/с. Рабочими характеристиками являются напряжение 240 В, ток 1,5 А.

В рассматриваемой система установлен датчик фирмы Schneider Electric марки OsisWitch XСКJ10541Н29 (рисунок 14).



Рисунок 14– Концевой выключатель фирмы Schneider Electric

Реле давления (предохранительное устройство) прибор, приводимый в действие давлением (например, реле высокого давления), который останавливает работу при достижении максимального безопасного давления в гидропроводе и позволяющий уведомить оператора о его срабатывании. На данном ОГП установлено реле давления HED 8 фирмы Rexroth (рисунок 15). Данное реле настроено на 250 Бар. Характеристики этого органа: Максимальное давление 500 Бар. Уровень защиты IP65.



Рисунок 15 – Реле давления HED 8

Так же с гидроцилиндрами установлены магнитоотрицательные датчики линейного перемещения Micropulse серии BTL5 фирмы Baluff, которые хорошо совместимы с контроллерами и станциями удаленной периферии Siemens. Датчики передают информацию о положении гидроцилиндров на контроллер. Точка измерения на участке пути бесконтактно отмечается пассивным магнитом, который не требует подачи питания. Такие датчики не чувствительны к температурным перепадам, загрязнениям и вибрациям, благодаря чему являются достойной альтернативой потенциометрическим датчикам. Фотография датчика изображена на рисунке 16.[15]



Рисунок 16 – Датчик линейных перемещений Micropulse BTL5

Исполнительным механизмом был выбран гидроцилиндр Hunched hydraulic, Характеристика данного гидроцилиндра – 125/50/480,

где $D = 125$ мм, $d = 50$ мм, $x = 480$ мм – ход цилиндра, $P^* = 15$ МПа (P^*) номинальное давление гидроцилиндра.

Это объемный гидравлический двигатель, основанный на принципе возвратно поступательного движения, происходящего за счет подачи жидкости под высоким давлением.

2.3 Описание контроллера и его периферии

Технологи MES задают сигнал, который идет по периферии (CP) в PLC. Система оборудована контроллером CPU 400 – 2 DP (рисунок 17).

Далее сигнал обрабатывается и поступает на станцию удаленной периферии ET-200 и следом идет в гидравлический узел, который состоит из гидрооборудования. В системе установлен датчик расстояния B101, который при любой ошибке реализует обратный сигнал.

Большое количество сигналов проходит через систему, и контроллер CPU 400 используется для правильной работы устройства. Это центральный блок управления для выполнения средних и больших объёмов программ.

Он имеет высокую производительность, со встроенным интерфейсом ведущего / ведомого PROFIBUS DP. Обеспечивает распределенную систему ввода-вывода на основе PROFIBUS DP. Он используется в автоматизированных системах с передовыми, распределенными и локальными системами ввода-вывода. Кроме, STEP 7 для программирования CPU 400 существует ряд инструментов программирования, такие как S7-SCL и S7-GRAPH. CPU 400 –это платформа для решения технологических проблем: управление движением с помощью Easy Motion Control, автоматического регулирования на основе STEP 7.

Контроллер S7-400 является универсальным контроллером. Он отвечает строгим требованиям отраслевых стандартов, обладает высокой

электромагнитной совместимостью, высокой ударопрочностью и вибрационной нагрузкой. Установка и замена модулей контроллера и модулей подключенных станций децентрализованной системы ввода-вывода могут осуществляться без отключения питания. S7-400 имеет модульную конструкцию. Он может комплектоваться широким спектром модулей, установленные на стойке в любом порядке.



Рисунок 17 – Контроллер CPU 400

Для ввода и вывода дискретных и аналоговых сигналов контроллера предназначены сигнальные модули (рисунок 18).

На контроллер S7-400 сигнальные модули могут использоваться во всех модификациях. Сигнальный модуль используется в пластиковом корпусе шириной 25 мм, а на передней панели имеется светодиодный дисплей, количество и назначение которого зависит от типа модуля. В монтажной схеме задней дверце для подключения внешней цепи модуля к входной двери безопасности, паз для установки этикетки с идентификацией внешней цепи. Модуль установлен в шкаф и заказ установки винт-через модуль опционный, который интегрирован в снабжение жилищем каждого модуля в рабочее положение. Подключение к внутренней шине контроллера производится через соединение монтажной

пластины. По умолчанию устанавливается модуль соответствующего номера сиденья для ввода.

Входная цепь соединена со съемным передним разъемом, закрытым защитным колпачком. Метка вставляется в прорезь крышки, на которую наносится метка входной цепи. Наличие переднего разъема упрощает сборку соединительного проводника и позволяет заменить модуль без демонтажа внешней цепи. Ярлыки для идентификации внешней цепи включены в объем поставки модуля.

Модуль меняем в разделе регулятора стопа. Когда передний соединитель установлен в первый раз, процесс кодирования машины выполнен автоматически. В дальнейшем передний разъем может быть присоединен только к однотипному модулю, что исключает возможность ошибок при замене модуля. Модули, которые не поставляются с передним разъемом, всегда можно заказать отдельно. Можно заказать передний разъем, который обеспечивает подключение внешней цепи через контакт или пружинную контактную защелку под винт. Для сборки можно использовать модуль или гибкий разъем для подключения внешней цепи. Технические функции сигнального модуля указаны в таблице технических данных. Для многих параметров программа использует настройки модуля сигнализации в пакете конфигурации STEP 7HW. С помощью данной утилиты можно задать время фильтрации диапазона измерений входного дискретного сигнала, входные аналоговые значения параметров аналого-цифрового преобразования.



Рисунок 18 – Сигнальные модули контроллера S7-400

После выбора сигнальных модулей для сигналов ввода-вывода с контроллера нужно выбрать вспомогательный модуль, который является модулем питания PS – 405.

Этот блок питания имеет следующие характеристики:

- Импульсные блоки питания с первичным импульсным блоком питания в формате модуля S7-400
- Напряжение равно 5В и 24В. Данная величина необходима для питания всех модулей через внутреннюю шину контроллера.
- Модификации с входным напряжением на блоках питания PS 405: равную 24, 48, 60 В,
- Три типа блоков питания с током нагрузки 4, 10, 20 а на цепь равную 5 В.
- Защита от короткого замыкания в цепи нагрузки.
- Мониторинг выходного напряжения с передачей аварийных сообщений на процессор, если хотя бы одно из двух выходных напряжений исчезло.
- С отсеками для установки буферных батарей, которые защищают содержимое ОЗУ, когда контроллер выходит из строя.

- Модификации для создания избыточных схем питания контроллера. Поддержка функций горячей замены одного из избыточных источников питания без потери производительности контроллера.

- Встроенные светодиоды для режимов работы и ошибок
- Встроенный выключатель питания.
- Такие стойки расширения питаются от источника питания базового блока контроллера.

Блок питания установлен в слот 1 монтажной пластины и соединен с другими модулями внутренней шиной контроллера. При использовании резервной схемы первый источник питания устанавливается на монтажную пластину слота 1, второй на слот 3. Электропитание установлено в базовый блок и все стойки расширения регулятора. Исключением является только расширительный стенд, подключенный к базовому блоку через интерфейсный модуль ИМ 460-1/ ИМ 461-1.

Такие стойки расширения получают питание от блока питания базового блока контроллера.



Рисунок 19 – Модуль питания PS – 307 5А

Модуль счета EXM 438 – 1 (рисунок 20) используется как часть программируемого контроллера S7-400. Рассматриваемый модуль является модулем расширения для FM458-1DP. EXM 438 – 1 используется для получения дополнительных каналов ввода и вывода дискретных и аналоговых сигналов. Включает в себя наличие интерфейсов для подключения инкрементальных или

синхронно-последовательных датчиков позиционирования. Встроенная шина LE используется для подключения к модулю FM458-1DP. Встроенная шина P-BUS на контроллере S7-400 для подключения к внутренним цепям электроники.



Рисунок 20 – EXM 438 – 1

Коммуникационный процессор CP 443-5 Basic (рисунок 21) используется для создания организации передачи и обмена данными через PROFIBUS, Коммуникационный процессор CP 443-5 Basic поддерживает протокол PROFIBUS FMS..

Он в свою очередь позволяет выполнять дистанционное программирование всех сетевых S7 станций.

S7 функции связи S7 функции могут быть использованы для организации связи:

- с программируемыми контроллерами SIMATIC S7;
- с программаторами и приборами человеко-машинного интерфейса;
- с системами автоматизации S7-400H/FH через резервированные каналы связи.

Открытый обмен данными (SEND/RECEIVE)

Функционирование интерфейса SEND/RECEIVE базируется на использовании уровня 2 (FDL) PROFIBUS (IEC 61158/ EN 50170) и позволяет использовать коммуникационный процессор CP 443-5 Basic для оптимизированного обмена данными на полевом уровне. Этот интерфейс обеспечивает эффективную поддержку высокопроизводительного обмена данными между S7-400 и программируемыми контроллерами SIMATIC S5/ S7/ 505, промышленными и офисными компьютерами. Дополнительно обеспечивается поддержка служб SDA (соединение контроллер-контроллер), на уровне SEND/RECEIVE – служб SDN (целевые и широковещательные сообщения). Открытый обмен данными находит применение для организации обмена данными между S7-400 и:

- программируемый контроллер SIMATIC S7 / C7 с процессорами связи CP 342-5, CP 342-5 FO, CP 343-5, CP 443-5;
- программируемый SIMATIC S5-115U/h, S5-135U, S5-155U/H с процессором связи CP 5431 FMS/DP;
- Программируемый контроллер SIMATIC 505 с процессорами связи CP 5434-FMS • компьютер с процессорами связи CP 5512, CP 5611 A2, CP 5621, CP 5613 A2, CP 5614 A2, CP 5623 или CP 5624;
- Системы других производителей, которые поддерживают интерфейс FDL. Функции PLC-SEND и PLC-RECEIVE необходимо использовать для того чтобы контролировать обмен данными в STEP 7. PROFIBUS FMS Profibus FMS предоставляет возможность передачи данных в соответствии с требованиями международных стандартов IEC 61158/EN 50 170 со следующими сервисными функциями:
 - READ (чтение), WRITE (запись): - предоставление доступа на запись или чтение значений переменных партнера из пользовательской программы с абсолютным или символьным адресом; - поддержка частичного доступа к переменным; - управление установкой асинхронных соединений (мастер-мастер-устройство, мастер-устройство-ведомое устройство), а также асинхронных соединений по инициативе ведомого устройства.

- INFORMATION REPORT (отчет): позволяет серверу FMS передавать широковещательные сообщения без подтверждения их получения. * IDENTIFY (идентификация): получение свойств идентификации партнера по коммуникациям.

- Статус: определяет состояние партнера по связи.

- Синхронизация даты и времени

- CP 443-5 Basic способен принести временные метки PROFIBUS в сеть, образованную процессором S7-400. Это позволяет синхронизировать все сетевые устройства, поддерживающие синхронизацию даты и времени. Диагностический пакет Ncm S7 для PROFIBUS поддерживает различные диагностические функции:

- Чтение информации о текущем режиме работы коммуникационного процессора.

- Широкий спектр диагностических и статистических функций

- Конфигурация CP 443-5 Basic, Коммуникационный процессор осуществляется с помощью NCM S7-пакет для PROFIBUS, STEP 7 SP2 часть 5.1-пакета и выше. Параметры конфигурации CP 443-5 Basic хранятся в памяти процессора S7-400. Это позволяет заменить коммуникационный процессор без перенастройки вновь установленного модуля. Запуск коммуникационного процессора автоматически сопровождается передачей всех настроек. Конфигурация, программирование и диагностика всех сетевых станций SIMATIC S7 могут выполняться удаленно через сеть PROFIBUS.

- Функциональные блоки, совместимые с S5 (Send / RECEIVE), вставляются в библиотеку NCM S7-SIMATIC пакета.



Рисунок 21 – Коммуникационный процессор CP 443-5 Basic

2.4 Описание существующей функциональной схемы САР привода агрегата

Если брать во внимание особенность технологического процесса и требования, предъявляемые к рассматриваемой мехатронной системе, можно смело утверждать, что регулируемой технологической координатой будет давление гидропривода подаваемого на силовое оборудование, гидроцилиндры.

Гидроаппаратура рассматриваемой системы, которая управляет зажимным устройством, будет управляться сигналами контроллера, который будет срабатывать в нужные моменты времени. Для мониторинга давления в системе, установлен датчик давления – реле давления, который в случае превышения давления, заданного в БО, выключит шестеренный насос.

Мехатронная система имеет редукционный клапан, который в определённые моменты будет подавать заданное в регуляторе давление настройки на гидрораспределитель.

Для мониторинга о положение поршня в гидроцилиндре, используют концевые выключатели и так же, датчик линейных перемещений. Вся собранная информация датчика, информация о положении, будет отправляться на

контроллер, который будет управлять положением золотника на гидрораспределителе.

Далее на рисунке 22 представлена функциональная схема САР гидропривода.

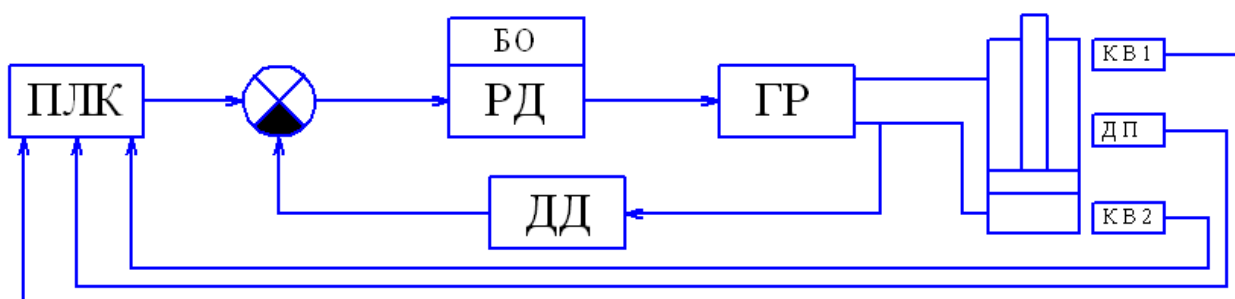


Рисунок 22 – САР гидропривода управления зажимными призмами: ПЛК– логический контроллер, РД–регулятов давления системы, БО– блок ограничения давления, РК–редукционныйны клапан, ДД– датчик давления, ГР– гидрораспределить, БО– блок ограничения давления, КВ1 и КВ2 – концевые дакчики, ДП– датчик положения.

2.5 Разработка контура регулирования технологических координат.

Существует вид гидрораспределителей, которые могут принимать промежуточные значения положения золотника. Следовательно, из-за изменения положения золотника гидрораспределителя, можно управлять расходом рабочей жидкости в системе, и отпадает необходимость в установке редукционного клапана.

Для увеличения эффективности работы торцефасочного агрегата, была произведена замена уже существующего гидрораспределителя и редукционного клапана, на двухкаскадный гидрораспределитель с пропорциональным управлением с номинальным расходом 80 л/мин, номинальная скорость перемещения штока при этом составляет 350 мм/с.

Все технические данные сервоклапана и гидроцилиндра приведены в табл. 5 и 6.

Таблица 5 – Технические данные гидрораспределителя

Наименование параметра	Значение параметра
1. Рабочий орган	Цилиндрический золотник
2. Класс рабочей жидкости	HLP 68, 5 класса чистоты
3. Диапазон температуры рабочей жидкости	От -20 до +80
4. Номинальный расход $Q_{ном}$, л/мин	80
5. Максимальное рабочее давление $P_{max.раб}$, бар	315
7. Максимальный расход $Q_{П.мах}$, л/мин	180

Таблица 6 – Технические данные гидроцилиндра.

Наименование параметра	Значение параметра
1. Объем поршневой полости при полном ходе гидроцилиндра $V_{ПП}$, м ³	0,00456

продолжение таблицы 6

2. Площадь поршня гидроцилиндра $S_{Г}$, м ²	0,01227
3. Максимальный ход поршня $S_{П.мах}$, м	0,4800
3. Масса рабочего органа, кг	300
3. Расход $Q_{П.мах}$, м ³ /с	0.475

При составлении математической модели объёмного гидропривода перемещения зажимных призм были сделаны следующие допущения:

- не учитывать колебания в трубопроводе, создаваемые между гидроаккумулятором и гидроаппаратурой;
- нелинейные характеристики сервоклапана не учитываются;
- пренебрегаем зоной нечувствительности управляющего аппарата;

- пренебрегаем сухим трением в механических элементах;
- неизменно давление в трубопроводе;
- неизменный объём в поршневой полости гидроцилиндра.

Опираясь на данные допущения, теперь математическую модель гидропривода можно описать тремя линеаризованными дифференциальными уравнениями.

Общий вид управления для расхода рабочей жидкости, которая поступает в поршневую полость гидромотора:

$$Q = S_{\Gamma} \frac{dS_{\Pi}}{dt} + \frac{V_{\text{III}}}{E} \frac{dP_{\Gamma}}{dt} + k_y P_{\Gamma}, \quad (26)$$

Общий вид управления уравнение сервоклапана

$$T_{\text{СК}} \frac{dQ}{dt} + Q = k_{\text{СК}} u_y - k_{\text{ПР}} P_{\Gamma}, \quad (27)$$

Общий вид управления усилий механических элементов ОГП:

$$P_{\Gamma} S_{\Gamma} = m_{\Sigma} \frac{d^2 S_{\Pi}}{dt^2} + b \frac{dS_{\Pi}}{dt} + G_{\Sigma \text{ мех}}, \quad (28)$$

Для того чтобы составить структурную схему перемещения зажимных призм, необходимо записать управления (26) – (28) в операторной форме. Как следствие этого получим следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} Q(p) &= \frac{(u_y(p)k_{ck} - P_{\Gamma}(p)k_{np})}{T_{ck}p + 1} \\ P_{\Gamma}(p) &= \frac{1/k_y(Q(p) - S_{\Pi}(p)S_{\Gamma}p)}{(V_{мп}/k_y)p + 1} \\ S_{\Pi}(p) &= \frac{1/b(P_{\Gamma}(p)S_{\Gamma} - Q(p))}{p\left(\frac{m_{\Sigma}}{b}p + 1\right)} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Структурная схема гидропривода в общем виде, построенная в соответствии с системой уравнений (2.4), представлена на рисунке 23.

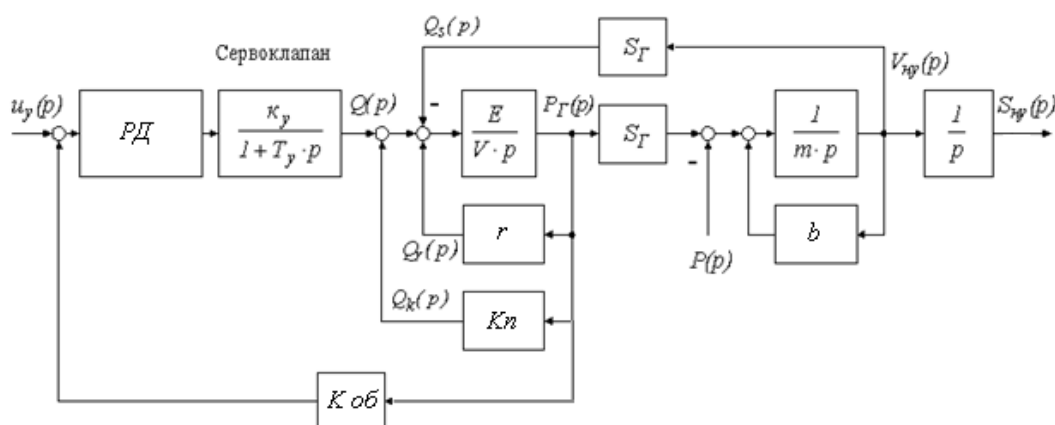


Рисунок 23–Структурная схема гидропривода в общем виде

Таблица 7 – Технические данные гидропривода

Название параметра	Обозначение	Величина
Номинальное давление в напорной магистрали сервоклапана	$P_{ГН}$	$3.15 \cdot 10^7 \text{ н / м}$
Приведённая масса жидкости в трубопроводе и механических частей	m_{Σ}	$8 \cdot 10^5 \text{ кг}$
Объём поршневой полости при полном ходе поршня	V	$4,56 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$

Коэффициент утечек	r	$5,1 \cdot 10^{-14} \text{ м}^5 / \text{н} \cdot \text{с}$
Номинальный расход сервоклапана	$Q_{\text{ном}}$	80 л / мин
Постоянная времени клапана	T_y	3,6 мс
Коэффициент вязкого трения	b	$1,6 \cdot 10^8 \text{ кг/с}$

Учитывая технические данные гидропривода (таблица 7), построил математическую модель гидропривода, используя средство для компьютерного моделирования пакета Simulink на основе программы MATLAB. Снял переходные процессы давления, перемещения штока гидроцилиндра, скорость перемещения.

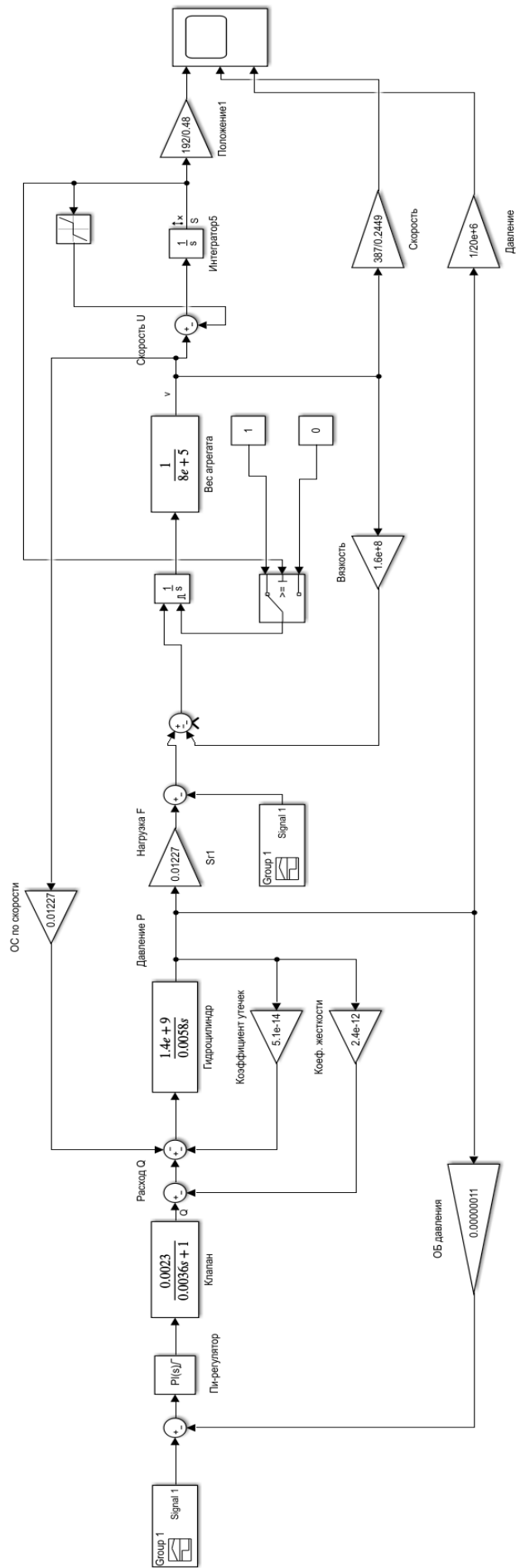


Рисунок 24 – Математическая модель гидропривода перемещения

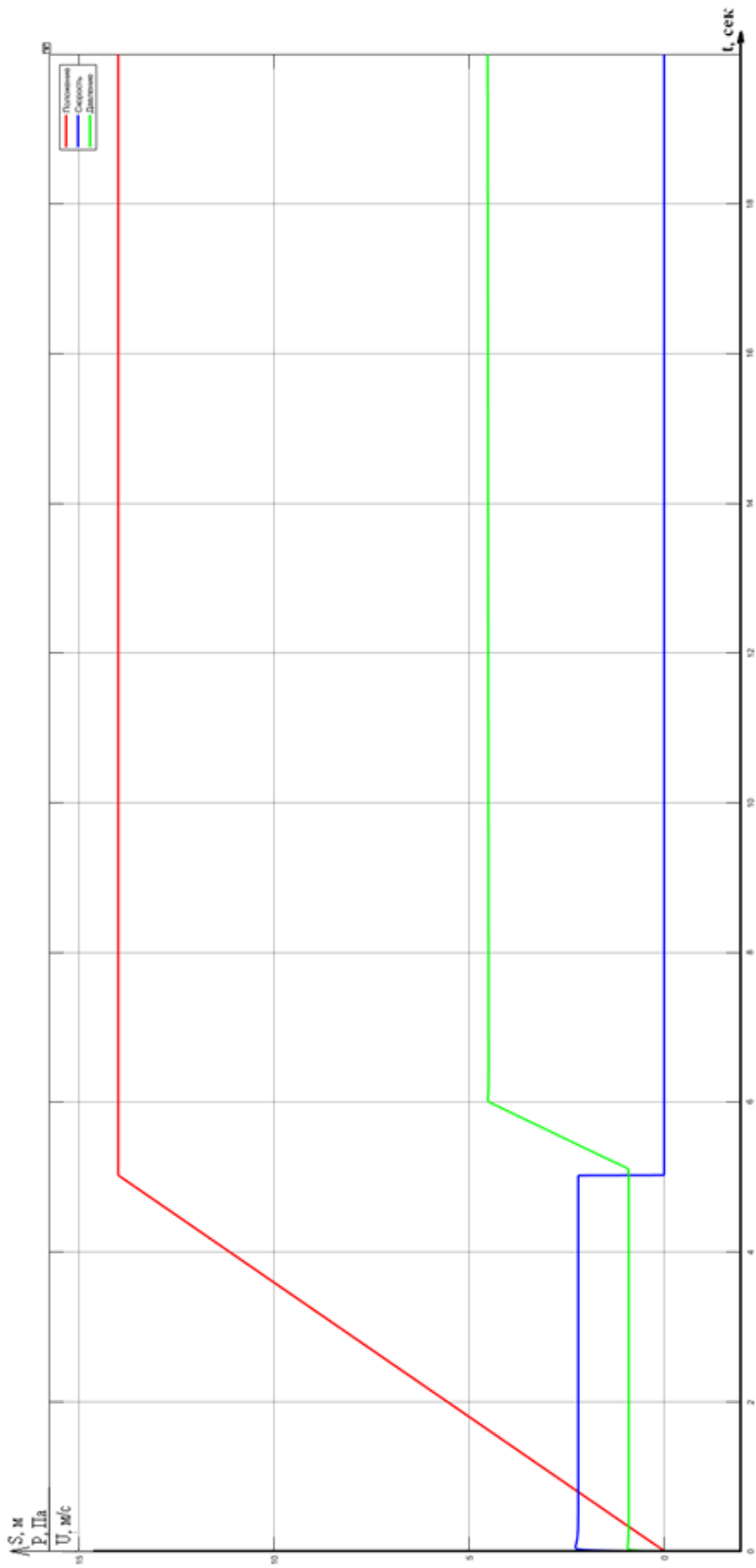


Рисунок 25 – Переходные процессы перемещения, скорости выдвигения поршня

Для необходимости снизить удар зажимными призмами по трубе была построена соответствующая САР и сняты переходные процессы.

При начале рабочего цикла, сигнал подается на гидрораспределитель, тем самым изменяя положения золотника, что бы увеличить расход для начала движения штока гидроцилиндра. При контакте с трубой, срабатывает датчик положения, дальше сигнал этого датчика идет на контроллер, он в свою очередь после посылает сигнал на гидрораспределитель. Далее давление в системе увеличивается до необходимого, чтобы зажать трубу без ее повреждения, следовательно, при контакте призм с трубой не будет возникать ударных нагрузок.

3 РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ЦЕХА

3.1 Краткая характеристика цеха

ЧТПЗ – промышленная группа металлургического комплекса России, является одной из крупнейших отечественных компаний-производителей трубной продукции с общей долей рынка около 17%. Выручка компании превышает \$2 млрд, на заводах компании ЧТПЗ работает около 25 000 человек, с 2011 цех «Высота 239» вышел на расчетную мощность, при способности производить около 460000 тон продукции в год. [20]

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,

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.

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 простой агрегатов цеха «Высота 239».

Для достижения вышеперечисленных факторов работники цеха «Высота 239» по мере возможности каждый раз модифицируют свой агрегат, устанавливая более современные электроприводы, новую аппаратуру управления и защиты, новое ПО, чтобы повысить его эффективность и снизить время рабочего цикла обработки продукции и минимизировать количество брака.

За счет всех вышеперечисленных манипуляций, возможно, улучшить технико-экономические показатели, при том, что качество выпускаемой продукции не ухудшается.

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

$$T_{\phi} = T_{\text{кал}} - T_{\text{кр}} - T_{\text{тр}} - T_{\text{пр}} = 8760 - 416 - 96 = 8248 \quad (29)$$

где T_{ϕ} – фактическое время работы, ч;

$T_{\text{кр}}$ – время, затраченное на капитальные ремонты, ч;

$T_{\text{тр}}$ – время, затраченное на текущие ремонты, ч;

$T_{\text{пр}}$ – время, затраченное на текущие простои, ч;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время работы, ч.

Баланс рабочего времени мехатронной системы зажимных призм представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Баланс рабочего времени системы.

Календарное время работы $T_{\text{кал}} = 365$ суток = 8760ч.				
Плановые ремонты (ППР)		Текущие простои		Фактическое время работы T_{ϕ}
Капитальные ремонты	Текущие ремонты	Внеплановые ремонты и простои	Аварии	

$ПР = 52 \cdot 8 = 416 \text{ ч}$	$T_{пр} = 8 \cdot 12 = 96 \text{ ч}$	$T_{\phi} = 8248 \text{ ч}$
-----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------

Выполнение производственной программы за период 1.12.2018 – 31.12.2018 представлена в таблице 10

Таблица 10 – Производственная программа цеха "Высота 239"

	План, тн	Факт, тн	%	Факт, шт
Отгрузка	45600	458863,764	101,160	97720
Полуфабрикаты	3900		0,000	
Стан "508-1420"				
Товарный выпуск	777700	71768,105		32167
НГП 1020		1896,723		615
НГП 1220		1106,274		173
НГП 1420	777700	11103,209	14,290	1167
НГП 530		19966,560		13664
НГП 630		9611,111		5088
НГП 720		12918,209		5940
НГП 820		13941,045		5334
НГП 914		0,000		0
УАПТ 630		51,490		28
Хознужды		445,567		54
Полуфабрикаты		389237,101		71045
Валовый выпуск	457500	461399,283	100,852	103240
Товарный выпуск	375900	381245,442	101,422	65443
Итого по УАПТ	375900	382318,680		65443
Итого товарной продукции по цеху	453600	454086,790		98111

При расчете максимальной производительности агрегата, необходимо знать значение фактического годового фонда работы торцефасочного станка, что было рассчитано выше, и необходимо знать годовой объём производства. Используя формулу 30, мы рассчитаем производительность агрегата.

$$P_1 = \frac{V_{\text{год.}}}{T_{\text{фонд.}}} = \frac{454086}{8248} = 55,18 \text{ тонн/час.} \quad (30)$$

Модернизация механизма зажимных призм торцефасочного станка цеха «Высота 239» заключаться в установке серво-распределителя, за счет демонтажа редукционного клапана давления и гидрораспределителя, которые настраивались вручную оператором. Установленный серво-распределитель позволяет не только изменять направление жидкости, но из-за точного позиционирования золотника, который будет управляться контроллером по заданному алгоритму, в гидрораспределителе есть возможность регулировать значение дросселирующей щели для последующего управления гидроцилиндром. Благодаря данной идеи по модернизации оборудования, возможность исключения пережима труб за счет более точного управления гидроаппаратурой. Без модернизации торцефасочного станка с установленными на нем редукционными клапанами, на состояние 2018 года, в месяц, в среднем, пережималось около 10 труб, для обработки которых было необходимо снять с линии обработки и отправиться на ремонтную площадку. Следовательно, это около 120 труб в год было снято в производственной линии и отправленной на ремонт, Это значит, что в год выпадало 120 циклов работы.

$$P_2 = \frac{V_{\text{год.}} + (n_T \cdot m_T)}{T_{\text{фонд}}} = \frac{454086 + (120 \cdot 9)}{8248} = 55,45 \text{ тонн/час.} \quad (31)$$

где, $V_{год}$ – годовой объем производства, т;

P_2 – производственная мощность станка после модернизации, тонн/ч;

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

n_T – количество отправленные на ремонт труб

m_T – средняя масса производимых труд, т.

В результате модернизации торцефасочного станка за счет установки нового оборудования, прогнозируется минимизация количества пережатых труб, следовательно, производительность и годовой выпуск продукции увеличится, значения показаны в таблице 10.

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 111,2359 - 111,07 = 0,16595 \text{ тонн/час.} \quad (32)$$

Таблица 10 – Расчёт производственной программы цеха

Показатели	Величина	
	До модернизации	После модернизации
Производительность агрегата, тонн/час	55,18 тонн/час	55,45 тонн/час
Годовой выпуск продукции, т	454086	455166

3.2 Расчет сметы капитальных затрат

Для системы гидропривода состав капитальных затрат выражается зависимостью:

$$K = C_{об} + T_p + 3_{смп} + 3_{нр}, \quad (32)$$

где K – капитальные затраты, р;

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

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

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

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

3.3 Расчёт стоимости приобретенного оборудования

На основании выбранного оборудования в первой и второй главы составили перечень необходимого оборудования. Прочее неучтённое оборудование берётся в размере 10% от стоимости учтённого оборудования. Смета затрат на оборудование торцефасочного станка представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Расчёт стоимости приобретаемого оборудования

Наименование оборудования	Кол-во единиц, шт	Цена за единицу, руб.	Общая стоимость, руб.
Шестеренчатый насос для гидропривода фирмы Rexroth	1	112 609	112 609
Силовые гидроцилиндры фирмы	8	36 000	288 000
Сервоклапан фирмы Rexroth 4WS2EM10-5X	2	390 950	718 190
Гидроаккумулятор фирмы Rexroth SB330-4	2	31 000	62 000
Гидрозамок фирмы Rexroth	2	23 500	47 000
Реле давления фирмы Rexroth HED 8 OH-2X	2	23 900	47800
Стоимость перепрограммирования контроллера	1	100 000	100 000

продолжение таблицы 11

Прочее неучтённое оборудование	10%	101 639
Итого стоимость оборудования		1 116 399

3.4 Расчёт затрат на монтаж и транспортировку оборудования

После определения стоимости основного оборудования, проведём расчёт стоимости монтажа. Затраты на монтаж примем равными 15% от общей стоимости оборудования, тогда затраты на монтаж будут равны:

$$Z_{\text{смп}} = C_{\text{об}} \cdot 0,15 = 1116399 \cdot 0,15 = 162459 \text{ руб.}; \quad (33)$$

Затраты на транспортировку оборудования принимаем равным 10% от общей стоимости оборудования:

$$T_{\text{р}} = C_{\text{об}} \cdot 0,1 = 1116399 \cdot 0,1 = 111639 \text{ руб.}; \quad (34)$$

Затраты на непредвиденные расходы принимаем равным 5% от общей стоимости оборудования:

$$Z_{\text{ир}} = C_{\text{об}} \cdot 0,05 = 1116399 \cdot 0,05 = 51820 \text{ руб.}; \quad (35)$$

Итого капитальные затраты на усовершенствование системы центрирования листов составит:

$$K = 1116399 + 112459 + 111639 + 10820 = 1442317 \text{ руб.}$$

3.5 Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования.

Расходы, связанные с работой оборудования состоят из следующих видов затрат:

1. Потери электроэнергии (\mathcal{E});
2. Амортизационные отчисления (A);
3. Затраты на текущий ремонт и обслуживание оборудования (C_{cp}).

В общем виде затраты на эксплуатацию гидропривода рассчитывается по формуле 36:

$$C = \mathcal{E} + A + C_{cp} \quad (36)$$

3.6 Расчёт затрат на электроэнергию

Расчёт затрат на электроэнергию производится умножением себестоимости 1кВт/ч энергии на тариф установленный в регионе.

В ходе усовершенствования системы зажима мы не меняем уже имеющийся двигатель, поэтому стоимость электроэнергии будет равно текущей на предприятии.

Стоимость электроэнергии рассчитывается по формуле 37:

$$\mathcal{E} = P \cdot (1 + (1 - \mu) \cdot T_{\phi} \cdot C_{\phi} \cdot n \quad (37)$$

где P – мощность установки на входе, кВт;

μ – КПД установки;

n – количество установок;

T_{ϕ} – фактическое время работы установки;

C_{ϕ} – себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Тогда стоимость электроэнергии:

$$\Xi = 4,5 \cdot (1 + (1 - 0,95) \cdot (8248 \cdot 3,5 \cdot 1)) = 136401,3$$

3.7 Расчёт амортизационных отчислений

Сумма амортизационных отчислений определяется по формуле 38:

$$A = \frac{C_{\text{пер}} \cdot N_a}{100} \quad (38)$$

где $C_{\text{пер}}$ – первоначальная стоимость оборудования, тыс. руб;

N_a – норма амортизации, %;

A – сумма амортизационных отчислений, тыс. руб.

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле 39:

$$C_{\text{пер}} = O + Z_{\text{монт}} + Z_{\text{трансп}} \quad (39)$$

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

O – оптовая цена единицы оборудования;

$Z_{\text{монт}}$ – затраты на монтаж, руб;

$Z_{\text{трансп}}$ – затраты на транспорт оборудования, руб.

Для выбранного оборудования норма амортизации составляет 10% от первоначальной стоимости. Тогда по формуле 38 годовая норма амортизации составит:

$$A = 1116399 \cdot 0,1 = 111639 \text{ руб.}$$

Сумма затрат на текущий ремонт и обслуживание гидро- и электрооборудования зависит от годовой суммы амортизации оборудования и рассчитывается по формуле 40:

$$C_p = 90\% \cdot A_i \quad (40)$$

где A – годовая сумма амортизаций оборудования.

Тогда сумма затрат на текущий ремонт и обслуживание будет равно:

$$C = 111639 \cdot 0.9 = 100475.1 \text{ руб.}$$

Общие затраты на эксплуатацию гидропривода:

$$C = \Xi + A + C_p = 136401.3 + 111639 + 100475.1 = 348515.4 \text{ руб.}$$

3.8 Расчет показателей прибыли предприятия

Прибыль (TR) 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 одной тонны трубы составляет 50360 руб. Так как по данным 2018 года доля себестоимости одной тонны трубы на участке формовке составляет 3%, следовательно, последующие расчеты будем считать с учетом себестоимости одной тонны трубы на участке формовке, что составляет:

$$55230 \cdot 0.03 = 1007.2 \text{ руб.}$$

Тогда за годовой объем производства в 454086 тонн выручка цеха от реализации изготовленной продукции составит:

$$1007,2 \cdot 454086 = 457353404,8 \text{ руб.}$$

где 454086 –объем производства в тоннах;

1007,2 – цена произведенной продукции за тонну.

Себестоимость годового объема продукции составляет:

После модернизации мы получили, что годовой выпуск составляет 455166 тонн, а, следовательно:

$$1007,2 \cdot 455166 = 458443195,2 \text{ руб.}$$

Разность между выручкой и затратами на производство есть прибыль.

Произведем расчет прибыли от модернизации производства цеха «Высота 239».

$$458443195,2 - 457353404 = 1089791 \text{ руб.}$$

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%. Следовательно, чистая прибыль от модернизации системы составила

$$\Pi_{\text{ч.м}} = 1089791 - (1089791 \cdot 0,2) = 871832,8 \text{ млн. руб.}$$

3.9 Расчёт затраты на материалы на оплату труда

Система торцефасочного станка работает в автоматическом режиме, но для контроля процесса производства необходимо присутствие хотя бы одного

человека. Наличие этого рабочего оправдано вне зависимости от степени использования системы, его заработная плата начисляется за весь год, а не только за непосредственное время работы гидропривода. Так как предприятие работает в 3 смены по 8 часов, то за год число рабочих часов равно 8760.

По формуле 41 определим время необходимое на обслуживание системы, состоящее из времени на текущие и капитальные ремонты и времени на простои и аварии:

$$T_{\text{обс}} = T_p + T_{\text{п}} \quad (41)$$

где $T_{\text{обс}}$ – время обслуживания привода, чел/час;

T_p – время на текущие и капитальные ремонты, чел/час;

$T_{\text{п}}$ – время простоев и аварий, чел/час.

Тогда с учётом данных из таблицы 7, время необходимое на обслуживание системы:

$$T_{\text{обс}} = 416 + 96 = 512 \text{ чел / час}$$

С учётом обязательного наличия рабочего, контролирующего работу привода, полный годовой фонд рабочего времени составит:

$$T = 8248 + 512 = 8760 \text{ чел / час}$$

Зная норму рабочего времени, которая составляет при 40 часовой рабочей неделе 1976 часов, по формуле 42 определим необходимое число рабочих:

$$Ч = \frac{8760}{1976} = 4.4 \text{ чел} \quad (42)$$

Таким образом, для обслуживания мехатронной системы необходимо 4 рабочих 6 разряда с полным окладом и 1 рабочий 6 разряда с окладом 0,4.

Зная тарифную ставку для производственного рабочего 6 разряда (215,28 руб/час), можно посчитать годовую заработную плату рабочих:

$$4 \cdot 215,28 \cdot 1976 = 1871730 \text{ руб.}$$

Учитывая выплаты компенсационного характера, такие как: доплата за работу в праздничные дни – 2,74% от оклада; доплату за работу в ночное время – 40% оклада, при круглосуточной работе можно принять 13,3% от оклада и за работу в опасных условиях труда – 12%.

Тогда сумма всех компенсирующих будет равна:

$$1871730 \cdot (0,133 + 0,0274 + 0,12) = 524833 \text{ руб.}$$

При расчётах материального поощрения, примем для основных рабочих значение премии – 40 % от оклада. Тогда премиальные выплаты составят:

$$1871730 \cdot 0,4 = 748692 \text{ руб.}$$

Региональное регулирование заработной платы осуществляется с помощью районных коэффициентов. Для Челябинска этот коэффициент равен 15% к окладу с учётом всех доплат и премий:

$$(1871730 + 524833 + 748692) \cdot 0,15 = 471788 \text{ руб.}$$

Итоговый годовой фонд оплаты труда рабочих, необходимых для надёжной работы торцефасочного станка составляет:

$$ЗП = 1871730 + 524833 + 748692 + 471788 = 3617043 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды установлены в размере 30 % от общего фонда ЗП и включают в себя отчисления в пенсионный фонд РФ (22%), федеральный фонд обязательного медицинского страхования (5,1%), территориальный фонд обязательного медицинского страхования (2,9 %).

Тогда, годовые отчисления на социальные нужды составят:

$$3617043 \cdot 0.3 = 1085112 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости проекта рассчитывается по формуле 43:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{K}{\text{Э}} \quad (43)$$

где К – сумма капитальных вложений, руб;

Э – прибыль за счёт внедрения технологии, руб.

$$T_{\text{окуп}} = \frac{1442317}{871832} = 1,6 \text{ года}$$

Так как, срок окупаемости проекта меньше, чем 3 года, то можно сделать вывод, что проект является эффективным. Результаты технико-экономических расчётов приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Сводная таблица технико-экономических расчётов

Наименование показателя	Значение до	Значение после	Δ
Годовой объём производства, тн.	454086	455166	1080
Капитальные вложения, руб.	–	1442317	1442317

продолжение таблицы 12

Амортизационные отчисления, руб	0	144237	144237
Фонд заработной платы, руб.	3617043	3617043	0
Страховые взносы, руб.	1085112	1085112	0
Итого РСЭО, руб	5202480	5346897	-144237
Чистая прибыль, руб.	458443195	459353404	871832
Срок окупаемости, лет.	1.6		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы определены проблемы и особенности при выборе основного гидравлического оборудования зажимных призм торцефасочного агрегата цеха «Высота 239» ПАО ЧТПЗ. Описан технологический процесс цеха «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ» и проведен анализ технологического процесса работы зажимных призм, также была разработана система автоматического управления мехатронной системы, определены контроллер и датчики технологических координат и разработана архитектура системы автоматизации.

В рамках данной работы были рассчитаны технико-экономические показатели мехатронной системы зажимных призм, определена производственная программа, рассчитаны смета капитальных затрат, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, чистый дисконтированный доход, срок окупаемости и показатель индекса доходности. В ходе работы выбраны гидроцилиндры и подобраны гидроаппараты необходимые корректной работы. Определены требования к гидроприводу, а также рассчитаны показатели уставок защитных устройств.

Функциональная схема САР гидропривода зажимных призм представлена на рисунке 27 настоящей работы. Согласно ей реализована на рисунке 29 настоящей работы структурная схема с ПИ-регулятором для более корректной работы привода.

Сумма капитальных вложений во всю систему зажимных призм торцефасочного станка определена 1442317 руб. Срок окупаемости равен 1.6 лет. То есть, зажимные призмы имеет место быть с достаточной долей эффективности в рамках технологического процесса в составе системы торцефасочного станка производства труб в цехе «Высота 239» ПАО ЧТПЗ. Таким образом, цели работы достигнуты, задачи – решены

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Гейер, В.Г. Гидравлика и гидропривод: Учебное пособие для вузов / В.Г. Гейер, В.С. Дулин, А.Н. Заря. – М.: Недра, 1991. – 331 с.
- 2 Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: Учебное пособие/ А.Н. Лукин, В.И. Косматов – Спб 2015, 68 с.
- 3 Мурашкин, С.Л. Технология машиностроения, Иркутск, 2003 г, 145 с.
- 4 Вавилов, А.В., Проектирование гидроприводов строительных и дорожных машин: Учебно-методическое пособие – Минск 2012, 18 с.
- 5 Руководство по эксплуатации : – <http://www.melsensor.de/laser-scanner.html>.
- 6 Бруштейн, Б.Е. и Дементьев В.И. Токарное дело. Учебник для проф. Техн. училищ./ Изд. 6-е, переработ, и доп. М., «Высш. школа», 1967, 448 с.
- 8 Руководство по эксплуатации - https://www.stoeber.de/en/stoeber_global/produkte/elektronik/produkt_detail_seite_elektronik_3021.html.
- 9 SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control - https://vk.com/doc111895457_492451495?hash=b5b912ef8c2b7f886c&dl=e2930f4a8f81429397
- 10 Свешников, В.К., Станочные гидроприводы: Учебное пособие/ А.Н. Лукин, В.И. Косматов – Спб 2015, 68 с.
- 11 Мурашкин, С.Л., Технология машиностроения, Иркутск, 2003 г, 145 с.
- 12 Бруштейн, Б. Е. и Дементьев, В. И. Токарное дело. Учебник для проф. Техн. училищ./ Изд. 6-е, переработ, и доп. М., «Высш. школа», 1967, 448 с.
- 13 Вавилов, А.В. и Смяк, А.Н. Проектирование гидроприводов строительных и дорожных машин: Учебно-методическое пособие – Минск 2012, 18 с.