

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 «Автоматизация технологических процессов и производств»

ДОПУСТИТЬ К  
ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
В.Р. Гасияров  
2019 г.

---

Автоматизация установки для восстановления насосно-компрессорных труб

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ 15.03.04.2019.093.00 ПЗ (ВКР)

Нормоконтролер  
Ст. преподаватель

Л.Н. Петрова

2019 г.

---

Руководитель работы  
Ст. преподаватель  
Л.Н. Петрова

2019 г.

---

Нормоконтролер  
Ст. преподаватель  
С.С. Воронин

2019 г.

---

Автор работы  
Студент группы П-455  
Шакиров Глеб Каримович

2019 г.

---

Челябинск 2019

## АННОТАЦИЯ

Шакиров Г. К. Автоматизированная установка для восстановления насосно-компрессорных труб. – Челябинск: ЮУрГУ, П-455; 2019, 61 с., 28 ил., 13 табл., библиогр. список – 27 наим., 6 прил.

В рамках выпускной квалификационной работы был проведен анализ установки для насосно-компрессорных труб. Исходя из анализа был предложен вариант усовершенствования и упрощения (с точки зрения вмешательства человека) данной установки на базе отечественного программируемого логического контроллера, а также разработан алгоритм работы системы в различных режимах. Произведен подбор дополнительных исполнительных механизмов, датчиков и ПЛК для управления системой.

В работе представлены разработанные схема функциональная автоматизации, схема электрическая принципиальная, схема соединений, алгоритм автоматизированной работы установки и интерфейс оператора.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 АНАЛИЗ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ .....	10
1.1 Область применения.....	10
1.2 Постановка задачи .....	17
2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ.....	18
2.1 Разработка схемы автоматизации функциональной .....	18
2.2 Разработка циклограммы .....	20
2.3 Разработка схемы электрической принципиальной.....	21
2.3.1 Выбор исполнительных механизмов .....	21
2.3.2 Выбор датчиков.....	32
2.3.3 Выбор программируемого логического контроллера.....	36
2.4 Разработка схемы электрической принципиальной установки для восстановления насосно-компрессорных труб .....	37
2.5 Разработка схемы соединений.....	43
3 Информационно-алгоритмическое обеспечение.....	44
3.1 Алгоритм работы установки.....	44
3.2 Разработка интерфейса оператора.....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	48
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	49
ПРИЛОЖЕНИЕ А Автоматизированная установка для восстановления насосно-компрессорных труб. Внешний вид стенда .....	51
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Автоматизированная установка для восстановления насосно-компрессорных труб. Схема автоматизации функциональная .....	52

ПРИЛОЖЕНИЕ В Автоматизированная установка для восстановления насосно-компрессорных труб. Циклограмма.....	54
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Схема электрическая принципиальная.....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Схема соединений .....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Алгоритм работы установки .....	61

## ВВЕДЕНИЕ

Темой выпускной квалификационной работы является разработка автоматизированной установки для восстановления насосно-компрессорных труб (далее НКТ) диаметром 114 мм (ГОСТ 633-80 [1]). На одном из производств Сургутнефтегаза реализован ремонт НКТ. На этот участок трубы уже приезжают после мойки, с отрезанной изношенной резьбовой частью. Именно этот участок является объектом моей работы.

Задача создания ВКР заключается в выполнении следующих целей:

- введение робота манипулятора в установку для упрощения установки и уменьшения вмешательства человека в систему;
- переход на отечественные комплектующие в связи с курсом государства на импортозамещение;
- ввести интерфейс оператора для отслеживания работы системы в реальном времени.

В пояснительной записке описаны исполнительные и чувствительные элементы системы. А также разработаны:

- схема автоматизации функциональная;
- схема электрическая принципиальная;
- схема соединений;
- алгоритм работы системы;
- программное обеспечение нижнего и верхнего уровня системы автоматизации.

# 1 АНАЛИЗ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

## 1.1 Область применения

Объектом автоматизации является установка для восстановления НКТ, представленная на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Установка для восстановления НКТ

Данная установка применяется для ремонта НКТ.

Насосно-компрессорные трубы (НКТ) используются для транспортировки газа или жидкого флюида из скважины на поверхность (рисунок 1.2). Данные трубы изготавливаются по бесшовной технологии (являются цельными изделиями и не содержат швов, а также других соединений). Материалом для таких деталей выступает сталь, так как этот материал обладает высокой прочностью. Учитывая, что НКТ являются бесшовными трубами, они обладают высокими прочностными характеристиками, поэтому их используют в работе с высокими показателями давления, как, например, в данном случае в нефтегазовой отрасли [2].



Рисунок 1.2 – Насосно-компрессорные трубы (НКТ)

В процессе эксплуатации НКТ подвергаются коррозионному и эрозионному износу, а также механическому истиранию. В результате воздействия на НКТ указанных факторов на их наружной и особенно внутренней поверхности образуются различные дефекты, в том числе изъязвления, каверны, риски, задиры и т.п., которые приводят к потере несущей способности труб, поэтому дальнейшее их использование по прямому назначению без соответствующего ремонта невозможно. В этом случае можно либо заменить трубы на новые, либо отремонтировать старые.

Ремонт труб экономически более выгоден, чем замена их на новые. Цена новой НКТ составляет  $\approx 78$  тыс. рублей [3]. А цена всей линии по ремонту НКТ (мойка,)  $\approx 12$  млн. рублей. В год на такой линии можно отремонтировать до 140 тыс. руб. Соответственно, для замены 140 000 НКТ на новые потребовалось бы около 11 млрд. рублей, в то время как сама установка стоит в разы дешевле. И даже с расходами на зарплаты обслуживающего персонала, стоимость расходных материалов и тд., ремонт НКТ по сравнению с их заменой окажется на порядок дешевле.

Полный ремонт труб подразумевает под собой 8 операций[4]:

1) Мойка труб.

Мойка насосно-компрессорных труб производится в автоматическом режиме в моечной машине активаторного типа. Очистка осуществляется за счет термодинамического воздействия моющего раствора с температурой 80-90°C на асфальтосмолопарафины - разогретые до температуры плавления нефтяные отложения удаляются циркулирующим в ванне моющим раствором (рисунок 1.3).

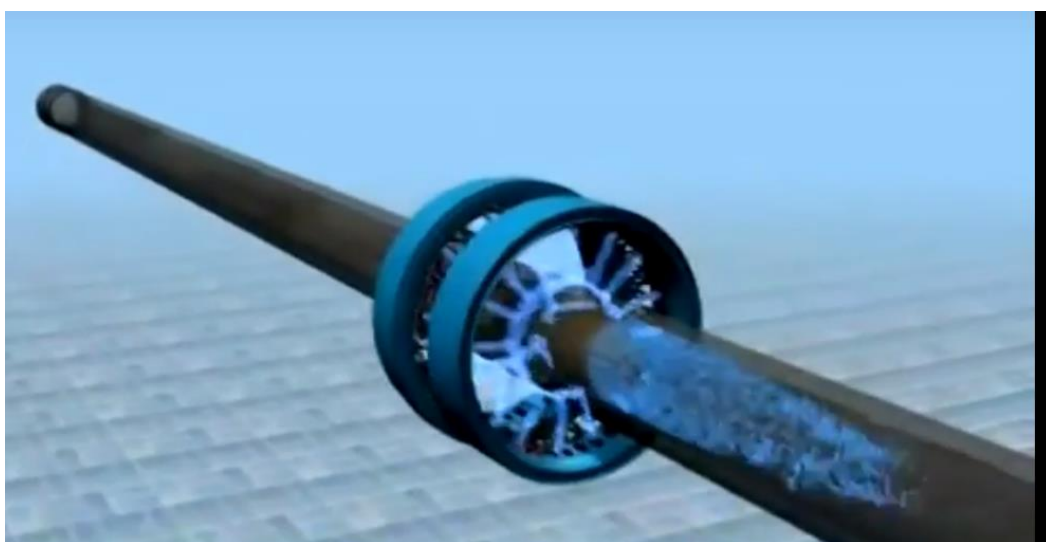


Рисунок 1.3 – Мойка трубы

2) Сушка.

Сушка проходит в специальной сушильной камере при температуре от 70 до 80 °C в течении 15 минут (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Сушка трубы



### 3) Внутренняя и наружная механические чистки труб

Внутренняя чистка трубы проходит в специальной установке. В этой установке инструмент, вращаясь, очищает трубу от наслоений, а вода уносит продукты очистки в емкость, где вода фильтруется и снова подается в штангу (рисунок 1.5).

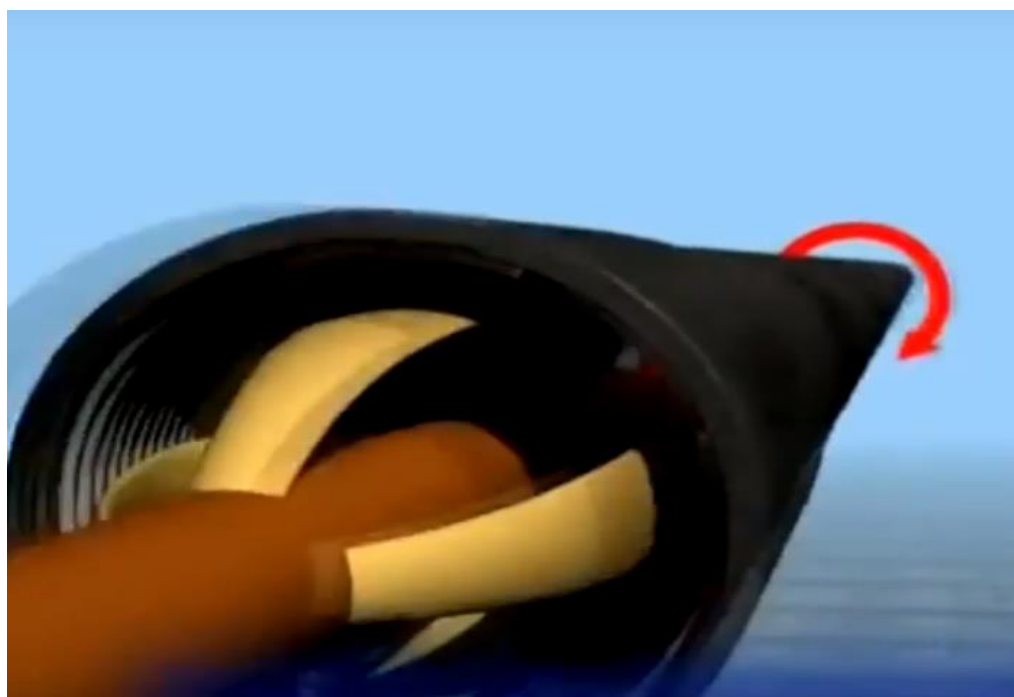


Рисунок 1.5 – Чистка трубы

### 4) Отворот муфты

Отворот муфты осуществляется на муфтонаверточном станке НКТ 05 (с возможностью отворота муфты) (рисунок 1.6).

### 5) Отрезка дефектных концов НКТ

Для данной операции используется автоматизированный комплекс на базе ленточного отрезного станка предназначен для отрезки концов насосно-компрессорных труб с дефектами наружной поверхности, дефектами, обнаруженными методами неразрушающего контроля и концов труб с несвинченными муфтами (рисунок 1.7).

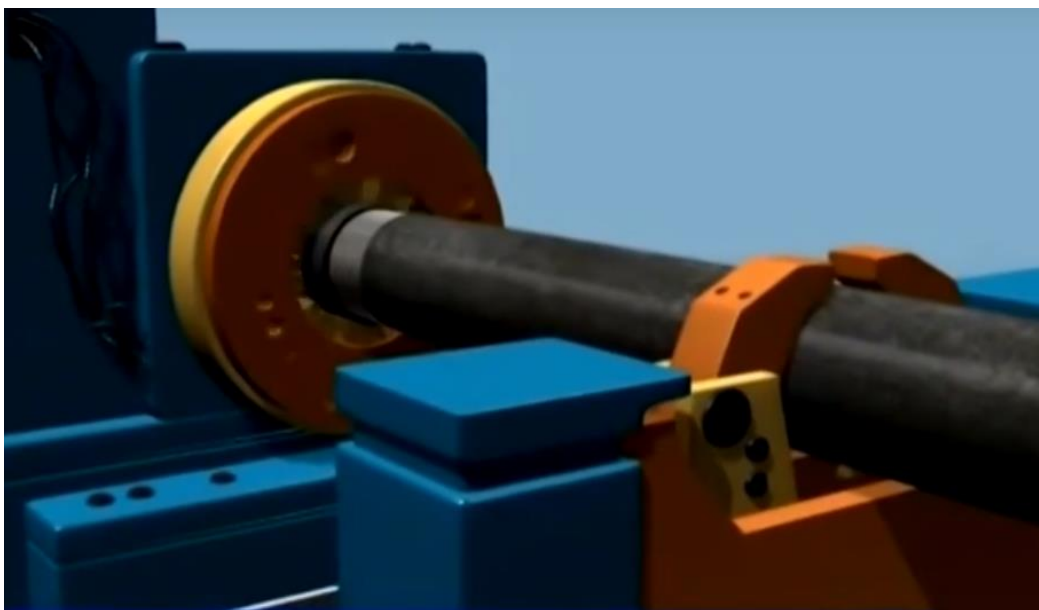


Рисунок 1.6 – Отворот муфты



Рисунок 1.7 – Отрезка дефектных концов

#### б) Клеймение НКТ

Клеймение происходит на установке НКТ УКТ 03. Надпись, содержащая необходимую информацию (знак предприятия, диаметр, длина, группа точности, дата ремонта, смена и др.) автоматически механическим методом наносится на трубу (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Клеймение трубы

#### 7) Нарезка резьбы

Нарезка резьбы (рисунок 1.9) происходит на станках REMS Унимат 77.

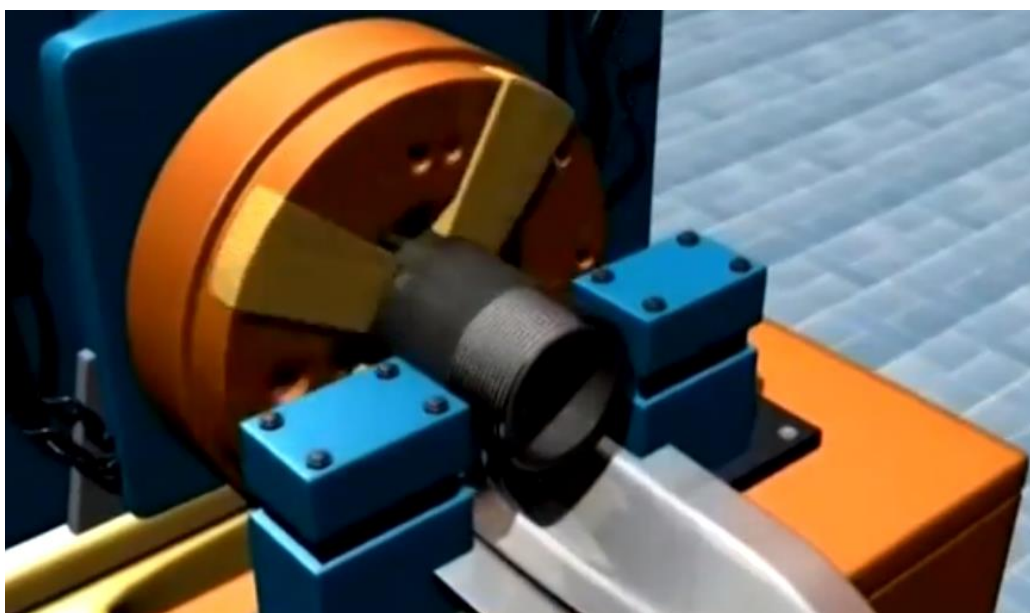


Рисунок 1.9 – Нарезка резьбы

## 8) Наворот муфты

Данная операция, как и операция отворота муфты осуществляется в станке НКТ 05 (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Наворот муфты

В рамках выпускной квалификационной работы для автоматизации была выбрана не вся линия, а завершающий участок ремонта НКТ, на котором происходит нарезка резьбы и наворот муфты. Примерный внешний вид установки представлен в приложении А.

Ремонт НКТ состоит из 5 этапов:

- 1) труба подается на рольганг R1 и движется вправо по рольгангу до упора в резьбонарезном станке, происходит нарезка резьбы;
- 2) труба движется по рольгангу влево до упора в резьбонарезном станке, происходит нарезка резьбы;
- 3) труба извлекается из станка, фиксируется в зажимах, робот насаживает муфту на левый конец трубы;
- 4) труба с помощью загрузчика подается на рольганг R2 и движется по рольгангу влево до упора в станке муфтонаворота;

5) труба движется до крайнего левого положения на рольганге R2, где с помощью загрузчика подается на конечный стеллаж.

## 1.2 Постановка задачи

На данный момент на предприятии перед тем как НКТ поступает в станок муфтонаворота, работу системы приостанавливают, для того чтобы оператор мог вручную навинтить муфту.

Целью автоматизации является автоматизация операций нарезания резьбы, навинчивания муфты (без участия человека) и муфтонаворота на станке без приостановки процесса. Навинчивание муфты можно осуществить при помощи робота-манипулятора. Робот будет только навинчивать, насаживать муфту на НКТ, так как у него не хватает крутящего момента, соответственно без станка муфтонаворота НКТ 05 не обойтись.

Задачами автоматизации являются:

- контроль текущего положения трубы;
- подача трубы с одного рольганга на другой;
- подача трубы в автомат для нарезания резьбы;
- фиксация трубы для навинчивания муфты роботом;
- подача трубы в станок муфтонаворота.

Для решения данных задач будут использоваться:

- 1) ПЛК отечественной фирмы «ОВЕН»;
- 2) робот-манипулятор;
- 3) автомат резьбонарезной;
- 4) станок муфтонаворота;
- 5) интерфейс оператора.

## 2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ

### 2.1 Разработка схемы автоматизации функциональной

Функциональная схема автоматизации (ФСА) – это проектный документ, определяющий функции и объем автоматизации технологического процесса. Схема является чертежом, на котором схематически условными обозначениями изображены: технологическое оборудование; коммуникации; органы управления и средства автоматизации. Выполнение ФСА должно соответствовать требованиям ГОСТ 21.404–85[5]. ФСА представлена в приложении Б. Для удобства в качестве обозначения системы будем использовать аббревиатуру «АУВ».

Для создания схемы были использованы следующие элементы:

- датчики SQ2, SQ3, SQ6, SQ8, предназначены для контроля положения трубы на рольгангах;
- датчик SQ5, предназначен для контроля наличия муфт на стеллаже;
- датчики SQ1, SQ4, предназначены для контроля положения трубы в автоматах;
- датчик SQ7, предназначен для контроля положения трубы в станке муфтонаворота;
- датчик SQ9, предназначен для контроля положения трубы на конечном стеллаже.

Для автоматизации всего процесса работы системы предусмотрен шкаф автоматики, в котором расположены следующие элементы:

- частотные преобразователи UZF1 и UZF2, предназначены для управления электродвигателями на рольгангах;
- пневматический клапан YA1, предназначен для фиксации трубы;

– пневматические клапаны YA2, YA3, предназначены для работы загрузчиков;

– лампа HL1 показывает, что система запущена;

– программируемый логический контроллер ПЛК, предназначен для приема и обработки сигналов, с датчиков SQ1...SQ9; управления всеми исполнительными механизмами; передачи данных на панель оператора и контроллер робота.

АУВ должна управлять исполнительными элементами системы, исходя из заданного режима работы.

Ручной режим предназначен для ручной проверки оператором работоспособности элементов системы.

Автоматический режим действует по заданному алгоритму:

1) срабатывает датчик SQ2, оповещающий о наличии трубы на рольганге R1;

2) включается электродвигатель M1, отвечающий за работу рольганга R1 и труба движется вправо до упора в автомате;

3) срабатывает датчик SQ1, контролирующий достижение трубы упора в автомате, подается сигнал для начала операции нарезания резьбы;

4) на ПЛК приходит сигнал об окончании операции, реверс двигателя – труба движется влево до упора в автомате;

5) срабатывает датчик SQ4, контролирующий достижение трубы упора в автомате, подается сигнал для начала операции нарезания резьбы;

6) на ПЛК приходит сигнал об окончании операции, реверс двигателя – труба движется вправо, пока датчик SQ3 не отключится;

7) датчик SQ3 отключается, поднимаются люнеты, фиксирующие трубу;

8) подается сигнал для начала работы робота – навинчивание муфты;

9) на ПЛК приходит сигнал об окончании операции, загрузчик с помощью пневмоклапана загружает трубу на рольганг R2;

10) срабатывает датчик SQ6, оповещающий о наличии трубы на рольганге R2 в крайнем правом положении;

11) включается электродвигатель M2, отвечающий за работу рольганга R2 и труба движется вправо до упора в станке муфтонаворота;

12) срабатывает датчик SQ7, контролирующий достижение трубы упора в автомате, подается сигнал для начала операции наворота муфты;

13) на ПЛК приходит сигнал об окончании операции, упор падает, труба движется по рольгангу влево;

14) при достижении крайнего левого положения, срабатывает датчик SQ8, оповещающий об этом;

15) загрузчик с помощью пневмоклапана YA2 загружает трубу на конечный стеллаж;

16) когда труба попадает на конечный стеллаж, срабатывает датчик SQ9, сигнализирующий о наличии трубы

## 2.2 Разработка циклограммы

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана циклограмма процесса ремонта насосно-компрессорных труб. Циклограмма представлена в приложении В.

Ниже приведена расшифровка условных обозначений на циклограмме:

- SQ1...SQ8 обозначают датчики положений;
- M1вп обозначает движение трубы вправо рольгангу R1;
- M1наз обозначает движение трубы влево по рольгангу R1;
- M2лев обозначает движение трубы влево по рольгангу R2;
- УН1.1 обозначает сигнал для начала операции нарезки резьбы на правом конце НКТ;
- УН1.2 обозначает сигнал для окончания операции нарезки резьбы;
- УН2.1 обозначает сигнал для начала операции нарезки резьбы на левом конце НКТ;
- УН2.2 обозначает сигнал для окончания операции нарезки резьбы;
- Роб1 обозначает сигнал для начала навинчивания муфты роботом;
- Роб2 обозначает сигнал для окончания операции навинчивания;



- YA1 обозначает зажим НКТ в люнетах;
- YA2 обозначает загрузку НКТ на рольганг R2;
- YA3 обозначает загрузку НКТ на конечный стеллаж;
- НКТ1 обозначает сигнал для начала операции наворота муфты в станке НКТ 05;
- НКТ2 обозначает сигнал для окончания операции наворота муфты.

### 2.3 Разработка схемы электрической принципиальной

В соответствии с функциональной схемой автоматизации была разработана схема электрическая принципиальная, которая определяет полный состав элементов и связей между ними, а также содержит указания к установке. Разработка схемы соединений проведена в соответствии с ГОСТ 2.702-2011 [6].

Ниже описаны исполнительные элементы и датчики, использованные в данной системе.

#### 2.3.1 Выбор исполнительных механизмов

Для правильной и эффективной работы АУВ, необходимо использовать оптимальные по характеристикам и назначению исполнительные механизмы.

##### 2.3.1.1 Рольганговые электродвигатели АРМ

Для установки были выбраны асинхронные трехфазные электродвигатели АРМ42-8 (рисунок 2.1). Рольганговые электродвигатели АРМ используются для индивидуального привода роликов. В таблице 1 представлены характеристики двигателей [7].

В установке используются два рольганга, соответственно в системе необходимо использовать два двигателя.

Таблица 1 – Характеристика электродвигателей АРМ42-8

Параметр	Величина
Модель	АРМ42-8
Тип эл. двигателя	Асинхронный
Габарит (высота оси вращения), мм	125
Мощность, кВт	0,71
Номинальная частота вращения, об/мин.	650
Номинальный ток (I <sub>ном</sub> ), А	2,9
Напряжение питающей сети (АС), В	380
Частота питающей сети, Гц	50
КПД, %	62
Режим работы	S1
Класс изоляции	Н
Степень защиты	IP54
Климатическое исполнение	У3
Масса, кг	65
Стандарт	ГОСТ
Применение	рольганговый электродвигатель
Модификация	электродвигатель стандартный
Диаметр вала, мм	32
Фазность	3-фазный
Начальный пусковой ток I <sub>пуск</sub> , А	8
Начальный пусковой момент M <sub>пуск</sub> , Нм	31
Динамическая постоянная при (ПВ 40%), кг*м <sup>2</sup> /час	390



Рисунок 2.1 – Двигатель АРМ

### 2.3.1.2 Преобразователи частоты

Для управления электродвигателями необходим частотный преобразователь. Выбор ПЧВ нужно осуществлять по величине тока номинального тока выхода ПЧВ. Воспользуемся формулой (1), которая описана в руководстве по эксплуатации ПЧВ1/ПЧВ2 (фирмы «ОВЕН») [8].

$$I_{\text{ПЧВ.ном}} \geq I_{\text{АД}} = I_{\text{АД.ном}} \cdot K1 \cdot K2, \quad (1)$$

где  $I_{\text{АД}}$  – расчетный ток асинхронного двигателя (АД);

$I_{\text{АД.ном}}$  – номинальный ток асинхронного двигателя;

$K1, K2$  – коэффициенты запаса по выходному току ПЧВ (приведены в том же руководстве).

Подставив значения для выбранного двигателя ранее в формулу 1, получим:

$$I_{\text{ПЧВ.ном}} \geq I_{\text{АД}} = 2,9 \cdot 1,3 \cdot 1,3 = 4,9 \text{ А}$$

Также ПЧВ должен отвечать следующим требованиям:

- питающая сеть 380 В;
- трехфазное выходное напряжение;
- протокол RS-485 для связи с ПЛК.

Частотный преобразователь, с выходным током 4,9 А и отвечающий требованиям, можно подобрать в руководстве по эксплуатации в таблице модификаций ПЧВ. Нам подходит преобразователь частоты ПЧВ102-2К2-В с номинальным выходным током 5,2 А. Его технические характеристики представлены в таблице 2, а внешний вид – на рисунке 2.3

Таблица 2 – Характеристики ПЧВ102-2К2-В

Питающая сеть (АС), В	3 фазы, 380
Выходная частота, Гц	0...200
Номинальный входной ток, А	8,5
Номинальный выходной ток, А	5,2
Диапазон рабочих температур, °С	от 0 до 40 при номинальном токе; от -10 до +50 (со снижением выходного тока)
Протокол RS-485	Modbus RTU
Класс защиты корпуса	IP20
Максимальная относительная влажность, %	95



Рисунок 2.3 – Внешний вид  
ПЧВ102-2К2-В

### 2.3.1.3 Электропневмотический распределитель

На установке для управления зажимом и двумя загрузчиками используются три пневматических распределителя.

Пневматические распределители используются для управления работой пневматическими цилиндрами, путем управления потоком сжатого воздуха в пневмосетях, перенаправляя его из одних каналов в другие, либо полностью ограничивая доступ. В данном случае были использованы пневматические, бистабильные (т.е. при отсутствии сигнала пневматический цилиндр остается в том же положении) распределители фирмы Camozzi серии 3 мод. 358 с электромагнитным управлением. Технические характеристики представлены в таблице 3 [9].

Двустороннее управление подразумевает под собой перемещение пневматических цилиндров в рабочее и начальное положение. Для того чтобы переместить цилиндр нужно подать ток на одну катушку, тогда электромагнит опускает клапан, и сжатый воздух попадает внутрь. Для того чтобы вернуть цилиндр ток подается на другую катушку.

Таблица 3 – Технические характеристики Camozzi 358

Рабочее давление, МПа	0,2...1,5
Потребляемая мощность катушки, Вт	3
Рабочая температура, °С	от 0 до 60
Масса, кг	1
Напряжение катушки (DC), В	24
Степень защиты	IP 65 (полная защита от проникновения пыли, защита от струй воды со всех направлений)
Тип распределителя (число линий)	
Внешний вид распределителя	

#### 2.3.1.4 Автоматы для нарезания резьбы

Чтобы нарезать резьбу, станки должны удовлетворять следующим требованиям:

- обрабатывать трубы диаметром не менее 114 мм;
- нарезать резьбу длиной не менее 65 мм;
- шаг резьбы должен составлять не менее 3,175 мм.

С учетом данных требований можно использовать станки REMS Унимат 77 (рисунок 2.4) [10].

Станки работают в автоматическом режиме. В данной установке не требуется управлять станками, необходимо только получать и обрабатывать сигналы.



Рисунок 2.4 – Станок REMS Унимат 77

Когда труба достигает упора в станке, на ПЛК поступает сигнал, который начинает операцию нарезки резьбы. Пневматическим зажимом труба зажимается в станке, далее включается привод с резьбонарезной головкой, линейный привод подводит ее к трубе и нарезает резьбу с заданными шагом и длиной резьбы, которые предварительно настраиваются наладчиком оборудования. По окончании операции на ПЛК также поступает сигнал, но уже об окончании операции. Технические характеристики приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики REMS Унимат 77

Напряжение питания, В	380
Мощность, кВт	2,3
Диаметр обрабатываемой трубы, мм	45...153
Максимальная длина резьбы, мм	120
Скорости вращения резьбонарезной головки, об/мин	50, 25, 16, 8
Максимальны шаг резьбы, мм	8

#### 2.3.1.5 Станок муфтонаворота

Для дозакручивания муфты на данном участке уже использовался станок НКТ-05 (рисунок 2.5) [11], предназначенный для наворачивания или отворачивания муфт на гладкие насосно-компрессорные трубы.



Труба с предварительно накрученной муфтой подается на станок рольгангом, проходит через отверстие шпинделя и патрона зажима муфты. Движение трубы ограничивается упором (установлен датчик, контролирующий достижение трубой упора). После того как труба остановилась, она зажимается в патроне зажима трубы при помощи пневмоцилиндра. Включается привод, начинается вращение патрона зажима муфты. После этого труба освобождается от зажимов и двигается по рольгангу дальше. Настройку и программирование станка осуществляет наладчик.

Необходимые характеристики станка представлены в таблице 5.



Рисунок 2.5 – Станок НКТ 05

Таблица 5 – Технические характеристики станка НКТ 05

Диаметр труб, мм	от 60 до 114
Максимальный крутящий момент, кНм	5
Частота вращения шпинделя, об/мин	25
Общее передаточное число, $i_{общ}$	80,5
Давление сжатого воздуха, МПа	0,4...0,6
Мощность, кВт	15

### 2.3.1.6 Робот-манипулятор

Для модернизации было принято решение о введении в систему работа–манипулятора.

Как было сказано выше, труба в станок НКТ 05 попадает с предварительно накрученной муфтой. Эту муфту накручивал оператор, предварительно приостановив процесс. Можно исключить работу оператору в этом процессе, если ввести робот-манипулятор.

После того как резьба будет нарезана с левой стороны, труба выезжает из трубонарезного станка, до отключения датчика. После этого люнеты центрируют трубу. Робот берет муфту со стеллажа с муфтами, после этого подносит к трубе и навинчивает. Затем робот возвращается в начальное положение, а труба переходит на следующий рольганг.

Робот должен отвечать следующим требованиям:

- иметь трехпалый хват;
- грузоподъемность минимум 5 кг;
- радиус действия минимум 1 метр;

Под эти требования подходит робот фирмы ABB IRB 1660ID (рисунок 2.6)

[12]. Технические характеристики представлены в таблице 6.

Этот робот предназначен для различных операций:

- электродуговая сварка;
- обслуживание станков;
- перенос материала и т.д.

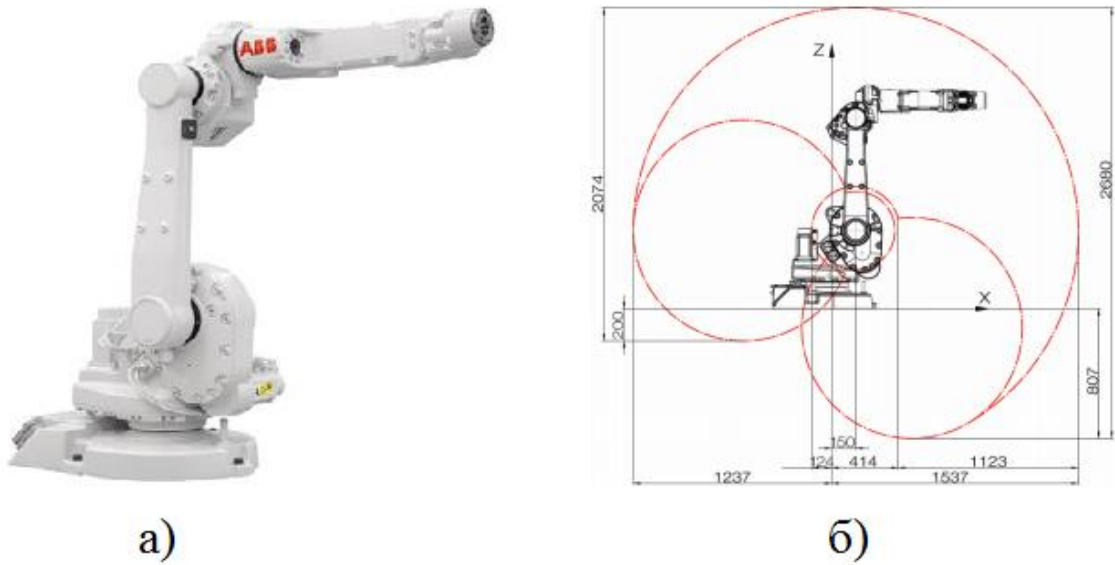


Рисунок 2.6 – Робота ABB IRB 1660ID: а) внешний вид; б) рабочий диапазон

Робот управляется контроллером IRC5 PMC Panel Mounted Controller (рисунок 2.7) . Технические характеристики представлены в таблице 7 [13].



Рисунок 2.7 – Контроллер IRC5

Таблица 6 – Технические характеристики робота-манипулятор

Максимальная грузоподъемность робота, кг	10
Радиус действия, м	1,55
Количество осей, шт	6
Потребляемая мощность, кВт	0,62
Рабочая температура, °С	от +5 до + 45
Степень защиты	IP67 (полная защита от проникновения пыли, защита от проникновения воды при погружении на глубину до 1 м)
Вес робота, кг	36

Таблица 7 – Технические характеристики IRC5 PMC Panel Mounted Controller

Напряжение питания (АС), В	3 фазное, от 200 до 600
Рабочая температура, °С	от 0 до +45
Вес полного модуля, кг	40
Габаритные размеры, мм	685×498×425

### 2.3.2 Выбор датчиков

Для того чтобы считывать параметры системы, необходимо использовать чувствительные элементы – датчики. Все датчики должны удовлетворять минимальным требованиям системы. В зависимости от конструкции и принципа действия датчики положения имеют различный диапазон срабатывания, различную точность и рассчитаны на обнаружение объектов из различных материалов. Необходимо подобрать оптимальные датчики.

Датчики положения бывают:

- фотоэлектрическими;
- индуктивными;
- емкостными;
- ультразвуковыми;

В связи с высокой стоимостью фотоэлектрических и ультразвуковых чувствительных элементов, мы не будем их рассматривать в качестве датчиков положений.

Датчики индуктивности (рисунок 2.7) работают по принципу изменения индуктивного сопротивления катушки со сталью. Эти датчики широко используются за счет простоты, надежности и отсутствию скользящих контактов. Наиболее часто применяются датчики, имеющие цилиндрический корпус с наружной резьбой и двумя гайками. Индуктивные датчики обеспечивают надёжный, стабильный к измерению положения, а также менее подвержены влиянию посторонних факторов, таких как вода, грязь, электростатическое поле элементов. Срабатывают только на металл и абсолютно нечувствительны к другим материалам. Индуктивные датчики намного меньше подлежат износу [14].

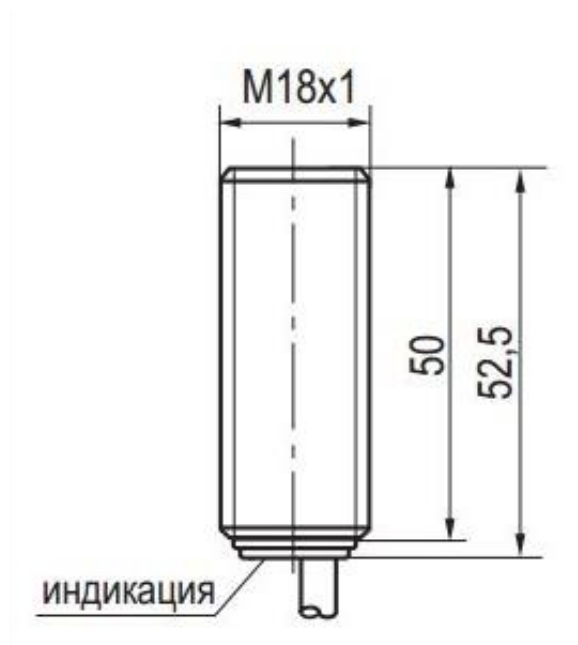


Рисунок 2.8 – Индуктивный датчик

Емкостный датчик (рисунок 2.8) представляет собой обычный плоский или

цилиндрический конденсатор, изменение емкости которого происходит либо за счет перемещения одной из пластин, либо за счет изменения диэлектрической постоянной среды, находящейся между пластинами. Емкостные датчики не подходят для применения в жестких условиях окружающей среды, где есть возможность проникновения посторонних веществ или больших изменений температуры [15].

Для нашей установки могут мы будем использовать индуктивные датчики, так как они более устойчивы к внешним воздействиям.

В данной системе используются 9 датчиков. Все датчики служат только для контроля положения НКТ. Поэтому выберем одинаковые датчики LA12-2P1 (рисунок 2.9), так как они подходят нам по схеме подключения, материалу корпуса и расстоянию срабатывания [16].



Рисунок 2.9 – Емкостный датчик



Рисунок 2.10 – Датчик LA12-2P1

Датчики LA12-2P1 являются индуктивными бесконтактными чувствительными элементами, применяются в качестве конечных выключателей в автоматических линиях, станках и т.п. Технические характеристики датчиков представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики LA12-2P1

Номинальное расстояние срабатывания, мм	5
Номинальный ток, мА	200
Индикация срабатывания	Светодиод
Тип подключения	Кабель
Материал корпуса	Никелированная латунь
Диапазон рабочих температур, С	от -25 до +60
Схема подключения	PNP
Рабочее напряжение питания, В	от 10 до 30
Степень защиты	IP67 (полная защита от проникновения пыли, защита от проникновения воды при погружении на глубину до 1 м)

### 2.3.3 Выбор программируемого логического контроллера

Исходя из полученных данных сформулируем требования к управляющему элементу.

Для управления всеми исполнительными механизмам системы необходимо чтобы управляющий элемент имеет 8 дискретных выходов:

- 1 дискретных выхода для индикации работы системы (лампочка HL1);
- 1 дискретный выход используется для станка муфтонаворота;
- 1 дискретных выхода для робота-манипулятора;
- 2 дискретных выхода для запуска процесса нарезки резьбы в автоматах;
- 3 дискретных выхода для управления пневмоклапанными.

Для считывания выходных сигналов с датчиков и исполнительных механизмов, управляющий элемент должен иметь 14 дискретных входов:

- 4 дискретных входа для датчиков контроля положения труб на ролгангах;
- 3 дискретных входа для контроля рабочего положения труб в станках для нарезания резьбы и муфтонаворота;
- 1 дискретный вход для контроля наличия муфт на стеллаже;
- 2 дискретных входа для контроля завершения процесса нарезки резьбы в автоматах;
- 1 дискретный вход для контроля завершения цикла программы робота;
- 1 дискретный вход для оповещения об ошибке в работе робота;
- 1 дискретный вход для контроля положения трубы на конечном стеллаже.

Чтобы управлять частотными преобразователями, необходимо чтобы, управляющий элемент имел интерфейс связи RS-485 и поддерживал протокол Modbus RTU, а также протокол Ethernet для возможности подключения к роботу.

Данным требованиям удовлетворяет программируемый логический контроллер фирмы «ОВЕН» ПЛК110-220.30.P [17], представленный на рисунке 2.11. Он имеет:

- 18(из них 2 быстродействующих) дискретных входов;



- 12 дискретных выходов;
- 8 аналоговых входов;
- 4 аналоговых выхода;
- 2 интерфейса связи RS-485;
- 1 интерфейс связи Ethernet 100 Base-T.

Технические характеристики представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики ПЛК110-220.30.P

Напряжение питания, В	от 90 до 264
Потребляемая мощность, Вт	41
Количество дискретных выходов, шт	12
Количество дискретных входов, шт	18
Интерфейсы связи	RS-232, RS-232 Debug, RS-485, Ethernet, USB Device
Скорость обмена по RS-485, бит/с	от 300 до 115200
Потребляемый ток, А	0,7
Пусковой ток, А	41



Рисунок 2.11 – «ОВЕН» ПЛК110

2.4 Разработка схемы электрической принципиальной установки для восстановления насосно-компрессорных труб

В соответствии с разработанной схемой автоматизации функциональной и выбранными элементами, разрабатывается схема электрическая принципиальная, представленная в приложении Г. Условно-графические изображения элементов системы выполнены согласно требованиям ЕСКД: ГОСТ 2.701-2008[18] и ГОСТ 2.702-2011 [19].

Данная система питается от трехфазной цепи. Для включения всей системы в цепь питания предусмотрен рубильник SA1 – OT100F3 фирмы «ABB» до 100 А [20].

Для включения всей системы предусмотрена кнопка без фиксации SB1. Она подает управляющий сигнал на контактор KM1, который в свою очередь включает в общую цепь все элементы системы. Кнопка SB2 предназначена для размыкания цепи, то есть для аварийного останова. При нажатии на кнопку SB2 происходит разрыв цепи на контакторе KM1 и его отключению. Типовая схема представлена на рисунке 2.12.

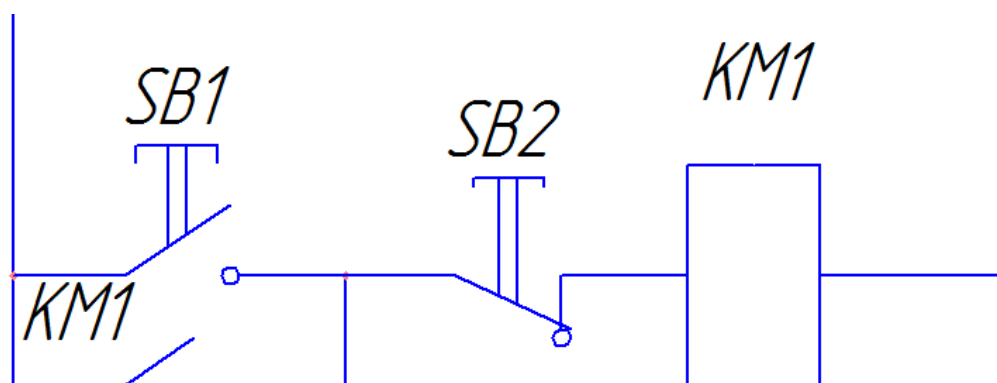


Рисунок 2.12 – Включение в цепь питания

Для работы элементов необходимо подобрать блок питания на +24 В.

Промышленные блоки питания предназначены для питания стабилизированным напряжением постоянного тока широкого спектра радиоэлектронных устройств – релейной автоматики, контроллеров и т. п.

Для подбора блока питания составим таблицу 10, в которой рассчитаем ток, потребляемый элементами с напряжением +24 В.

Таблица 10 – Оценка потребляемого тока по линии +24 В

Элемент	Ток, А	Количество, шт
Датчик LA12-2P1	0,20	8
Катушки пневмораспределителей	0,13	3
Лампа	0,10	1
Панель оператора	0,25	1

Общий ток всех элементов будет равен 2,34 А, поэтому мощность блока питания должна составлять не менее 54 Вт. Под это требование нам подходит блок питания БП60Б-Д4-24 фирмы «ОВЕН» (рис. 2.13). Технические характеристики блока питания представлены в таблице 11 [21].



Рисунок 2.13 – Внешний вид БП60Б-Д4-24

Таблица 11 – Технические характеристики БП60Б-Д4-24

Номинальное напряжение (DC), В	24
Номинальный ток, А	2,50
Номинальный ток потребления, А	не более 0,5
Пусковой ток, А	30
Коррекция выходного напряжения, В	от 22 до 26
Мощность, Вт	60
Степень защиты корпуса	IP20
Рабочая температура, °С	от –20 до +50
Выходное напряжение, В	24

Также необходимо подобрать и использовать автоматические выключатели (однополюсные либо трехполюсные (рисунок 2.13, а, б)) и пускатели (рисунок 2.13 в) для защиты всей системы от перегрузок и токов короткого замыкания. Подбор будем производить по токам (таблица 12).

Таблица 12 – Оценка токов потребления

Позиционное обозначение	Наименование элемента	Ток, А
G1	БП60Б-Д4-24	2,50
A1	ПЛК110-220.30.P	0,70
UZF1	ПЧВ102-2К2-В	5,20
UZF2	ПЧВ102-2К2-В	5,20
A3	REMS Унимат 77	6,80
A4	REMS Унимат 77	6,80
A5	IRC5C Compact Controller	1,63
A6	НКТ 05	39,00

Согласно ГОСТ Р 50345-99[22] автоматические выключатели делятся на несколько типов, в зависимости от номинального тока ( $I_n$ ) и диапазона мгновенного расцепления (таблица 13). Условный ток расцепления – это установленное значение тока, вызывающее расцепление выключателя в пределах заданного (условного) времени.

Таблица 13 – Диапазоны токов мгновенного расцепления

Тип	Диапазон
B	свыше $3I_n$ до $5I_n$ включительно
C	от $5I_n$ до $10I_n$
D	от $10I_n$ до $50I_n$

Ради удобства автоматические выключатели и пускатели будем использовать одной фирмы «IEK» и одного модельного ряда (вся информация взята с сайта производителя [23]).



Рисунок 2.13 – а) автоматический выключатель 1р; б) автоматический выключатель 3р; в) пускатель

Для защиты элемента G1 БП60Б-Д4-24 используем автоматический выключатель QF1 с параметрами, рекомендуемыми в кратком руководстве[24], а именно – 10А тип С. Под эти параметры подойдет ВА47-29 1Р 10А С.

Для защиты ПЛК110-220.30.P используем автоматический выключатель QF2 с рекомендуемыми параметрами в руководстве пользователя [25] – 1А тип В. В данном случае подойдет ВА47-29 1Р 1А С.

Для защиты двух ПЧВ102-2К2-В (на схеме QF3 и QF4), используем 2 выключателя ВА47-29 3Р 16А С, исходя из рекомендаций в руководстве по эксплуатации [26]. Их необходимо использовать с контактами аварийного состояния КС-47 (рис. 2.14 а). Контакты состояния служат для получения информации о состоянии автоматических выключателей. Иными словами, выполняют функцию сигнализации положения механизма взвода выключателей.

Для управления и защиты элементов А3, А4, А6 от перегрузки, коротких замыканий и неполнофазных режимов работы используем пускатели серии ПРК-32 той же марки.

QF5 и QF6, служащие для защиты элементов А3 и А4 (станки REMS Унимат 77), необходимо использовать с аварийными контактами ДК/АК 32, предназначенными для увеличения количества вспомогательных контактов и сигнализации срабатывания ПРК32 от сверхтоков. (рис. 2.14 б). Аварийные контакты ДК/АК 32 нужно разместить с двумя пускателями ручными кнопочный ПРК32-10 10А 660В ИЕК.

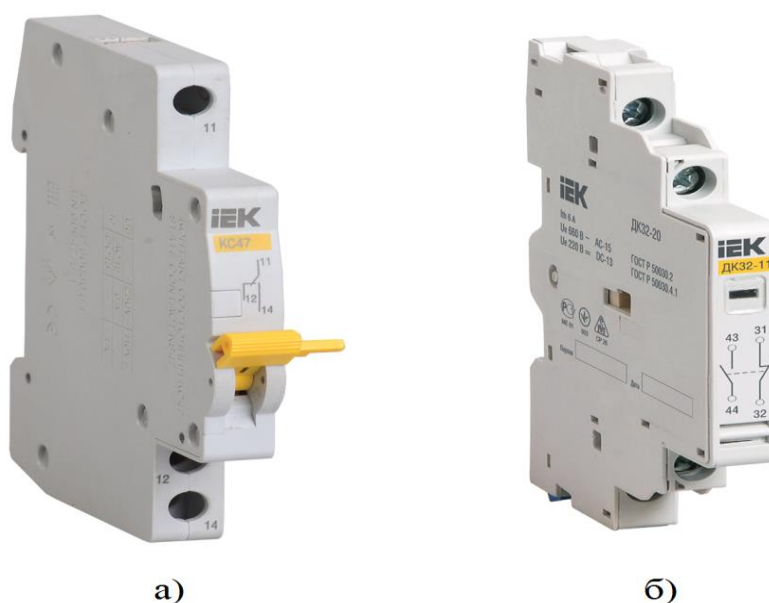


Рисунок 2.14 – а) Контакт КС47; б) контакт ДК/АК 32

Для защиты IRC5C Compact Controller подойдет автоматический выключатель ВА47-29 3P 3A х-ка С.

Для защиты элемента А6 (станка НКТ 05) подойдет пускатель ручной кнопочный ПРК64-63 64А 660В ИЕК. Данный автоматический выключатель также необходимо размещать с аварийным контактом ДК/АК 32.

## 2.5 Разработка схемы соединений

Схема электрическая соединений создается на основе схемы электрической принципиальной на систему автоматизации установки гибридного энергоснабжения. Схема соединений представлена в приложении Г. Разработка схемы соединений проведена в соответствии с ГОСТ 2.702-2011 и ГОСТ 2.701-2008.

Схема соединений отображает соединения составных частей системы управления и определяет провода, жгуты или кабели, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, зажимы).

Для соединения автоматизированной системы управления АУВ использованы 9 различных разъемов:

- ХТ1 разборные соединения на 4 контакта;
- ХТ2 разборные соединения на 11 контактов;
- ХТ3 разборные соединения на 7 контактов;
- ХТ4 разборные соединения на 7 контактов;
- ХТ5 разборные соединения на 8 контактов;
- ХТ6 разборные соединения на 8 контактов;
- ХТ7 разборные соединения на 35 контактов;
- ХТ8 разборные соединения на 8 контактов;
- ХТ9 разборные соединения на 6 контактов.

Данные разборные соединения собираются из необходимого количества зажимов, которые крепятся на DIN-рейку.

### 3 ИНФОРМАЦИОННО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

#### 3.1 Алгоритм работы установки

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы был разработан алгоритм работы установки для восстановления насосно-компрессорных труб.

Алгоритм работы представлен в приложении Е.

#### 3.2 Разработка интерфейса оператора

В рамках выпускной квалификационной работы была произведена разработка программного обеспечения верхнего уровня для АУВ.

Для отображения процесса работы системы используется панель оператора СП307-Б фирмы «ОВЕН» [27], представленную на рисунке 3.1. Данная фирма поставляет вместе с продуктом программное обеспечение для конфигурации и проектирования панели оператора.



Рисунок 3.1 – Панель оператор СП307



На панели оператора будут отображаться следующие экраны:

- экран «доступа»;
- экран «Автоматический режим»;
- экран «Ручной режим».

На экране «Доступа» оператору необходимо ввести пароль для входа в систему (рисунок 3.2).

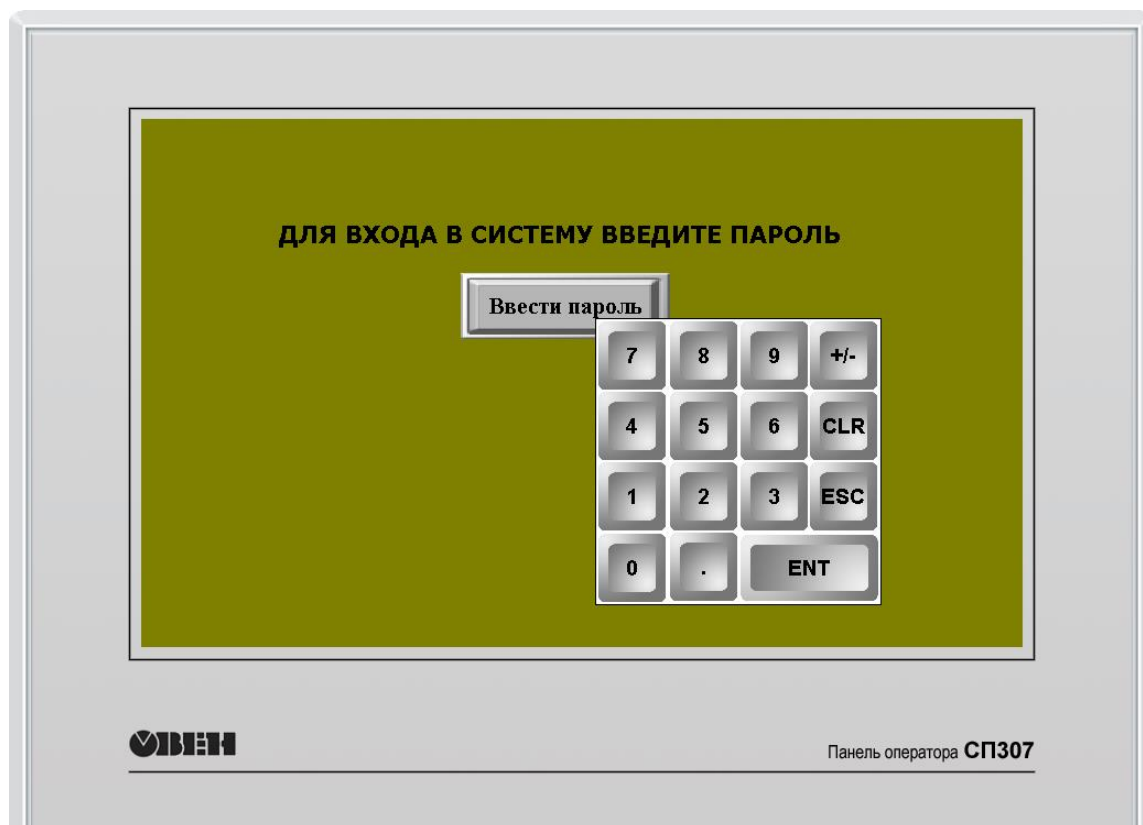


Рисунок 3.2 – Экран «Доступа»

После того как оператор введет пароль, он попадает на экран «Автоматический режим» (рисунок 3.3). Здесь оператор может отслеживать работу системы в реальном времени. Для запуска работы системы необходимо нажать на кнопку «Пуск». Для остановки процесса – кнопку «Стоп». Также присутствует кнопка «Ручной режим» для перехода на третий экран.

В случае, если на стеллаже с муфтами, датчик не сработает, система выдаст ошибку и остановит работу системы, пока ошибка не будет устранена (рисунок 3.4).

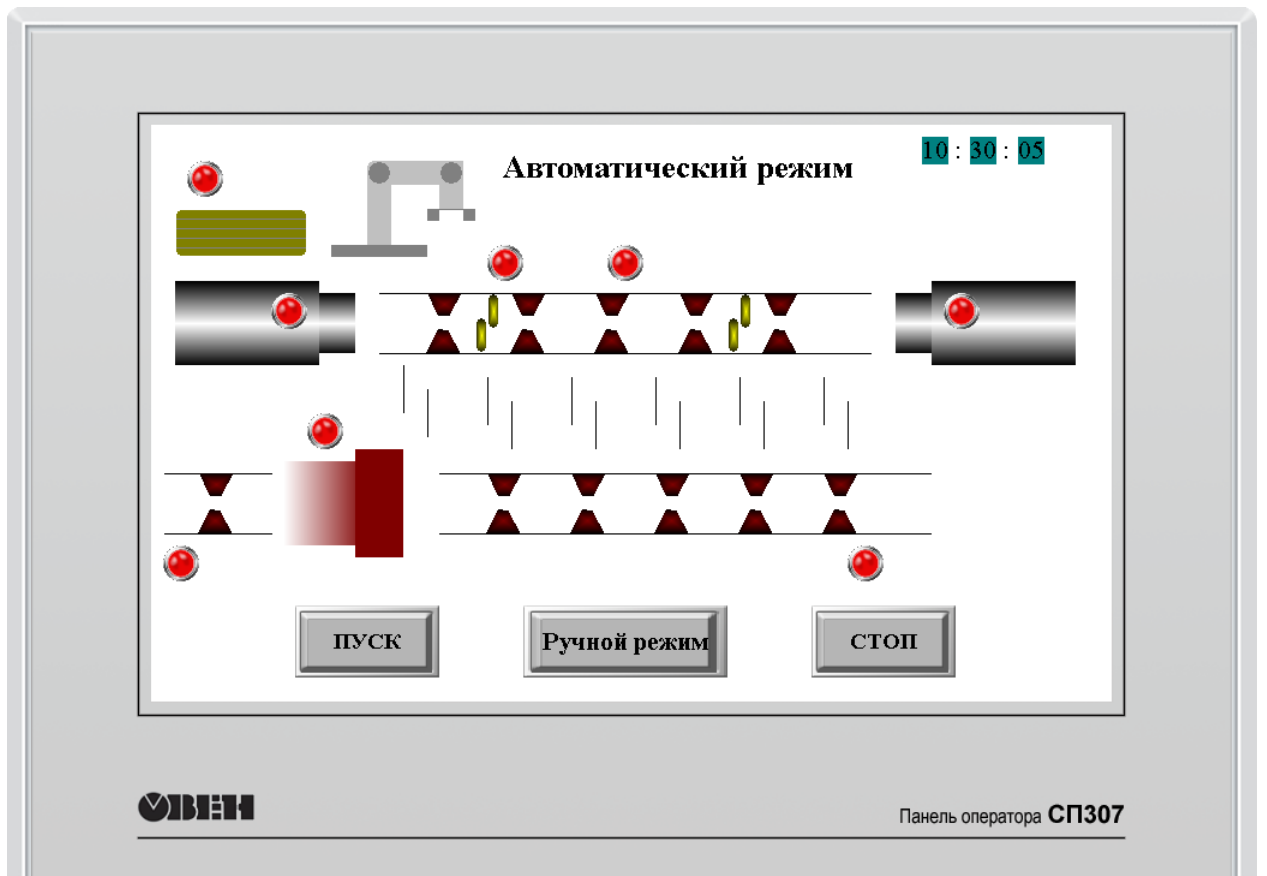


Рисунок 3.3 – Автоматический режим

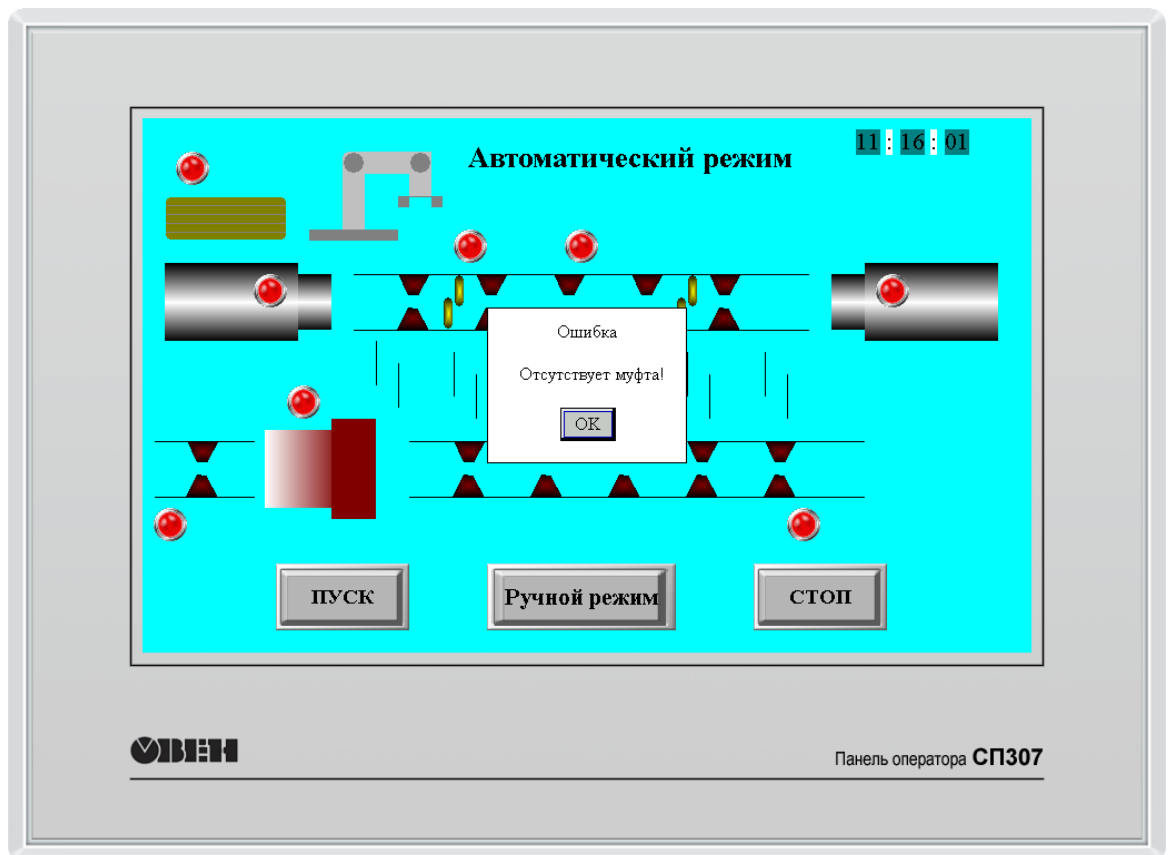


Рисунок 3.4 – Экран ошибки

Ручной режим позволяет оператору проверить работоспособность элементов системы (рисунок 3.5). Кнопки «M1 вперед» и «M1 назад» позволяют проверить работоспособность рольганга R1. Кнопки «M2 вперед» и «M2 назад» – работоспособность рольганга R2. Также есть возможность проверить работу пневмораспределителей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы была разработана система автоматизации установки для восстановления насосно-компрессорных труб.

Проведена разработка схемы автоматизации функциональной. Исходя из требуемого функционала выполнен подбор чувствительных элементов и исполнительных механизмов системы. Разработана циклограмма работы автоматизированной системы. Произведен выбор программируемого логического контроллера. Разработаны схема электрическая принципиальная и схема соединений АУВ. Разработан алгоритм работы системы и интерфейс оператора.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 ГОСТ 633-80. Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3). – М.: Стандартинформ, 2010. – 41 с.
- 2 <http://trubamaster.ru/vodoprovodnye/kak-delayut-truby.html>.
- 3 [https://pipe-etk.ru/catalog/truby\\_stalnye/truby\\_dlya\\_skvazhin/truby\\_nkt/](https://pipe-etk.ru/catalog/truby_stalnye/truby_dlya_skvazhin/truby_nkt/).
- 4 <https://neftremservice.ru/tubing-repair/>.
- 5 ГОСТ 21.404–85. СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Стандартинформ, 2007. – 12 с.
- 6 ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации правила выполнения электрических схем. – М.: Стандартинформ, 2011. – 26 с.
- 7 Двигатели асинхронные рольганговые. Руководство по эксплуатации. – [http://www.sibelektromotor.ru/docs/rukovodstvo\\_po\\_ekspl\\_ARM\\_v9.pdf](http://www.sibelektromotor.ru/docs/rukovodstvo_po_ekspl_ARM_v9.pdf)
- 8 ОВЕН. Преобразователь частоты векторный. Руководство по эксплуатации. – [https://www.owen.ru/preobrazovatel\\_chastoti\\_pchv1\\_i\\_pchv2/](https://www.owen.ru/preobrazovatel_chastoti_pchv1_i_pchv2/).
- 9 [https://www.camozzi.ru/images/pdf2015/series\\_3.pdf](https://www.camozzi.ru/images/pdf2015/series_3.pdf).
- 10 <http://www.rems-pro.ru/catalog/product/poluavtomaticheskij-rezbonareznoj-standok-rems-unimat-77.html>.
- 11 <http://www.uralremdetal.ru/neftegaz/stanki-nkt/>.
- 12 IRB 1600, data sheet. [https://search-xt.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10343EN\\_R5&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch](https://search-xt.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10343EN_R5&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch).
- 13 IRC5 Industrial Robot Controller. – <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0295EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.
- 14 <https://works.doklad.ru/view/I1RLdWJzqmg.html>.
- 15 <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/emkostnye-datchiki/>.

16 Карточка изделия Датчики бесконтактные индуктивные LA12-2P1. – <http://www.beekip.ru/katalog/LA12-2P1.html>.

17 ОВЕН. ПЛК110 [M02] контроллер для средних систем автоматизации с DI/DO (обновленный). – [https://www.owen.ru/product/plk110\\_m02](https://www.owen.ru/product/plk110_m02).

18 ГОСТ 2.701-2008. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению (с Поправкой). – 16 с.

19 ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения электрических схем. – 26 с.

20 Каталог продукции АВВ. Рубильник OT100F3. – <http://www.elektroportal.com/product/show/ot100f3-1sca105004r1001>.

21 ОВЕН. БП60Б-Д4-24. – [https://www.owen.ru/product/bloki\\_pitaniya](https://www.owen.ru/product/bloki_pitaniya).

22 ГОСТ Р 50345-99. Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. – 70 с.

23 Сайт компании ИЕК. – <https://www.iek.ru/>.

24 ОВЕН. Блоки питания. Краткое руководство. – [https://www.owen.ru/product/bloki\\_pitaniya\\_dlya\\_promishlennoj\\_avtomatiki/](https://www.owen.ru/product/bloki_pitaniya_dlya_promishlennoj_avtomatiki/).

25 ОВЕН. ПЛК110. Контроллер программируемый логический. – [https://www.owen.ru/product/plk110\\_m02/documentation](https://www.owen.ru/product/plk110_m02/documentation).

26 ОВЕН. Преобразователь частоты векторный. – [https://www.owen.ru/product/preobrazovatel\\_chastoti\\_oven\\_pchv1\\_i\\_pchv2/documentation\\_and\\_software](https://www.owen.ru/product/preobrazovatel_chastoti_oven_pchv1_i_pchv2/documentation_and_software).

27 ОВЕН. СП3хх сенсорные панели. – <https://www.owen.ru/product/sp3xx>

ПРИЛОЖЕНИЕ А Автоматизированная установка для восстановления насосно-компрессорных труб. Внешний вид стенда

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Автоматизированная установка для восстановления насосно-компрессорных труб. Схема электрическая функциональная





ПРИЛОЖЕНИЕ В Автоматизированная установка для восстановления  
насосно-компрессорных труб. Циклограмма



ПРИЛОЖЕНИЕ Г Автоматизированная установка для восстановления насосно-компрессорных труб. Схема электрическая принципиальная





ПРИЛОЖЕНИЕ Д Автоматизированная установка для восстановления насосно-компрессорных труб. Схема электрическая соединений





ПРИЛОЖЕНИЕ Е Автоматизированная установка для восстановления насосно-компрессорных труб. Алгоритм работы установки