

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
В.Р. Гасияров

2018г.

---

Автоматизированный стенд для проверки герметичности корпусов  
дифференциальных датчиков давления

---

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ 15.03.04.2018.086.00 ПЗ (ВКР)

Нормоконтролер  
Преподаватель  
Е.А. Маклакова

2018 г.

Руководитель работы  
Профессор  
М.М. Тверской

2018 г.

Нормоконтролер  
Ст. преподаватель  
С.С. Воронин

2018 г.

Автор работы  
студент группы П-455  
Валерий Игоревич Монастыренко

2018 г.

Челябинск 2018

## АННОТАЦИЯ

Монастыренко В.И. Автоматизированный стенд для проверки герметичности корпусов дифференциальных датчиков давления.– Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2018, 76 с. 32 ил., , 19 таблиц, библиогр. список – 26 наим., 7 прил.

Цель выпускной квалификационной работы – разработка автоматизированного стенда для проверки герметичности корпусов дифференциальных датчиков давления (АСП).

В пояснительной записке разработана схема функциональная автоматизации. Разработана схема электрическая принципиальная, которая необходима для управления АСП. Разработана схема соединений, необходимая для монтажных работ. Разработано программное обеспечение в виде SCADA-системы для контроля оператором проверки корпусов, а так же для контроля технических параметров.

На базе имеющегося оборудования разработана система проверки, представляющая собой совокупность чувствительных и исполнительных элементов, призванных облегчить процесс проверки и сделать его более точным.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 АНАЛИЗ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ .....	8
1.1 Конструкция течеискателя ТИ1-14 .....	8
1.2 Принцип работы течеискателя ТИ1-14.....	11
1.3 Порядок проведения проверки корпуса на герметичность .....	15
2 Разработка конструкторской документации.....	17
2.1 Разработка схемы функциональной автоматизации .....	17
2.2 Разработка схемы электрической принципиальной .....	18
2.2.1 Выбор исполнительных элементов .....	18
2.2.2 Выбор датчиков .....	24
2.2.3 Выбор управляющих элементов .....	30
2.2.4 Разработка преобразователя напряжений.....	37
2.2.5 Выбор аварийной индикации .....	43
2.2.6 Выбор блока питания .....	45
2.3 Разработка схемы соединений .....	47
3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ .	48
3.1 Разработка алгоритмического обеспечения.....	48
3.2 Разработка программного обеспечения .....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	52
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ А Общий вид объекта автоматизации.....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Схема функциональная автоматизации.....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ В Схема электрическая принципиальная .....	62

ПРИЛОЖЕНИЕ Г Схема электрическая принципиальная преобразователя напряжений.....	65
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Печатная плата преобразователя напряжений .....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Схема соединений.....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Алгоритм работы АСП.....	72

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из методов проверки корпуса на герметичность является масс-спектрометрический метод течеискания. Метод основан на создании повышенного давления пробного вещества с одной стороны поверхности объекта контроля и отбора проникающего через течи пробного вещества с другой стороны для масс-спектрометрического анализа на присутствие молекул пробного газа. Анализ осуществляется путем ионизации пробного вещества с разделением ионов по отношению их массы к заряду под действием электрического и магнитного полей.

Данный метод позволяет оценить количественные изменения потока газа через течь. Главным минусом данного метода является его трудность в технической реализации и поддержания постоянного вакуума в системе проверки.

На предприятии используется схема проверки герметичности испытуемого объекта способом обдува (рисунок 1). Испытания проводятся в соответствии с ГОСТ 24054-80[2] и ГОСТ 28517-90[3].

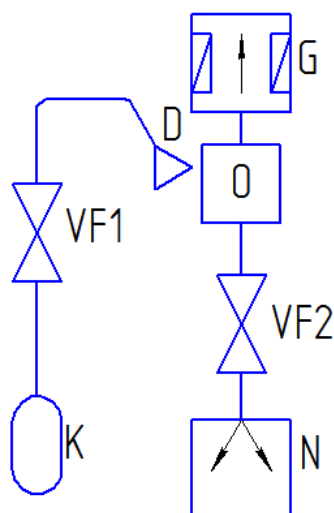


Рисунок 1 – Схема проверки герметичности

На рисунке 1 изображен испытуемый объект О, течеискатель G, клапан регулировочный VF, насос N, баллон с пробным газом К; обдуватель D.

Корпуса соединены с системой вакуумной через коллектор. На рисунке 2 представлена схема соединения коллектора с корпусами и течеискателя.

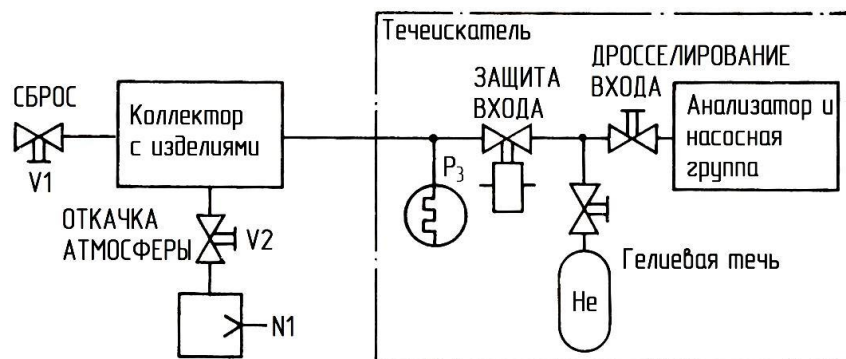


Рисунок 2 – Схема соединения коллектора с корпусами с течеискателем

Задачами автоматизации являются проверка герметичности корпуса, автоматическое передвижение обдувателей и составление итогового отчета о годности или негодности проверяемого корпуса.

# 1 АНАЛИЗ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

## 1.1 Конструкция течеискателя ТИ1-14

Конструктивно течеискатель ТИ1-14 состоит из двух блоков: системы вакуумной СВ-14 и устройства регистрирующего УР-14. Блоки соединены между собой при помощи двух разъемно-кабельных соединений. Общий вид объекта автоматизации представлен показан в Приложении А на рисунке А.1.

Система вакуумная СВ-14 содержит вакуумные элементы и электронные устройства управления, индикации и питания. Элементы блока крепятся к несущему каркасу.

Общий вид панели управления СВ-14 приведен на рисунке 1.1.1.

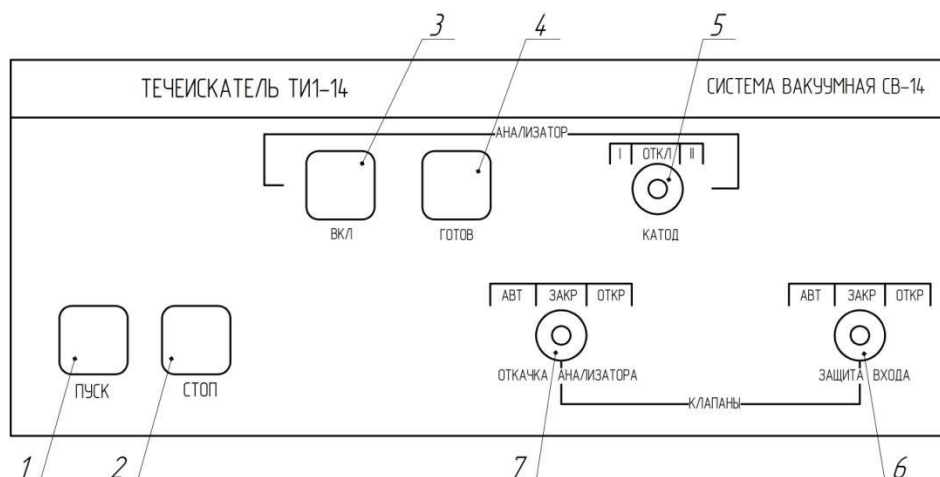


Рисунок 1.1.1 –Общий вид панели управления системы вакуумной

- 1 – кнопка «ПУСК» – включение прибора;
- 2 – кнопка «СТОП» – выключение прибора;
- 3 – кнопка «АНАЛИЗАТОР ВКЛ» – включение катода анализатора (при выключенном освещении кнопки «АНАЛИЗАТОР ГОТОВ»), выключение освещения кнопки «АНАЛИЗАТОР ГОТОВ»;
- 4 – кнопка «АНАЛИЗАТОР ГОТОВ» – включение освещения кнопки «АНАЛИЗАТОР ГОТОВ» без нажатия кнопки свидетельствует о достижении

необходимого давления в анализаторе, при котором допускается включение анализатора. При включенном освещении кнопки «АНАЛИЗАТОР ВКЛ» нажатием кнопки «АНАЛИЗАТОР ГОТОВ» выключается катод анализатора, освещение кнопки «АНАЛИЗАТОР ВКЛ» и включается освещение кнопки «АНАЛИЗАТОР ГОТОВ»;

5 – переключатель «КАТОД» – включение катода «I» или «II» из состояния «ОТКЛ»;

6, 7 – переключатели «ЗАЩИТА ВХОДА», «ОТКАЧКА АНАЛИЗАТОРА» – ручное управление соответствующими клапанами и перевод управления этими клапанами из ручного в автоматическое и обратно.

Общий вид вертикальной панели СВ-14 приведен на рисунке 1.1.2.

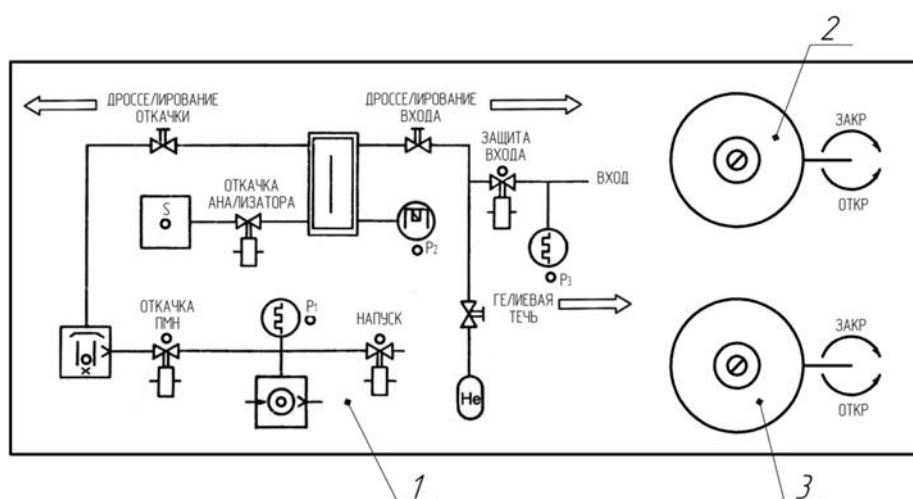


Рисунок 1.1.2 – Общий вид вертикальной панели системы вакуумной

1 – схема вакуумная СВ-14 с индикаторами – отражение состояния вакуумной системы в данный момент. Включенный индикатор означает:

НАПУСК - клапан «НАПУСК» открыт;

 – пластинчато-роторный насос включен;

P1 – вакуумметр, индицирующий давление P1, создаваемое ПРН(Пластинчато-роторный насос) в форвакуумной магистрали, включен;

P3 – вакуумметр, индицирующий давление P3, создаваемое на входе, включен;



ОТКАЧКА ПМН(Паромасляный насос) – клапан «ОТКАЧКА ПМН» открыт;



– нагреватель паромасляного насоса включен;

P2 – вакуумметр, индицирующий давление P2, создаваемое ПМН в вакуумной системе на стороне высокого вакуума, включен;

ОТКАЧКА АНАЛИЗАТОРА – клапан «ОТКАЧКА АНАЛИЗАТОРА» открыт;



– масс-спектрометрический анализатор включен;

ЗАЩИТА ВХОДА – клапан «ЗАЩИТА ВХОДА» открыт.

2 – клапан «ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ВХОДА» – регулирование газового потока со входа;

3 – клапан «ГЕЛИЕВАЯ ТЕЧЬ» – включение и выключение потока гелия от гелиевой течи в вакуумную систему.

В состав СВ-14 входят следующие вакуумные элементы:

– пластинчато-роторный насос ЗНВР-1Д, на выходной патрубок которого надета трубка для отвода паров масла от элементов вакуумной системы;

– паромасляный насос Н-0,025-2;

– масс-спектрометрическая камера с магнитной системой;

– азотная ловушка;

– манометрические преобразователи – три тепловых ПТМ-6-ЗМ-1;

– гелиевая течь «Гелит-1»;

– три клапана с ручным приводом;

– четыре электромагнитных клапана;

– входной фланец для подсоединения испытуемого корпуса.

В передней части СВ-14 размещена входная магистраль, объединяющая в едином корпусе входной фланец, два клапана с ручным приводом ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ВХОДА и ГЕЛИВАЯ ТЕЧЬ, клапан сильфонный с электромагнитным приводом КС-25 ЗАЩИТА ВХОДА, гелиевая течь и манометрический преобразователь ПМТ-6-ЗМ-1 для регистрации давления на входе. Ручки клапанов с ручным приводом выведены на переднюю панель СВ-14, а входной фланец на правую боковую сторону.

Входной фланец выполнен под типовое быстроразъемное зажимное соединение с накидным хомутом.

Входная магистраль посредством разборного фланцевого соединения сочленяется с азотной ловушкой. К корпусу ловушки приварен клапан с ручным приводом ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЧКИ, ручка которого выведена на левую боковую сторону блока вакуумной системы СВ-14. Снизу к клапану крепится паромасляный насос. Внутри азотной ловушки, на нижнем фланце ее корпуса, установлен манометрический преобразователь, который питается от блока БППМ-14, установленного на этом же фланце, но с внешней его стороны.

Азотная ловушка через сильфонный клапан с электромагнитным приводом КС-25 ОТКАЧКА АНАЛИЗАТОРА соединена с масс-спектрометрической камерой. Камера расположена между полюсами постоянного магнита.

На выходном патрубке паромасляного насоса установлена форвакуумная магистраль, состоящая из сильфонного клапана с электромагнитным приводом ДУ-10 откачка ПМН, клапана с электромагнитным приводом НАПУС и манометрического преобразователя ПМТ-6-3М-1. Форвакуумная магистраль с помощью резинового шланга соединена с пластинчато-роторным насосом.

Детали вакуумной системы течеискателя изготовлены, в основном, из нержавеющей стали. В качестве герметизирующих элементов во фланцевых соединениях использованы уплотнители из резины ИРП-2043.

## 1.2 Принцип работы течеискателя ТИ1-14

Течеискатель представляет собой высокочувствительный магнитный масс-спектрометр, настроенный на регистрацию гелия.

Течь (или натекание) определяется потоком гелия, проникающего в испытуемый объем при вакуумных испытаниях.

Основным элементом течеискателя является масс-спектрометрический анализатор, содержащий ионный источник, анализатор (пространство дрейфа) и приемник ионов.

Масс-спектрометрический анализатор, заключенный в корпус из немагнитной стали, помещается между полюсами постоянного магнита.

Накаленный вольфрамовый катод ионного источника эмитирует электроны, которые ускоряются электрическим полем, приложенным между катодом и корпусом ионизатора ионного источника. Электрический ток катода стабилизируется стабилизатором эмиссии.

Магнитное поле, действующее вдоль направления движения электронов, фокусирует поток электронов в узкий пучок, проходящий в корпусе ионизатора. В ионизаторе электроны сталкиваются с молекулами газа, поступающего в течеискатель из проверяемого объема или щупа, и вызывают их ионизацию. Образовавшиеся ионы вытягиваются из ионизатора ускоряющим электрическим полем, действующим в направлении, перпендикулярном электронному пучку. Поток ионов через выходную диафрагму ионного источника поступает в пространство дрейфа, где ионы движутся от ионного источника к приемнику ионов.

В пространстве дрейфа происходит пространственное разделение ионов по массам. Под действием постоянного магнитного поля, направленного перпендикулярно направлению движения, ионы движутся по круговым траекториям, радиусы которых зависят от массы ионов в соответствии с формулой

$$R = \frac{0,576\pi}{H} \cdot \sqrt{MU}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус траектории движения иона, см;

$H$  – напряженность магнитного поля, А/м;

$U$  – ускоряющая ионы разность потенциалов, В;

$M$  – эффективная масса иона, равная отношению его массового числа к заряду.

В магнитном поле происходит разделение ионного пучка, выходящего из источника, на отдельные пучки, содержащие ионы с одинаковым отношением массы к заряду. Изменяя ускоряющее напряжение при неизменной напряженности магнитного поля, можно менять радиус траектории движения ионов данной масс. В течеискателе применен анализатор со 180-градусной магнитной фокусировкой.

Траектория движения ионов от ионного источника к приемнику ионов имеет вид полуокружности.

Такой анализатор обладает фокусирующим свойством: ионы определенной массы, выходящие из ионного источника расходящимся пучком, вновь собираются в узкий сходящийся пучок в плоскости входной диафрагмы приемника. Радиус траектории ионов, попадающих в отверстие входной диафрагмы приемника, равен 2,5 см.

Изменением ускоряющего напряжения осуществляется настройка на «пик гелия», при которой в приемник ионов направляются ионы гелия.

Коллектор ионов соединен с входом электрометрического усилителя УЭ-14, сигнал с которого подается на усилитель постоянного тока. С выхода усилителя постоянного тока сигнал, поступает на стрелочный индикатор, а также на акустический и световой индикаторы и розетку КОНТРОЛЬ устройства регистрирующего УР-14.

В течеискателе предусмотрена возможность компенсации фоновых сигналов, позволяющая регистрировать сигналы, вызываемые малыми потоками (течами).

Переключение тока эмиссии позволяет изменять чувствительность течеискателя в широких пределах.

Для контроля чувствительности течеискателя служит встроенная гелиевая течь Гелит 1.

Выбор рабочего диапазона (линейного) осуществляется вручную переключателем МНОЖИТЕЛЬ в соответствии с уровнем флюктуации фонового сигнала и необходимой чувствительностью испытаний [4].

Имеется логарифмическая шкала, позволяющая без переключения поддиапазонов оценить уровень сигнала от течи.

Рабочее давление в масс-спектрометрическом анализаторе обеспечивается откачной системой, состоящей из пластинчато-роторного и паромасляного насосов и азотной ловушки, защищающей анализатор от замасливания.

Общий вид передней панели устройства регистрирующего УР-14 показан на рисунке 1.2.1.

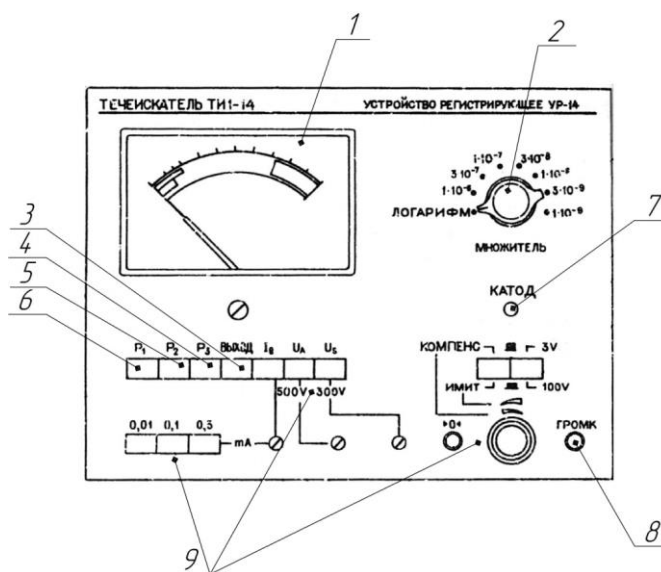


Рисунок 1.2.1 – Общий вид передней панели устройства регистрирующего УР-14

- 1 – стрелочный прибор – измерение давления P1, P2, P3 и потока гелия;
- 2 – переключатель «МНОЖИТЕЛЬ» - коммутация множителей для линейной шкалы выходного напряжения и переход на логарифмическую шкалу;
- 3 – кнопка «ВЫХОД» – подключение стрелочного прибора в цепь измерения напряжения на линейном или логарифмическом выходе усилителя;
- 4 – кнопка «P3» – подключение стрелочного прибора в цепь измерения давления P3 на входе (в исследуемом объекте);
- 5 – кнопка «P2» – подключение стрелочного прибора в цепь измерения давления P2 в высоковакуумной части вакуумной системы (в азотной ловушке);

6 – кнопка «P1» – подключение стрелочного прибора в цепь измерения давления P1 на выходе паромасляного насоса;

7 – индикатор «КАТОД» – сигнализация о включении катода;

8 – резистор «ГРОМК» – регулировка громкости акустического индикатора;

9 – кнопки, используемые для настройки течеискателя; при работе на течеискателе не используются.

### 1.3 Порядок проведения проверки корпуса на герметичность

1. Установить корпуса, подлежащие испытаниям на герметичность, на коллектор. Установить сверху на корпуса заглушки. Максимальное количество одновременно проверяемых корпусов – 5 шт. Если проверяется менее 5 корпусов, установить заглушки на свободные места взамен корпусов. На рисунке 1.2.2 показаны габаритные размеры проверяемых корпусов на стенде.

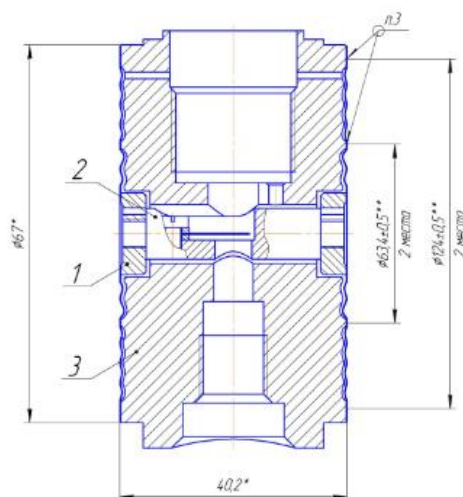


Рисунок 1.2.2 – Габаритные размеры корпуса

На рисунке 1.2.2 изображены:

- 1 – жесткий центр;
- 2 – шток;
- 3 – корпус.

2. На панели оператора указывается количество проверяемых изделий, записать серийный номер и запустить проверку изделий, нажатием кнопки пуск на панели оператора.

3. Система управления стендом открывает вентиль «ОТКАЧКА АТМОСФЕРЫ», расположенный на коллекторе.

4. Производится откачка атмосферы из изделий до давления равного 2 Па.

5. Перевести сигнал «ЗАЩИТА ВХОДА» в «АВТ».

6. Закрыть вентиль «ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОТКАЧКА» после срабатывания э/м клапана «ЗАЩИТА ВХОДА».

7. При достижении в системе давления равному  $1 \cdot 10^{-3}$ , перевести сигнал «ОТКАЧКА АНАЛИЗАТОРА» в «АВТ».

8. Включить «КАТОД».

9. Подать высокий уровень сигнала на «АНАЛИЗАТОР ВКЛ».

10. Произвести подвод обдувателей для обдува гелием шва. Открыть вентиль подачи гелия.

11. Пройти обдувателями шов изделия. Повернуть на 180 градусов изделие и проверить следующий шов. При регистрации течеискателем потока гелия больше  $4 \cdot 10^{-9}$  мЗ·Па/с, на панели оператора должно отображаться место течи и появиться пометка брака изделия.

12. Произвести отвод шупа. Перейти к следующему изделию и повторить 10 и 11 пункты.

13. После окончания проверки формируется отчет о проверке.

14. Демонтировать изделия с коллектора.

## 2 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

### 2.1 Разработка схемы функциональной автоматизации

Схема автоматизации функциональная является основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации (в том числе средствами телемеханики и вычислительной техники) и выполняются в соответствии с ГОСТ 21.404–85 [5]. ФСА представлена в приложении Б.

Перед проверкой корпусов из них откачивается воздух насосом предварительной откачки. Насос предварительной откачки должен быть отключен от системы вакуумной после того как из корпусов откачают воздух до определенного значения давления. Для этого коллектор с насосом соединен через электромагнитный клапан YA1.

Чтобы ускорить процесс проверки корпуса в стенде будет заменен один обдуватель на четыре. Обдуватели будут расположены попарно на диаметрально противоположных концах. Угол между диаметрами равен  $90^\circ$ .

Стенд должен обеспечивать подвод обдувателей к испытуемым корпусам. Для решения этой задачи будут использоваться две шарико-винтовые передачи, которые будут обеспечивать перемещение обдувателей по горизонтали и вертикали.

Для вращения шарико-винтовых передач будут использоваться шаговые двигатели M5 и M6. Для определения крайних положений по горизонтали используются датчики SQ1(крайнее левое положение обдувателей) и SQ2(крайнее правое положение обдувателей), по вертикали – SQ3(крайнее верхнее положение обдувателей) и SQ4(крайнее нижнее положение обдувателей).

Для проверки шва корпуса необходимо поворачивать обдуватели вдоль всего шва корпуса. Для этого будет использоваться шаговый двигатель M4. Для



нахождения начальной точки положения обдувателей в стенде используется датчик положения SQ5.

Для проверки корпуса используются четыре обдувателя, которые должны обдувать проверяемый шов по очереди, то есть в один момент должно пропускать гелий только один обдуватель. Для этого в стенде будут использоваться четыре электромагнитных клапана YA3, YA4, YA5 и YA6.

Проверка шва корпуса должна производиться с двух сторон. Для этих целей коллектор, на который крепится корпус, дополняется вращающимся соединением и цепной передачей. Цепная передача будет приводиться в движение при помощи шагового двигателя M7.

Когда проверка корпусов окончена необходимо сравнить в них давление с атмосферным, чтобы снять корпуса с коллекторов. Для этого в стенд добавлен электромагнитный клапан YA2, который соединяет коллекторы с атмосферой.

## 2.2 Разработка схемы электрической принципиальной

Схема электрическая принципиальная создается на основе схемы автоматизации функциональной. Схема электрическая принципиальная представлена в приложении В.

### 2.2.1 Выбор исполнительных элементов

Исполнительными элементами в системе являются:

- шесть электромагнитных клапанов (YA1, YA2, YA3, YA4, YA5, YA6);
- четыре шаговых двигателя (M4, M5, M6, M7).

К электромагнитным клапанам YA1 и YA2 предъявляются следующие требования:

- диаметр прохода 20 мм;
- напряжение питания 24В;

- рабочее давление не менее 0,5 МПа;
- возможность работы в среде инертных газов.

В качестве электромагнитных клапанов YA1 и YA2 были выбраны электромагнитные клапана AR-2W2120 GYZ [6]. Внешний вид клапана представлен на рисунке 2.2.1.1. Данный клапан является нормально закрытым, то есть закрытое положение сохраняется, пока на индукционную катушку не будет подано напряжение. При подаче напряжения на катушку клапан открывается и пропускает рабочую среду. При обрыве провода управляющего напряжения клапан будет закрыт.



Рисунок 2.2.1.1 – Электромагнитный клапан AR-2W2120 GYZ

Технические данные электромагнитного клапана AR-2W2120 GYZ приведены в таблице 2.2.1.1.

Таблица 2.2.1.1 – Технические данные клапан AR-2W2120 GYZ

Параметр	Значение
Рабочая среда	Вода, горячая вода, воздух, инертные газы, масла, спирт

Продолжение таблицы 2.2.1.1

Параметр		Значение
Материал	Корпуса	Латунь или нержавеющая сталь
	Уплотнения	VITON
Температура рабочей среды		-10...120°C
Рабочее давление		0...1 МПа
Диаметр условного прохода		20 мм
Катушка		S51H, IP65
Питание		24 В,
Мощность		10 Вт

На электрической принципиальной клапана YA1 и YA2 будут изображены, как показано на рисунке 2.2.1.2.

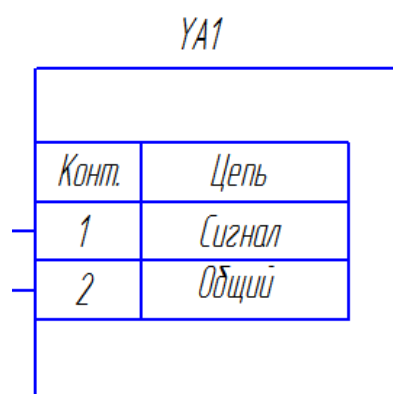


Рисунок 2.2.1.2 – Изображение клапана YA1 на схеме электрической принципиальной

К электромагнитным клапанам YA3, YA4, YA5, YA6 предъявляются следующие требования:

- диаметр прохода 2-3 мм;
- напряжение питания 24В;
- рабочее давление не менее 0,5 МПа;

- возможность работы в среде инертных газов.

В качестве электромагнитных клапанов YA3, YA4, YA5 и YA6 были выбраны электромагнитные клапана AR-DL-6C [7]. Внешний вид клапана представлен на рисунке 2.2.1.3.



Рисунок 2.2.1.3 – Электромагнитный клапан AR-DL-6C

Технические данные электромагнитного клапана AR-DL-6C приведены в таблице 2.2.1.2.

Таблица 2.2.1.2 – Технические данные клапан AR-DL-6C

Параметр	Значение
Рабочая среда	Пар, вода, горячая вода, воздух, инертные газы
Материал	Корпуса: латунь
Температура рабочей среды	0,1...180°C
Рабочее давление	0...0,8 МПа
Диаметр условного прохода	2,7 мм

Продолжение таблицы 2.2.1.2

Параметр	Значение
Катушка	SB242, IP65
Питание	24 В
Мощность	10 Вт (DC)

На электрической принципиальной клапана YA3, YA4, YA5 и YA6 будут изображаться так же как и клапана YA1 и YA2(см. рисунок 2.2.1.2).

Для обеспечения перемещений по вертикали и горизонтали будут использоваться шарико-винтовые передачи с шагом винта 5 мм и диаметром 16 мм фирмы Hiwin [8].

Для вращения шарико-винтовой передачи обеспечивающей перемещение обдувателей по горизонтали нужен двигатель со скоростью вращения 20 об/с. Для обеспечения данной скорости вращения будет использоваться шаговый двигатель PL42H48-D5[9], характеристики которого представлены в таблице 2.2.1.3. Изображение шагового двигателя представлено на рисунке 2.2.1.4.

Таблица 2.2.1.3 – Технические характеристики PL42H48-D5

Параметр	Значение
Размер	42 мм
Угловой шаг	1,8°
Ток фазы	2,4 А
Сопротивление фазы	1 Ом
Крутящий момент	5,5 кгс·см
Длина двигателя	48 мм
Вес	350 г

Для вращения шарико-винтовой передачи обеспечивающей перемещения обдувателей по вертикали нужен двигатель со скоростью вращения 10 об/с. Для

обеспечения данной скорости вращения будет использоваться шаговый двигатель PL35H45-D5 [9]. Характеристики данного шагового двигателя представлены в таблице 2.2.1.4.

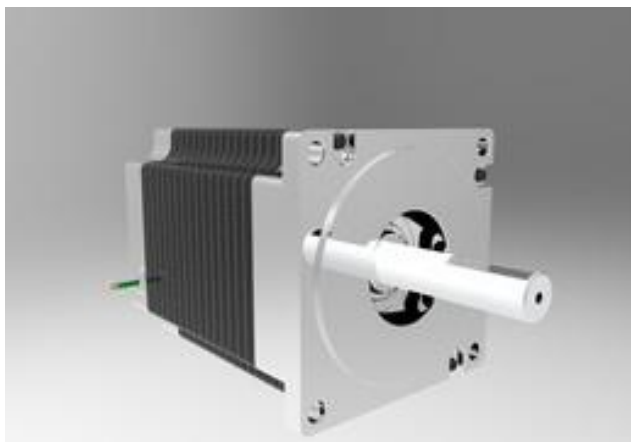


Рисунок 2.2.1.4 – Внешний вид шагового двигателя

Таблица 2.2.1.4 – Технические характеристики PL35H45-D5

Параметр	Значение
Размер	35 мм
Угловой шаг	1,8°
Ток фазы	0,8 А
Сопротивление фазы	1 Ом
Крутящий момент	2,5 кгс·см
Длина двигателя	48 мм
Вес	300 г

Для вращения обдувателей вдоль шва корпуса нужен двигатель со скоростью вращения 0,2 об/с. Для обеспечения данной скорости вращения будет использоваться шаговый двигатель PL28H51-D5 [9], технические характеристики которого представлены в таблице 2.2.1.5.

Таблица 2.2.1.5 – Технические характеристики PL25H51-D5

Параметр	Значение
Размер	28 мм
Угловой шаг	1,8°
Ток фазы	1 А
Сопротивление фазы	1 Ом
Крутящий момент	0,9 кгс·см
Длина двигателя	51 мм
Вес	250 г

Для вращения корпусов используется цепная передача с коэффициентом передачи равным 1, двигатель должен вращаться с угловой скоростью 0,5 об/с. Для этого будет использоваться шаговый двигатель PL42H58-D5 [9]. Технические характеристики шагового двигателя приведены в таблице 2.2.1.6.

Таблица 2.2.1.5 – Технические характеристики PL42H58-D5

Параметр	Значение
Размер	42 мм
Угловой шаг	1,8°
Ток фазы	2,1 А
Сопротивление фазы	1 Ом
Крутящий момент	8 кгс·см
Длина двигателя	58 мм
Вес	350 г

### 2.2.2 Выбор датчиков

Датчиками в стенде являются:

- пять датчиков крайних положений (SQ1, SQ2, SQ3, SQ4, SQ5);

- три датчика давления в системе вакуумной (BP2, BP3, BP4);
- одно реле давления (BP1).

К датчикам крайних положений SQ1, SQ2, SQ3, SQ4, SQ5 предъявляются следующие требования:

- напряжение питания 24В;
- дискретный выходной сигнал.

В качестве датчиков крайних положений SQ1, SQ2, SQ3, SQ4, SQ5 будет выбран индуктивный датчик.

Индуктивный датчик – бесконтактный датчик, который предназначен для контроля положения металлических объектов, к другим видам объектов датчик не чувствителен и работает на тангенциальное смещение.

В системе будет использоваться индуктивный датчик И85-NO-PNP фирмы ООО СКБ ИНДУКЦИЯ [10]. Внешний вид датчика представлен на рисунке 2.2.2.1.



Рисунок 2.2.2.1 – Индуктивный датчик

Данный датчик является датчиком с рnp-транзисторным выходом. Датчик имеет на выходе рnp-транзистор, который осуществляет коммутацию плюсового провода с нагрузкой. В коллекторную цепь выходного рnp-транзистора включается нагрузка, которая вторым своим проводом соединена постоянно с минусом.

Технические характеристики датчика И85-NO-PNP приведены в таблице 2.2.2.1.



Таблица 2.2.2.1 – Технические характеристики И85-NO-PNP

Параметр	Значение
Расстояние переключения $S_n$	1,5 мм
Напряжение питания	10...30 В
Ток нагрузки	не более 250 мА
Падение напряжения	не более 2,1В
Частота переключения	1500 Гц
Пульсация питающего напряжения	не более 10%
Гистерезис	не более 10%
Защита от переплюсовки	есть
Индикация переключения	есть
Температура окружающей среды	-25С...+75С
Степень защиты	IP67
Способ подключения	Кабель
Материал корпуса	Д16Т, Л63
Способ монтажа	невыносной

Схема подключения индуктивного датчика представлена на рисунке 2.2.2.2.

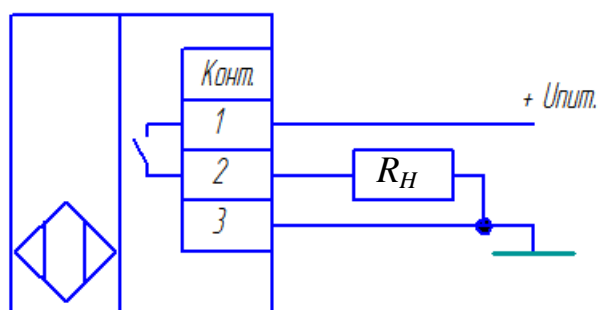


Рисунок 2.2.2.2 – Схема подключения индуктивного датчика

Датчики давления ВР2, ВР3 и ВР4 присутствовали в стенде. Данными датчиками являются манометрические преобразователи – ПТМ-6-3М-1 [11]. Внешний вид датчика показан на рисунке 2.2.2.3.



Рисунок 2.2.2.3 – Манометрический преобразователь ПТМ-6-3М-1

Технические характеристики манометрического преобразователя ПТМ-6-3М-1 представлены в таблице 2.2.2.2.

Таблица 2.2.2.2 –Технические характеристики ПТМ-6-3М-1

Параметр	Значение
Сопротивление нагревателя при температуре 20° С	72±4,5 Ом
Корпус	металл
Присоединительный диаметр	16 мм. Подсоединение к вакуумной системе через «грибковое» соединение (штуцерное) уплотнение Ду16 по НПО.005.042 с резиновым уплотнением.

Продолжение таблицы 2.2.2.2

Параметр	Значение
Габаритные размеры	не более 138,5×24×24 мм
Масса	не более 0,1 кг

К реле давления ВР1 предъявляются следующие требования:

- напряжение питания 24В;
- диапазон срабатывания на давление от 0 до 0,6 МПа;
- работа в среде инертных газов.

В качестве реле давления будет выбрано ДРД-1-0,3-24 фирмы ПАО АВТОМАТИКА [12], внешний вид реле представлен на рисунке 2.2.2.4.



Рисунок 2.2.2.4 – Реле давления ДРД-1-0,3-24

Технические характеристики реле давления ДРД-1-0,3-24 представлены в таблице 2.2.2.3.

Таблица 2.2.2.3 – Технические характеристики ДРД-1-0,3-24

Параметр	Значение
Контролируемые среды	воздух, инертные газы, вода.
Диапазон давления	от 0 до 0,6 МПа

Продолжение таблицы 2.2.2.3

Параметр	Значение
Выходной сигнал	переключающие контакты реле («сухой» контакт)
Коммутационные характеристики	ток до 10 А при 24 В
Точность настройки уставки	не более 3 % от верхнего значения диапазона
Питание датчика	24 В
Перегрузочная способность	до 1,2 МПа
Потребляемая мощность	не более 5 Вт
Условия эксплуатации	<p>— температура окружающего воздуха от минус 55 до плюс 85 °С;</p> <p>— атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.);</p> <p>— относительная влажность воздуха до 100 % при 25 °С и более низких температурах без конденсации влаги;</p>
Механический ресурс срабатывания контактов реле	не менее $1 \cdot 10^7$ циклов
Средняя наработка до отказа	не менее 50000 ч
Средний полный срок службы	не менее 10 лет
Габаритные размеры	не более Ø 80×118 мм
Масса	не более 0,5 кг

Схема подключения реле давления ДРД-1-0,3-24 показана на рисунке 2.2.2.5.

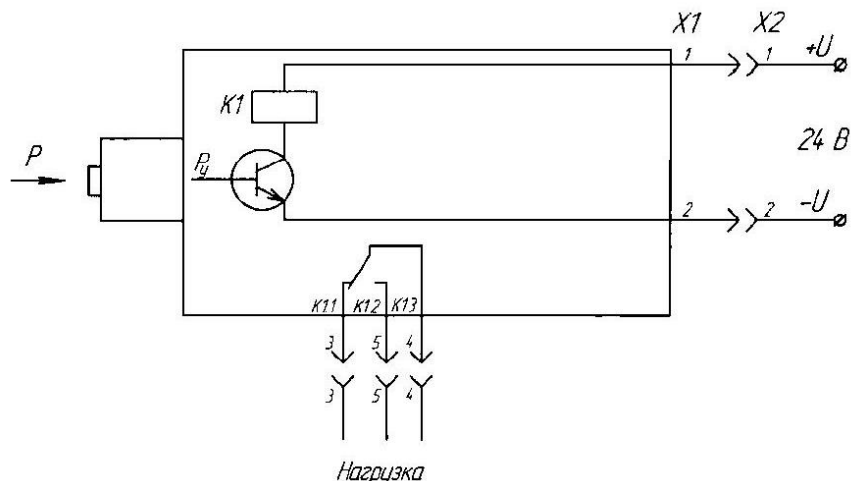


Рисунок 2.2.2.5 – Схема подключения реле давления ДРД-1-0,3-24

### 2.2.3 Выбор управляющих элементов

Исходя из функциональной схемы автоматизации, сформулируем требования к ПЛК, он должен иметь:

- 6 дискретных входов на 0/24 В;
- 4 аналоговых входа на 0...1 В;
- 22 дискретных выхода 0/24 В;
- Ethernet.

Главным параметром в выборе ПЛК будут являться аналоговые входы, так как показания с датчиков давления и показания с масс-спектрометра должны быть достаточно точными, чтобы сделать правильный вывод о годности корпуса.

Был подобран программируемый логический контроллер с подходящим количеством аналоговых входов ПЛК150-220.И-М фирмы Овен [13], изображение которого представлено на рисунке 2.2.3.1.

Данный программируемый логический контроллер имеет четыре аналоговых входа с 16-битными АЦП (аналогово-цифровой преобразователь), что позволит достаточно точно снимать показания с датчиков давления и масс-спектрометра стенда.



Рисунок 2.2.3.1 – Внешний вид ПЛК150

Основные технические характеристики контроллера ПЛК150-220.И-М показаны в таблице 2.2.3.1.

Таблица 2.2.3.1 – Характеристики контроллера ПЛК150-220.И-М

Параметр	Значение
Напряжение питания: ПЛК150-220	90... 264 В переменного тока (номинальное напряжение 220 В) частотой 47... 63 Гц
Потребляемая мощность	6 Вт
Центральный процессор	32-разрядный RISC-процессор 200 МГц на базе ядра ARM9
Объем оперативной памяти	8 МВ
Количество дискретных входов	6
Гальваническая изоляция дискретных входов	есть, групповая

Продолжение таблицы 2.2.3.1

Количество дискретных выходов	4 э/м реле
Характеристики дискретных выходов	Ток коммутации до 2 А при напряжении не более 220 В 50 Гц
Количество аналоговых входов	4
Разрядность встроенного АЦП	16 бит
Внутреннее сопротивление аналогового входа: в режиме измерения тока в режиме измерения напряжения 0...10 В	50 Ом Около 10 кОм
Интерфейсы	Ethernet 100 Base-T RS-232 RS-485
Скорость обмена по интерфейсам RS	от 4800 до 115200 bps
Протоколы	ОВЕН Modbus-RTU, Modbus-ASCII DCON Modbus-TCP GateWay (протокол CODESYS)

Исходя из выбранного ПЛК, сформированы требования к модулям вывода, они должны иметь:

- 21 дискретных выходов 0/24 В;
- RS485 ModBus RTU (для связи с ПЛК).

Выбран модуль дискретного вывода МУ110-224.16К фирмы Овен, который имеет 16 транзисторных выходов n-p-n типа с оптопарой и напряжение питания 220 В с частотой 50 Гц. Основные характеристики модуля дискретного вывода

МУ110-224.16К представлены в таблице 2.2.3.2. Схема подключения модуля дискретного вывода МУ110-224.16К представлена на рисунке 2.2.3.2 [14].

Таблица 2.2.3.2 – Основные характеристики МУ110-224.16К

Параметр	Значение
Напряжение питания	220 В переменного тока с частотой 50 Гц
Потребляемая мощность	12 Вт
Количество дискретных выходов (0/24 В)	16 шт.
Тип выходов	транзисторная оптопара n-p-n типа
Интерфейсы связи	RS-485

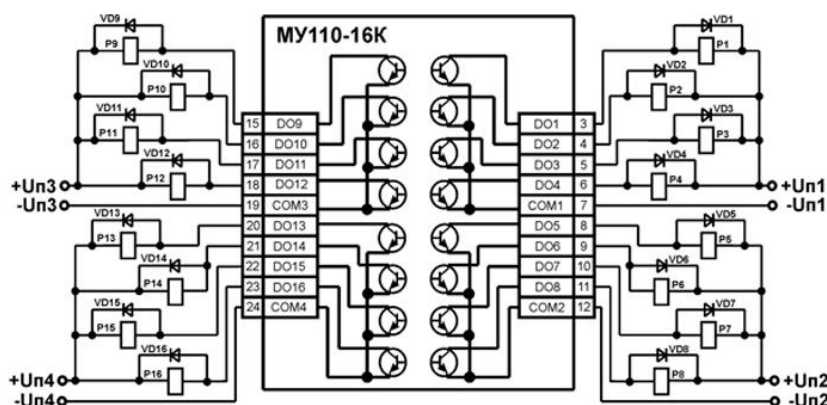


Рисунок 2.2.3.2 – Схема подключения модуля МУ110-224.16К

Выбран модуль вывода МВ110-224.8Р фирмы Овен, который имеет 8 релейных выходов и напряжение питания 220 В с частотой 50 Гц. Основные характеристики модуля дискретного вывода МУ110-224.8Р [15] представлены в таблице 2.2.3.3. Схема подключения модуля дискретного вывода МУ110-224.8Р представлена на рисунке 2.2.3.3.



Таблица 2.2.3.3 – Основные характеристики МВ110-224.8Р

Параметр	Значение
Напряжение питания	220 В переменного тока с частотой 50 Гц
Потребляемая мощность	6 Вт
Количество дискретных выходов	8 шт.
Типы выходов	Электромагнитное реле
Интерфейсы связи	RS-485

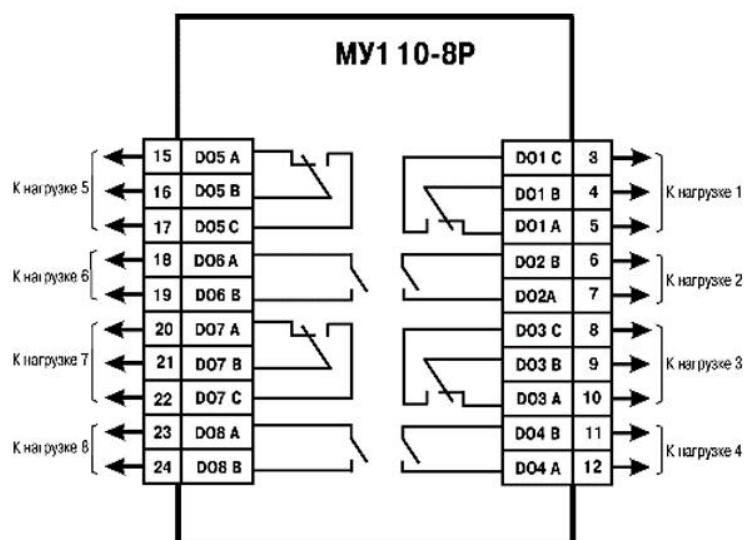


Рисунок 2.2.3.3 – Схема подключения к модулю МВ110-224.8Р

Управление шаговыми двигателями производится через драйвер шагового двигателя. Для драйверов были сформированы требования:

- напряжение питания 24 В;
- управляющее напряжение 24 В;
- управление вращением двигателя в двух направлениях.

По сформированным требованиям был подобран драйвер шагового двигателя фирмы MOONS SR8-Plus [16]. Внешний вид драйвера показан на рисунке 2.2.3.4.



Рисунок 2.2.3.4 – Драйвер шагового двигателя

Технические характеристики драйвера описаны в таблице 2.2.3.4.

Таблица 2.2.3.4 – Технические характеристики драйвера SR8-Plus

Параметр	Значение
Напряжение питания	24-75 В
Режим управления	Импульсный и постоянное вращение
Выходной ток	2.4-7.8 А
Вид портов управления	Нормально разомкнутый
Количество дискретных входов	3

Данный драйвер управляется через дискретные входы, которые будут подключены к выходам модуля дискретного вывода МУ110-224.16К, описанного выше, по схеме с общим минусом питания, представленной на рисунке 2.2.3.5.

Выходной ток драйвера SR8-Plus настраивается при помощи переключателей SW1, SW2 и SW3. Возможно восемь настроек на ток выхода, самый минимальный настраиваемый ток на выходе равен 2,4 А. Так как в стенде самый максимальный ток шагового равен 2,1 А, то все драйвера шаговых двигателей

будут настроены на выходной ток 2,4 А, то есть все три переключателя на драйвере должны быть во включенном положении.

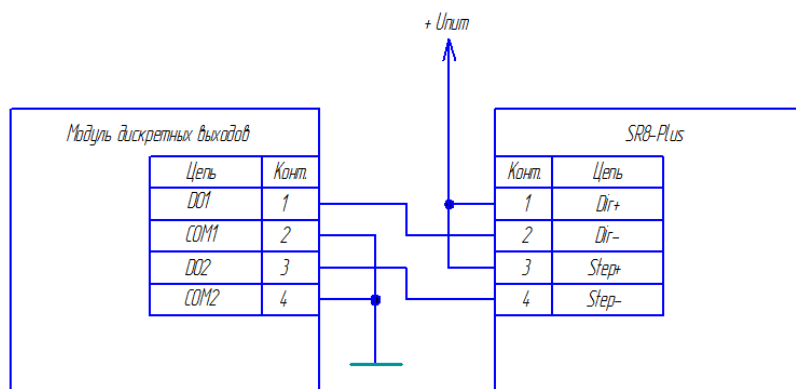


Рисунок 2.2.3.5 – Схема подключения драйвера

Шаговые двигатели будут подключаться к данному драйверу по четырех проводной схеме показанной на рисунке 2.2.3.6.

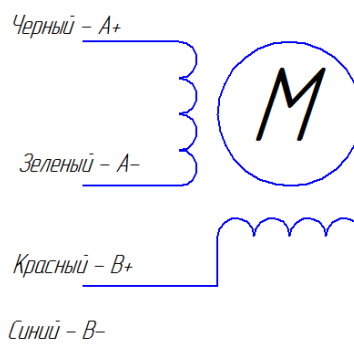


Рисунок 2.2.3.6 – Схема подключения шагового двигателя к драйверу

Для питания драйверов шаговых двигателей рассчитаем требуемый блок питания по потребляемому току и необходимому напряжению на выходе блока. Все драйвера настроены на ток 2,4 А, поэтому потребляемый ток будет равен 9,6 А, а напряжение на выходе блока питания должно быть 24 В. Такими характеристиками обладает блок питания фирмы Schneider Electric ABL1REM24100 [17]. Технические характеристики данного блока питания приведены в таблице 2.2.3.5.

Таблица 2.2.3.5 –Технические характеристики ABL1REM24100

Параметр	Значение
номинальная мощность, Вт	240 Вт
входное напряжение	Пер. ток однофазный, 220 В
выходное напряжение	24 V пост. ток
выходной ток источника питания	10 А

#### 2.2.4 Разработка преобразователя напряжений

Подключение датчиков давления и выходного сигнала с масс-спектрометра производится через дополнительный модуль преобразования напряжений, так как выходной диапазон напряжения с датчиков давления и масс-спектрометра течеискателя не совпадает с унифицированными аналоговыми входами программируемого логического контроллера, что увеличивает погрешность измерений.

Модуль должен удовлетворять следующим требованиям:

- напряжение питания 24 В;
- преобразование трех входных напряжений из 0...300 мВ в 0...1 В;
- преобразование одного входного напряжения из 50...300 мВ в 0...1 В.

Так как требуемый прибор является нестандартным и приобрести его затруднительно, принято решение разработать данный модуль самостоятельно.

Для понимания работы модуля разработана блок схема, которая состоит из следующих блоков:

- блока питания;
- трех блоков преобразователей напряжений из 0...300 мВ в 0...1 В;
- блок преобразования напряжения из 50...300 мВ в 0...1 В.

Структурная схема модуля преобразователя напряжений показана на рисунке 2.2.4.1.

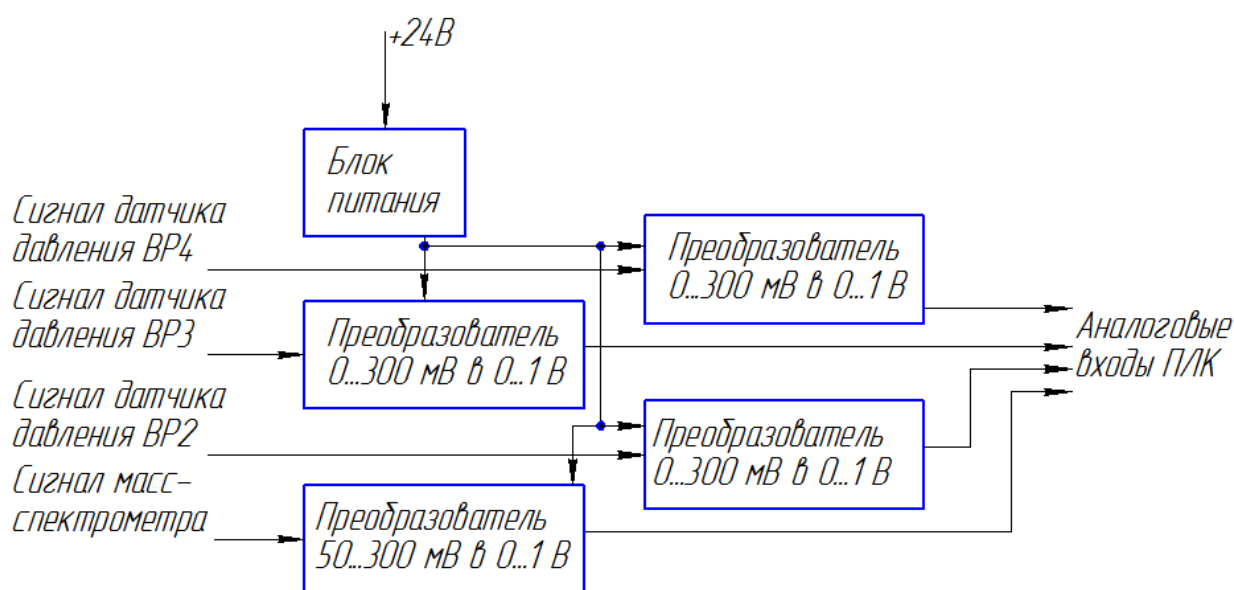


Рисунок 2.2.4.1 – Структурная схема модуля

Примем напряжение питания во всей схеме преобразователя напряжений равной 3,3 В.

Блоки «Преобразователь 0...300 мВ в 0...1 В» разработаны на основе схемы неинвертирующего усилителя на операционном усилителе. Данная схема показана на рисунке 2.2.4.2.

Коэффициент усиления данной схемы рассчитывается по формуле:

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = K = \left(1 + \frac{R1}{R2}\right), \quad (2)$$

где K – коэффициент усиления;

$U_{out}$  – напряжение выхода, В;

$U_{in}$  – напряжение входа, В;

R1, R2 – сопротивления, Ом.

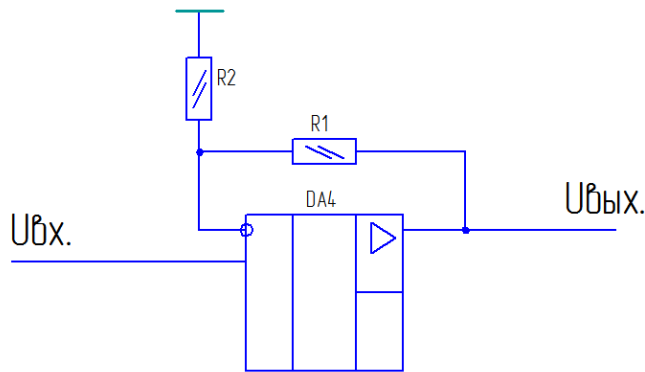


Рисунок 2.2.4.2 – Схема неинвертирующего усилителя

Рассчитаем необходимый коэффициент усиления, составив систему из двух линейных уравнений:

$$\begin{cases} U_{in1} \cdot K + U_c = U_{out1} \\ U_{in2} \cdot K + U_c = U_{out2} \end{cases}, \quad (3)$$

где  $U_{in1}$  и  $U_{in2}$  – входное напряжение в первой и второй точке соответственно, В;

$K$  – коэффициент усиления;

$U_c$  – напряжения смещения, В;

$U_{out1}$  и  $U_{out2}$  – выходное напряжение в первой и второй точке соответственно, В.

Подставив данные, предъявленные в требованиях к модулю, значения напряжений получим коэффициент усиления равный 3,33.

Рассчитаем отношение сопротивлений, полученное из формулы 2. Получим отношение  $R1$  в 2,33 раза больше  $R2$ . Примем  $R2$  равным 100 кОм, тогда  $R1$  будет равно 233 кОм. Приведем полученные значения сопротивлений к стандартным табличным, получим  $R1$  равно 240 кОм и  $R2$  равно 100 кОм.

Блок «Преобразователь 50...300 мВ в 0...1 В» разработан на основе схемы неинвертирующего усилителя на операционном усилителе, расчеты будут произведены по тем же формулам.

Подставив данные, предъявленные в требованиях к модулю, значения напряжений получим коэффициент усиления равный 4 и напряжение смещения равное 50 мВ.

Рассчитаем отношение сопротивлений, полученное из формулы 2. Получим отношение R1 в 3 раза больше R2. Примем R2 равным 100 кОм, тогда R1 будет равно 300 кОм. Приведем полученные значения сопротивлений к стандартным табличным, получим R1 равное 300 кОм и R2 равное 100 кОм.

Смещение напряжения в 50 мВ получим при помощи схемы на резистивном делителе, напряжение выхода с которой будет подано на инверсный вход операционного усилителя. Схема резистивного делителя показана на рисунке 2.2.4.3.

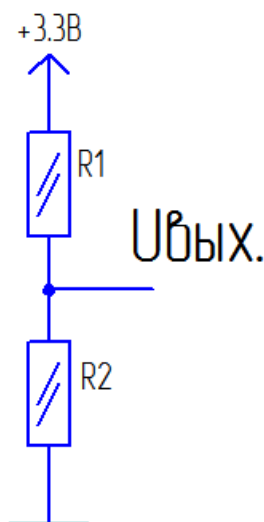


Рисунок 2.2.4.3 – Схема резистивного делителя

Отношение сопротивлений в схеме будет определяться по формуле:

$$\frac{U_{in}}{U_{out}} = \frac{R1}{R2} + 1, \quad (4)$$

где,  $U_{in}$  – напряжение входа, В;

$U_{out}$  – напряжение выхода, В;

R1 и R2 – сопротивления, Ом.

Подставив исходные значения напряжений получим отношение  $R1$  к  $R2$  равное 65. Примем  $R2$  равным 10кОм, из отношения получим  $R1$  равное 650 кОм. Приведем полученные значения сопротивлений к табличным, получим  $R1$  равное 620 кОм и  $R2$  равное 10 кОм.

Схема преобразователя напряжений со смещением показана на рисунке 2.2.4.4.

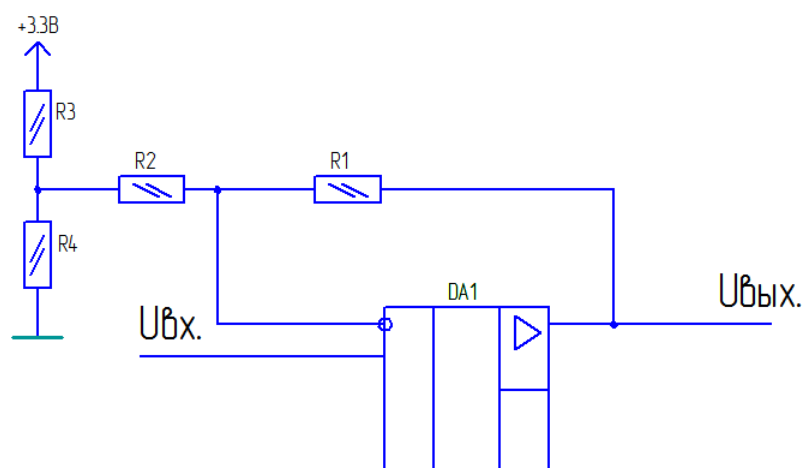


Рисунок 2.2.4.4 – Схема преобразователя со смещением

В схеме блока преобразователя напряжений предполагается использовать следующие компоненты:

- операционный усилитель LMV321ILT [18];
- резисторы типа размера 0805 формирования требуемых коэффициентов усиления;
- конденсаторы типа размера 0805 для стабилизации напряжения питания.

Питание преобразователей напряжений +3,3 В обеспечивается преобразованием входного напряжения +24 В при помощи преобразователя напряжений LP2950ACZ [19].

Схема электрическая принципиальная преобразователя напряжений представлена в приложении Г.

Печатная плата преобразователя напряжений представлена на рисунке Д. в приложении Д.



Печатная плата будет односторонней, двухслойной. Связь между слоями будет осуществляться при помощи металлизированных отверстий.

В печатной плате присутствуют 3 типа монтажных отверстий, размеры которых выполнены в соответствии с ГОСТ 10317-79 [20]. Размеры и тип монтажных отверстий приведены в таблице 2.2.4.1.

Таблица 2.2.4.1 – Размеры и тип монтажных отверстий

Диаметры отверстий, мм	Наличие металлизации	Диаметры контактных площадок, мм	Кол-во отверстий
0,8 <sup>+0,1</sup>	металлизированные	1,8	3
1,2 <sup>+0,1</sup>	металлизированные	2,5	18
0,5 <sub>-0,1</sub>	металлизированные	1,0	10

Ширина печатных проводников на плате будет равна 0,3 мм, поэму печатная плата выполнена по третьему классу точности. Классы точности печатных плат устанавливаются в ГОСТ 23751-86 [21].

Печатная плата разработана под размер корпуса D4MG [22], который будет закреплен на DIN-рейке в шкафу автоматики. Характеристики корпуса представлены в таблице 2.2.4.2. Внешний вид корпуса показан на рисунке 2.2.4.5.

Таблица 2.2.4.2 –Характеристики корпуса D4MG

Параметр	Значение
Размеры, мм	71x90,2x57,5
Материал	ABS пластик UL-94V0
Цвет	Светло-серый
Степень защиты	Нет



Рисунок 2.2.4.5 – Внешний вид корпуса

Разработка печатной платы велась в программном продукте P-Cad 2006.

### 2.2.5 Выбор аварийной индикации

Для индикации аварийного состояния стенда присутствует лампа HL1 красного цвета, а также HA1 устройство звуковой индикации, они управляются сигналом 0/24 В и необходимы для привлечения внимания лиц находящихся возле стенда об аварийных ситуациях. В качестве лампы была выбрана модель MT16-D14 фирмы ОВЕН [23] красного цвета. Внешний вид лампы MT16-D14 показан на рисунке 2.2.5.1.



Рисунок 2.2.5.1 – Аварийная лампа MT16-D14

В качестве звукового оповещения будет использоваться модель «ОПЗ Стандарт» фирмы Тинко [24]. Внешний вид устройства звукового оповещения показан на рисунке 2.2.5.2.



Рисунок 2.2.5.2 – Устройство звукового оповещения «ОПЗ Стандарт»

Технические характеристики данного устройства приведены в таблице 2.2.5.1.

Таблица 2.2.5.1 – Технические характеристики устройства звукового оповещения

Параметр	Значение
Диапазон напряжений питания, В	6...36
Уровень звукового сигнала на расстоянии 1 м, Дб	не менее 100
Ток потребления: - при напряжении питания 6В - при напряжении питания 12В - при напряжении питания 30В	не более 60 мА не более 55 мА не более 40 мА
Вид звукового сигнала	тонально-модулированный

Схема подключения устройства звукового оповещения показана на рисунке 2.2.5.3.

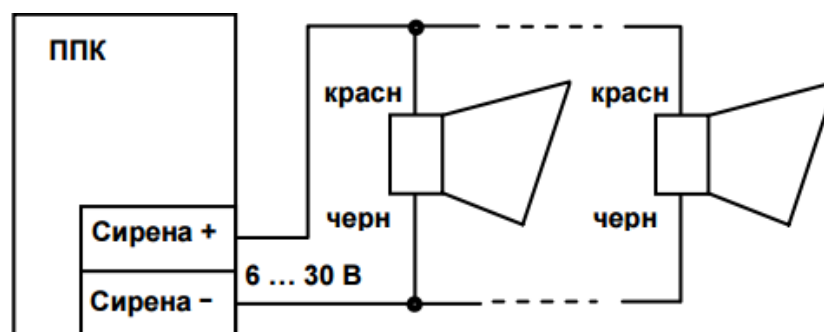


Рисунок 2.2.5.3 – Схема подключения устройства звукового оповещения

## 2.2.6 Выбор блока питания

Система управления стендом проверки на герметичность питается от трехфазной цепи. Элементы системы питаются от одного из трех типов напряжения либо от 380 В переменного напряжения, либо от 220 В переменного напряжения, либо от 24 В постоянного напряжения. Для выбора блока питания, который будет выдавать 24 В, необходимо знать общий ток потребляемый всеми элементами. В таблице 2.2.6.1 представлены токи потребления устройств, питающиеся от 24 В.

Таблица 2.2.6.1 – Токи потребления устройств, питающиеся от 24 В

Обозначение	Наименование	Ток потребления, А	Количество
BP1	ДРД-1-0,3-24	0,02	1
HA1	ОПЗ Стандарт	0,04	1
HL1	MT16-D14	0,01	1
SQ1-SQ5	И85-NO-PNP	0,02	5
YA1, YA2	AR-2W2120 GYZ	0,4	2
YA3-YA6	AR-DL-6C	0,4	4
A4	Преобразователь напряжения	0,0006	1

Просуммировав все токи, получаем, что общий ток потребления равен 2,5 А. Блок питания БП60Б-Д4-24 имеет выходное напряжение 24 В и выходной ток 2,5 А, следовательно он удовлетворяет требованиям системы [25].

Для выбора автоматических выключателей необходимо знать потребляемый ток элементами, подключенными к данной сети. В таблице 2.2.6.2 представлены токи потребления устройств, питающиеся от 220 В.

Таблица 2.2.6.2 – Токи потребления устройств, питающиеся от 220 В

Обозначение	Наименование	Ток потребления, А	Количество
A1	ПЛК150-220.И-М	0,2	1
A2	МУ110-224.8Р	0,2	1
A3	МУ110-224.16К	0,5	1

Автоматические выключатели QF2-QF6, включены в питающую цепь перед устройствами, питающимися от 220 В переменного напряжения. Данными автоматическими выключателями будут IEK ВА 47-29 1P 6А С 4.5к фирмы «IEK».

Для защиты питающих цепей от перегрузок и токов короткого замыкания, на вход трехфазной цепи установлен автоматический выключатель QF1. Если сложить токи потребления из таблицы 2.2.6.1 и выходной ток из таблицы 2.2.3.5 с током потребления устройств от трехфазной цепи, получим общий ток потребления системы управления, равный 13,4 А. Автоматическим выключателем QF1 будет выключатель IEK ВА 47-29 1P 20А С 4.5к фирмы «IEK».

Для включения пластинчато-роторного насоса используется трехфазное твердотельное реле НТ-2544.ZA2 фирмы «KIPPRIBOR».

Для включения всей системы в цепь питания предусмотрен рубильник SA1. Он должен коммутировать трехфазную цепь с током до 13,4 А. Возьмем

рубильник ВР32И-31А70220 100А, который коммутирует трехфазную цепь с током до 100 А.

### 2.3 Разработка схемы соединений

Схема электрическая соединений создается на основе схемы электрической принципиальной на автоматизированную систему управления стендом проверки на герметичность дифференциальных датчиков давления. Схема электрическая соединений создается в соответствии с ГОСТ 2.702-2011 [26].

Схема электрическая соединений на автоматизированную систему управления стендом проверки на герметичность дифференциальных датчиков давления представлена в приложении Е.

Для соединения компонентов системы управления стендом использованы 8 разъемов с различным количеством клемм:

- ХТ1 разъем на 7 контактов;
- ХТ2 разъем на 7 контактов;
- ХТ3 разъем на 14 контакта;
- ХТ4 разъем на 32 контактов;
- ХТ5 разъем на 8 контакт;
- ХТ6 разъем на 5 контактов;
- ХТ7 разъем на 1 контакт;
- ХТ8 разъем на 1 контакт.

Данные разъемы будут собираться из нужного количества клеммных зажимов, крепящихся на DIN-рейку.

Разъемы ХТ1, ХТ2 и ХТ5...ХТ8 переназначены для подключения питания элементов системы, у которых сечение провода будет равным  $2,5 \text{ мм}^2$ , поэтому используемым клеммным зажимом будет ЗКБ  $2,5 \text{ мм}^2$  31А фирмы «ТДМ».

Разъемы ХТ3 и ХТ4 предназначены для подключения сигнальных линий, с сечением провода  $1,5 \text{ мм}^2$ , поэтому будет использоваться клеммный зажим ЗКБ  $1,5 \text{ мм}^2$  17,5А фирмы «ТДМ».

## 3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО - АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

### 3.1 Разработка алгоритмического обеспечения

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы был разработан алгоритм работы стенда для проверки герметичности корпусов дифференциальных датчиков давления на основе описания работы стенда представленного в разделе 1 и на основе схемы функциональной автоматизации.

Разработанный в виде блок-схемы алгоритм представляет собой последовательное выполнение действий при выполнении испытаний и содержит подсказки для оператора при наступлении некоторых ситуаций.

Алгоритм работы стенда для проверки герметичности корпусов дифференциальных датчиков давления представлен в приложении Ж.

### 3.2 Разработка программного обеспечения

В рамках выпускной квалификационной работы была произведена разработка программного обеспечения для стенда для проверки герметичности корпусов дифференциальных датчиков давления. Данное программное обеспечение позволит оператору вводить необходимые параметры для проверки корпусов, контролировать процесс проверки и в удобном виде получить результат проверки герметичности корпусов. Оператор будет управлять процессом проверки с помощью компьютера.

Приложение для оператора, управляющего стендом для проверки герметичности корпусов дифференциальных датчиков давления, было разработано с использованием программной среды проектирования Simple-SCADA.

При запуске программы перед оператором появляется главный экран, в котором схематично изображен весь стенд для проверки герметичности корпусов дифференциальных датчиков давления. За основу схематичного изображения

была взята схема функциональная автоматизации стенда. На рисунке 3.2.1 показан главный экран программы.

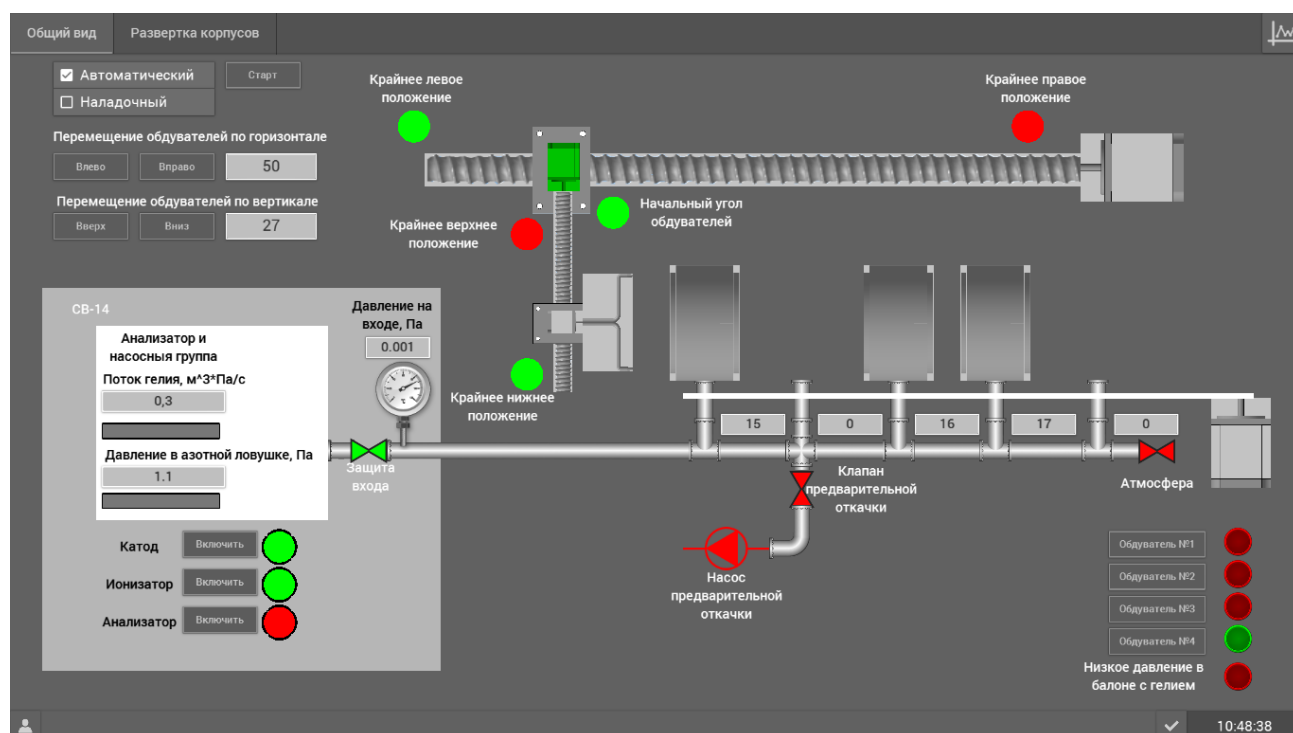


Рисунок 3.2.1 – Главной экран программы

В левом верхнем углу имеется переключение между режимами работы стенда. Режимы работы стенда являются автоматический и наладочный. При выборе автоматического режима работы оператор может отслеживать работу стенда на главном экране программы.

Ниже переключения между режимами находится управление перемещением обдувателей стенда, данная функция работает только в наладочном режиме. Позиция обдувателей может изменяться при помощи кнопок «Влево» и «Вправо», «Вверх» и «Вниз», либо задаваться значением в поле правее кнопок.

В левом нижнем углу экрана расположено управление системой вакуумной течеискателя. В данном поле находится управление исполнительными элементами течеискателя, необходимыми для проведения проверки корпусов. В данном поле можно включить и выключить катод, ионизатор и анализатор, открыть и закрыть клапан «Защита входа». Так же в нем расположены поля



показывающие значение потока гелия, давление в азотной ловушке и давление на входе в течеискатель.

На экране также схематично изображены шарико-винтовые передачи, за счет которых производится перемещение обдувателей в стенде, шаговые двигатели, обдуватели и коллекторы с изделиями.

В правом нижнем углу находится управление клапанами обдувателей, данная функция работает только в наладочном режиме, и отображение сигнала с реле давления.

Работа стенда начинается с установки проверяемых корпусов на коллектор и записи их заводских номеров в программу. Поле для заполнения номера корпуса в программе расположено справа от каждого коллектора. Когда номер меняется с нулевого значения, то на коллекторе появляется схематичное изображение корпуса, такое отображение дает возможность быстро понять сколько корпусов сейчас проверяется на стенде.

После установки изделий и занесения в программу их заводских номеров оператор нажимает кнопку «Старт», которая расположена правее выбора режима работы стенда. Далее стенд начинает работать по алгоритму, описанному в первом пункте.

В автоматическом режиме работы все исполнительные элементы (электромагнитные клапана, насосы, шаговые двигатели) при включенном состоянии окрашиваются в зеленый цвет, а при выключенном состоянии в красный. Все датчики на экране окрашиваются в зеленый цвет, если они сработали, и в красный если нет.

По окончании проверки оператор может оценить годность или негодность корпуса, переключив вкладку на «Развертка корпуса». Данная вкладка изображена на рисунке 3.2.2.

На данной вкладке изображается шов корпуса с двух сторон, показываются красными точками локализованные места течи, значение максимального прошедшего потока гелия и заводской номер корпуса.

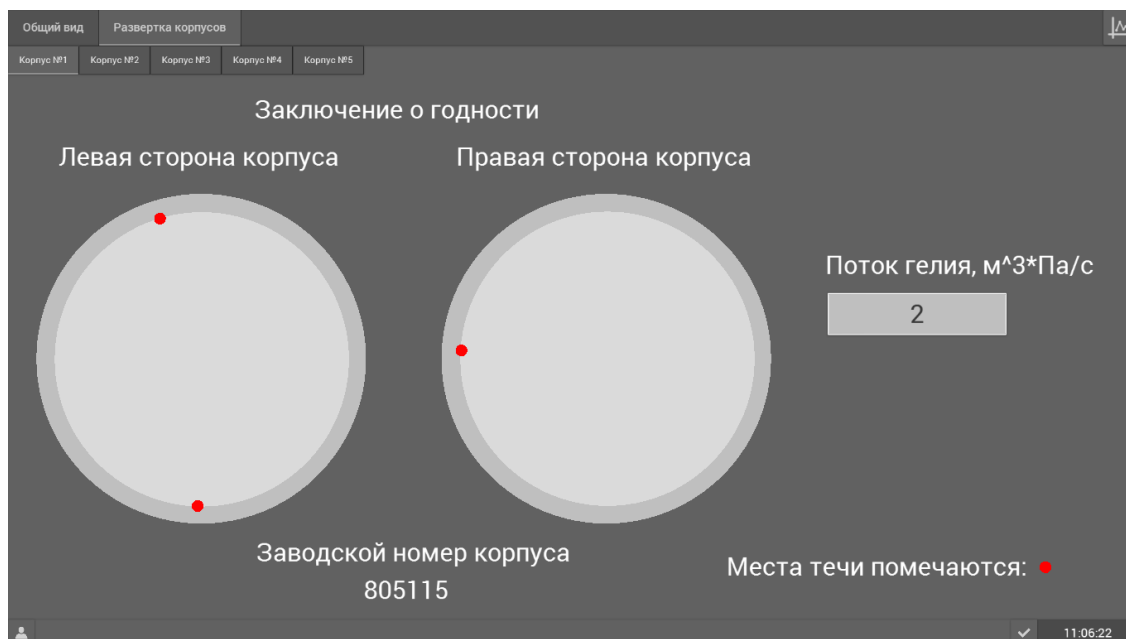


Рисунок 3.2.2 – Вкладка «Развертка корпусов»

В данной вкладке имеется пять подстраниц под пять корпусов, которые устанавливаются на коллекторе. На рисунке 3.2.2 показано отображение бракованного корпуса. На рисунке 3.2.3 показано отображение годного корпуса.

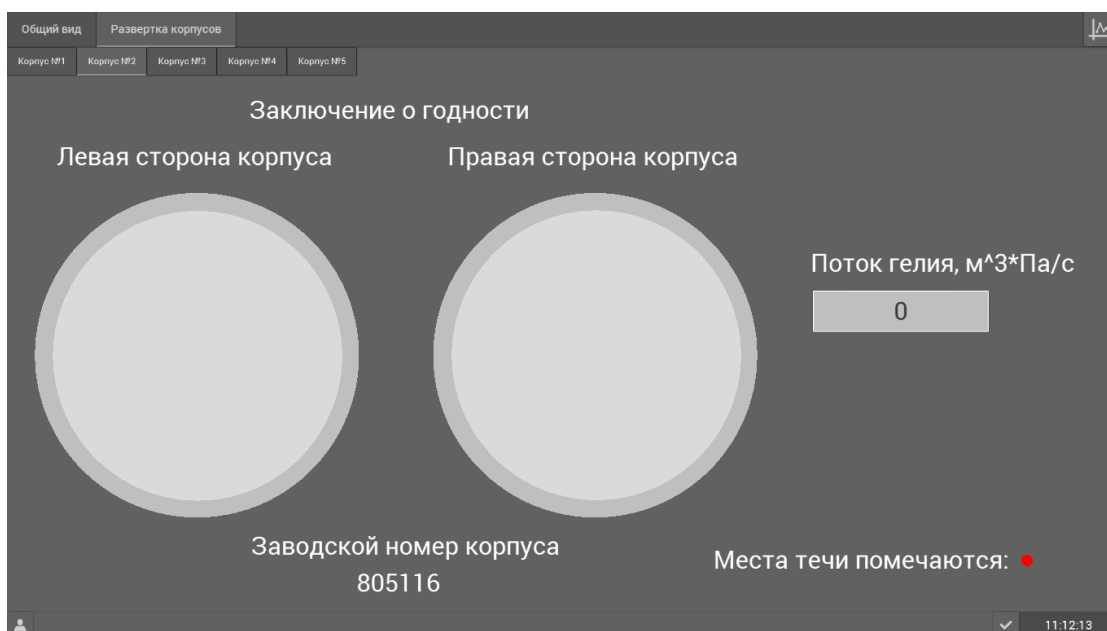


Рисунок 3.2.3 – Отображение годного корпуса

По окончании проверки на герметичность формируется и печатается отчет о результате проведенной проверки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра был разработан автоматизированный стенд для проверки дифференциальных датчиков давления. Данная система отличается от уже существующей автоматической подводом обдувателей к проверяемому корпусу, автоматическим выявлением места течи.

При выполнении выпускной квалификационной работы был изучен масс-спектрометрический метод течеискания. Также для данной системы были разработаны схема функциональная автоматизации, схема электрическая принципиальная, схема соединений.

На основе алгоритма работы и схемы функциональной автоматизации было разработано программное обеспечение для АСП для проведения проверки на герметичность корпусов датчиков дифференциального давления.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 СТО ЮУрГУ 04–2008. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

2 ГОСТ 24054-80. Изделия машиностроения и приборостроения. Методы испытаний на герметичность. Общие требования – М.: Стандартинформ, 2009. – 8 с.

3 ГОСТ 28517-90. Контроль неразрушающий. Масс-спектрометрический метод течеискания. Общие требования – М.: Стандартинформ, 2018. – 7 с.

4 Течеискатель ТИ1-14. Руководство по эксплуатации. – <http://www.techeiscatel.ru/index.php/library/rukovodstva-po-ekspluatatsii/73-ti1-14-rukovodstvo-po-ekspluatatsii-techeiskatelya-gelievogo>.

5 ГОСТ 21.404-85 СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах – М.: Стандартинформ, 2007. – 12 с.

6 Технические характеристики электромагнитного клапана AR-2W2120. – <https://www.kipspb.ru/catalog/klapan-elektromagnitnyj/element263642.php>.

7 Технические характеристики электромагнитного клапан AR-DL-6C. – <http://kip-trade.ru/prompribor/product/ar-dl-6c-klapan-elektromagnitnyy>.

8 Технические характеристики шарико-винтовой передачи. – [https://purelogic.ru/catalog/peredachi/shariko\\_vintovye\\_peredachi\\_shvp/shariko\\_vintovye\\_peredachi\\_hiwin/](https://purelogic.ru/catalog/peredachi/shariko_vintovye_peredachi_shvp/shariko_vintovye_peredachi_hiwin/).

9 Технические характеристики шаговых двигателей. – [https://purelogic.ru/catalog/elektroprivod/shagovye\\_dvigateli\\_i\\_aksessuary/shagovye\\_dvigateli/](https://purelogic.ru/catalog/elektroprivod/shagovye_dvigateli_i_aksessuary/shagovye_dvigateli/).

10 Технические характеристики индуктивного датчика И85-NO-PNP. – <http://skbind.ru/i85>.

11 Технические характеристики манометрического преобразователя ПМТ-6-3М-1. – <http://meradat.ru/catalog/section/28/category/7/product/144/>.

- 12 Технические характеристики реле давления ДРД-1-0,3-24. – <http://www.oavt.ru/catalog/datchiki-i-rele-davleniya/datchikrele-davleniya-drd1.html>.
- 13 Технические характеристики ПЛК150-220.И-М фирмы ОВЕН. – [http://www.owen.ru/catalog/programmiruemij\\_logicheskij\\_kontroller\\_oven\\_plk\\_150/opisanie](http://www.owen.ru/catalog/programmiruemij_logicheskij_kontroller_oven_plk_150/opisanie).
- 14 Технические характеристики модуля дискретного вывода МУ110-224.16К. – [http://www.owen.ru/catalog/modul\\_diskretnogo\\_vivoda\\_oven\\_mu110\\_8r/opisanie](http://www.owen.ru/catalog/modul_diskretnogo_vivoda_oven_mu110_8r/opisanie).
- 15 Технические характеристики модуля дискретного вывода МУ110-224.8Р. – [http://www.owen.ru/catalog/modul\\_diskretnogo\\_vivoda\\_oven\\_mu110\\_8r/39036535](http://www.owen.ru/catalog/modul_diskretnogo_vivoda_oven_mu110_8r/39036535).
- 16 Руководство по эксплуатации MOONS SR8-Plus. – [https://purelogic.ru/data/docs/elektronika\\_chpu/driver\\_stepmotor\\_moons\\_sr8\\_plus\\_user\\_manual\\_ru.pdf](https://purelogic.ru/data/docs/elektronika_chpu/driver_stepmotor_moons_sr8_plus_user_manual_ru.pdf).
- 17 Технические характеристики блока питания ABL1REM24100. – <https://www.schneider-electric.com/en/product/ABL1REM24100/regulated-smps---single-phase---100..240-v-input---24-v-output---240-w/>.
- 18 Описание операционного усилителя LMV321ILT. – <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/b9/d8/3b/8f/a1/8f/46/01/CD00079372.pdf/files/CD00079372.pdf/jcr:content/translations/en.CD00079372.pdf>.
- 19 Описание преобразователя напряжения LP2950ACZ. – <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/LP2950-D.PDF>.
- 20 ГОСТ 10317-79. Платы печатные. Основные размеры(с Изменениями N 1,2) – М.: Стандартиформ, 1984. – 3 с.
- 21 ГОСТ 23751-86. Платы печатные. Основные параметры конструкции – М.: Стандартиформ, 1986. – 7 с.
- 22 Технические характеристики корпуса D4MG. – <http://www.gainta.com/d4mg.html>.
- 23 Технические характеристики светового индикатора МТ16-D14. – [http://www.owen.ru/catalog/meyertec\\_signal\\_nie\\_ustrojstva\\_monoblok/kratkoe\\_opisanie](http://www.owen.ru/catalog/meyertec_signal_nie_ustrojstva_monoblok/kratkoe_opisanie).

24 Технические характеристики прибора звукового оповещения ОПЗ Стандарт. – <http://www.tinko.ru/catalog/product/200096/>.

25 Технические характеристики блока питания БП60Б-Д4-24. – [http://www.owen.ru/catalog/bloki\\_pitaniya\\_dlya\\_promishlennoj\\_avtomatiki/10656730](http://www.owen.ru/catalog/bloki_pitaniya_dlya_promishlennoj_avtomatiki/10656730).

26 ГОСТ 2.702-2011 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем – М.: Стандартинформ, 2011. – 28 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А Общий вид объекта автоматизации





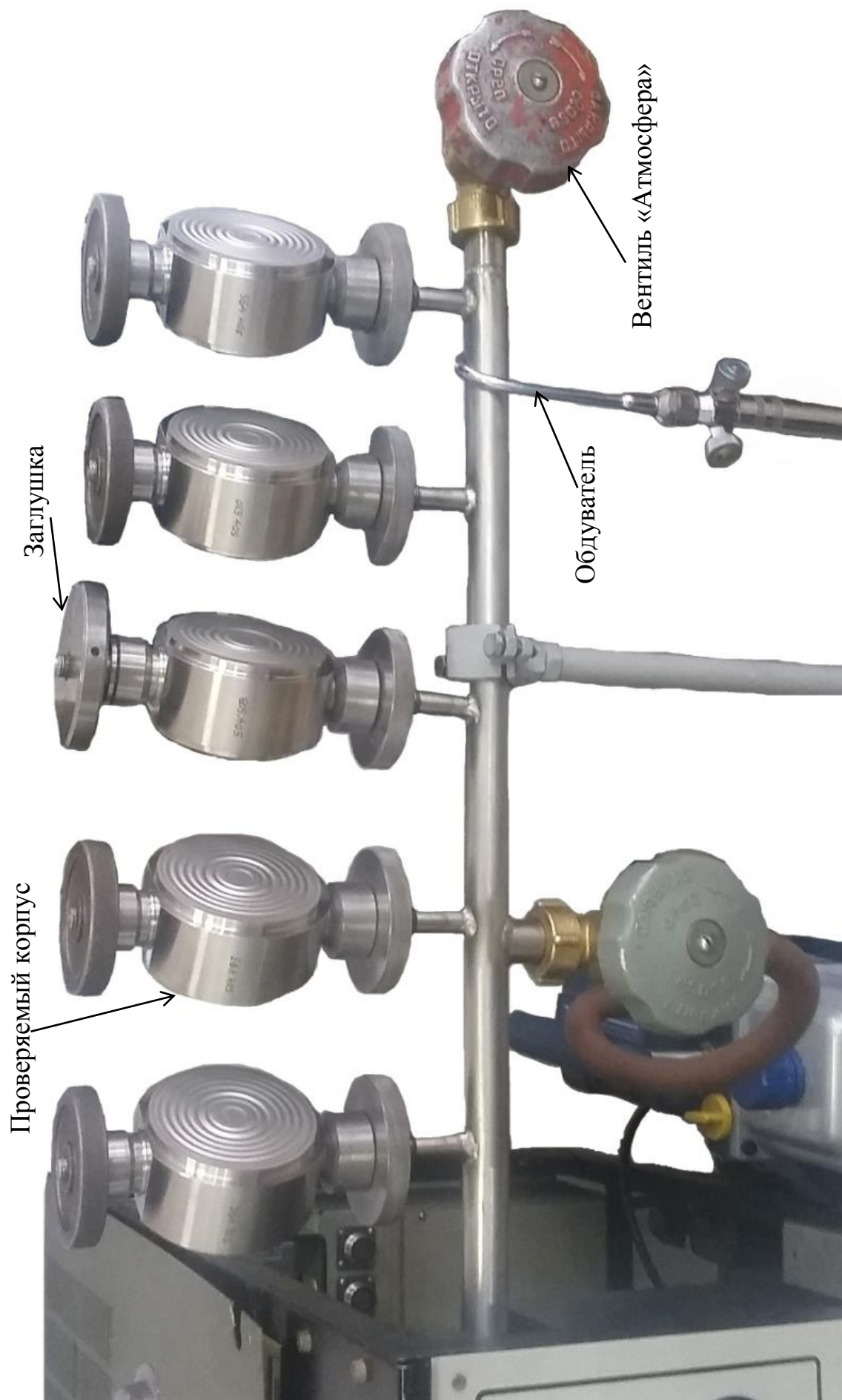


Рисунок А.2 – Коллектор с установленными корпусами

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б Схема функциональная автоматизации

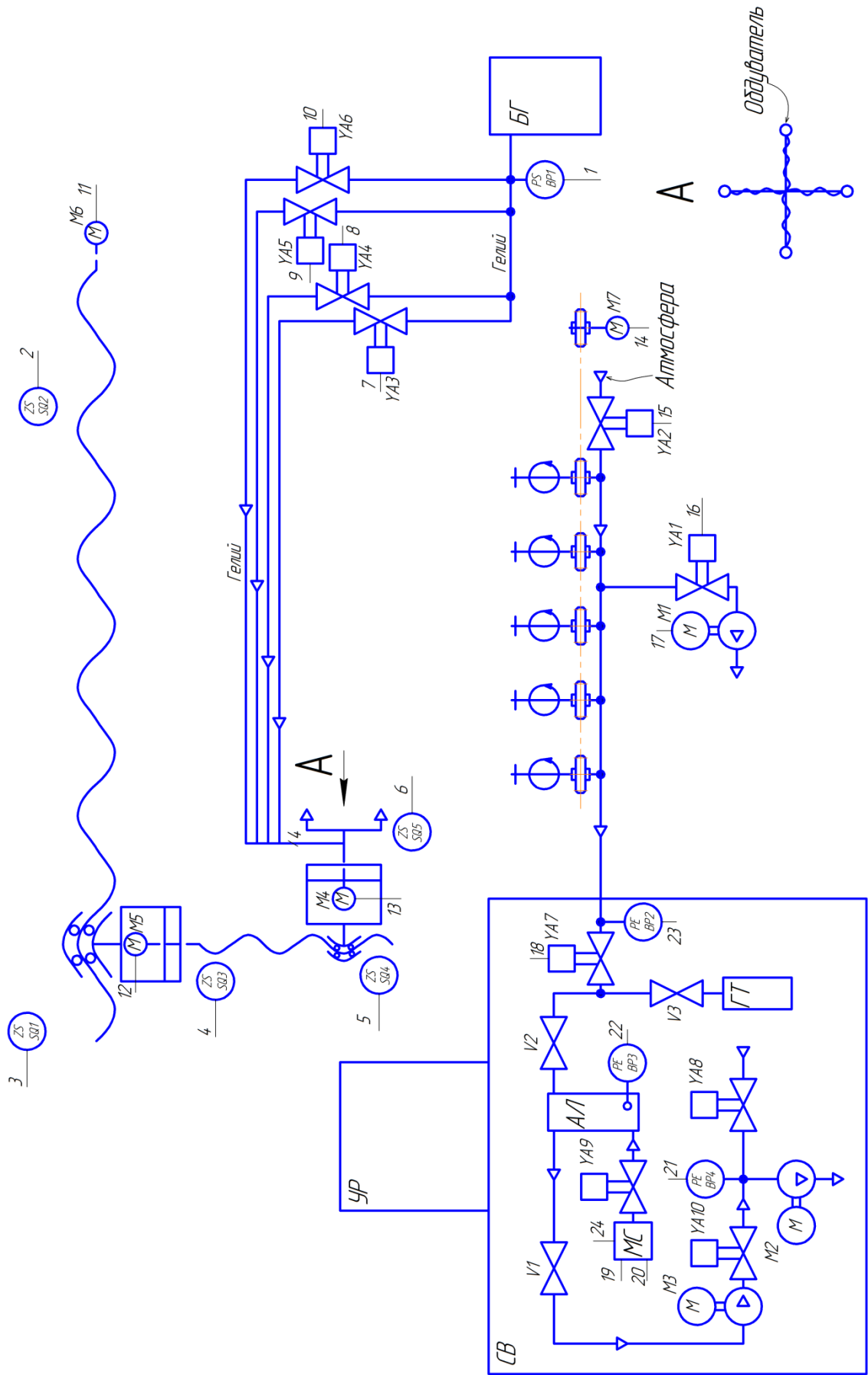
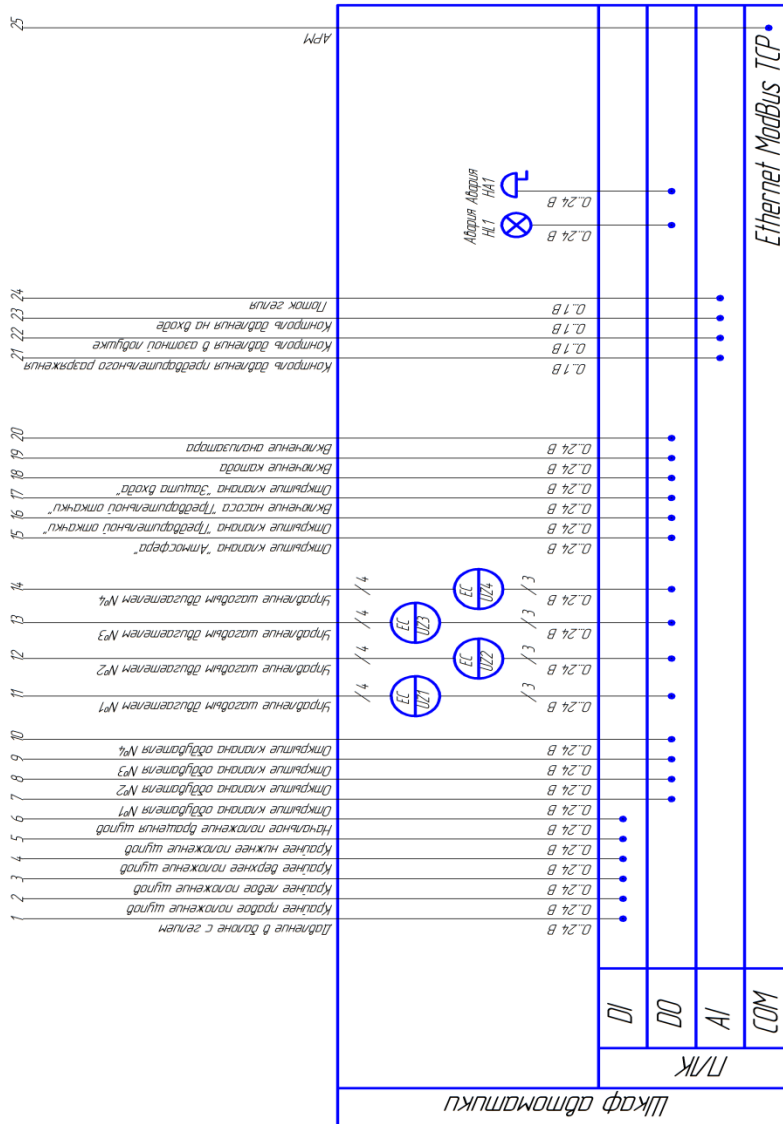


Рисунок Б.1 – Схема функциональная автоматизации



**Расшифровка обозначений**

1. УР – устройство регистрирующее
2. СВ – система вакуумная
3. БГ – баллон с гелием
4. ГТ – течь гелевая «Гелип-!»
5. АИ – азотная лобушка
6. МС – масс-спектрометр
7. УУ – устройство управления
8. ПН – преобразователь напряжения
9. АРМ – автоматизированное рабочее место

Рисунок Б.2 – Подключение элементов

## ПРИЛОЖЕНИЕ В Схема электрическая принципиальная

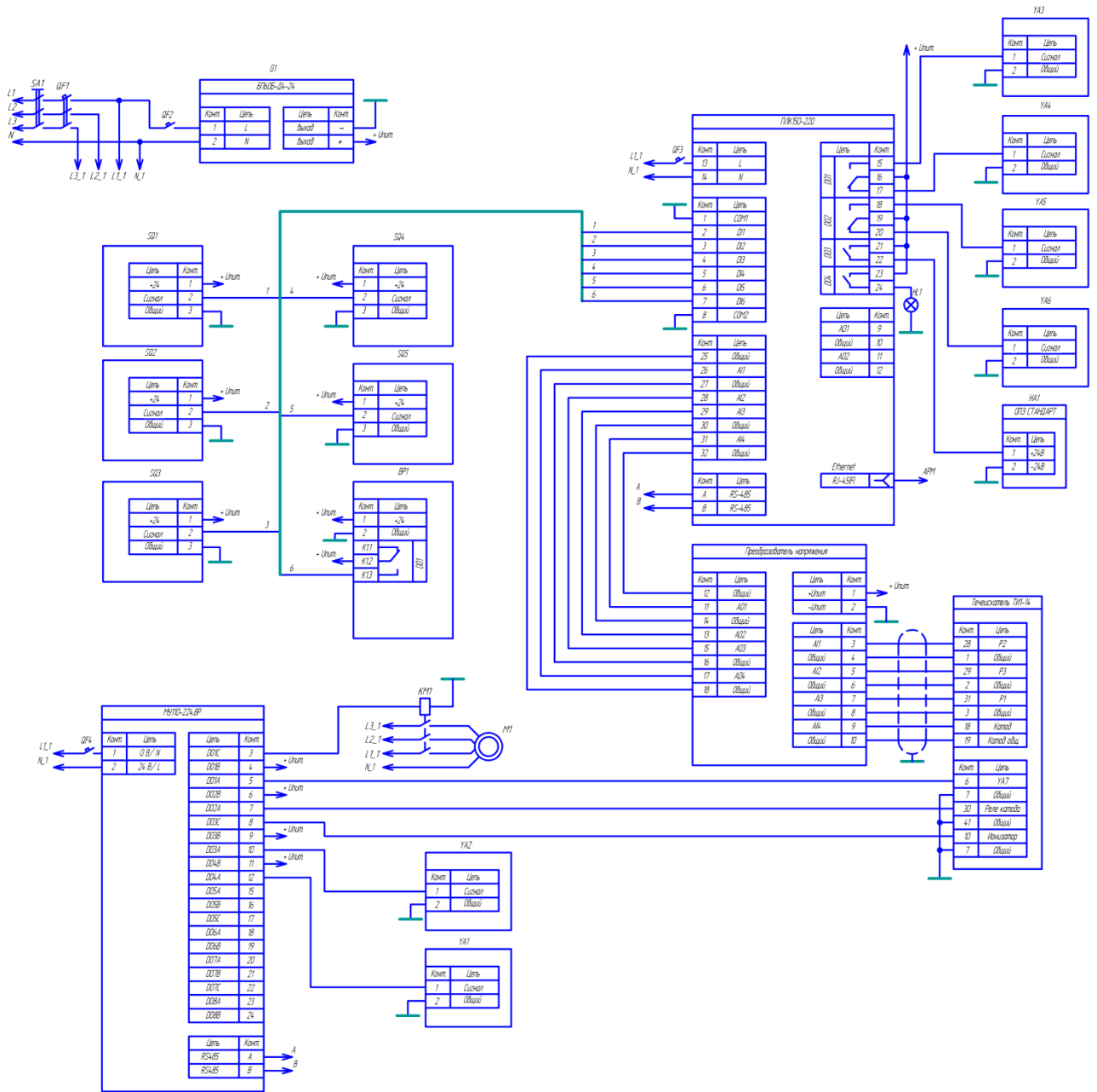


Рисунок В.1 – Схема электрическая принципиальная

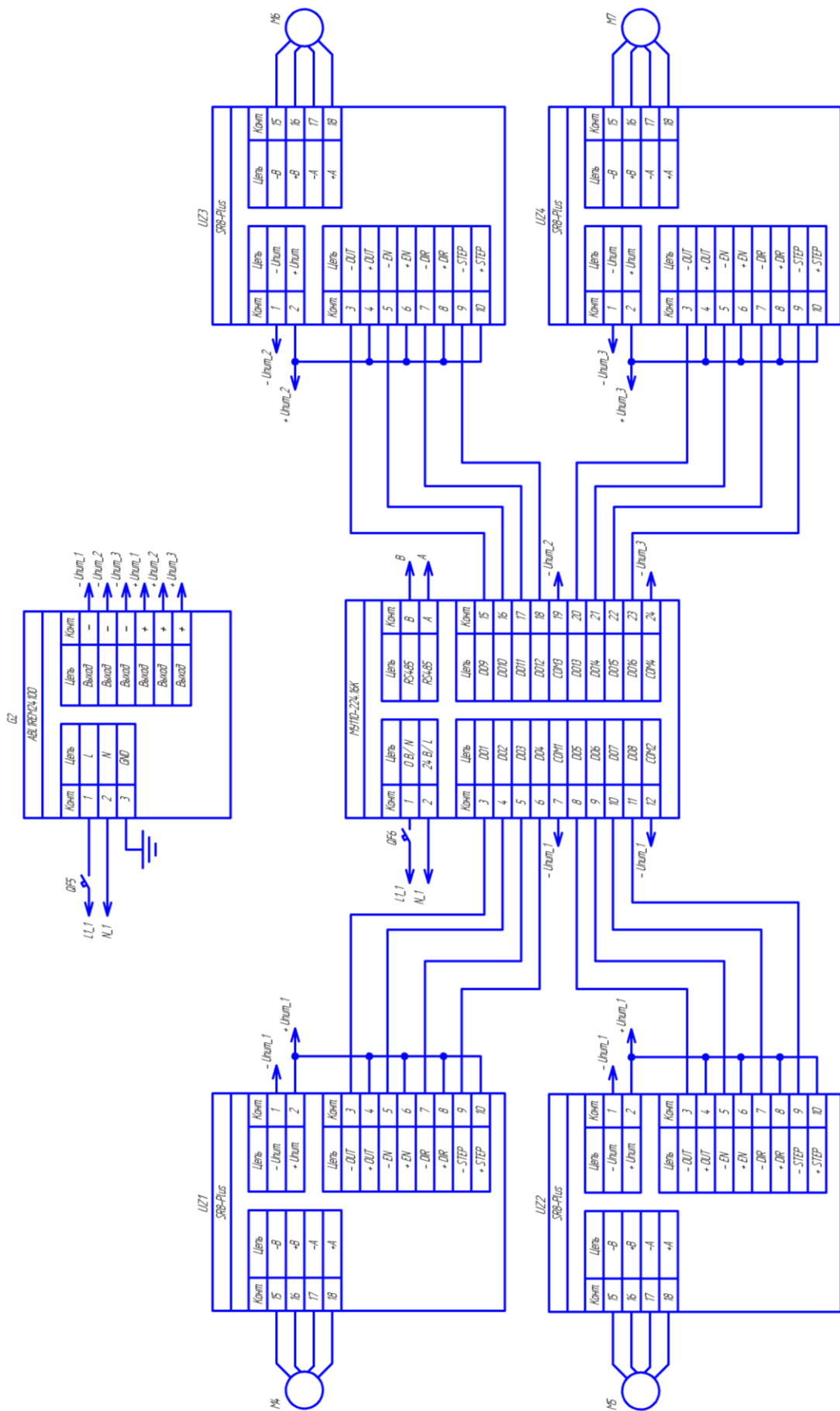


Рисунок В.2 – Продолжение схемы электрической принципиальной

ПРИЛОЖЕНИЕ Г Схема электрическая принципиальная преобразователя напряжений



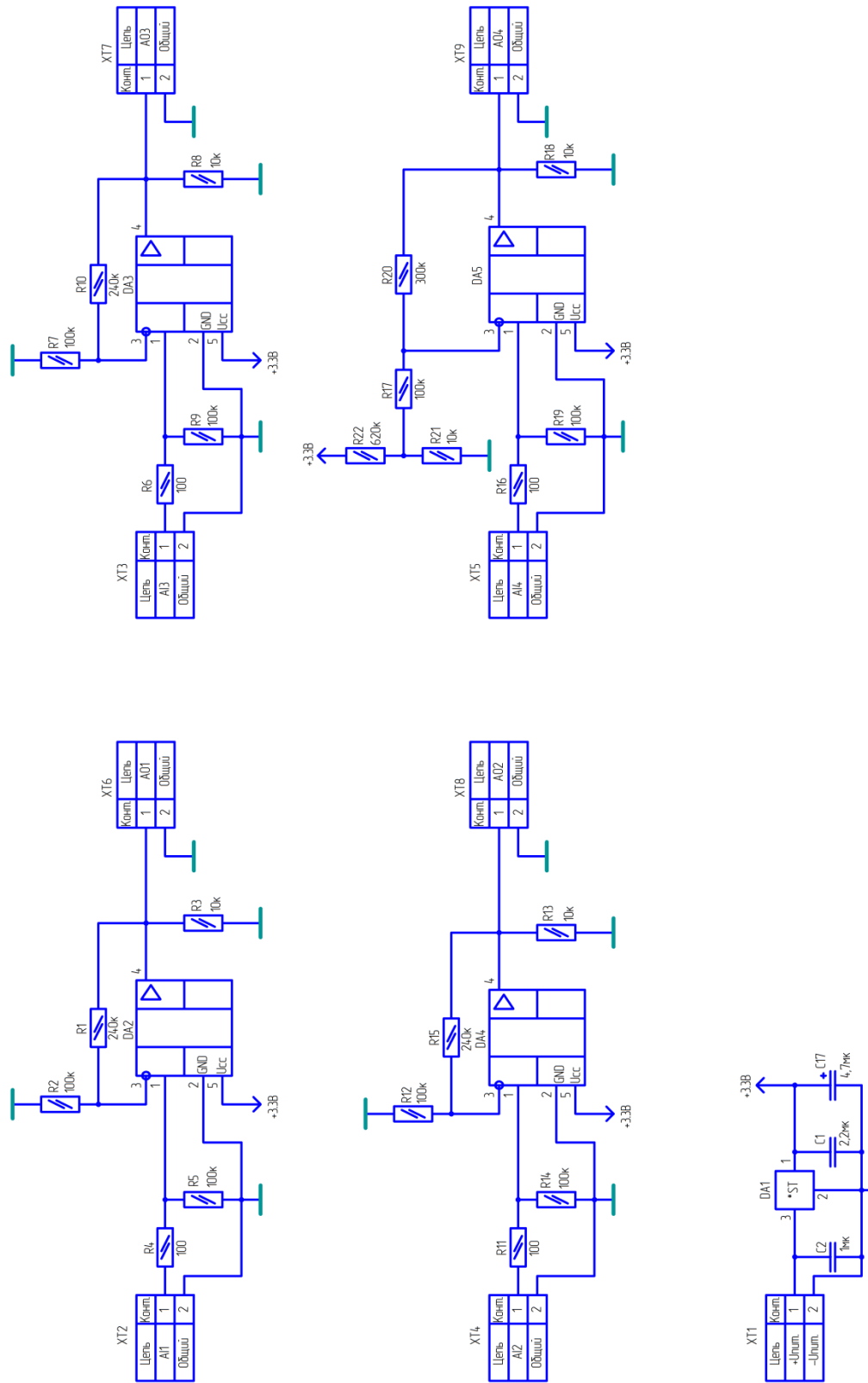


Рисунок Г.1 – Схема электрическая принципиальная преобразователя напряжений

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д Печатная плата преобразователя напряжений

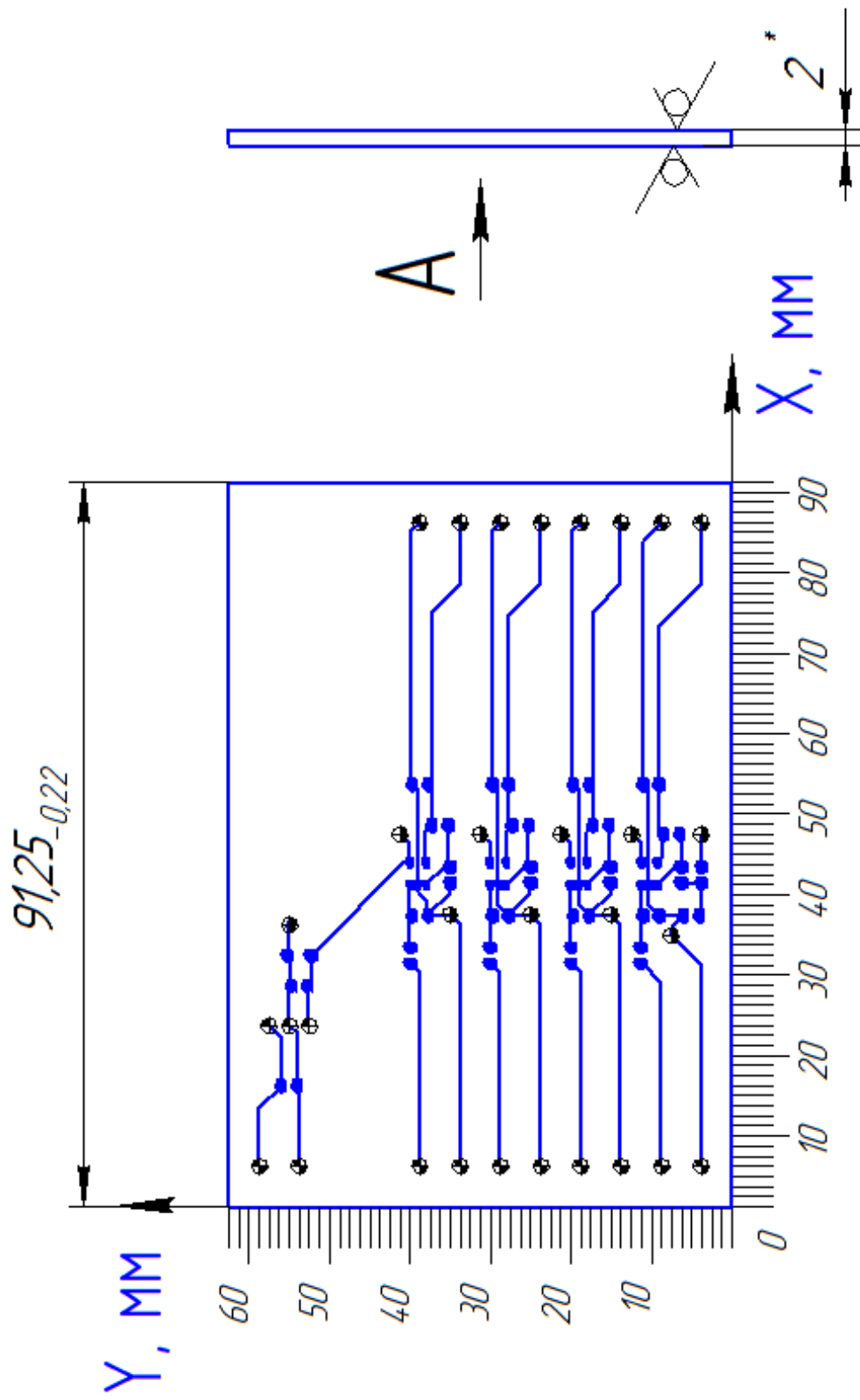


Рисунок Д.1 – Печатная плата преобразователя напряжений

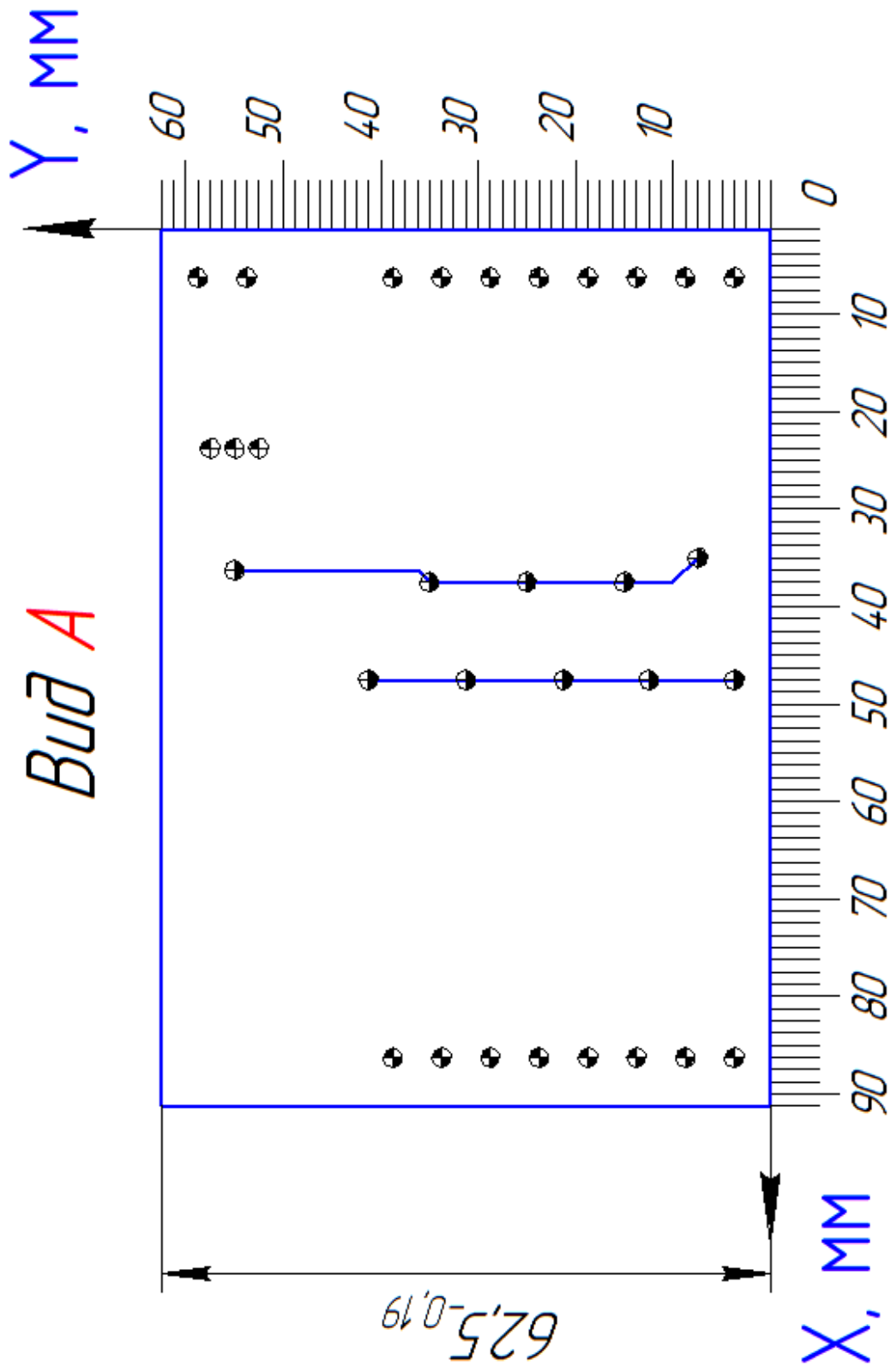


Рисунок Д.2 – Продолжение печатной платы преобразователя напряжений

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е Схема соединений

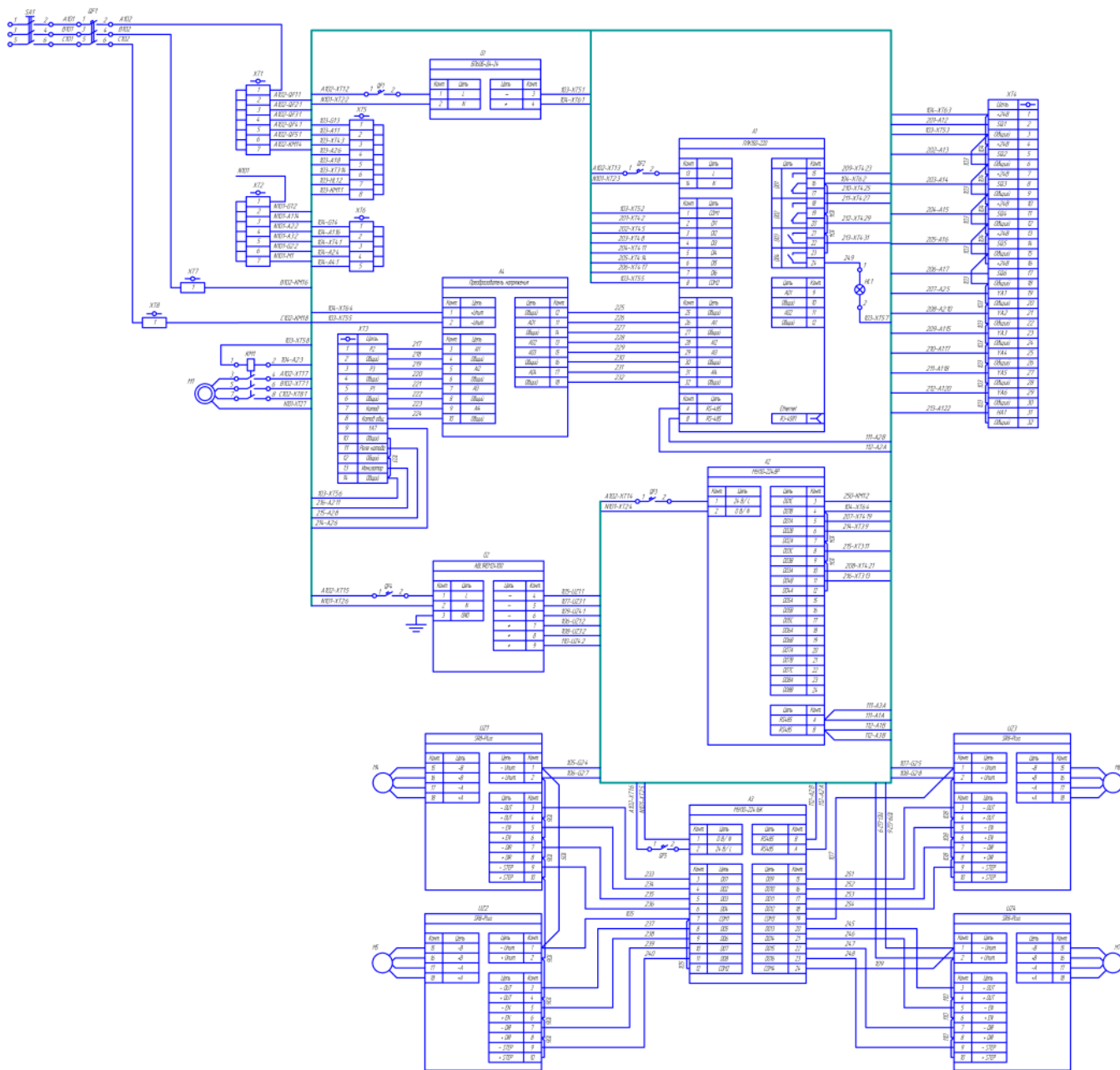


Рисунок Е.1 – Схема соединений

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Алгоритм работы АСП

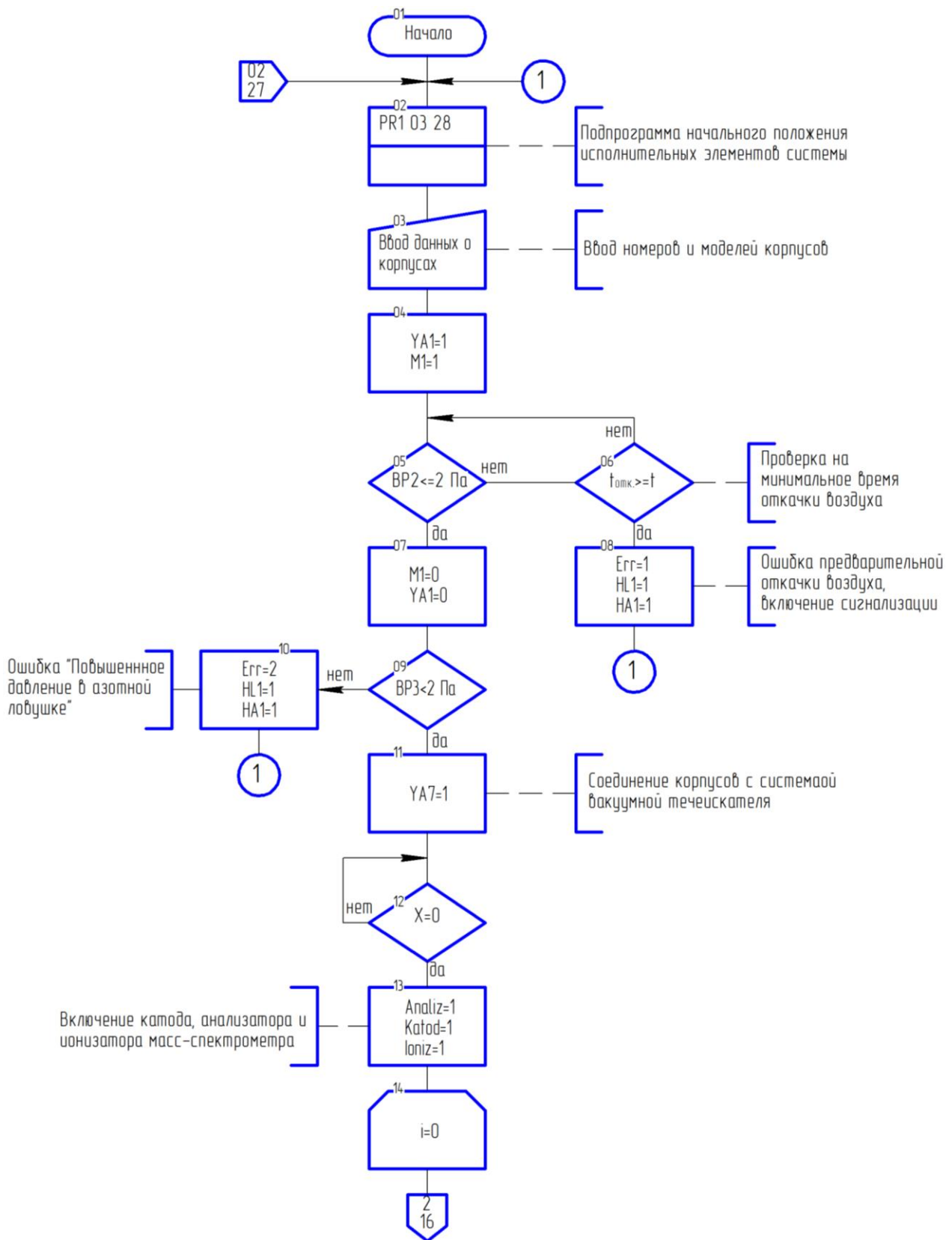


Рисунок Ж.1 – Алгоритм (лист 1)



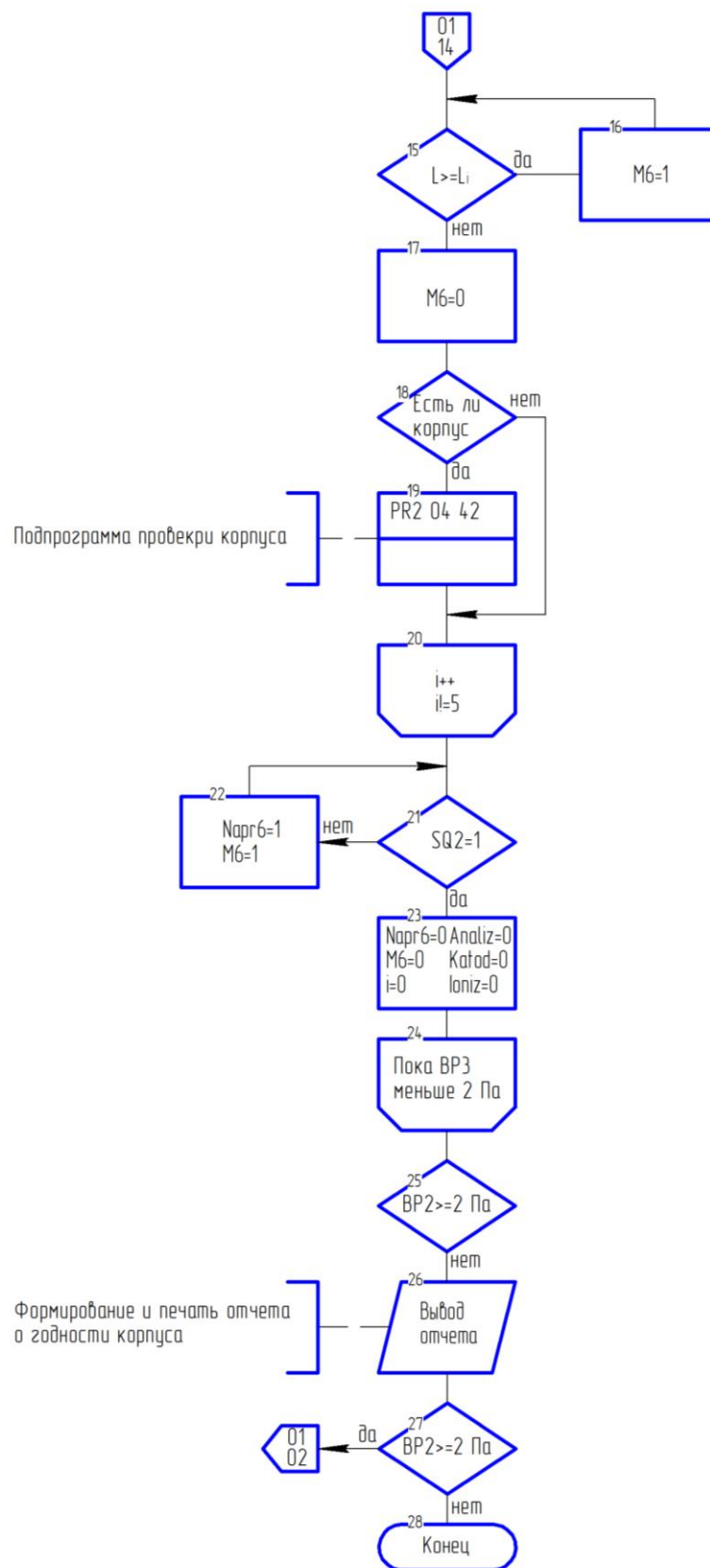


Рисунок Ж.2 – Алгоритм (лист 2)

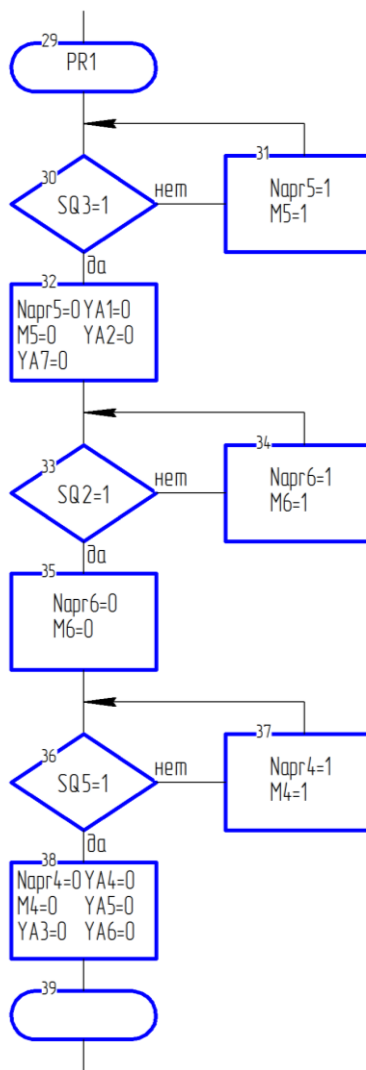


Рисунок Ж.3 – Алгоритм (лист 3)

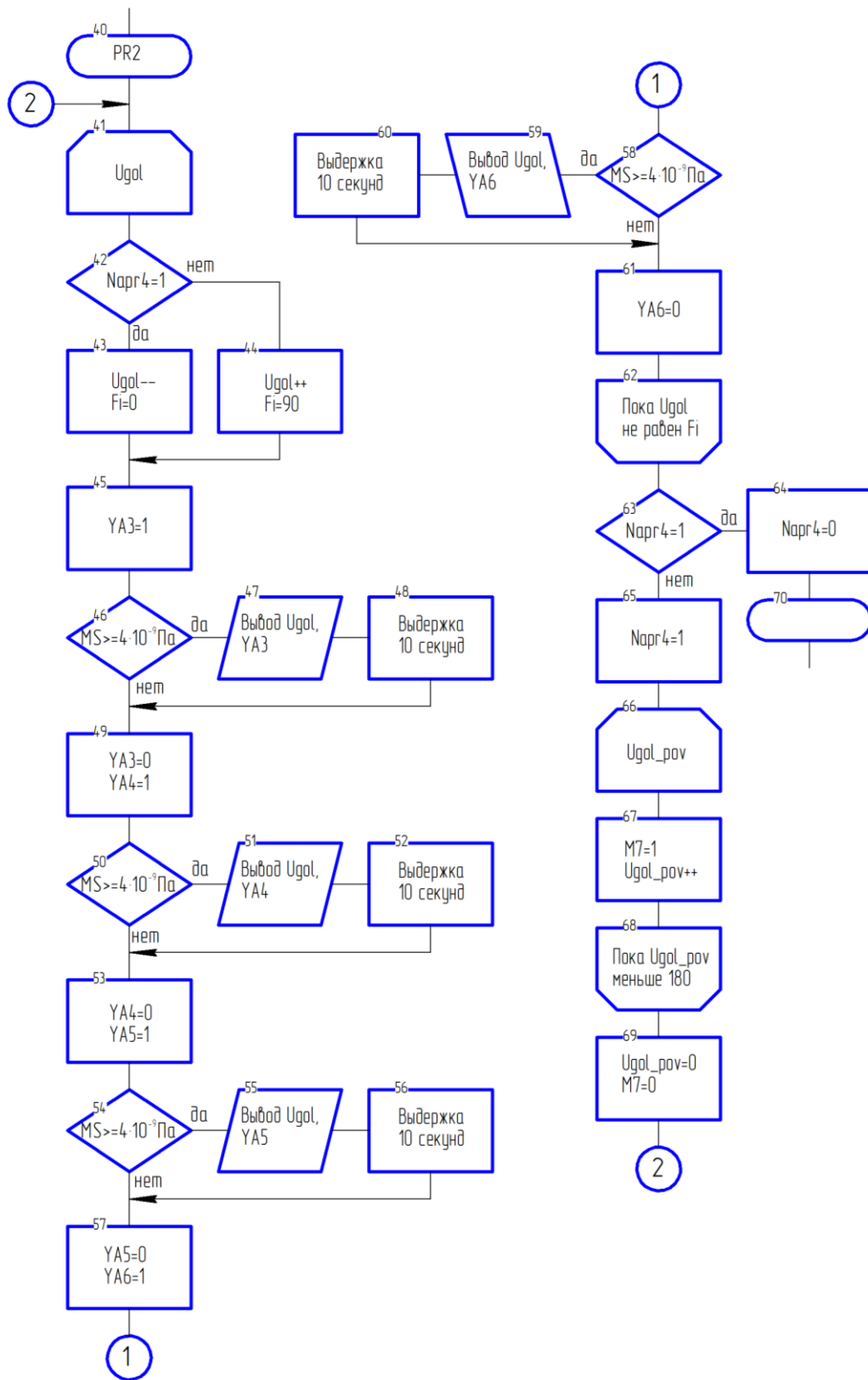


Рисунок Ж.4 – алгоритм (лист 4)