

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

**МЕТРОЛОГИЯ, МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ТЕХНИЧЕСКИХ  
ИЗМЕРЕНИЙ. ИЗМЕРЕНИЯ В ПНЕВМОАВТОМАТИКЕ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

для студентов специальностей 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических  
процессов и производств (легкая промышленность)»,  
1-40 05 01 01-01 «Информационные системы и технологии»

Витебск  
2018

УДК 681.523.5

Составители:

А. А. Кузнецов, К. Н. Ринейский, А. М. Науменко, А. А. Шишакова

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом  
УО «ВГТУ», протокол № 4 от 27.04.2018.

**Метрология, методы и приборы технических измерений. Измерения в пневмоавтоматике** : лабораторный практикум / сост. А. А. Кузнецов [и др.]. – Витебск : УО «ВГТУ», 2018. – 52 с.

В лабораторном практикуме содержится информация, необходимая для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Технические устройства автоматизации».

Предназначен для студентов дневной, заочной и заочной формы обучения на базе ссуз специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств (легкая промышленность)», 1-40 05 01 01-01 «Информационные системы и технологии».

УДК 681.523.5

© УО «ВГТУ», 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. ЗНАКОМСТВО С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ СТЕНДОМ, ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ПНЕВМОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ.....	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ РЕДУКЦИОННОГО КЛАПАНА.....	17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКА РАСХОДА И ПОСТРОЕНИЕ ЕГО ДРОССЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ «И», «ИЛИ».....	28
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИЛИНДРА ОДНОСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ.....	32
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИЛИНДРА ДВУХСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ.....	37
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ.....	43
ЛИТЕРАТУРА.....	50

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

## ЗНАКОМСТВО С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ СТЕНДОМ, ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

Цель работы: ознакомиться с измерительным стендом Festo и программой FluidLab-P, изучить принцип действия датчика давления.

### 1 Общие сведения о работе в программе FluidLab-P и лабораторном стенде Festo

Лабораторные стенды Festo укомплектованы современными системами электропневмоавтоматики, датчиками расхода и давления, специализированными модулями ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов EasyPort, входящих в состав учебных комплектов TP201 и TP210, что в совокупности позволяет проводить испытания основных элементов пневмоавтоматики, электроавтоматики, определять их характеристики и моделировать сложные технологические процессы с помощью персонального компьютера.

В лабораторных работах используются следующие элементы:

- аналого-цифровой модуль EasyPort;
- кабель ввода-вывода SysLink;
- блок аналоговых сигналов;
- блок дискретных сигналов;
- блок электрических реле (из комплекта TP201);
- датчики давления;
- датчики расхода;
- регулируемые дроссели с обратным клапаном;
- регулируемые дроссели;
- логические элементы «И», «ИЛИ» (из комплекта TP201);
- 5/2 пневмораспределитель с пружиной (из комплекта TP201);
- механические концевые выключатели (из комплекта TP201);
- пропорциональный регулятор давления.

Все элементы стенда размещены на универсальной монтажной плите, имеющей пазы, используемые для их закрепления (при необходимости). Элементы стенда соединяются между собой через быстроразъемные пластиковые соединения.

Основой интерфейсной части стенда является модуль аналого-цифрового ввода-вывода Festo EasyPort, работающий под управлением программного обеспечения (рис. 1.1). В процессе работы EasyPort реализует двунаправленную передачу сигналов управления с помощью низковольтной технологии. Подключение к персональному компьютеру данного модуля реализуется через последовательный интерфейс USB. EasyPort и физическая часть лабораторного

стенда связаны двумя шинами: 15-контактный разъем D-SUB, по которому передаются 4 аналоговых входных и 2 аналоговых выходных сигнала модуля EasyPort с разрешением 12 бит; 16-контактный разъем Centronics, передающий 8 дискретных входных и 8 дискретных выходных сигналов модуля EasyPort.

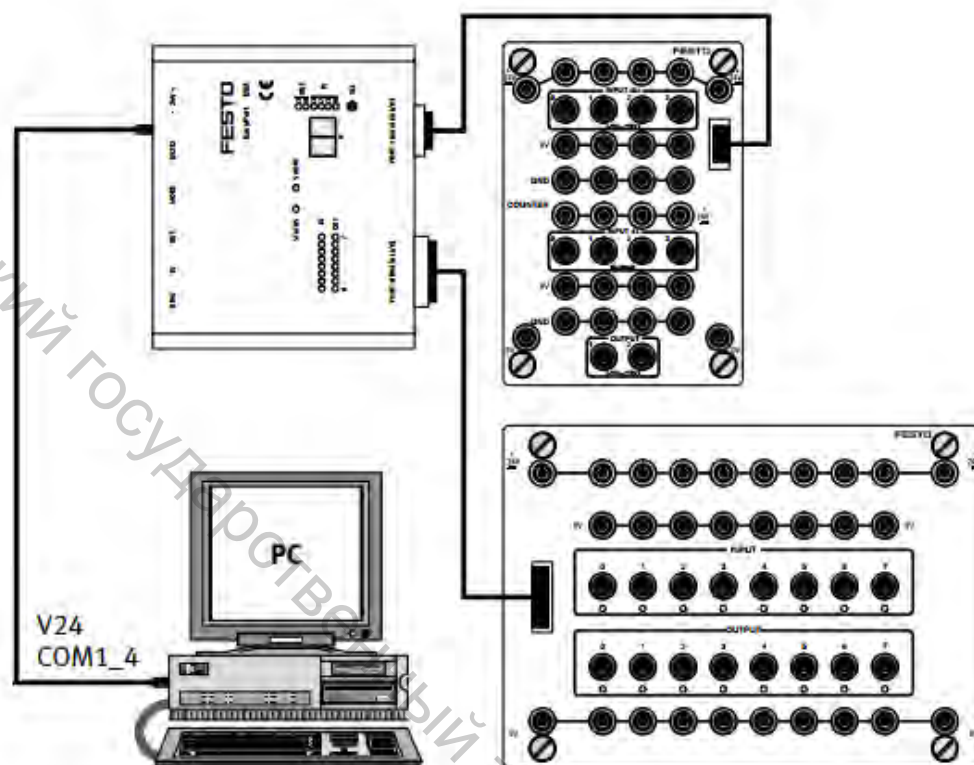


Рисунок 1.1 – Схема подключения модуля EasyPort

Программная часть стенда реализована в среде разработки лабораторных виртуальных приборов – FluidLab-P. FluidLab-P – это программное обеспечение для регистрации, визуализации и сохранения значений аналоговых измерений, проводимых в гидравлических и пневматических системах при использовании стандартных промышленных датчиков.

FluidLab-P позволяет легко и быстро настроить и адаптировать промышленные датчики к необходимым условиям измерения. Управление измеряемым процессом может осуществляться в самом программном обеспечении вручную, а также управление может быть реализовано в виде управляющей программы, запрограммированной в Fluid Lab-P. Возможна регистрация и обработка по 4 аналоговым входам, 2 аналоговым выходам, 4 дискретным входам и 4 дискретным выходам. Полученные результаты можно сохранять, сравнивать с результатами других измерений и экспортировать в программу табличной обработки данных.

Описание основных команд, выполняемых в программе FluidLab-P, представлено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Описание основных команд, выполняемых в программе FluidLab-P

Характеристика	Изображение	Характеристика	Изображение
Закрыть программу		Начать процесс измерения	
Основные эксперименты		Закончить процесс измерения	
Управление пневмоцилиндрами		Электрическая схема лабораторной работы	
Пропорциональный регулятор		Описание этапов выполнения лабораторной работы	
Настройки программы		Исходная информация	
Вызов справки		Сохранить графики	
Печать изображения		Сохранить данные	

### Порядок включения лабораторного стенда Festo

1. Включить компрессор поворотом тумблера, установленным в его верхней части, дождаться, пока на манометре компрессора будет показано давление, равное 6 бар.

2. На блоке подготовки воздуха с отсечным клапаном установить значение давления питания, равное 6 бар.

3. Подключить блок подготовки воздуха к коллектору.

4. Модуль Easy Port подключить через кабель ввода-вывода SysLink к блоку аналоговых сигналов и блоку дискретных сигналов.

5. Подключить блоки аналоговых сигналов и дискретных сигналов к блоку питания.

### 2 Основные теоретические сведения

Датчик давления – устройство, физические параметры которого изменяются в зависимости от давления измеряемой среды (жидкости, газа, пара).

В зависимости от вида опорного давления все датчики разделяются на следующие виды:

1. Датчики абсолютного давления предназначены для измерения величины абсолютного давления жидких и газообразных сред. Опорное давление – вакуум. Воздух из внутренней полости чувствительного элемента датчика откачан. Например, барометр – частный случай датчика абсолютного давления.

2. Датчики избыточного давления предназначены для измерения величины избыточного давления жидких и газообразных сред. Опорное давление – атмосферное; таким образом, одна сторона мембраны соединена с атмосферой.

3. Датчики дифференциального (разности, перепада) давления предназначены для измерения разности давления среды и используются для измерения расхода жидкостей, газа, пара, уровня жидкости. Давление подается на обе стороны мембраны, а выходной сигнал зависит от разности давлений.

4. Датчики гидростатического давления предназначены для преобразования гидростатического давления контролируемой среды в сигнал постоянного тока. Измеряют давление столба жидкости, зависящее только от его высоты и от плотности самой жидкости.

5. Датчики вакуумметрического давления (разряжения) предназначены для измерения величины вакуумметрического давления жидких и газообразных сред. Опорное давление в этих датчиках также атмосферное. Однако, в отличие от датчиков избыточного давления, измеряемое давление меньше атмосферного.

6. Датчики избыточного давления-разряжения представляют собой сочетание датчиков избыточного и вакуумметрического давлений, то есть измеряют как давление, так и разрежение.

Объектом исследования в данной работе является датчик избыточного давления SDE1-D10-G2-H18-C-P4-M8, конструкция и технические характеристики которого представлены на рисунке 1.2 и в таблице 1.2.

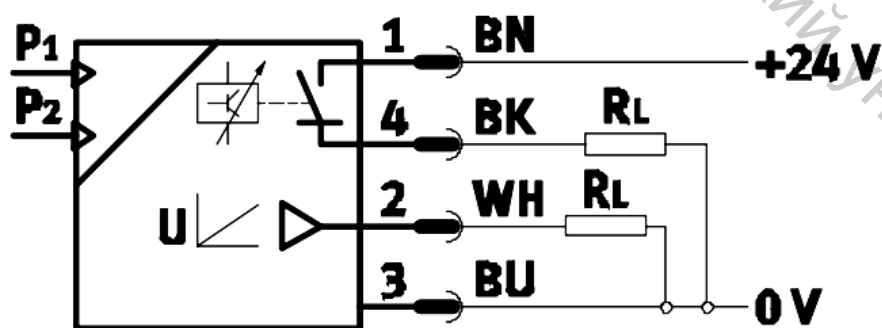


Рисунок 1.2 – Схема подключения датчика давления:

- 1 – питание 24 В; 2 – дискретный сигнал;
- 3 – аналоговый сигнал; 4 – питание 0 В

Таблица 1.2 – Технические характеристики датчика давления

Параметр	Значение
Напряжение	15 ... 30 В
Давление	-1 ... +10 бар
Диапазон температур	0 ... 50 °С
Выходной сигнал	0–10 В
Максимальный выходной ток	150 мА
Точность	± 2 % от измеряемого диапазона

Принцип работы датчика давления основан на пьезорезисторном методе. Электрическое сопротивление чувствительного элемента зависит от величины воздействующего на него давления. Функциональная схема датчика давления представлена на рисунке 1.3.

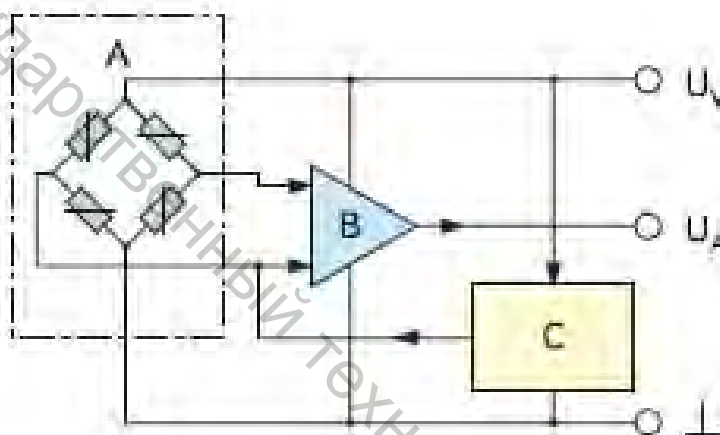


Рисунок 1.3 – Функциональная схема датчика давления:

A – мостовая измерительная схема; B – усилитель; C – схема температурной компенсации;  $U_V$  – напряжение питания;  $U_A$  – выходное напряжение

### 3 Компоненты измерительной системы

Лабораторная установка состоит из основных компонентов:

- пневматический датчик давления;
- аналого-цифровой модуль EasyPort;
- блок аналоговых сигналов;
- кабель ввода-вывода SysLink;
- блок подготовки воздуха;
- коллектор;
- блок питания;
- компрессор.



## 4 Порядок выполнения работы

1. Подготовить стенд к работе.

2. Подключить датчик давления к блоку аналоговых сигналов (рис. 1.4). Красный провод датчика давления подключается к питанию 24 В на блок аналоговых сигналов, а синий провод – к 0 В. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q3 пневматического датчика давления, подключается к INPUT U – Y0 на блоке аналоговых сигналов.

3. Соединить пневматическими шлангами пневматические элементы через коллектор (рис. 1.5).

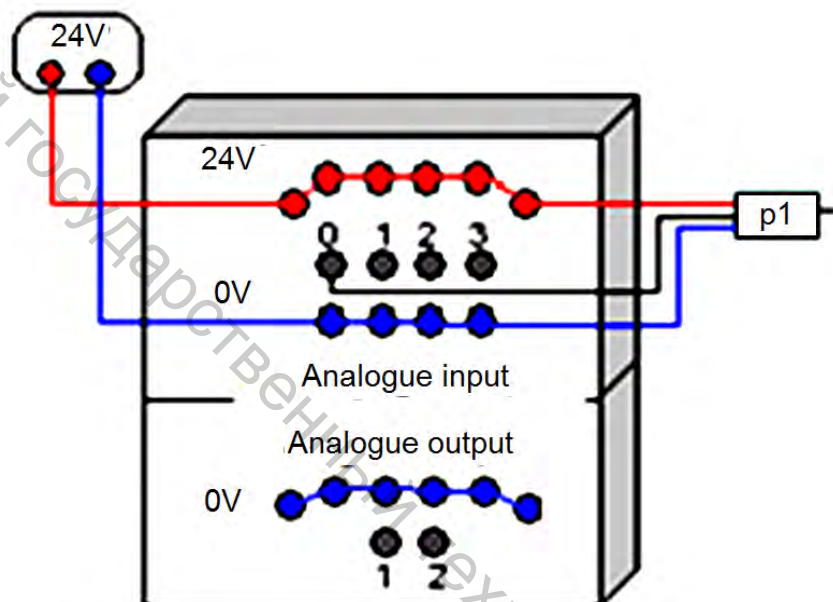


Рисунок 1.4 – Схема подключения датчика давления к стенду

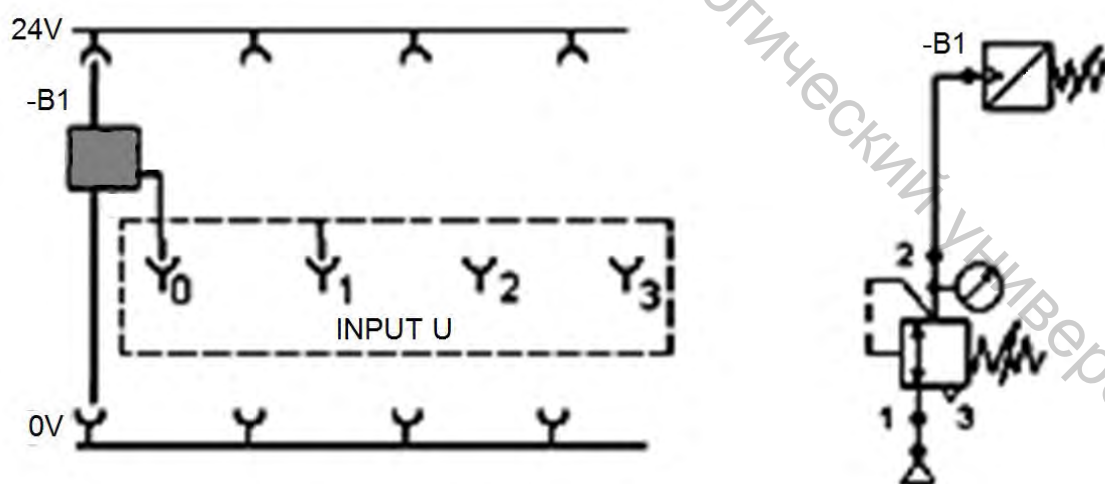


Рисунок 1.5 – Электрическая и пневматическая схема подключения установки

4. Нажать кнопку включения на источнике питания.

5. Запустить программу FluidLab-P. Открыть лабораторную работу [1.1] Pressure recording.

6. Начать процесс измерения давления нажатием на кнопку Start в программе FluidLab-P (рис. 1.6).

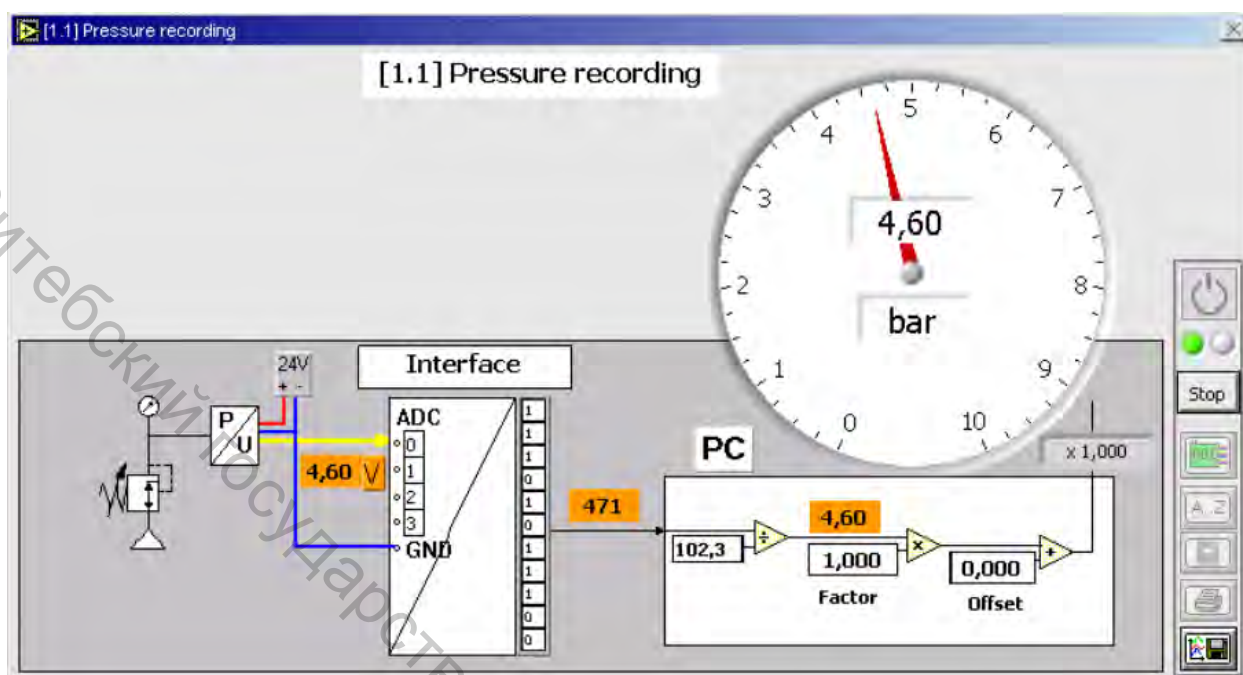


Рисунок 1.6 – Интерфейс лабораторной работы [1.1] Pressure recording

7. Используя регулятор давления блока подготовки воздуха, плавно увеличить по манометру давление в системе. Зарегистрировать напряжение на модуле EasyPort и сравнить его с показаниями на датчике давления.

8. Занесите полученные данные в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Результаты измерений

P, бар	Напряжение на модуле EasyPort, В	Давление на датчике, бар	Давление в программе FluidLab-P, бар
1			
2			
3			
4			
5			
6			

9. Сохранить изображение схемы измерения давления в формате .jpeg из программы FluidLab-P нажатием на кнопку сохранения.

10. Сравнить значения давления на датчике и в программе FluidLab-P, занесенные в таблицу 1.3.

11. Завершить измерение нажатием на кнопку Stop в программе FluidLab-P.

12. Закрывать клапан блока подготовки воздуха.

13. Выключить блок питания.
14. Разобрать исследованную систему.

## **5 Содержание отчета**

1. Название, цель работы.
2. Схема пневматическая и электрическая подключения лабораторной установки с описанием используемых элементов.
3. Таблица 1.3 с результатами измерений.
4. Изображение схемы измерения давления.
5. Выводы.

## **6 Контрольные вопросы**

1. Что такое абсолютное, относительное (избыточное) и дифференциальное давление?
2. Какова методика настройки рабочего и дифференциального давлений?
3. В чем заключается принцип работы блока аналоговых сигналов EasyPort?
4. В чем заключается принцип работы датчика давления?

# **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2**

## **ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ПНЕВМОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ**

Цель работы: изучить принцип работы пневмораспределителя и составить его передаточную функцию.

### **1 Основные теоретические сведения**

Пневмораспределители – это устройства, предназначенные для пуска, останова и изменения направления движения потока сжатого воздуха.

По конструкции распределительных устройств пневмораспределители бывают:

- 1) золотниковые;
- 2) клапанные;
- 3) крановые.

Широко применяются пневмораспределители золотникового типа, так как имеют следующие преимущества:

- небольшая масса распределителя;
- компактность;
- простота управления.

Недостатки золотниковых пневмораспределителей:

- невозможность работы при давлениях более 32 МПа;
- значительные утечки рабочего воздуха, возрастающие с увеличением срока эксплуатации распределителя;
- облитерация, то есть явление постепенного зарастивания узких щелей частицами пыли и масла, что приводит к постепенному увеличению усилия сдвига золотника.

В зависимости от числа подводов (линий, ходов) распределители могут быть двухканальные (двухлинейные); трехканальные (трехлинейные), четырех- и многоканальные. В соответствии с этим в обозначениях пневмораспределителей первая цифра говорит о числе подводов. Например, из обозначения пневмораспределителя «4/2» можно понять, что он имеет 4 подвода, то есть он четырехканальный (четырёхлинейный).

Вторая цифра в обозначении говорит о числе позиций. То же обозначение распределителя «4/2» говорит, что у него две позиции.

Примеры обозначения распределителей приведены на рисунке 2.1.

Объектом исследования в данной работе является 5/2-распределитель (имеет 5 каналов подвода/отвода воздуха и 2 позиции переключения) с электроуправлением типа VUVG-L10-M52-RT-M5-IP3, в котором входной управляющий электрический сигнал преобразуется в выходной пневматический.

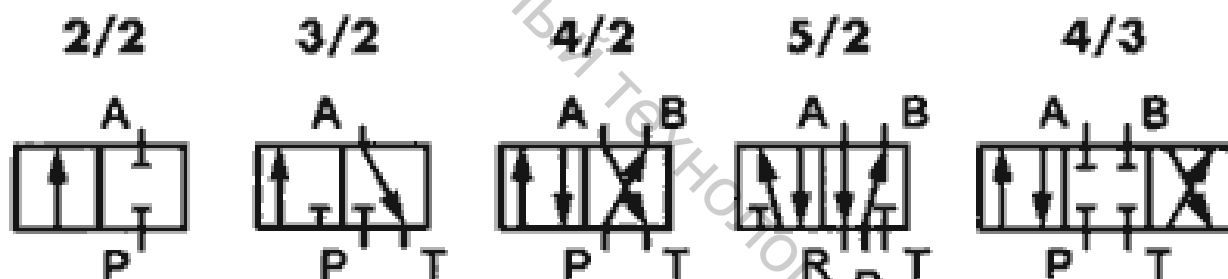


Рисунок 2.1 – Примеры обозначения типов распределителей

Схема пневмораспределителя представлена на рисунке 2.2.

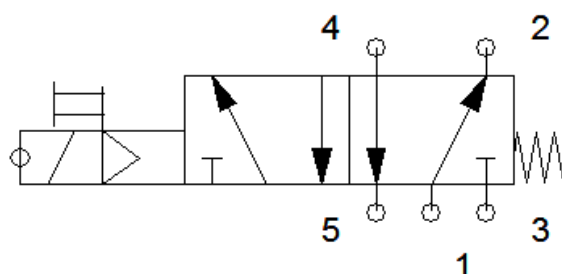


Рисунок 2.2 – Схема 5/2 пневмораспределителя с пружиной

Принцип работы пневмораспределителя показан на рисунках 2.3 и 2.4.

В исходной позиции (рис. 2.3) напряжение на катушку не подано. В этой позиции входной порт 1 соединён с выходным портом 2, а выходной порт 4

соединен с атмосферой через порт 5. При этом соединение с атмосферой 3 не задействовано.

Когда напряжение подается на катушку, соленоид втягивается, распределитель переключается в конечную позицию (рис. 2.4). В этой позиции входной порт 1 соединён с выходным портом 4, а выходной порт 2 соединен с атмосферой через порт 3. При этом соединение с атмосферой 5 не задействовано.

Переход в исходную позицию осуществляется при снятии напряжения с катушки индуктивности благодаря пружинному возврату.

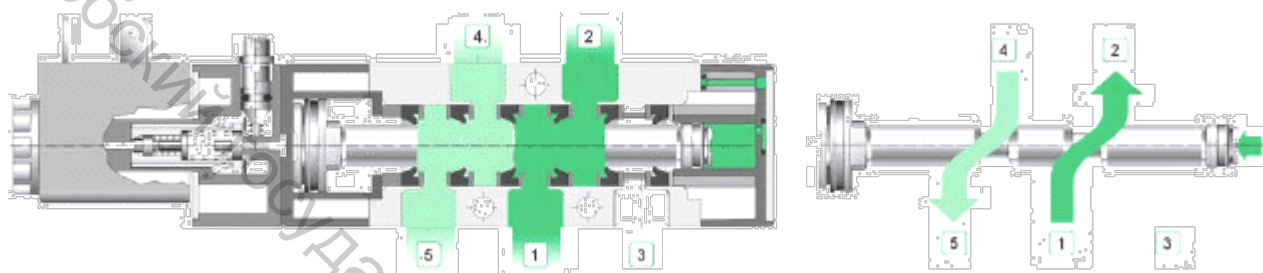


Рисунок 2.3 – Исходная позиция пневмораспределителя:

1 – входной порт для подачи управляемого потока воздуха; 2 – выходной порт для подачи воздуха в пневмосистему либо в атмосферу; 3 – соединение с атмосферой для сброса давления через соединение 2; 4 – выходной порт для подачи воздуха пневмосистему либо в атмосферу; 5 – соединение с атмосферой для сброса давления через соединение 2

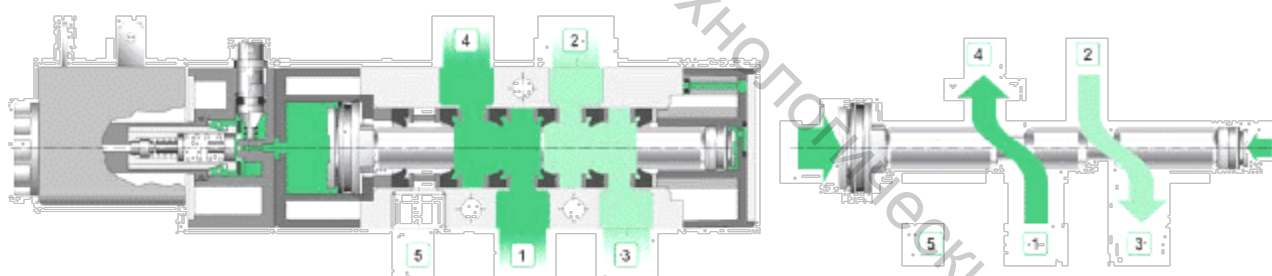


Рисунок 2.4 – Конечная позиция пневмораспределителя

Технические характеристики пневмораспределителя представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики пневмораспределителя

Параметр	Значение
Номинальный расход	340 ... 380 л/мин
Рабочее давление	1,5 ... 8 бар
Время переключения	7 мс
Напряжение питания	22 ... 26 В
Потребляемая мощность	1 Вт

## 2 Компоненты измерительной системы

Лабораторная установка состоит из основных компонентов:

- пневматический датчик давления SDE1;
- 5/2 пневмораспределитель с пружиной;
- аналого-цифровой модуль EasyPort;
- блок аналоговых сигналов;
- блок дискретных сигналов;
- блок реле;
- кабель ввода-вывода SysLink;
- блок подготовки воздуха;
- коллектор;
- блок питания;
- компрессор.

## 3 Порядок выполнения работы

1. Подготовить стенд к работе.

2. Подключить датчик давления к блоку аналоговых сигналов (рис. 2.5).

Красный провод датчика давления подключается к питанию 24 В на блок аналоговых сигналов, а синий провод – к 0 В. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q3 пневматического датчика давления, подключается к INPUT U – Y0 на блоке аналоговых сигналов.

3. Подключить один контакт реле, расположенного на блоке реле, к дискретному выходу OUTPUT 1, на блоке дискретных сигналов. Второй контакт реле подключить к 0 В.

4. Соединить последовательно первый контакт пневмораспределителя и нормально разомкнутый контакт реле к питанию 24 В. Второй контакт пневмораспределителя подключить к 0 В.

5. Соединить пневматическими шлангами пневматические элементы через коллектор (рис. 2.6).

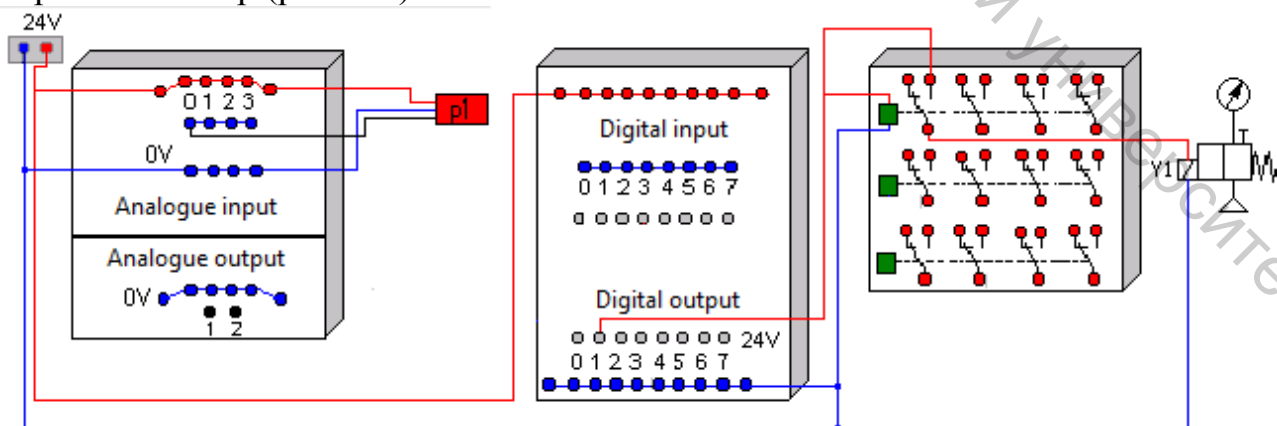


Рисунок 2.5 – Схема подключения электрических элементов к стенду



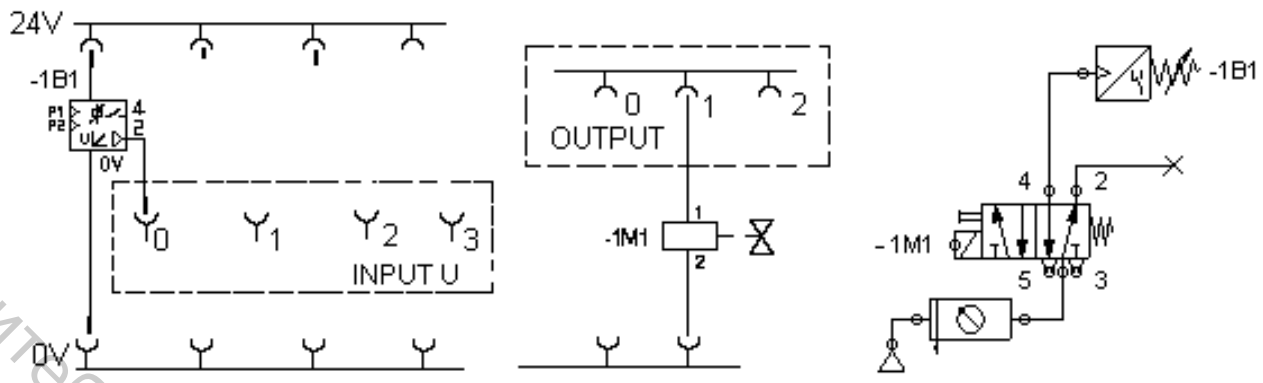


Рисунок 2.6 – Электрическая и пневматическая схемы подключения установки

6. Нажать кнопку включения на источнике питания.

7. Запустить программу FluidLab-P. Открыть лабораторную работу [1.6] Valve Response Times.

8. Для первого испытания по манометру блока подготовки воздуха установить значение давления питания  $P = 6$  бар.

9. Начать процесс измерения давления нажатием на кнопку Start в программе FluidLab-P (рис. 2.7).

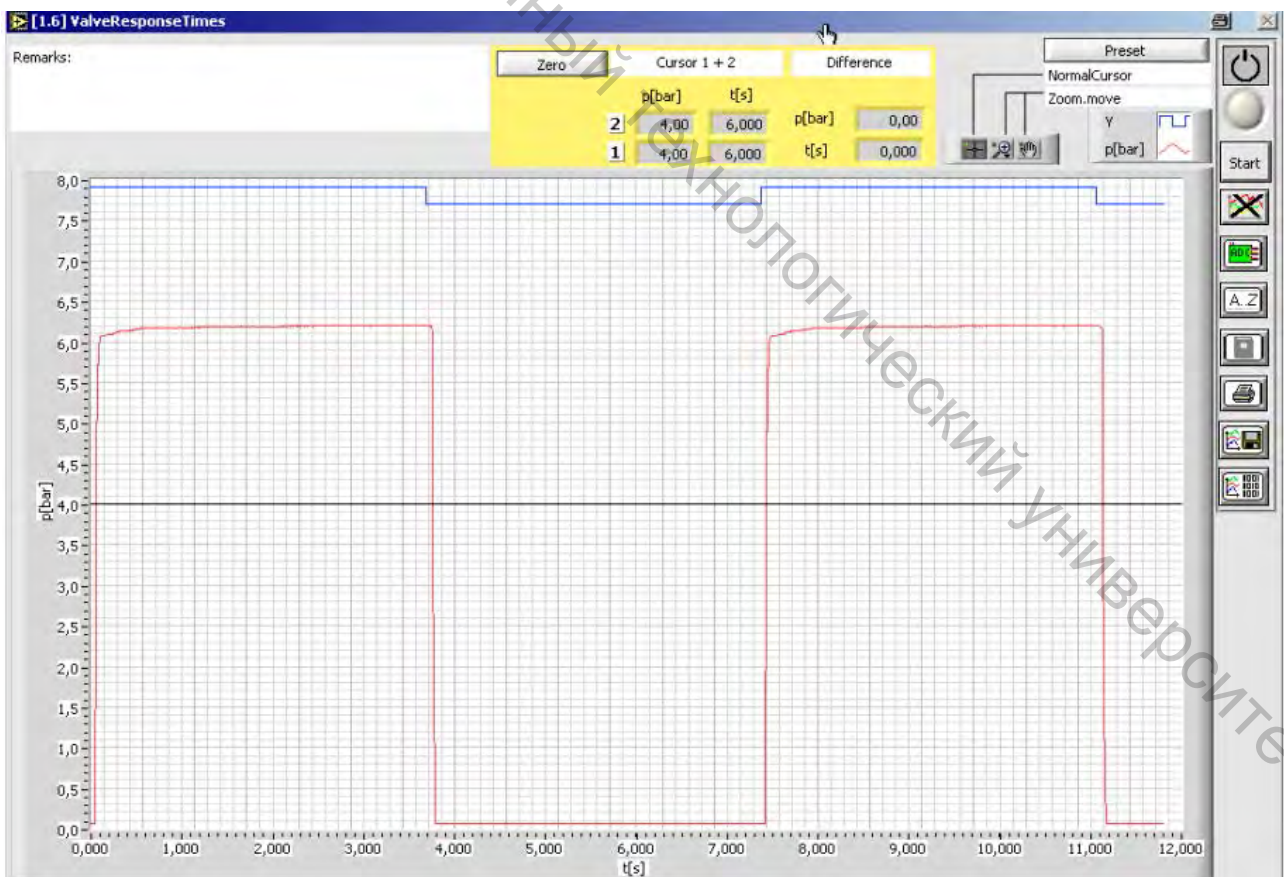


Рисунок 2.7 – Интерфейс лабораторной работы [1.6] Valve Response Times

10. Выполнить построение характеристик в программе FluidLab-P для заданного давления на блоке питания.

11. Сохранить изображение измеренного значения давления в формате .jpeg из программы FluidLab-P нажатием на кнопку сохранения.

12. Сохранить файл в формате .txt измеренных значений давления в программе FluidLab-P нажатием на кнопку сохранения.

13. Проанализируйте графические характеристики зависимости давления  $P = f(t)$  и построение электрического сигнала  $Y = f(t)$ .

14. Вычислить, используя сохраненные в формате .txt файлы данные, время запаздывания и срабатывания пневмораспределителя.

15. Повторите пункты 10–14 для разных значений на блоке подготовки воздуха  $P = 5$  бар,  $P = 4$  бар.

16. Завершить измерение нажатием на кнопку Stop в программе FluidLab-P.

17. Закрывать клапан блока подготовки воздуха.

18. Выключить блок питания.

19. Разобрать исследованную систему.

#### **4 Содержание индивидуального отчета**

1. Название, цель работы.

2. Схема пневматическая и электрическая подключения лабораторной установки с описанием используемых элементов.

3. График зависимости  $P = f(t)$ .

4. Результаты расчета времени запаздывания и срабатывания пневмораспределителя.

5. Выводы.

#### **5 Контрольные вопросы**

1. В чем заключается принцип работы пневмораспределителя?

2. С какой целью используется пневмораспределитель?

3. Какие виды распределителей существуют?

4. Как объяснить наличие времени запаздывания и срабатывания у пневмораспределителя?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

### ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ РЕДУКЦИОННОГО КЛАПАНА

Цель работы: изучить принцип работы редукционного клапана, построить его рабочие характеристики.

#### 1 Основные теоретические сведения

Редукционный клапан – это автоматически действующий пневматический дроссель, предназначенный для требуемого рабочего давления на выходе и автоматического поддержания этого давления в процессе работы. Сопротивление редукционного клапана в каждый момент пропорционально разности между переменным давлением на входе и постоянным (редуцированным) давлением на выходе.

В пневмоприводах применение редукционных клапанов является обязательным, поскольку вследствие сжимаемости воздуха пневмосистемы склонны к значительным колебаниям давления.

На рисунке 3.1 изображен наиболее распространенный редукционный клапан типа БВ 57-1. Сжатый воздух из сети поступает в канал 2. Пружина 4 через толкатель 7 открывает клапан 1, и в канале 8 создается выходное давление. Одновременно выходное давление поступает под мембрану 6 и развивает на ней усилие, направленное против усилия пружины 4.

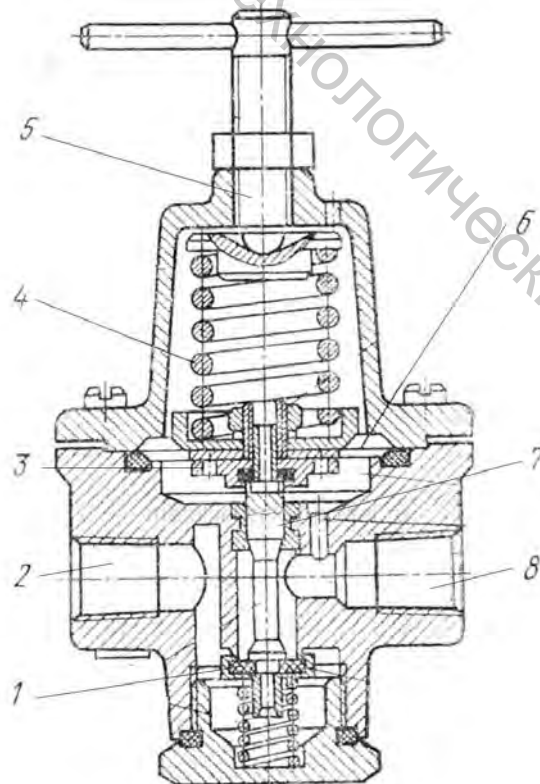


Рисунок 3.1 – Конструкция редукционного клапана

При достижении в канале 8 заданного рабочего давления оно уравнивает усилие пружины, и клапан 1 закрывается. При падении давления в канале 8 клапан 1 снова открывается и на выходе редукционного клапана поддерживается относительно постоянное давление.

Установка требуемого давления производится с помощью регулировочного винта 5, изменяющего затяг пружины 4. При увеличении усилия пружины давление на выходе будет возрастать, при уменьшении – падать. В конструкции редукционного клапана предусмотрен дополнительный клапан 3 для сброса выходного давления в атмосферу. При уменьшении усилия пружины 4 происходит подъем мембраны 6 и открытие клапана 3, которое продолжается до тех пор, пока выходное давление не снизится до заданной величины. Рассмотренный редукционный клапан позволяет обеспечить избыточное рабочее давление в диапазоне от 0,5 до 6,3 бар.

В данной лабораторной работе в качестве объекта исследования используется редукционный клапан, входящий в состав фильтра-регулятора TP-PVW-LFR-MICRO, характеристики которого представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики фильтра-регулятора TP-PVW-LFR-MICRO

Параметр	Значение
Расход, л/мин	850 ... 7200
Диапазон температур, °С	-10 ... +60
Давление на входе, бар	1 ... 16
Степень фильтрации, $\mu\text{m}$	5
Диапазон регулирования, бар	0.5 ... 7
Максимальный объем конденсата, $\text{cm}^3$	3

## 2 Компоненты измерительной системы

Лабораторная установка состоит из основных компонентов:

- два пневматических датчика давления SDE1;
- регулируемый дроссель;
- редукционный клапан;
- аналого-цифровой модуль EasyPort;
- блок аналоговых сигналов;
- кабель ввода-вывода SysLink;
- блок подготовки воздуха;
- коллектор;
- блок питания;
- компрессор.

### 3 Порядок выполнения работы

1. Подготовить стенд к работе.

2. Красные провода пневматических датчиков давления подключить к питанию 24 В на блок аналоговый сигналов, а синие провода – к 0 В. Красные провода, обозначающие аналоговые выходы Q2 у пневматических датчиков давления, подключить на блок аналоговых сигналов к входам INPUT U – Y0 и INPUT U – Y1 (рис. 3.2).

3. Пневматическими шлангами соединить пневматические элементы через коллектор в соответствии с рисунком 3.3.

4. Один выход регулируемого дросселя подключить через цанговый штуцер при помощи пневматических шлангов к датчику давления и к редукционному клапану. Второй выход дросселя с обратным клапаном соединен с атмосферой. Редукционный клапан соединить через второй цанговый штуцер с коллектором и первым цанговым штуцером.

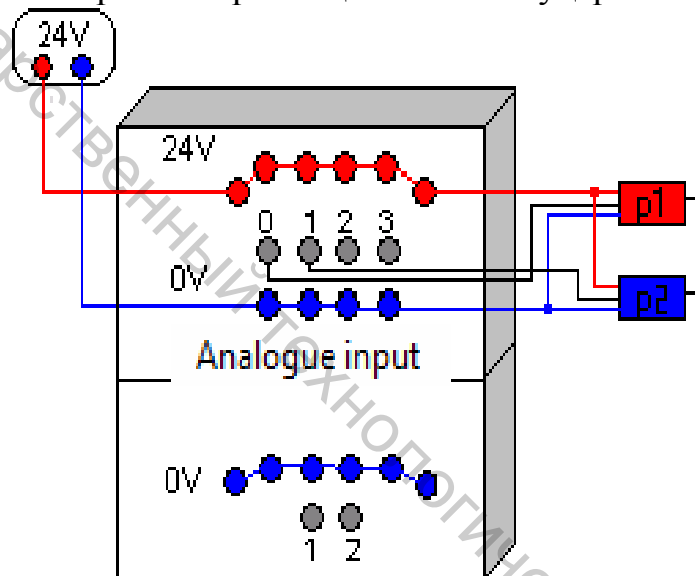


Рисунок 3.2 – Схема подключения электрических элементов к стенду

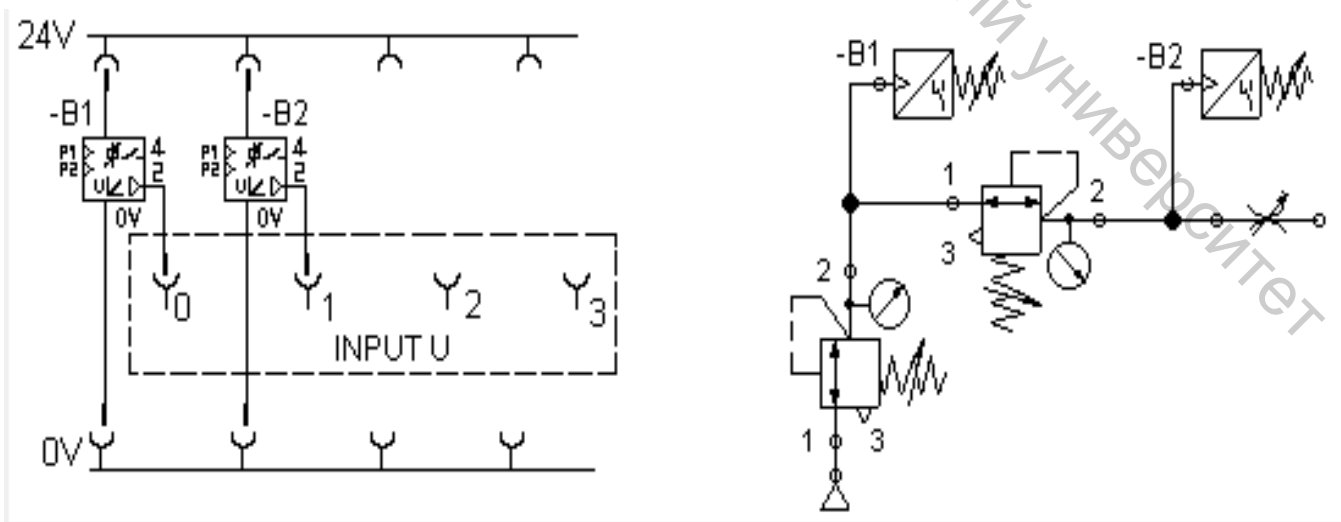


Рисунок 3.3 – Электрическая и пневматическая схемы подключения установки

5. Нажать кнопку включения на источнике питания.
6. Запустить программу FluidLab-P. Открыть лабораторную работу [1.4] Pressure regulator.
7. Процесс измерения давления начать нажатием на кнопку Start в программе FluidLab-P (рис. 3.4).

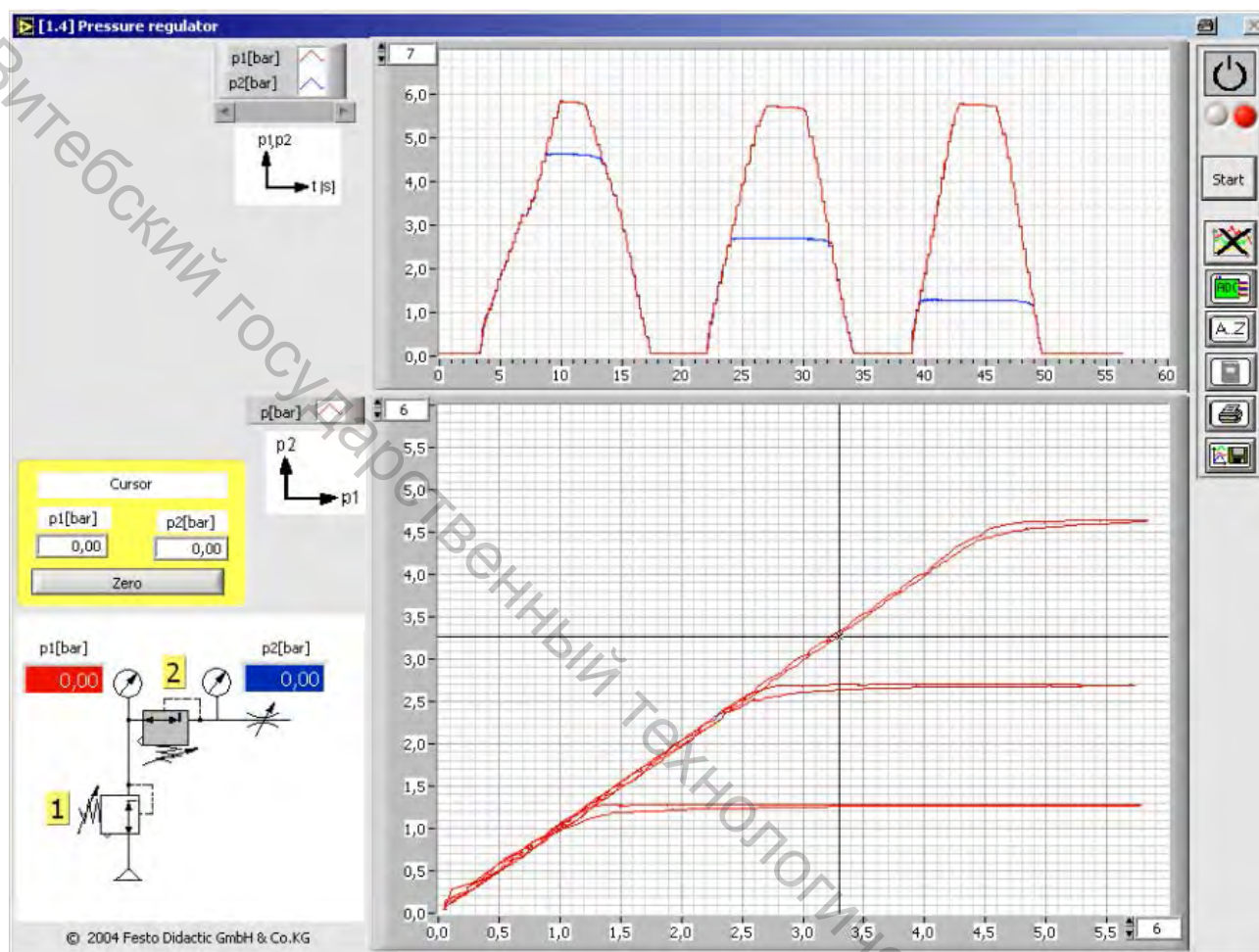


Рисунок 3.4 – Интерфейс лабораторной работы [1.4] Pressure regulator

#### Задание 1

8. Для первого испытания по манометру блока подготовки воздуха установить значение давления питания  $P = 3$  бар.

9. Регулировочный винт дросселя закрутить почти до упора так, чтобы поток воздуха достиг минимума.

10. По манометру регулятора давления постепенно увеличить давление от 0 бар до 6 бар и затем снова снизить.

11. Сохранить изображение измеренного значения функций  $P_1 = f(t)$ ,  $P_2 = f(t)$ ,  $P_1(P_2) = f(t)$ ,  $P_2 = f(P_1)$  в формате .jpeg из программы FluidLab-P, нажав на кнопку сохранения.

12. Повторить пункты 8–11 для разных значений на блоке подготовки воздуха  $P = 4$  бар,  $P = 5$  бар,  $P = 6$  бар.

## Задание 2

13. По манометру блока подготовки воздуха установить значение давления питания  $P = 3$  бар.

14. Регулировочный винт дросселя с обратным клапаном медленно открыть, а затем закрыть.

15. Сохранить изображение измеренного значения функций  $P_1 = f(t)$ ,  $P_2 = f(t)$ ,  $P_1(P_2) = f(t)$ ,  $P_2 = f(P_1)$  в формате .jpeg из программы FluidLab-P, нажав на кнопку сохранения.

16. Повторить пункты 13–15 для разных значений на блоке подготовки воздуха  $P = 4$  бар,  $P = 5$  бар,  $P = 6$  бар.

17. Проанализировать кривые давления и объяснить поведение работы редукционного клапана.

18. Завершить измерения нажатием на кнопку Stop в программе FluidLab-P.

19. Закрыть клапан блока подготовки воздуха.

20. Выключить блок питания.

21. Разобрать исследованную систему.

## Содержание отчета

1. Название, цель работы.

2. Схема пневматическая и электрическая подключения лабораторной установки с описанием используемых элементов.

3. Графики зависимостей  $P_1 = f(t)$ ,  $P_2 = f(t)$ ,  $P_1(P_2) = f(t)$ ,  $P_2 = f(P_1)$ .

4. Выводы.

## 5 Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип работы редукционного клапана?

2. Каким образом настроить требуемое давление с помощью редукционного клапана, входящего в состав фильтра-регулятора?

3. Как зависит давление на выходе редукционного клапана от расхода воздуха, проходящего через регулируемый дроссель?

4. На какие измеряемые параметры оказывает влияние дроссель в данной лабораторной установке?

5. Какие технические характеристики редукционного клапана являются основными?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКА РАСХОДА И ПОСТРОЕНИЕ ЕГО ДРОССЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы: изучить принцип действия датчика расхода и построить его рабочие характеристики.

#### 1 Основные теоретические сведения

Расход – это количество вещества, протекающего через сечение в единицу времени. Приборы, которые измеряют расход вещества, называются расходомеры.

Существующие расходомеры по принципу работы можно разделить на три группы (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Классификация расходомеров

Гидродинамические методы	Физические методы	Особые методы
1) переменного перепада давления; 2) переменного уровня; 3) обтекания; 4) вихревые; 5) парциальные	1) тепловые; 2) электромагнитные; 3) акустические; 4) оптические; 5) ядерно-магнитные; 6) ионизационные	1) меточные; 2) корреляционные; 3) концентрационные

Наибольшее применение в промышленности получили расходомеры, основанные на измерении переменного перепада давления. Расходомеры переменного перепада давления основаны на зависимости от расхода перепада давления, создаваемого устройством, которое установлено в трубопроводе.

В состав расходомера входят (рисунок 4.1): преобразователь расхода, создающий перепад давления; дифференциальный манометр, измеряющий этот перепад, и соединительные (импульсные) трубки между преобразователем и дифманометром. При необходимости передать показания расходомера на значительное расстояние к указанным трём элементам добавляется вторичный преобразователь, преобразующий перемещение подвижного элемента дифманометра в электрический сигнал, который по линии связи передаётся к вторичному измерительному прибору. Если первичный дифманометр (или вторичный измерительный прибор) имеет интегратор, то такой прибор измеряет не только расход, но и количество прошедшего вещества.

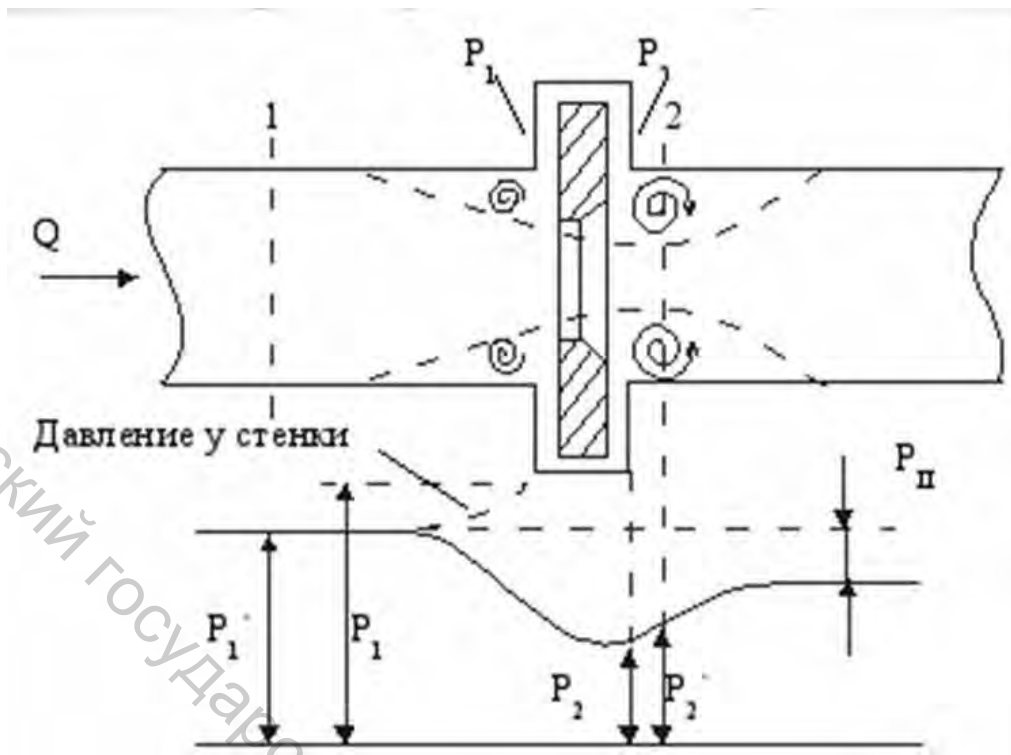


Рисунок 4.1 – Конструкция расходомера переменного перепада давления:  
 1 – преобразователь расхода, создающий перепад давления;  
 2 – дифференциальный манометр

Разность между давлениями потока до и после сужающего потока называют перепадом давления. Перепад давления является мерой расхода воздуха, протекающего через трубопровод. Чем больше перепад давления, тем больше скорость воздуха.

Зависимость между перепадом давления и расходом газа выражается следующей формулой:

$$V = k \sqrt{\Delta p}, \quad (4.1)$$

где  $V$  – расход газа,  $\Delta p$  – перепад давления,  $k$  – коэффициент, учитывающий конструкцию диафрагмы.

Значение коэффициента  $k$  зависит от соотношения диаметров отверстия диафрагмы и трубопровода, плотности воздуха.

В данной лабораторной работе в качестве объекта исследования используется датчик расхода TP-BG-SFE 3, характеристики которого представлены в таблице 4.2.

Схема подключения датчика расхода показана на рисунке 4.2.

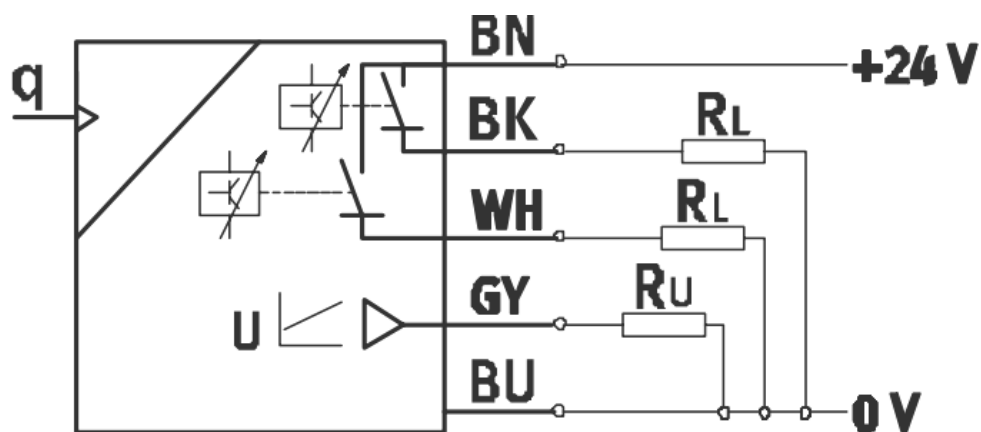


Рисунок 4.2 – Схема подключения датчика расхода:  
 BN – питание 24 В; BK, WH – дискретные сигналы;  
 GY – аналоговый сигнал; BU – питание 0 В

Таблица 4.2 – Технические характеристики датчика расхода

Параметр	Значение
Напряжение	12 ... 24 В
Диапазон измеряемого расхода	0,05 ... 50 л/мин
Диапазон температур	0 ... 50 °С
Аналоговый выход	1 ... 5 В
Рабочее давление	-0,7 ... +7 бар
Выходной сигнал	0–10 В
Точность	8 % от измеряемого диапазона

## 2 Компоненты измерительной системы

Лабораторная установка состоит из основных компонентов:

- два пневматических датчика давления;
- регулируемый дроссель с обратным клапаном;
- аналого-цифровой модуль EasyPort;
- блок аналоговых сигналов;
- кабель ввода-вывода SysLink;
- блок подготовки воздуха;
- коллектор;
- блок питания;
- компрессор.



### 3 Порядок выполнения работы

1. Подготовить стенд к работе.

2. Подключить датчики к блоку аналоговых сигналов (рис. 4.3). Красные провода датчиков подключаются к питанию 24 В на блок аналоговых сигналов, а синие провода – к 0 В. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q3 первого датчика давления 1В1, подключить на вход INPUT U – Y0 блока аналоговых сигналов. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q3 второго датчика давления 1В2, подключить на вход INPUT U – Y1 блока аналоговых сигналов. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q2 датчика расхода 1В3, подключить на вход INPUT U – Y3 блока аналоговых сигналов.

3. Соединить пневматические элементы через коллектор с помощью пневматических шлангов (рис. 4.4).

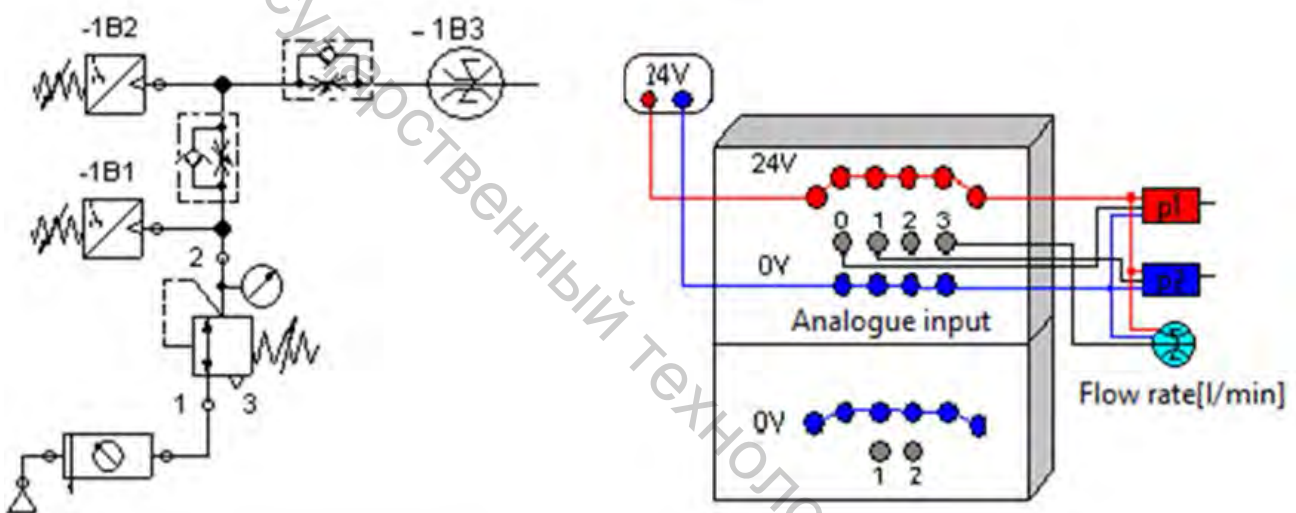


Рисунок 4.3 – Схема подключения датчиков в лабораторной установке

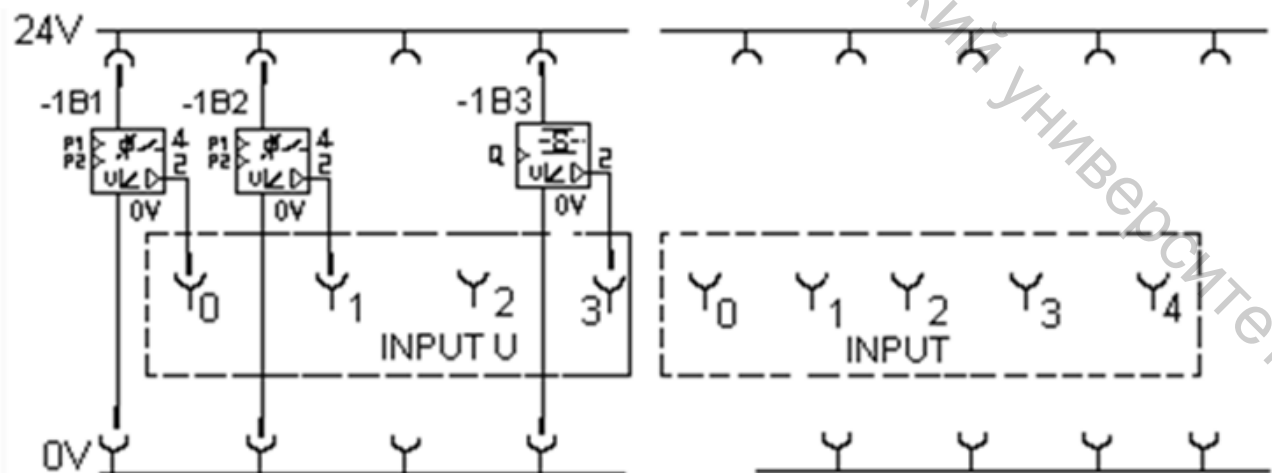


Рисунок 4.4 – Схема подключения электрических элементов к стенду

4. Для первого испытания по манометру блока подготовки воздуха установить значение давления питания  $P = 6$  бар.

5. Регулировочный винт дросселя закрутить почти до упора так, чтобы поток воздуха достиг минимума.

6. Нажать кнопку включения на источнике питания.

7. Запустить программу FluidLab-P. Открыть лабораторную работу [1.3] Throttle curve.

8. Начать процесс измерения давления нажатием на кнопку Start в программе FluidLab-P (рис. 4.5).

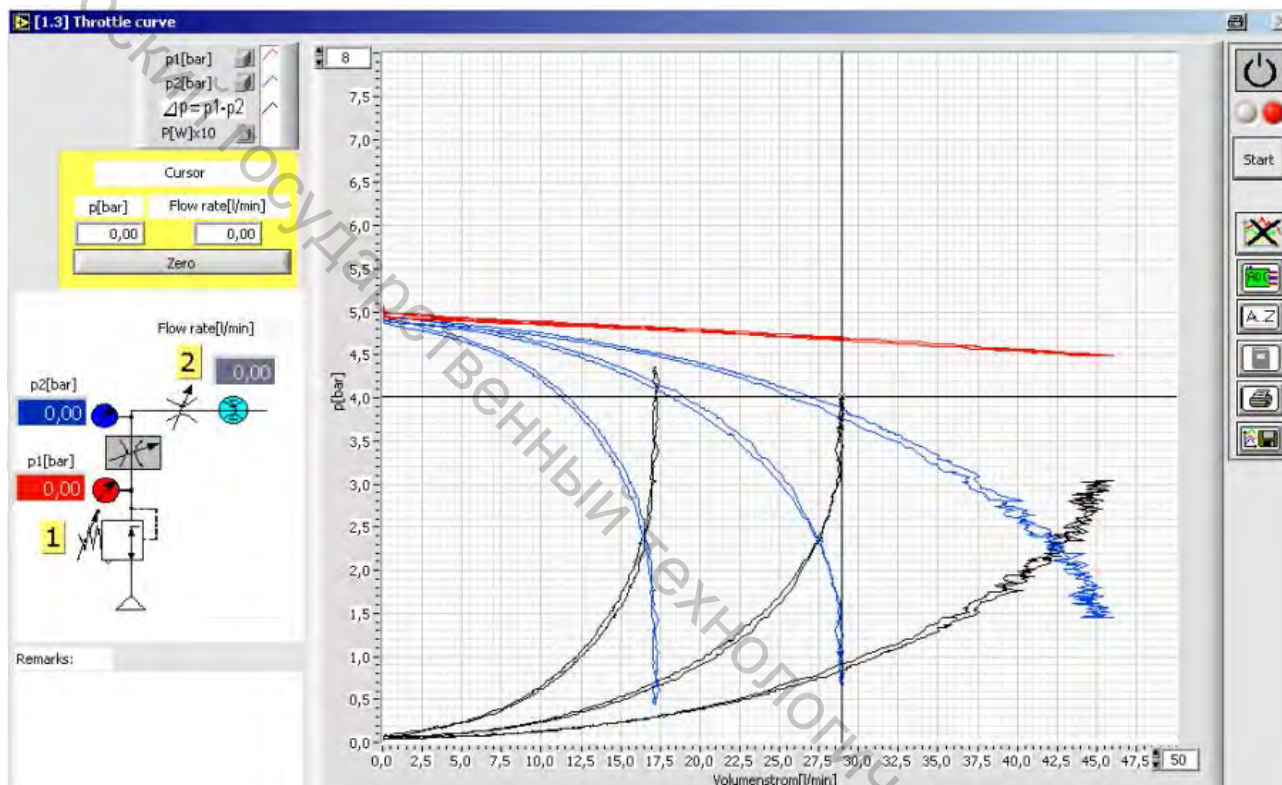


Рисунок 4.5 – Интерфейс лабораторной работы [1.3] Throttle curve

9. Регулировочный винт дросселя с обратным клапаном плавно открыть (обратное давление уменьшается). Когда регулировочный винт дросселя будет откручен до упора, снова закрыть дроссель, плавно крутя регулировочный винт в обратную сторону. Следить за построением графической характеристики в программе FluidLab-P зависимости показаний давления по каждому датчику давления с дисплеем от показаний датчика расхода.

10. Сохранить изображение измеренного значения давления в формате .jpeg из программы FluidLab-P можно, нажав на кнопку сохранения.

11. Повторить пункты 9–10 измерений, установив давление блока подготовки воздуха на уровне 5 бар, 4 бар, 3 бар.

12. Проанализировать графические характеристики показаний давления по каждому датчику в отдельности – кривые  $P_1$  и  $P_2$ . Обратить внимание на их разницу – кривая  $\Delta P$ .

13. Проанализировать график датчика расхода от мощности, потребляемой дросселем (ограничителем) – кривая  $P(W) \times 10$ . Для определения значений давления и расхода в определенной точке использовать курсор. Координаты курсора указываются в желтом поле слева. Курсор возвращается в исходное положение при нажатии на кнопку Zero.

14. Завершить измерения нажатием на кнопку Stop в программе FluidLab-P.

15. Закрывать клапан блока подготовки воздуха.

16. Выключить блок питания.

17. Разобрать исследованную систему.

#### 4 Содержание отчета

1. Название, цель работы.

2. Схема пневматическая и электрическая подключения лабораторной установки с описанием используемых элементов.

3. Графики зависимостей в отдельности для установленных давлений 3–6 бар  $P_1 = f(Q)$ ,  $P_2 = f(Q)$ ,  $\Delta P = f(Q)$ ,  $P(W) \times 10 = f(Q)$ .

4. Выводы.

#### 5 Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип работы датчика расхода?

2. Как влияет изменение давления на показания расхода?

3. На какие измеряемые параметры оказывает влияние дроссель в данной лабораторной установке?

4. Какие преимущества обеспечиваются с применением датчика расхода?

5. Какие технические характеристики датчика расхода являются основными?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ «И», «ИЛИ»

Цель работы: изучить принцип работы логических элементов «И», «ИЛИ». Построить таблицы истинности по экспериментальным показаниям давления.

#### 1 Основные теоретические сведения

Таблица истинности – это таблица, описывающая логическую функцию. Под «логической функцией» в данном случае понимается функция, у которой значения переменных (параметров функции) и значение самой функции выражают логическую истинность. Например, в двужначной логике они могут принимать значения «истина» либо «ложь» (true либо false, 1 либо 0).

Таблицы истинности широко применяются в цифровой технике для описания работы логических схем.

В данной лабораторной работе в качестве объектов исследования использовались логические элементы «И» ZK-1/8 В, «ИЛИ» OS-1/8 В.

Таблица истинности логического элемента «И» (конъюнктора) представлена в таблице 5.1: единица на выходе элемента «И» возникает только тогда, когда на оба входа поданы единицы. Это объясняет название элемента: единицы должны быть и на одном, и на другом входе. На выходе элемента «И» будет ноль в том случае, если хотя бы на один из его входов подан ноль.

Схема логического элемента «И» представлена на рисунке 5.1.

Таблица 5.1 – Таблица истинности логического элемента «И»

P1	P2	P <sub>ВЫХ</sub>
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

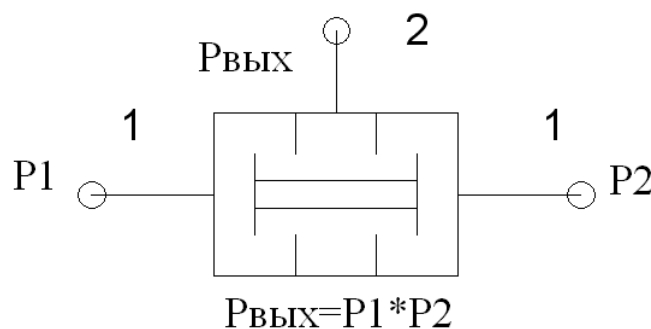


Рисунок 5.1 – Схема логического элемента «И»

Таблица истинности логического элемента «ИЛИ» (дизъюнктора) представлена в таблице 5.2: на выходе возникает единица, когда на один или на оба сразу входа подана единица. Ноль на выходе бывает только в том случае, если и на один и на второй вход поданы нули.

Схема логического элемента «ИЛИ» представлена на рисунке 5.2.

Таблица 5.2 – Таблица истинности логического элемента «ИЛИ»

P1	P2	P <sub>ВЫХ</sub>
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

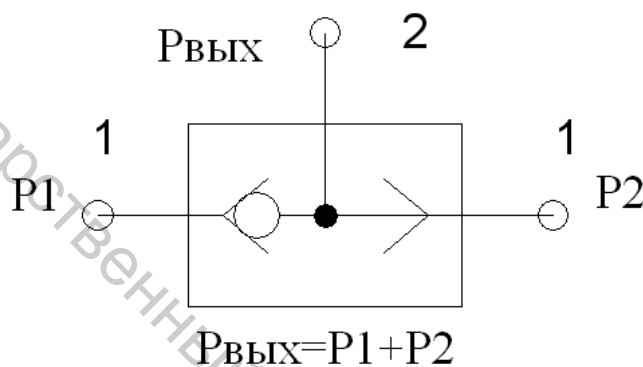


Рисунок 5.2 – Схема логического элемента «ИЛИ»

## 2 Компоненты измерительной системы

Лабораторная установка состоит из основных компонентов:

- три пневматических датчика давления;
- аналого-цифровой модуль EasyPort;
- логические элементы «И», «ИЛИ»;
- блок аналоговых сигналов;
- кабель ввода-вывода SysLink;
- блок подготовки воздуха;
- коллектор;
- блок питания;
- компрессор.

## 3 Порядок выполнения работы

1. Подготовить стенд к работе.
2. Подключить датчики к блоку аналоговых сигналов (рис. 5.3). Красные провода датчиков подключаются к питанию 24 В на блок аналоговых сигналов, а синие провода – к 0 В. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q2

первого датчика давления 1В1, подключить на вход INPUT U – Y0 блока аналоговых сигналов. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q2 второго датчика давления 1В2, подключить на вход INPUT U – Y1 блока аналоговых сигналов. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q2 третьего датчика давления 1В3, подключить на вход INPUT U – Y2 блока аналоговых сигналов.

3. Логические элементы «И», «ИЛИ» подключаются по схеме на рисунке 5.4 к датчикам давления. Один из выходов идет на распределитель, второй – на пневматический датчик, а третий соединяется через цанговый штуцер с остальными пневматическими элементами.

4. Пневматические элементы соединяются через коллектор при помощи пневматических шлангов.

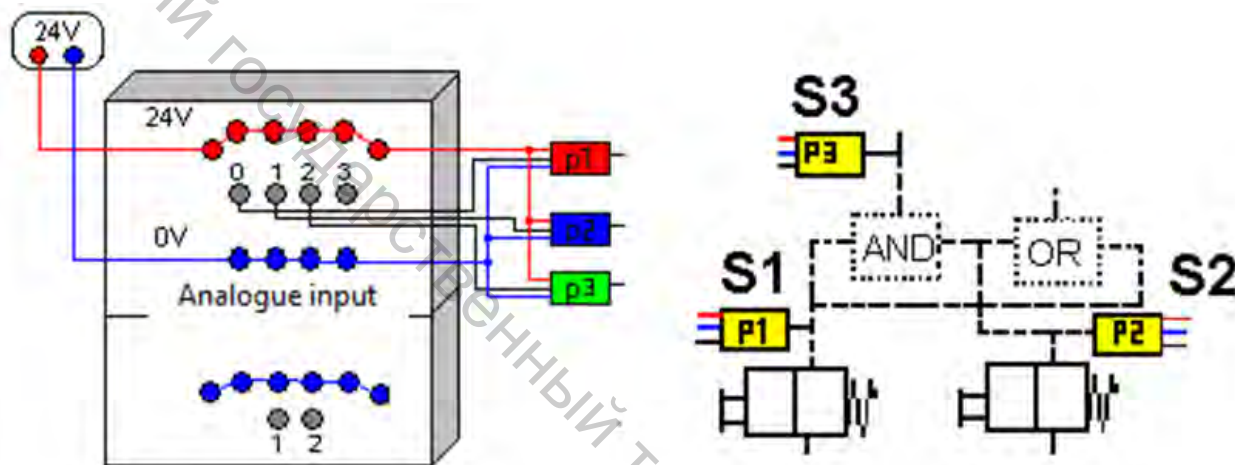


Рисунок 5.3 – Схема подключения датчиков в лабораторной установке

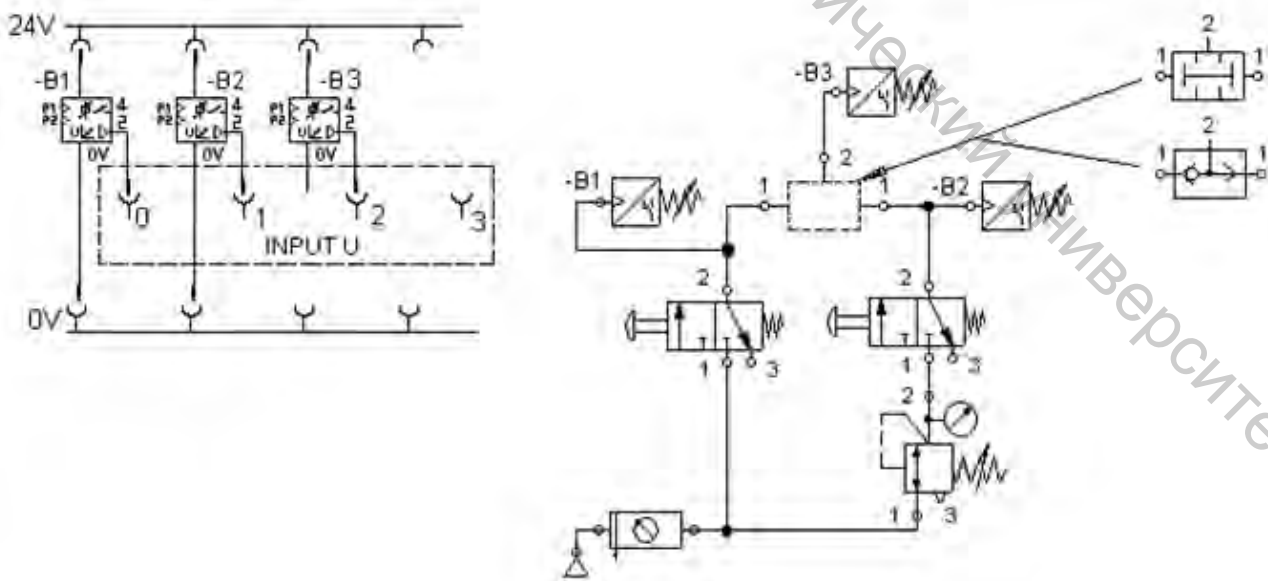


Рисунок 5.4 – Электрическая и пневматическая схемы подключения элементов к стенду



5. Для первого испытания по манометру блока подготовки воздуха установить значение давления питания  $P = 6$  бар.

6. Нажать кнопку включения на источнике питания.

7. Запустить программу FluidLab-P. Открыть лабораторную работу [1.5] AND-OR.

8. Процесс измерения давления начинается с нажатия на кнопку Start в программе FluidLab-P (рис. 5.5).

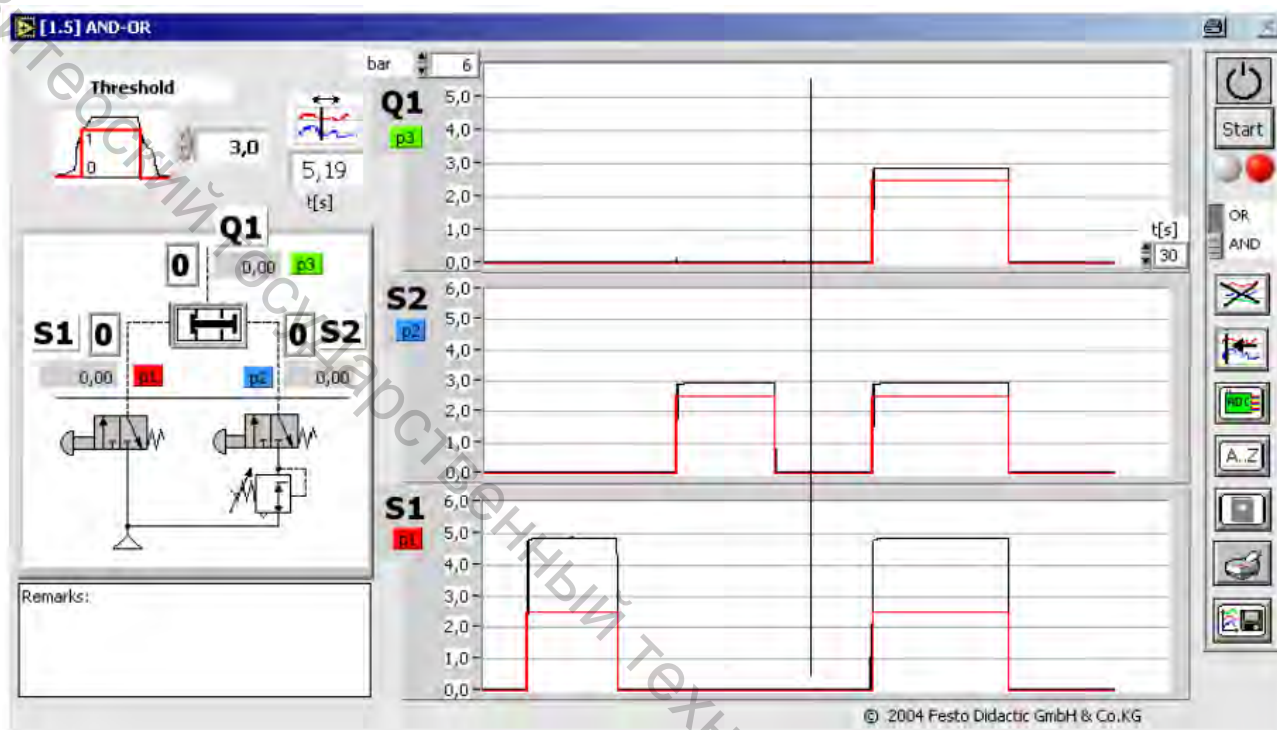


Рисунок 5.5 – Интерфейс лабораторной работы работу [1.5] AND-OR

9. Нажать пневмокнопку на электрическом блоке сигналов.

10. Построить переходные процессы в программе FluidLab-P для логических элементов «И», «ИЛИ» в отдельности.

11. Построить переходные процессы в программе FluidLab-P для логических элементов «И», «ИЛИ» в отдельности.

12. Составить и проверить таблицу истинности логических элементов «И», «ИЛИ».

13. Повторить пункты 8–11 для заданного давления  $P = 3, 4, 5$  бар в отдельности.

#### 4 Содержание отчета

1. Название, цель работы.

2. Схема установки (рисунок) и схема подключения лабораторной установки (рисунок) с описанием.

3. Таблицы истинности для логических элементов «И», «ИЛИ».

4. Графики зависимостей для логических элементов «И», «ИЛИ» в отдельности  $P_1 = f(t)$ ,  $P_2 = f(t)$ ,  $P_3 = f(t)$  с учетом срабатывания кнопок.

5. Рассчитанное время запаздывания для логических элементов в отдельности.

6. Выводы.

## 5 Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип работы логического элемента «И»?
2. В чем заключается принцип работы логического элемента «ИЛИ»?
3. С какой целью используются в пневматике логические элементы «И», «ИЛИ»?
4. Объясните таблицу истинности логического элемента «И».
5. Объясните таблицу истинности логического элемента «ИЛИ».

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИЛИНДРА ОДНОСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ

Цель работы: изучить принцип работы цилиндра одностороннего действия и ознакомиться с пневматическими элементами, входящими в схему.

#### 1 Основные теоретические сведения

Исполнительные устройства предназначены для преобразования энергии сжатого воздуха в работу и относятся к выходным элементам пневматической системы. Сигнал на перемещение исполнительного устройства вырабатывается логико-вычислительной подсистемой и передается ему через управляющий распределитель.

В цилиндре одностороннего действия сжатый воздух воздействует на поршень только с одной стороны, с другой стороны полость цилиндра всегда соединена с атмосферой. Такой цилиндр может совершать работу только в одном направлении. Возврат поршня в исходное положение осуществляется под действием упругого элемента (обычно пружины) или внешней силы.

Сила упругости, встроенная в цилиндр пружины, подбирается таким образом, чтобы поршень без нагрузки возвращался в исходное положение с относительно большой скоростью, приблизительно равной скорости рабочего хода при отсутствии нагрузки.

Ход цилиндров одностороннего действия со встроенной пружинной ограничена длиной пружины в свободном состоянии. Благодаря простой конструкции цилиндры одностороннего действия применяются там, где нужны компактность и небольшие перемещения:



- подача заготовок,
- обрезка,
- соединение деталей,
- зажим заготовок,
- извлечение деталей,
- штамповка.

Конструкция пневмоцилиндра представлена на рисунке 6.1. Цилиндрический корпус 5 с обеих сторон закрыт крышками 1 и 8. В задней крышке 1 выполнено отверстие для подвода воздуха, а передняя крышка 8 имеет декомпрессионное отверстие с вмонтированным фильтроэлементом 7. Поршень 2 делит внутреннее пространство корпуса (гильзы) на две полости: штоковую и поршневую. Шток 4 жестко связан с поршнем. Полости разграничены уплотнением 3 (манжетой). Передняя крышка 8 снабжена направляющей втулкой 9, которая является опорой скольжения штока, передающего усилие от поршня на внешний объект. Возвратная пружина 6 смонтирована внутри цилиндра и охватывает шток.

Рабочий ход пневмоцилиндра осуществляется при подаче сжатого воздуха в поршневую полость; обратный ход происходит под действием встроенной пружины, что обуславливает меньшее потребление воздуха по сравнению с пневмоцилиндрами двустороннего действия аналогичных размеров. Кроме того, в пневмоцилиндрах одностороннего действия не требуется полная герметизация штоковой полости, постоянно связанной с атмосферой, а отсутствие дополнительных уплотнений снижает потери на трение.

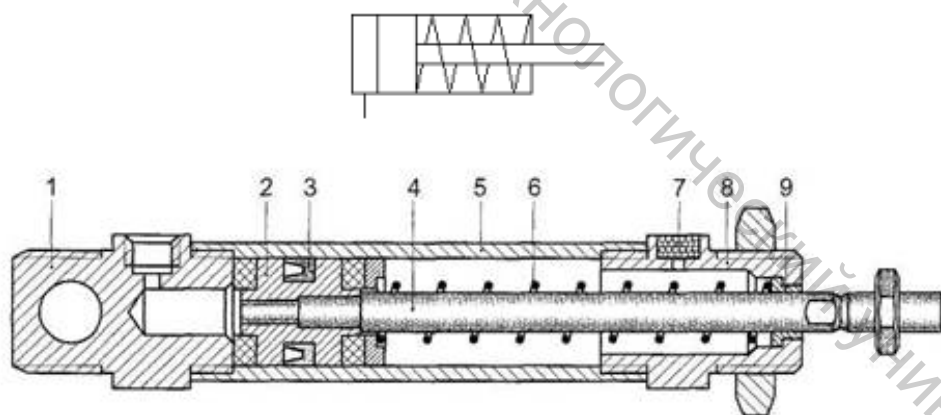


Рисунок 6.1 – Внешний вид и обозначение цилиндра одностороннего действия

Поршни цилиндров одностороннего действия имеют всего одно уплотнение, обращенное рабочей стороной к поршневой полости, в которую подается сжатый воздух. Уплотнение изготавливается из упругого материала, устанавливаемого в металлический или пластмассовый поршень. При движении уплотнения его кромки скользят по внутренней поверхности цилиндра, при этом воздух из штоковой полости свободно выходит в

атмосферу через вентиляционное отверстие, защищенное фильтром или сетчатой крышкой от попадания загрязнений извне.

В данной лабораторной работе в качестве объекта исследования используется пневмоцилиндр одностороннего действия ESNU-20-50-P-A.

Технические характеристики пневмоцилиндра представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Технические характеристики пневмоцилиндра

Параметр	Значение
Ход поршня	50 мм
Диаметр поршня	20 мм
Диаметр штока	8 мм
Угол установки	360
Внутренние утечки	0 ... 100 л/(мин*МПа)
Коэффициент трения	0 ... 2
Максимальное усилие	200 Н
Скорость перемещения	0,02 ... 1,5 м/с

## 2 Компоненты измерительной системы

Лабораторная установка состоит из основных компонентов:

- два пневматических датчика давления;
- 5/2 пневмораспределитель с пружиной;
- два регулируемых дросселя с обратным клапаном;
- два механических концевых выключателя;
- аналого-цифровой модуль EasyPort;
- блок аналоговых сигналов;
- блок дискретных сигналов;
- блок электрических реле;
- кабель ввода-вывода SysLink;
- блок подготовки воздуха;
- коллектор;
- блок питания;
- компрессор.

## 3 Порядок выполнения работы

1. Подготовить стенд к работе.

2. Подключить датчики к блоку аналоговых сигналов (рис. 6.2). Красные провода датчиков подключаются к питанию 24 В на блок аналоговых сигналов, а синие провода – к 0 В. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q2 первого датчика давления 1B1, подключить на вход INPUT U – Y0 блока аналоговых сигналов. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q2

второго датчика давления 1B2, подключить на вход INPUT U – Y1 блока аналоговых сигналов.

3. Красным проводом соединить контакт 2 концевого выключателя 1S1 и питание 24 В блока дискретных сигналов, а синим проводом соединить вход INPUT – Y3 блока дискретных сигналов и контакт 3 концевого выключателя 1S1. Красным проводом соединить контакт 2 концевого выключателя 1S2 и питание 24 В блока дискретных сигналов, а синим проводом соединить вход INPUT – Y4 блока дискретных сигналов и контакт 3 концевого выключателя 1S2.

4. Красным проводом соединить выход 1 распределителя и выход OUTPUT U – Y1 блока дискретных сигналов, а синим проводом подключить выход 2 распределителя к 0 В.

5. Пневматическими шлангами соединить элементы через коллектор по схеме на рисунке 6.3.

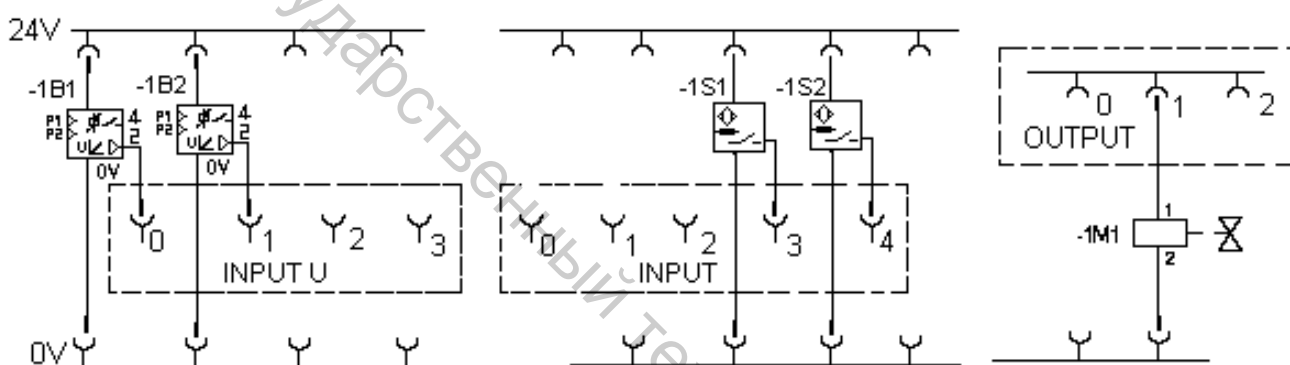


Рисунок 6.2 – Схема подключения датчиков в лабораторной установке

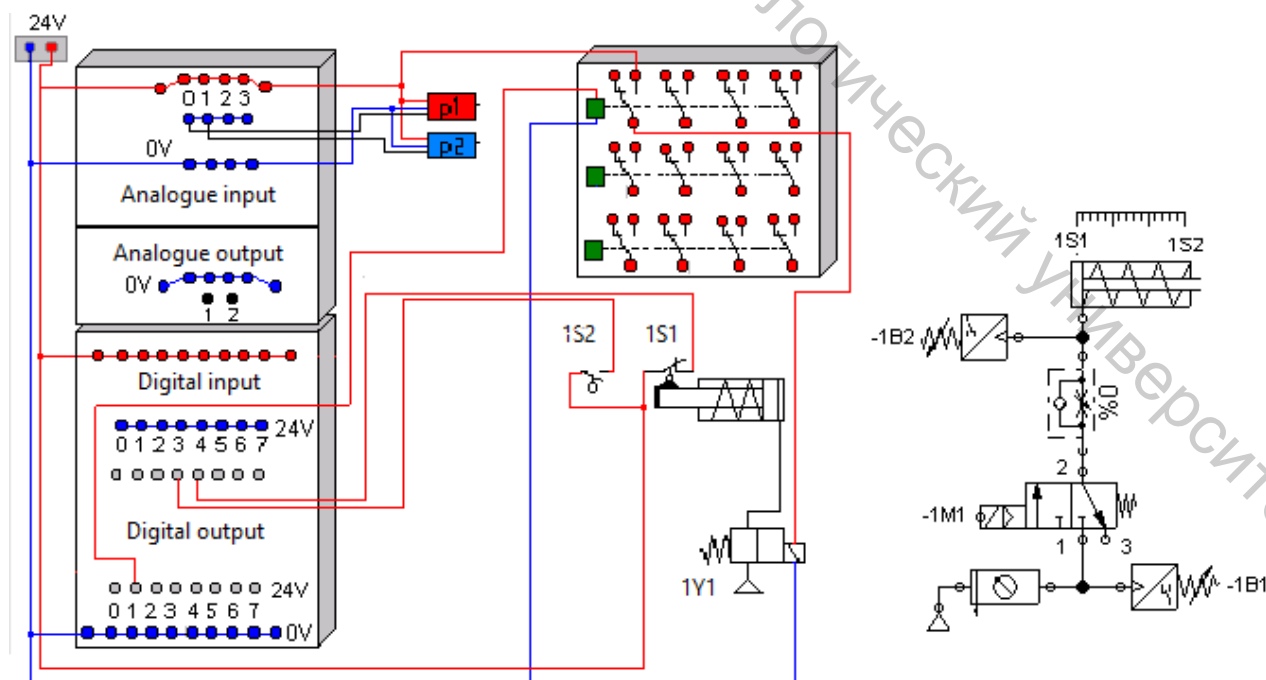


Рисунок 6.3 – Схема подключения электрических элементов к стенду

6. Нажать кнопку включения на источнике питания.
7. Запустить программу FluidLab-P. Открыть лабораторную работу [2.1] Single-acting cylinders.
8. Регулировочный винт дросселя с обратным клапаном плавно открывайте (обратное давление уменьшается).
9. Начать процесс измерения нажатием на кнопку Start в программе FluidLab-P (рис. 6.4).

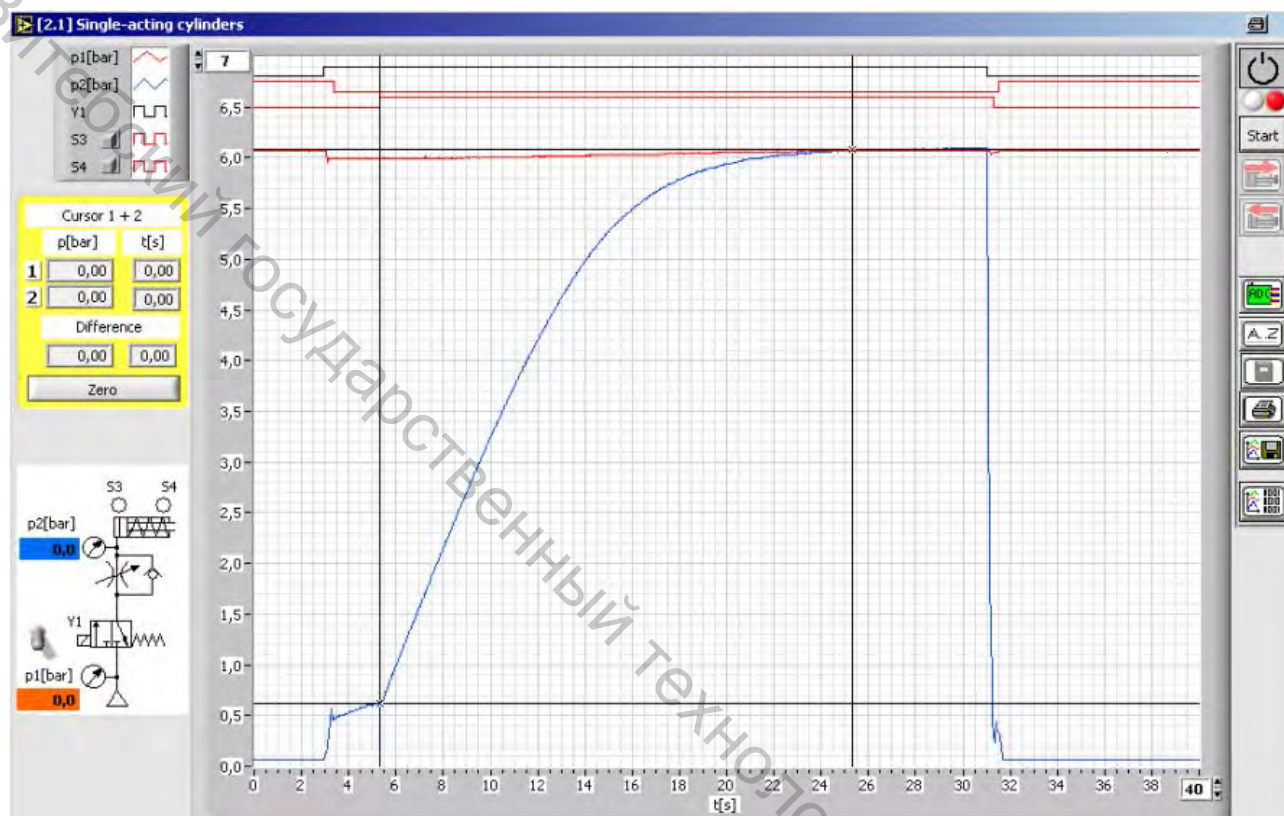


Рисунок 6.4 – Интерфейс лабораторной работы [2.1] Single-acting cylinders

10. Проанализировать, как изменяется давление при достижении хода поршня конечных выключателей. При этом рабочее давление действует против силы возвратной пружины поршня, выдвигая шток. Шток поршня достигает своего выдвинутого (переднего) конечного положения, значит, в поршневой полости цилиндра устанавливается максимальное значение давления воздуха, равное давлению питания.

11. Сохранить изображение измеренного значения давления в формате .jpeg из программы FluidLab-P, нажав на кнопку сохранения.

12. Повторить пункты 10–11 для заданного давления дросселя, открытого наполовину, полностью открытого дросселя в отдельности.

13. Проанализировать графические характеристики показаний давления по каждому датчику в отдельности – кривые  $P_1 = f(t)$ ,  $P_2 = f(t)$ , распределителя с электроуправлением  $Y_1 = f(t)$ , срабатывание конечных выключателей  $S_3 = f(t)$ ,  $S_4 = f(t)$ .

14. Завершить измерения нажатием на кнопку Stop в программе FluidLab-P.

15. Закрывать клапан блока подготовки воздуха.

16. Выключить блок питания.

17. Разобрать исследованную систему.

#### **4 Содержание индивидуального отчета**

1. Название, цель работы.

2. Схема установки и схема подключения лабораторной установки с описанием.

3. Графики зависимостей  $P_1 = f(t)$ ,  $P_2 = f(t)$ ,  $Y_1 = f(t)$ ,  $S_3 = f(t)$ ,  $S_4 = f(t)$  с описанием происходящих переходных процессов.

4. Выводы.

#### **5 Контрольные вопросы**

1. Какие достоинства и недостатки имеет пневмоцилиндр одностороннего действия?

2. Какую роль выполняет пружина при работе пневмоцилиндра одностороннего действия?

3. Как влияет пропускная способность дросселя на скорость перемещения пневмоцилиндра?

4. На сколько график изменения давления при перемещении пневмоцилиндра отличается от линейной зависимости и почему?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИЛИНДРА ДВУХСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ**

Цель работы: изучить принцип работы цилиндра двустороннего действия и ознакомиться с пневматическими элементами, входящими в гидравлическую схему.

#### **1 Основные теоретические сведения**

Конструкция цилиндра двустороннего действия аналогична конструкции цилиндра одностороннего действия. Однако здесь уже нет возвратной пружины, так как теперь два присоединительных отверстия используются для подвода воздуха к рабочим полостям цилиндра и его отвода. Цилиндр двустороннего действия позволяет совершать работу в двух направлениях движения штока. Это делает его более универсальным.

При прямом ходе, когда шток цилиндра выдвигается, развиваемое им усилие несколько больше, чем при обратном ходе, когда шток втягивается, так как площадь поршня, на которую действует сжатый воздух со стороны поршневой полости, больше, чем со стороны штоковой полости, на величину площади поперечного сечения штока.

Одним из преимуществ пневмоцилиндров является высокая – до 1,5 м/с (а в ударных цилиндрах до 10 м/с) – скорость движения выходного звена. При достижении конечного положения, когда поршень «садится» на крышку, развиваются значительные ударные усилия, что сопровождается характерным стуком. Такие удары не только являются причиной возникновения шума, но и приводят к преждевременному износу и даже поломке элементов конструкции. Избежать преждевременного выхода из строя пневмоцилиндра можно путем установки на поршне эластичных (например, резиновых) демпферов. Однако такой способ демпфирования оказывается недостаточно эффективным, если имеют место значительные инерционные нагрузки.

В таких случаях применяют пневмоцилиндры двустороннего действия с воздушным демпфированием в конце хода (рис. 7.1).

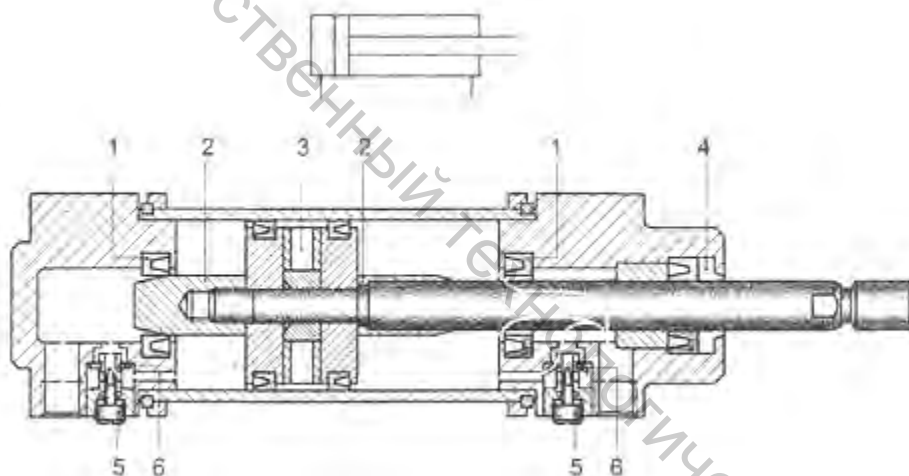


Рисунок 7.1 – Пневмоцилиндр двустороннего действия с демпфированием в конце хода

Расширение функциональных возможностей таких цилиндров достигается путем введения в традиционную конструкцию дополнительных элементов. По обе стороны поршня устанавливаются втулки демпфера 2, а в крышках цилиндра – уплотнительные манжеты 1 и дроссели 5 с обратным клапаном 6. Сжатый воздух, подводимый к цилиндру, свободно поступает в соответствующую полость, в том числе и через встроенный обратный клапан 6. Поршень движется к удаленной от него в этот момент крышке с максимальной скоростью до тех пор, пока втулка демпфера 2 не дойдет до уплотнительных манжет 1. При этом происходит «запирание» некоторого объема, отводимого из цилиндра воздуха в полости, которая только что была соединена с атмосферой. Теперь воздух из этой полости может вытесняться в атмосферу лишь через

отверстие малого диаметра в дросселе 5, величину проходного сечения которого можно изменять. Между крышкой и поршнем образуется «воздушная подушка». При дальнейшем движении поршня воздух в запертом объеме начинает сжиматься, давление возрастает, что приводит к торможению поршня, степень которого тем больше, чем меньше проходное сечение дросселя. В конечном итоге поршень упирается в крышку без удара, мягко.

При изменении направления движения сжатый воздух свободно поступает под поршень через обратный клапан 6, составляющий вместе с дросселем 5 единый узел, что обеспечивает быстрое трогание цилиндра с места.

На поршне смонтирован кольцевой постоянный магнит 3, магнитное поле которого распространяется за пределы гильзы и может регистрироваться с помощью специальных датчиков.

Для защиты штока от внешних загрязнителей в проходной (передней) крышке практически всех пневмоцилиндров устанавливают грязесъемное кольцо 4.

Наличие в пневмоцилиндре регулируемых демпфирующих устройств отображается в условном графическом обозначении стилизованным изображением втулок демпферов, пересеченных стрелкой, а наличие постоянного магнита – жирной линией на изображении поршня.

В данной лабораторной работе в качестве объекта исследования используется пневмоцилиндр двухстороннего действия DSNU-20-100-PPV-A.

Таблица 7.1 – Технические характеристики пневмоцилиндра

Параметр	Значение
Ход поршня	50 мм
Диаметр поршня	20 мм
Диаметр штока	8 мм
Угол установки	360
Внутренние утечки	0 ... 100 л/(мин*МПа)
Коэффициент трения	0 ... 2
Максимальное усилие	200 Н
Скорость перемещения	0,02 ... 1,5 м/с

## 2 Компоненты измерительной системы

Лабораторная установка состоит из основных компонентов:

- три пневматических датчика давления;
- 5/2 пневмораспределитель с пружиной;
- два регулируемых дросселя с обратным клапаном;
- два механических концевых выключателя;
- аналого-цифровой модуль EasyPort;
- блок аналоговых сигналов;
- блок дискретных сигналов;

- блок электрических реле;
- кабель ввода-вывода SysLink;
- блок подготовки воздуха;
- коллектор;
- блок питания;
- компрессор.

### 3 Порядок выполнения работы

1. Подготовить стенд к работе.

2. Подключить датчики к блоку аналоговых сигналов (рис. 7.2). Красные провода датчиков подключаются к питанию 24 В на блок аналоговых сигналов, а синие провода – к 0 В. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q2 первого датчика давления 1В1, подключить на вход INPUT U – Y0 блока аналоговых сигналов. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q2 второго датчика давления 1В2, подключить на вход INPUT U – Y1 блока аналоговых сигналов. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q2 второго датчика давления 1В3, подключить на вход INPUT U – Y2 блока аналоговых сигналов.

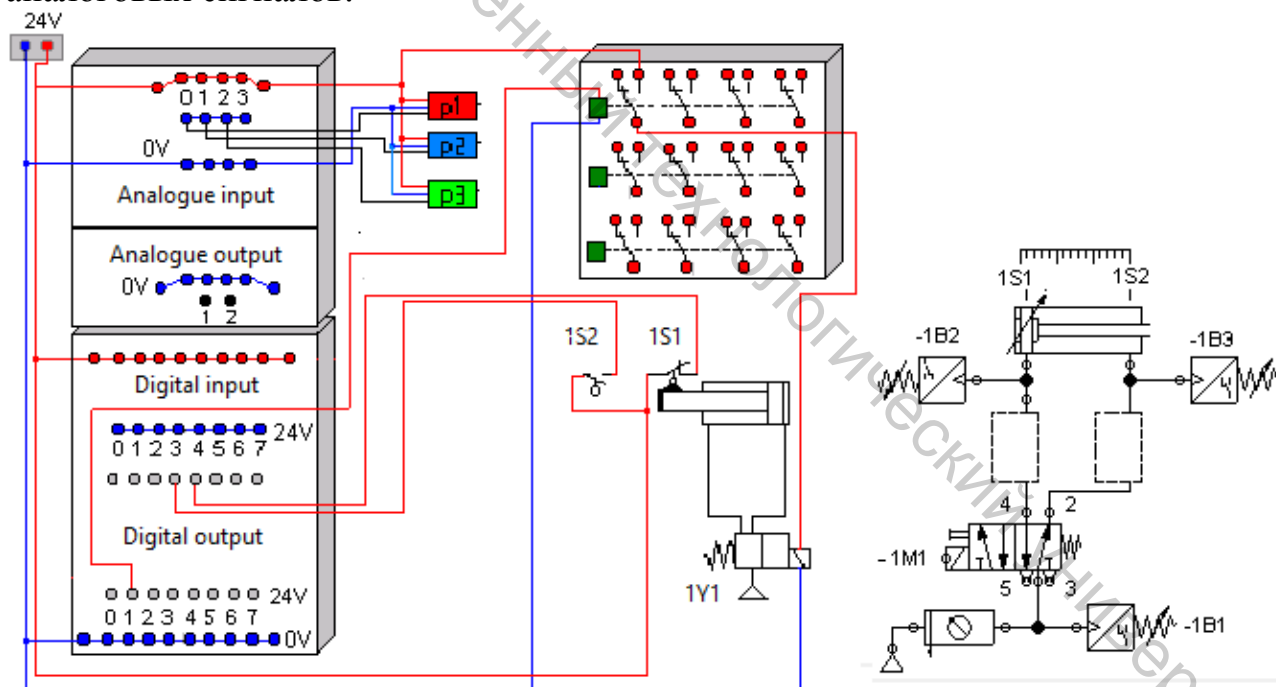


Рисунок 7.2 – Схема подключения датчиков в лабораторной установке

3. Красным проводом соединить контакт 2 концевого выключателя 1S1 и питание 24 В блока дискретных сигналов, а синим проводом соединить вход INPUT – Y3 блока дискретных сигналов и контакт 3 концевого выключателя 1S1. Красным проводом соединить контакт 2 концевого выключателя 1S2 и питание 24 В блока дискретных сигналов, а синим проводом соединить вход



INPUT – Y4 блока дискретных сигналов и контакт 3 концевого выключателя 1S2.

4. Красным проводом соединить выход 1 распределителя и выход OUTPUT U – Y1 блока дискретных сигналов, а синим проводом подключить выход 2 распределителя к 0 В.

5. Пневматическими шлангами соединить элементы через коллектор по схеме на рисунке 7.3.

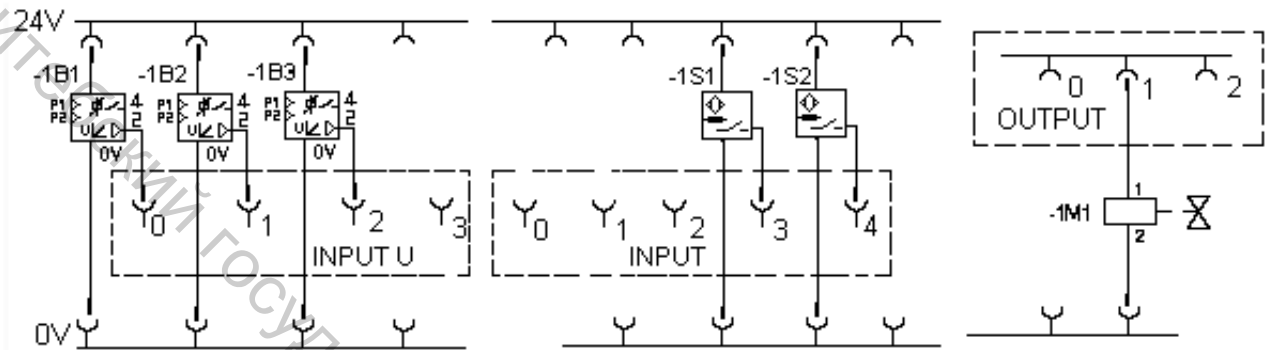


Рисунок 7.3 – Схема подключения электрических элементов к стенду

6. Нажать кнопку включения на источнике питания.

7. Запустить программу FluidLab-P. Открыть лабораторную работу [2.2] Double-acting cylinders.

8. Регулировочный винт дросселя с обратным клапаном плавно открыть (обратное давление уменьшается).

9. Начать процесс измерения нажатием на кнопку Start в программе FluidLab-P (рис. 7.4).



Рисунок 7.4 – Интерфейс лабораторной работы [2.2] Double-acting cylinders

10. Проанализировать, как изменяется давление при достижении хода поршня концевых выключателей. При этом рабочее давление действует против силы возвратной пружины поршня, выдвигая шток. Шток поршня достигает своего выдвинутого (переднего) конечного положения, значит, в поршневой полости цилиндра устанавливается максимальное значение давления воздуха, равное давлению питания.

11. Сохранить изображение измеренного значения давления в формате .jpeg из программы FluidLab-P, нажав на кнопку сохранения.

12. Повторить пункты 10–11 для заданного давления дросселя, открытого наполовину, полностью открытого дросселя в отдельности.

13. Проанализировать графические характеристики показаний давления по каждому датчику в отдельности – кривые  $P_1 = f(t)$ ,  $P_2 = f(t)$ , распределителя с электроуправлением  $Y_1 = f(t)$ , срабатывание концевых выключателей  $S_3 = f(t)$ ,  $S_4 = f(t)$ .

14. Завершить измерения нажатием на кнопку Stop в программе FluidLab-P.

15. Закрыть клапан блока подготовки воздуха.

16. Выключить блок питания.

17. Разобрать исследованную систему.

#### **4 Содержание индивидуального отчета**

1. Название, цель работы.

2. Схема установки и схема подключения лабораторной установки с описанием.

3. Графики зависимостей  $P_1 = f(t)$ ,  $P_2 = f(t)$ ,  $Y_1 = f(t)$ ,  $S_3 = f(t)$ ,  $S_4 = f(t)$  с описанием происходящих переходных процессов.

4. Выводы.

#### **5 Контрольные вопросы**

1. Какие достоинства и недостатки имеет пневмоцилиндр двухстороннего действия?

2. Как влияет пропускная способность дросселя на скорость перемещения пневмоцилиндра?

3. На сколько график изменения давления при перемещении пневмоцилиндра отличается от линейной зависимости и почему?

4. Чем отличаются схемы регулирования скорости пневмоцилиндра по выхлопу и по напору?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ

Цель работы: изучить принцип работы пропорционального регулятора давления и построить его рабочие характеристики.

#### 1 Основные теоретические сведения

Пропорциональный регулятор давления предназначен для регулирования давления пропорционально задаваемому значению. При этом основная цель применения заключается в возможности заменить регуляторы давления, которые до сих пор настраивались в ручном режиме, регулятором, обеспечивающим электрический дистанционный способ настройки, чтобы быстро автоматически получать доступ к различным параметрам машины.

Для этого встроенный датчик давления измеряет величину давления в выходном канале регулятора и сравнивает ее с заданным значением. При отклонениях фактического значения от заданного регулятор выполняет свою функцию до тех пор, пока выходное давление не достигнет заданного значения.

Передаточная функция регулятора имеет вид

$$P_{\text{вых}} = K_p(P_{\text{п}} - P_{\text{э}}) + P_0, \quad (8.1)$$

где  $K_p$  – коэффициент пропорциональности регулятора;  $P_{\text{п}}$  – давление, пропорциональное величине параметра;  $P_{\text{э}}$  – заданное значение регулируемой величины;  $P_0$  – давление контрольной точки, поступающее от задатчика ЗД.

В данной лабораторной работе в качестве объекта исследования используется пропорциональный регулятор давления VPPE-3-1/8-6-010.

Принципиальная схема и вид обозначения пропорционального регулятора давления представлены на рисунке 8.1.

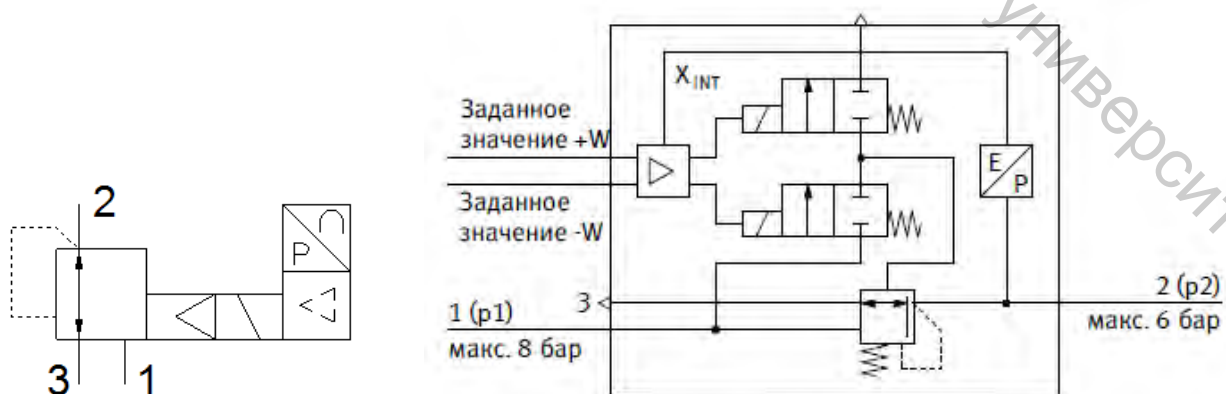


Рисунок 8.1 – Принципиальная схема и обозначение пропорционального регулятора давления

Технические характеристики пропорционального регулятора давления представлены в таблице 8.1.

Зависимость выходного давления пропорционального регулятора от номинального расхода представлена на рисунке 8.2.

Таблица 8.1 – Технические характеристики пропорционального регулятора давления

Характеристика	Значение
Диапазон давления управления	0,15 ... 6 бар
Входное давление	7 ... 8 бар
Макс. гистерезис давления	0,15 бар
Стандартный номинальный расход	850 л/мин
Время выключения	1.3 мс
Время включения	550 мс
Диапазон рабочего напряжения	21,6 ... 26,4 В
Максимальное потребление электроэнергии	3,6 Вт
Остаточная пульсация	10 %
Диапазон управляющего напряжения	0–10 В
Класс защиты	IP65
Температура окружающей среды	10 ... 50 °С

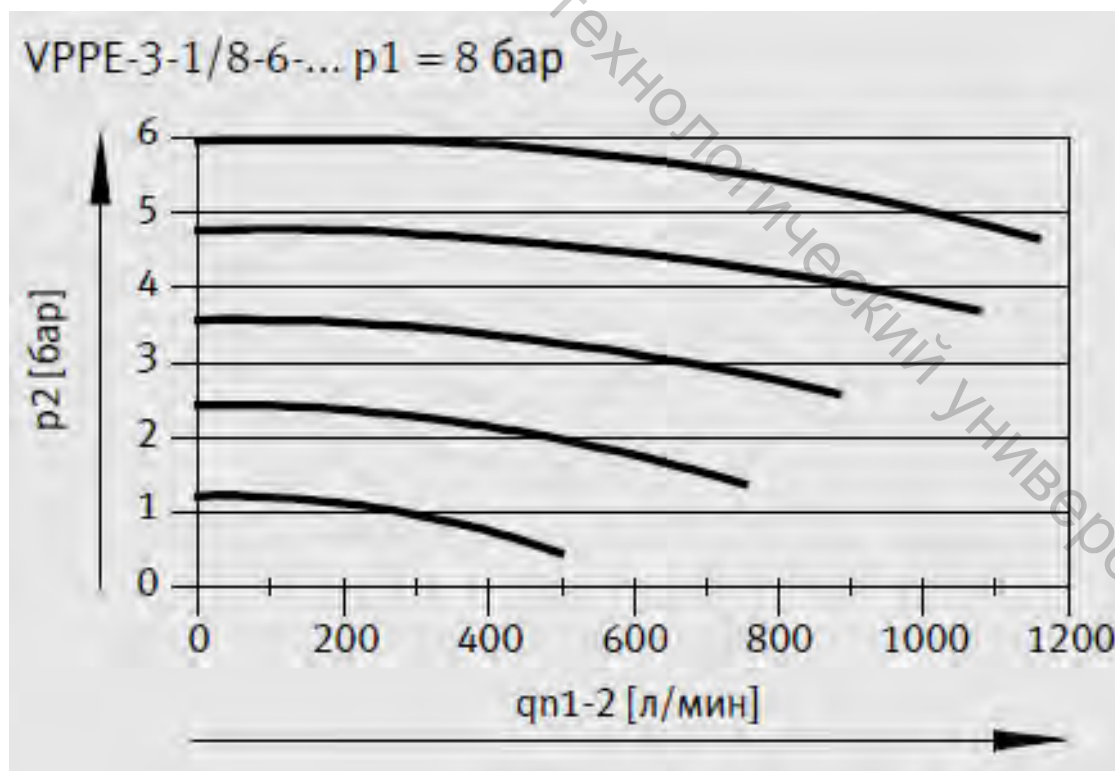


Рисунок 8.2 – Зависимость выходного давления пропорционального регулятора от номинального расхода

## 2 Компоненты измерительной системы

Лабораторная установка состоит из основных компонентов:

- пневматический датчик давления;
- пропорциональный регулятор давления;
- аналого-цифровой модуль EasyPort;
- блок аналоговых сигналов;
- кабель ввода-вывода SysLink;
- блок подготовки воздуха;
- коллектор;
- блок питания;
- компрессор.

## 3 Порядок выполнения работы

1. Подготовить стенд к работе.

2. Подключить датчик давления к блоку аналоговых сигналов (рис. 8.3).

Красный провод датчика подключается к питанию 24 В, а синий провод – к 0 В. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q2 первого датчика давления 1В1, подключить на вход INPUT U – Y0 блока аналоговых сигналов.

3. Подключить пропорциональный регулятор давления к блоку аналоговых сигналов (рисунок 8.3). Красный провод регулятора подключается к питанию 24 В, а синий провод – к 0 В. Белый провод, обозначающий аналоговый вход регулятора давления, подключить на выход OUTPUT U – Y1 .

4. Пневматическими шлангами соединить элементы через коллектор по схеме на рисунке 8.4.

5. Нажать кнопку включения на источнике питания.

Задание 1

6. Для первого испытания по манометру блока подготовки воздуха установить значение давления питания  $P = 6$  бар.

7. Запустить программу FluidLab-P. Открыть лабораторную работу [3.1] Manual control.

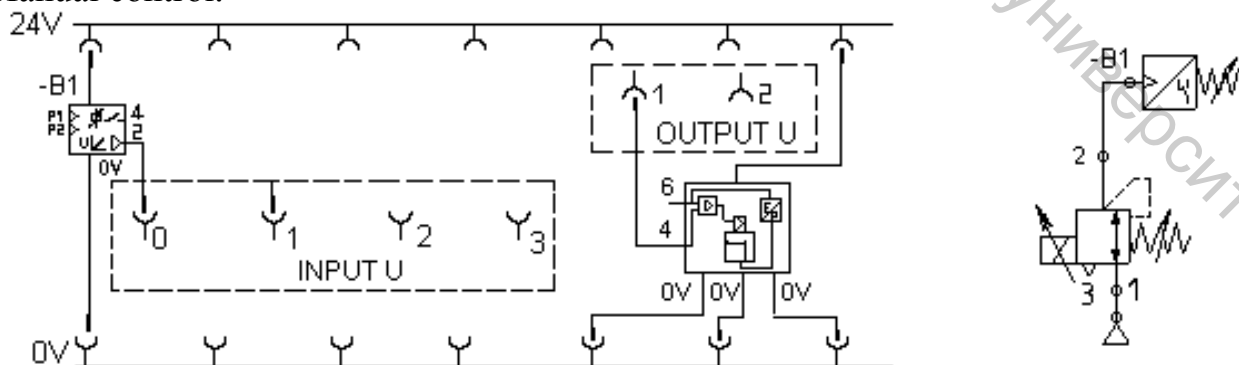


Рисунок 8.3 – Электрическая и пневматическая схемы подключения элементов



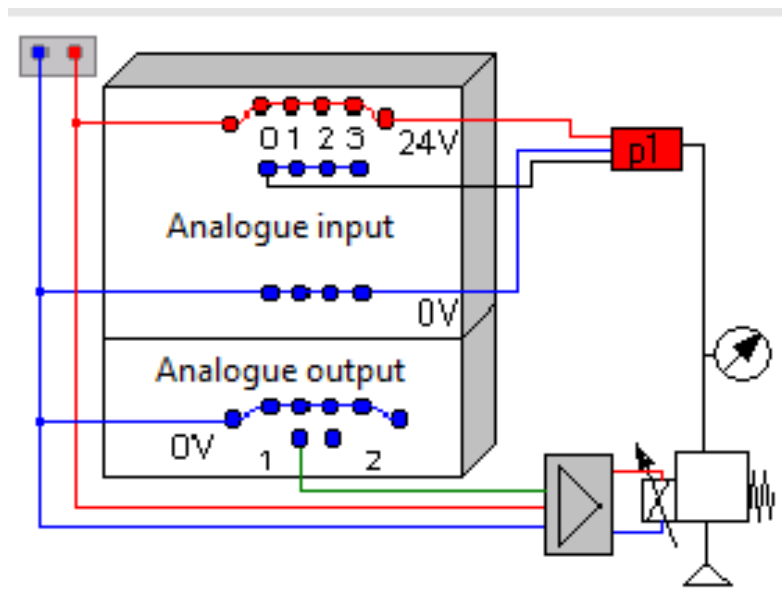


Рисунок 8.4 – Схема подключения пропорционального регулятора давления к блоку аналоговых сигналов

8. Начать процесс измерения нажатием на кнопку Start в программе FluidLab-P.

9. Медленно увеличить значение напряжения  $U$  [V] с помощью ползунка от 0 до 6 В (рис. 8.5).

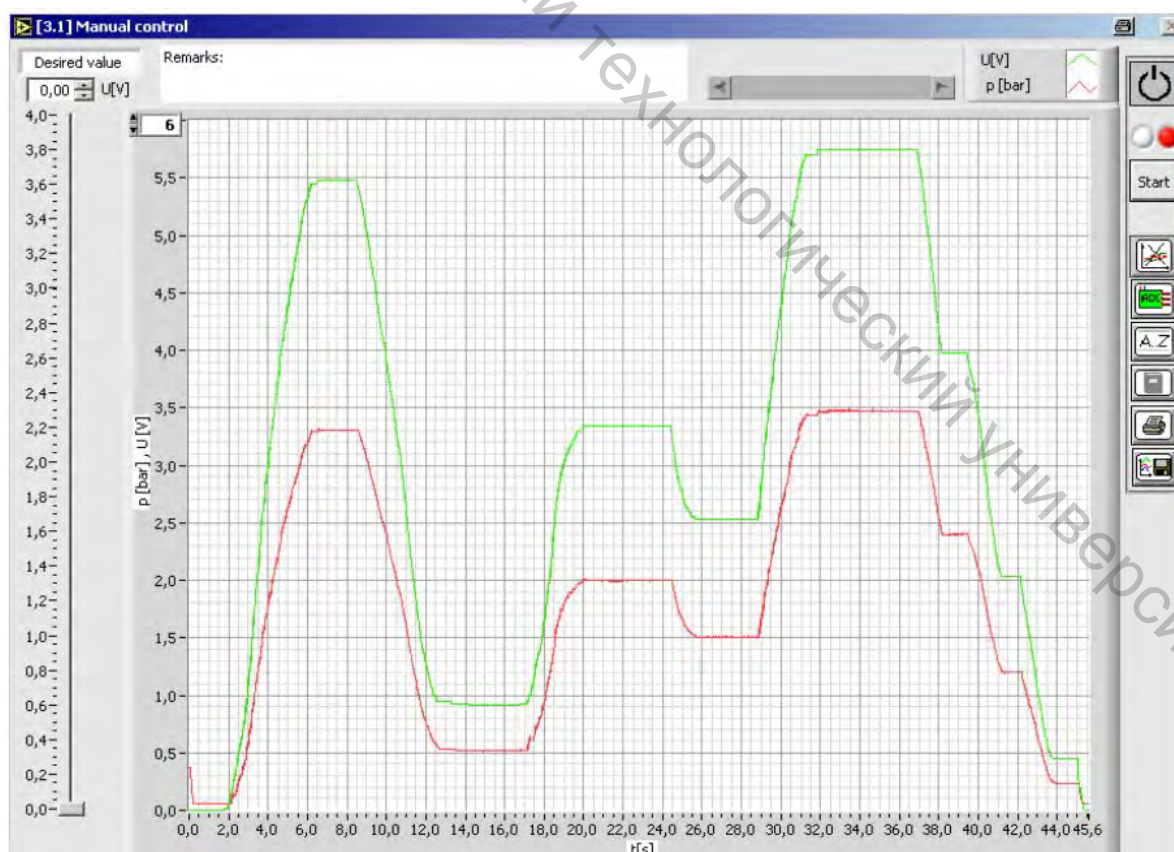


Рисунок 8.5 – Интерфейс лабораторной работы [3.1] Manual control

10. Сохранить изображение измеренного значения давления в формате .jpeg из программы FluidLab-P, нажав на кнопку сохранения.

11. Выбрать несколько точек на графике статической характеристики и вычислить коэффициент усиления для каждой по формуле (8.1).

12. Проанализировать графические характеристики показаний давления по датчику  $P = f(U)$ .

13. Повторить пункты 8–11 для заданного давления  $P = 3, 4, 5$  бар в отдельности.

14. Завершить измерения нажатием на кнопку Stop в программе FluidLab-P.

#### Задание 2

15. Для первого испытания по манометру блока подготовки воздуха установить значение давления питания  $P = 6$  бар.

16. Запустить программу FluidLab-P. Открыть лабораторную работу [3.2] Autom. curve.

17. Начать процесс измерения давления нажатием на кнопку Start в программе FluidLab-P.

18. В программе FluidLab-P выставьте значение Control Limit [%], равное 100 %, с помощью стрелок (рис. 8.6).

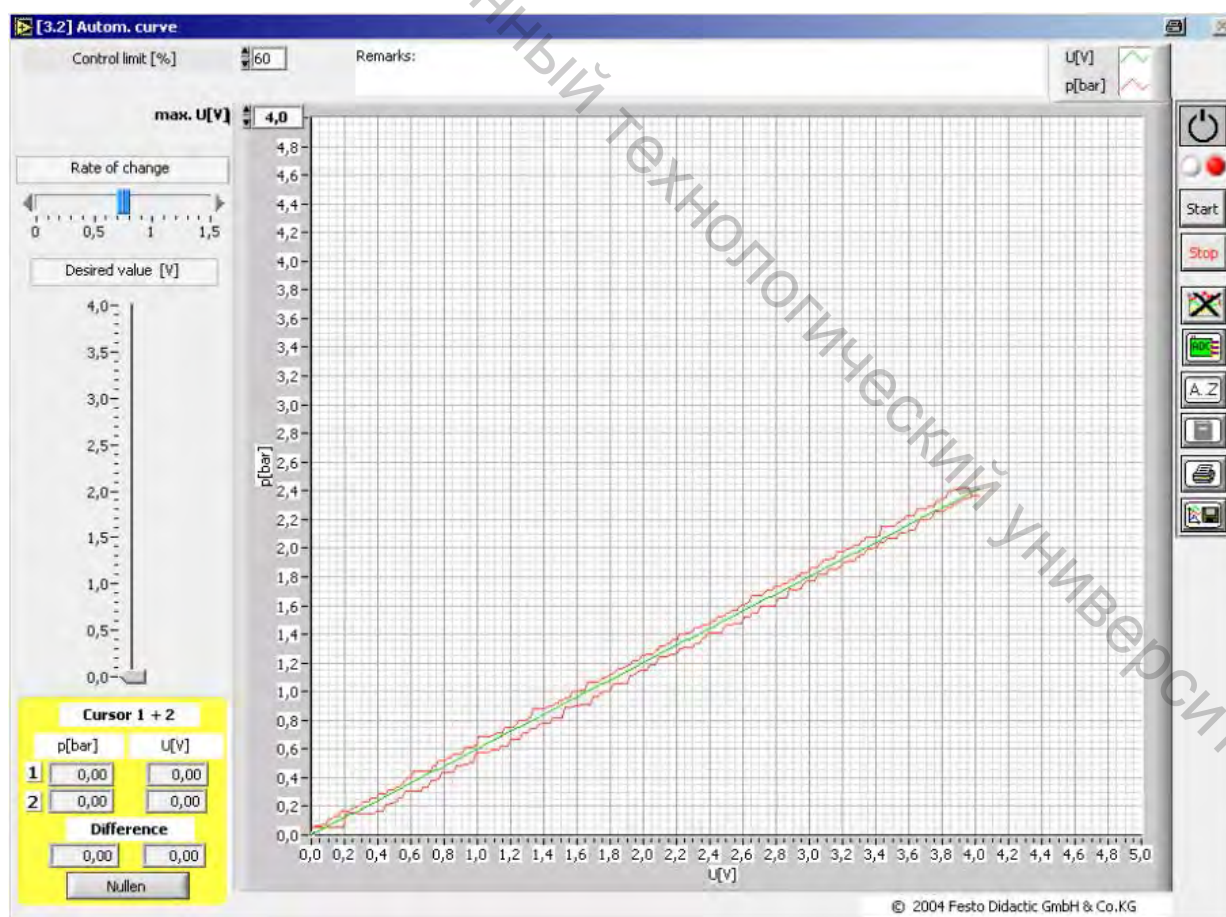


Рисунок 8.6 – Интерфейс лабораторной работы [3.2] Autom. curve

19. Установить скорость изменения напряжения (медленно для точности) Rate of change с помощью ползунка, равную 0,25.

20. Проанализируйте статическую характеристику зависимости  $P = f(U)$ .

21. Сохранить изображение измеренного значения давления в формате .jpeg из программы FluidLab-P, нажав на кнопку сохранения.

22. Выбрать несколько точек на графике статической характеристики и вычислить коэффициент усиления для каждой по формуле (8.1).

23. Проанализировать графические характеристики показаний давления по датчику  $P = f(U)$ .

24. Повторить пункты 19–23 для скоростей изменения напряжения, равных 0,1; 0,5; 1,0; 1,5.

25. Завершить измерения нажатием на кнопку Stop в программе FluidLab-P.

26. Сравнить вычисленные коэффициенты усиления, значения гистерезиса и сделать обобщенный вывод для разных скоростей построения статических характеристик.

Задание 3

27. Для первого испытания по манометру блока подготовки воздуха установить значение давления питания  $P = 6$  бар.

28. Запустить программу FluidLab-P. Открыть лабораторную работу [3.3] Levels+sinus.

29. Начать процесс измерения давления нажатием на кнопку Start в программе FluidLab-P.

30. В программе FluidLab-P выставить значение Control Limit [%], равное 60 % (рис. 8.7).

31. Во вкладке Pressure установить 5 пороговых значений давления от 1 до 6 бар, в произвольном порядке.

32. Сохранить изображение измеренного значения давления в формате .jpeg из программы FluidLab-P, нажав на кнопку сохранения.

Задание 4

33. Во вкладке Sinus Signal значение Frequency с помощью ползунка в минимальном значении.

34. Во вкладке Sinus Signal установить значение Amplit с помощью стрелок, равное 2 бар.

35. Сохранить изображение измеренного значения давления в формате .jpeg из программы FluidLab-P, нажав на кнопку сохранения.

36. Повторить пункты 33–35 для значений Amplit 1,3 бар, Frequency в максимальном и среднем положениях.

37. Проанализировать графические характеристики показаний давления  $P = f(t)$ .

38. Завершить измерения нажатием на кнопку Stop в программе FluidLab-P.



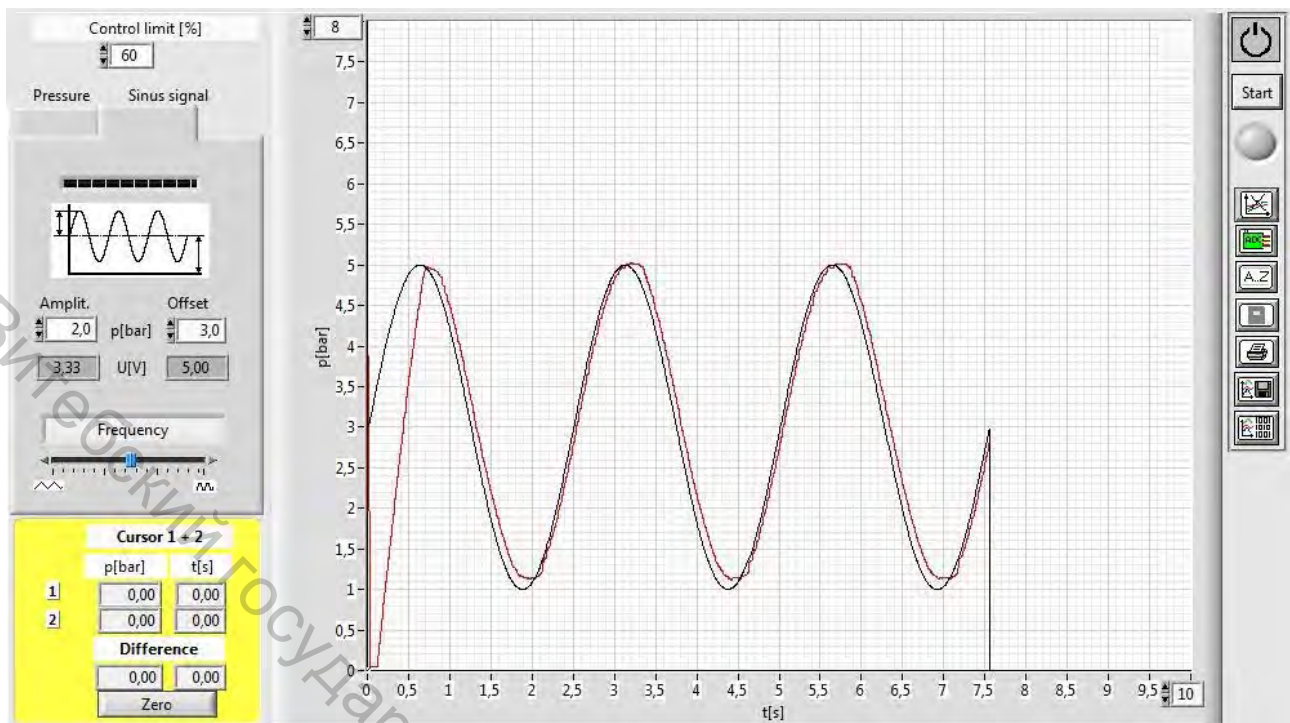


Рисунок 8.7 – Интерфейс лабораторной работы [3.3] Levels+sinus

39. Закрывать клапан блока подготовки воздуха.
40. Выключить блок питания.
41. Разобрать исследованную систему.

#### 4 Содержание индивидуального отчета

1. Название, цель работы.
2. Схема установки и схема подключения лабораторной установки с описанием.
3. Графики зависимостей с описанием происходящих переходных процессов.
4. Выводы.

#### 5 Контрольные вопросы

1. Что такое гистерезис, почему он возникает?
2. Что такое передаточная функция? Опишите передаточную функцию пропорционального регулятора.
3. При каких режимах работы пропорциональный регулятор давления имеет высокую погрешность регулирования?
4. Что такое постоянная времени и постоянная запаздывания, как определяется и что означает?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимчик, М. К. Технические средства электронных систем. Вводный курс : учеб. пособие для вузов / М. К. Ефимчик. – Минск : Тесей, 2000. – 276 с.

2. Родионов, В. Д. Технические средства АСУ ТП : учеб. пособие для вузов по спец. «Автом. и управл. в технич. сист.» / В. Д. Родионов, В. А. Терехов, В. Б. Яковлев ; под ред. В. Б. Яковлева. – Москва : Высш. шк., 1989. – 263 с.

3. Рачков, М. Ю. Технические средства автоматизации : учебник для студентов вузов, обучающихся по спец. «Автоматизация технологических процессов и производств» направление подготовки дипломированных специалистов «Автоматизированные технологии и производства» / М. Ю. Рачков; Московский государственный индустриальный университет. – 2-е изд., стер. – Москва : МГИУ, 2007. – 185 с.

4. Рачков, М. Ю. Технические средства автоматизации: учебник для студентов вузов, обучающихся по спец. «Автоматизация технологических процессов и производств» направление подготовки дипломированных специалистов «Автоматизированные технологии и производства» / М. Ю. Рачков; Московский государственный индустриальный университет. – 2-е изд., стер. – Москва : Издательство МГИУ, 2009. – 185 с.

5. Технические средства диагностирования: справочник / В. В. Клюев [и др.] ; под общ. ред. В. В. Клюева. – Москва : Машиностроение, 1989. – 672 с.

6. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справ. пособие / А. С. Клюев [и др.] ; под ред. А. С. Клюева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

7. Курсовое и дипломное проектирование по автоматизации производственных процессов : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов» / И. К. Петров и [др.]; под ред. И. К. Петрова. – Москва: Высшая школа, 1986. – 352 с.

8. Рачков, М. Ю. Пневматические средства автоматизации: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Автоматизированные технологии и производства» / М. Ю. Рачков ; МГИУ. – 2-е изд., стер. – Москва: МГИУ, 2007. – 288 с.

9. Коновалов, Л. И. Элементы и системы электроавтоматики : учебное пособие для вузов / Л. И. Коновалов, Д. П. Петелин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1985. – 216 с.

10. Надежность и эффективность в технике : справочник. В 10 т. Т. 9 : Техническая диагностика / И. М. Синдеев [и др.] ; под ред. В. В. Клюева, П. П. Пархоменко ; рец. И. Ф. Образцов. – Москва : Машиностроение, 1987. – 352 с.: ил.

11. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля / А. С. Ключев [и др.] ; под ред. А. С. Ключева. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.: ил.

12. Лепешкин, А. В. Гидравлические и пневматические системы : учебник для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по спец. 151001 «Технология машиностроения», 160203 «Производство летательных аппаратов» / А. В. Лепешкин, А. А. Михайлин ; под ред. Ю. А. Беленкова. – 4-е изд., стер. – Москва : Академия, 2007. – 332 с.

13. Схиртладзе, А. Г. Гидравлические и пневматические системы : учебник для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по спец. технического профиля / А. Г. Схиртладзе, В. И. Иванов, В. Н. Кареев ; под ред. Ю. М. Соломенцева. – Москва : Высшая школа, 2006. – 534 с. : ил.

14. Проектирование и надежность систем автоматики и телемеханики: учебное пособие по специальности 0606 «Автоматика и телемеханика» / А. Д. Горбачев [и др.]. – Минск : Вышэйшая школа, 1981. – 334 с.: ил.

15. Пашков, Е. В. Электроавтоматика в производственных процессах : учеб. пособие / Е. В. Пашков, Ю. А. Осинский, А. А. Четверенкин ; под ред. Е. В. Пашкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Севастополь : СевНТУ, 2003. – 496 с., ил.

Учебное издание

# МЕТРОЛОГИЯ, МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ. ИЗМЕРЕНИЯ В ПНЕВМОАВТОМАТИКЕ

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Составители:

Кузнецов Андрей Александрович  
Ринейский Константин Николаевич  
Науменко Андрей Михайлович  
Шишакова Анна Александровна

Редактор *Н. В. Медведева*

Корректор *Т. А. Осипова*

Компьютерная верстка *А. М. Науменко*

---

Подписано к печати 07.05.2018. Формат 60x90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. листов 3,2.  
Уч.-изд. листов 3,8. Тираж 50 экз. Заказ № 136.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»  
210038, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.