

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

В.И. Рожков, М.И. Щагина

МЕТРОЛОГИЯ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

**Практикум
по проведению лабораторных работ на лабораторно-
исследовательском стенде ДД-ИПД-011-9ЛР
Часть 1**



**Санкт-Петербург
2020**

УДК 389(075)

Метрология, технические измерения и автоматизация: практикум по проведению лабораторных работ на лабораторно-исследовательском стенде ДД-ИПД-011-9ЛР/ сост.: В.И. Рожков, М.И. Щагина; ВШТЭ СПбГУПТД.-СПб., 2020, Часть 1- 45 с.

В практикуме по проведению лабораторных работ приведено теоретическое описание применяемого в лабораторных работах контрольно-измерительного оборудования, перечень лабораторных работ по дисциплине «Метрология, стандартизация, технические измерения и автоматизация тепловых процессов», основанный на расчетах метрологических погрешностей средств измерения различного назначения. Выполнение лабораторных работ направлено на формирование у обучающихся навыков проведения метрологических расчетов средств измерения, используемого на промышленных предприятиях.

Практикум предназначен для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Рецензент:

доцент кафедры информационно-измерительной техники и систем управления ВШТЭ СПбГУПТД, канд. техн. наук А.В. Бахтин;

доцент кафедры техносферной безопасности СПбГАСУ доцент канд.воен. наук Георгиади В.В.

Подготовлено и рекомендовано к изданию кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Института энергетики и автоматизации Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД (протокол № 2 от 28.09.2020 г.).

Утверждено к изданию методической комиссией Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД (протокол № 2 от 29.10.2020 г.).

© Высшая школа технологии и энергетики
СПбГУПТД, 2020

© Рожков В.И., Щагина М.И. 2020

Описание лабораторно-исследовательского стенда «Измерительные приборы – датчики давления и температуры»

Лабораторный стенд предназначен для изучения работы контрольно-измерительных приборов давления и температуры. В качестве устройства для создания давления в газах (воздухе) используется компрессор. В комплект стенда входит ноутбук с программным обеспечением для выполнения лабораторных работ.

Лабораторный стенд представляет собой рамную конструкцию, выполненную из стального профиля (рис.1). Для удобства его перемещения на раме установлены четыре колеса, два из которых оборудованы стопорными устройствами.



Рис. 1. Внешний вид стенда

Конструктивно стенд представляет собой:

- стол с установленным на нем ресивером объемом 3 литра (измерительный ресивер) для проведения экспериментальных исследований и выдвижным столиком (слева) для размещения ноутбука;
- вертикальный шкаф, лицевая сторона которого является приборной панелью.

Внутри вертикального шкафа (рис. 2) установлен воздушный компрессор с ресивером объемом 8 литров, распределительная пневматическая управляющая аппаратура. На приборной панели установлены органы управления стендом, датчики давления Д1(0...900 кПа),

Д2 (0...1000 кПа) и 3 манометра. За приборной панелью в линию выхода воздуха после регулятора давления установлен датчик Д3 (0...1000 кПа), дублирующий показания механического манометра регулятора давления. При этом датчик давления Д1 замеряет атмосферное давление, а датчики Д2 и Д3 – избыточное.



Рис. 2. Оборудование, расположенное внутри вертикального шкафа.

Состав оборудования: компрессор, программируемый логический контроллер «ОВЕН», датчики давления.

Все датчики давления имеют разный класс точности, который указан на информационной модели компьютера (рис. 3) при запуске программы. Точке «0», показывающей отсутствие избыточного давления по датчикам Д2 и Д3, соответствует 100 кПа (1 атм) абсолютного датчика Д1. При измерении давления в ресивере ниже атмосферного датчик Д1 будет показывать величины в интервале $0 \div 100$ кПа, а датчик Д2 будет показывать ошибку, и его показания фиксировать не нужно.

На измерительном ресивере (рис. 4) установлены два датчика температуры (Т1 и Т2) и два термометра (ТМ1 и ТМ2), которые предназначены для измерения температуры находящегося в нем воздуха.

Датчики давления			
Д1 (ДА 0..900кПа 0.5%)			
100 кПа		5.78 мА	
Д2 (ДИ 0..1000кПа 0.5%)		Д3 (ДИ 0..1000кПа 1%)	
0 кПа	4.00 мА	0 кПа	4.00 мА
Датчики температуры			
Т1 (ДТПЛ)		Т2 (ДТС-50М)	
20.0 °С	1.29 мВ	20.0 °С	54.3 Ом
Т3 (ДТС-50М)			
20.0 °С		54.3 Ом	
Управление			
Уставка давления		Пуск	
75 кПа			
Графики		Выход	

Рис. 3. Внешний вид информационной модели компьютера

Внутри измерительного ресивера находится нагревательный элемент, в корпусе которого установлен датчик температуры (Т3). Датчик Т3 предназначен для контроля степени нагрева, при выполнении заданий не следует допускать повышения температуры нагревателя свыше 60 °С.

Дроссели Др1 и Др2 установлены для нормирования подачи сжатого воздуха и при выполнении заданий каких-либо дополнительных регулировок не требуют. Дроссель Др1 устанавливается в диапазоне индикатора 2 – 4 (рис. 5), дроссель Др2 – три оборота на открытие после полностью закрытого положения.

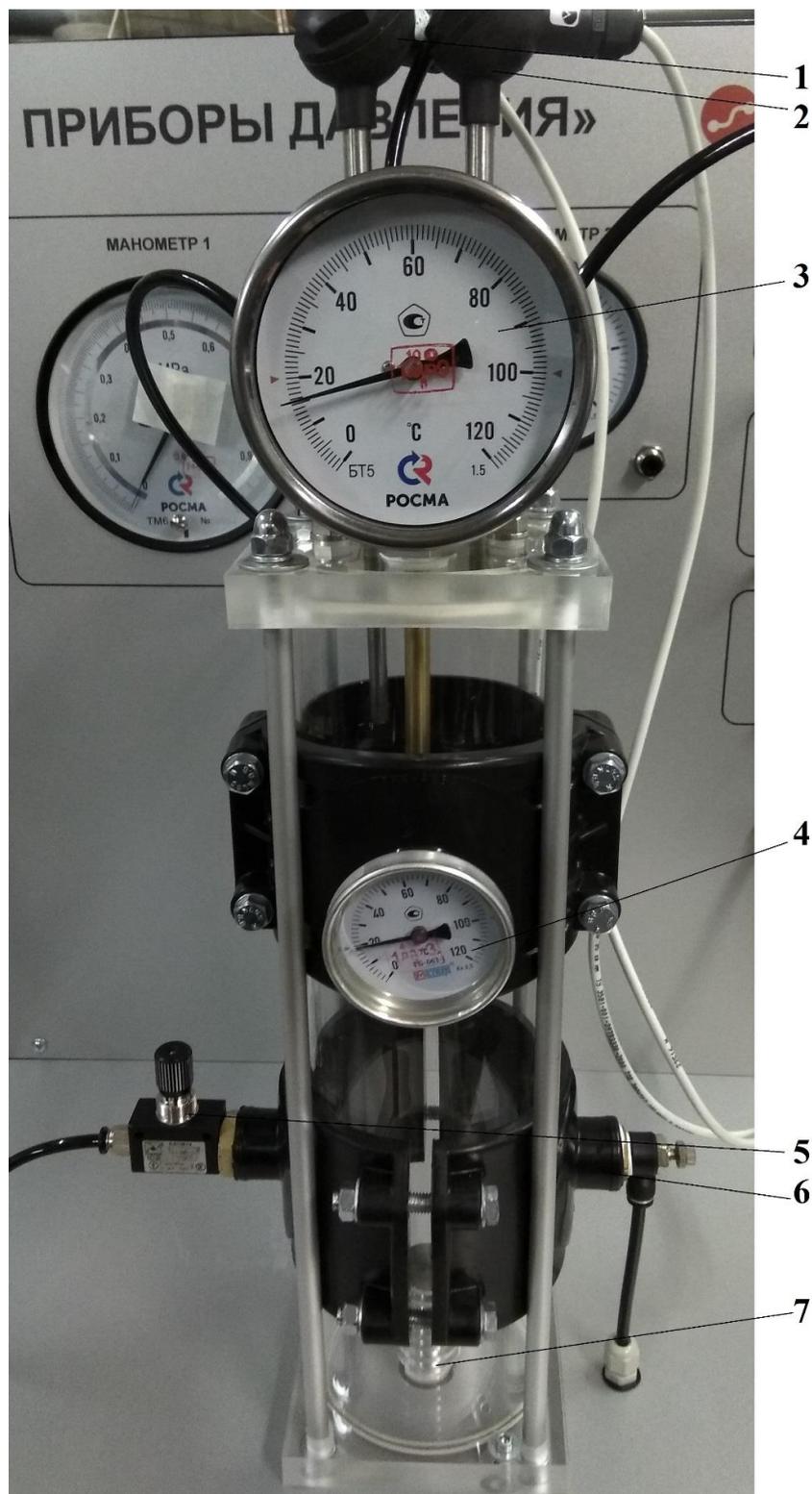


Рис. 4. Измерительный ресивер

Принятые обозначения: 1 – датчик температуры ДТПЛ(ТХК); 2 – датчик температуры ДТС-50М; 3 – термометр ТМ1 с классом точности 1,5; 4 – термометр ТМ2 с классом точности 2,5; 5 – регулируемый дроссель Др1 на линии подачи воздуха; 6 – дроссель Др2 линии выхода; 7 – нагревательный элемент.



Рис. 5. Внешний вид дросселя Др1

Органы управления и контроля приборной панели стенда представлены на рис. 6.



Рис.6. Органы управления и контроля приборной панели стенда

Включение и выключение стенда осуществляется автоматическим переключателем «Вводной автомат», при этом загорается индикаторная

лампа «СЕТЬ». К разъему «USB-PC» подключается кабель передачи данных в ноутбук, провод питания ноутбука подключается к расположенной ниже бытовой розетке. Включение компрессора осуществляется поворотным переключателем. Режим работы компрессора определяется положением трехпозиционного поворотного переключателя:

- «ИЗБЫТОЧНОЕ» - левое положение;
- «ВАКУУМ» - правое положение;
- автоматический (под управлением программы с ноутбука) – среднее положение.

Установка давления линии подачи сжатого воздуха осуществляется регулятором давления (дроссель), величина давления контролируется по расположенному справа манометру.

Режим «ВАКУУМ» (вакуумметрическое давление) также создается компрессором, используя явление эжекции. Разрежение регулируется дросселем регулятора давления – с увеличением давления на выходе компрессора увеличивается степень разрежения.

Штуцер для подключения к ресиверу компрессора (минуя регулятор давления) расположен справа внизу на лицевой панели и закрыт заглушкой.

Включение нагревателя производится поворотным выключателем «Нагреватель», степень нагрева регулируется ручкой потенциометра справа.

Кнопка «СТОП» предназначена для экстренной остановки компрессора и сброса давления в измерительном ресивере. При проведении работ не рекомендуется превышать избыточное давление в ресивере измерений свыше 4 атм.

Список лабораторных работ, выполняемых на данном лабораторно-исследовательском стенде, приведен в оглавлении.

Перечень применяемого в стенде оборудования

Средства измерения параметров давления

Немного теории. Давление - наиболее распространенный измеряемый параметр, одна из основных величин, определяющих термодинамическое состояние вещества. Давлением называют отношение силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности. Давление как физическая величина определяется в виде энергии вещества (жидкость или газ), отнесенной к единице объема, и является наряду с температурой основным параметром его физического состояния. Воздействие давления вещества на внешний объект проявляется в виде силы F , действующей на единицу площади S , т. е. $P = F/S$.

Различают следующие виды давления: - атмосферное; - абсолютное; - избыточное; - вакуумметрическое (разрежение).

Атмосферное (барометрическое) давление $P_{\text{атм}}$ – это давление, создаваемое массой воздушного столба атмосферы.

Абсолютное давление $P_{\text{абс}}$ – давление, отсчитанное от абсолютного нуля. За начало отсчёта абсолютного давления принимают давление внутри сосуда, из которого полностью откачан воздух. Также под абсолютным давлением понимается полное давление, которое равно сумме атмосферного и избыточного: $P_{\text{абс}} = P_{\text{и}} + P_{\text{атм}}$.

Избыточное давление – разность между абсолютным и атмосферным давлением: $P_{\text{и}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}}$, - избыточное давление всегда выше атмосферного.

Вакуумметрическое (разрежение) - разность между атмосферным и абсолютным давлением: $P_{\text{в}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}$, - вакуумметрическое давление всегда ниже атмосферного.

В международной системе единиц (СИ) за единицу давления принят Паскаль (Па) – давление, создаваемое силой в 1 Ньютон (Н), равномерно распределённой по поверхности площадью в один квадратный метр ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$) и направлена перпендикулярно к ней. Широко применяют кратные единицы кПа и Мпа.

Приборы измерения давления в зависимости от измеряемой величины разделяют на следующие типы:

1. Манометры (для измерения избыточного или абсолютного давления);
2. Барометры (для измерения атмосферного давления);
3. Вакуумметры (для измерения вакуумметрического давления);
4. Дифференциальные манометры (дифманометры), предназначенные для измерения разности давлений.

Манометры, предназначенные для измерения малых значений, имеют следующие названия:

1. Напоромеры - для измерения избыточных давлений до 40 кПа;
2. Тягомеры- для измерения малых вакуумметрических давлений до 40 кПа;
3. Тягонапоромеры - приборы давления, имеющие двустороннюю шкалу с пределами измерения ± 20 кПа (значение «ноль» на шкале соответствует атмосферному давлению).

По принципу действия чувствительного элемента приборы для измерения давления разделяют на:

1. Жидкостные - приборы, в которых измеряемое давление уравнивается весом столба жидкости, а изменение уровня жидкости в

сообщающихся сосудах служит мерой давления, называются жидкостными;

2. Грузопоршневые - приборы, в которых измеряемое давление уравнивается усилием, создаваемым калиброванными грузами, воздействующими на свободно передвигающийся в цилиндре поршень;
3. Пружинные (деформационные) - приборы, в которых измеряемое давление уравнивается силами упругости пружины, деформация которой служит мерой давления;
4. Приборы с дистанционной передачей показаний (датчики) - приборы, в которых используются изменения тех или иных электрических свойств вещества (электрического сопротивления проводников, электрической емкости, возникновение электрических зарядов на поверхности кристаллических минералов и др.) под действием измеряемого давления.

По метрологическому назначению манометры делятся на образцовые и рабочие.

Образцовыми измерительными приборами называются устройства, предназначенные для поверки других измерительных приборов. Образцовые манометры имеют следующие классы точности:

0,05; 0,2 — грузопоршневые манометры;

0,16; 0,25; 0,4 — пружинные манометры.

Рабочими измерительными приборами называются все измерительные приборы, служащие для непосредственных измерений. Рабочие манометры имеют классы точности 0,4; 0,6; 1; 1,5; 2,5; 4.

Метод и средства измерений давления выбирают в зависимости от значений требуемой точности, условий проведения измерений, диапазона измеряемых величин давлений, способов отбора давления и его подвода к измерительным приборам. Исходя из надежности работы приборов, конечное значение их шкалы выбирают таким, чтобы оно превышало измеряемую величину при стабильном давлении в 1,5 раза, а при колеблющемся — в 2 раза. В обоих случаях минимальное измеряемое давление должно быть не меньше $1/3$ диапазона шкалы прибора. Показания манометров с упругими чувствительными элементами зависят от температуры, поэтому их устанавливают так, чтобы исключить влияние температуры измеряемой и окружающей среды. Дополнительная погрешность этих манометров составляет 0,4 % на каждые 10 °С.

Манометры применяют для прямого измерения давления с отображением его значения непосредственно на шкале, табло или индикаторе первичного измерительного прибора.

Стрелочные деформационные манометры

В настоящем стенде применены пружинные деформационные манометры, различающиеся классом точности: манометр 1 (М1) классом точности 0,6 % и манометр 2 (М2) классом точности 1,0 %. Манометры установлены на лицевой панели стенда и подключены к ресиверу измерений.

Устройство манометра представлено на рис. 7:

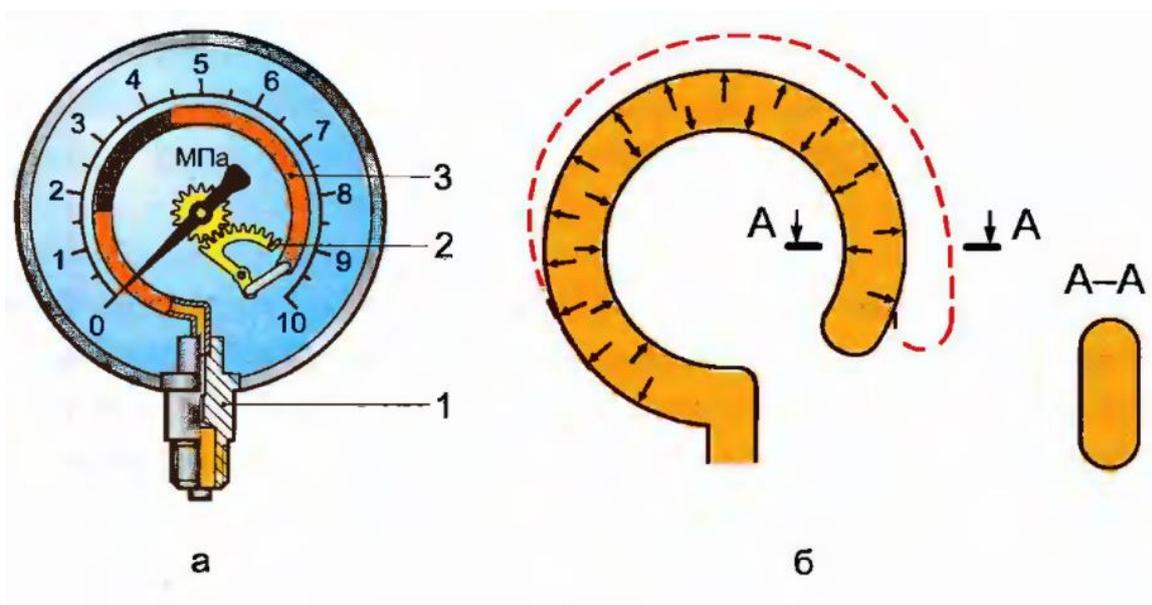


Рис. 7. Конструкция манометра с трубкой Бурдона.

Принятые обозначения: 1 - штуцер, 2 – зубчатый сектор, 3 – тонкостенная трубка Бурдона.

Чувствительным элементом пружинных манометров является трубка Бурдона (3) - полая латунная трубка эллиптического или овального сечения, согнутая по дуге и запаянная с одного конца. С другого конца трубка приварена к штуцеру (1), к которому подводится измеряемое давление. Запаянный (свободный) конец пружины шарнирно соединен с поводком. Давление действует на внутреннюю поверхность трубки Бурдона. Из-за разности площадей, на которые воздействует давление среды, трубка будет стремиться распрямиться. Получается, что при увеличении давления латунная трубка разгибается (рис. б), ее свободный конец перемещается относительно первоначального положения. При перемещении свободного конца пружины поводок поворачивает зубчатый сектор (2), который в свою очередь вращает шестерню, на одной оси с которой закреплена

показывающая стрелка. Величина смещения пропорциональна величине приложенного давления и по положению стрелки на градуированной шкале может быть считана.

Класс точности манометра – это отраженная в процентах наибольшая допускаемая относительная погрешность, приведенная к его диапазону измерений.

Целью лабораторных работ является получение навыков работы с указанными манометрами, сравнение показаний манометров при различных величинах давления в ресивере, расчет погрешности приборов. В качестве образцового манометра можно использовать датчик давления 2 (ДД2) с классом точности 0,5 %.

При проведении измерений и расчета погрешностей первоначально рассчитывается абсолютная погрешность Δ манометров по формуле:

$$\Delta = |P_{\text{изм}} - P_{\text{обр}}|, \quad (1)$$

где $P_{\text{изм}}$ – значение давления на шкале манометра; $P_{\text{обр}}$ – показание образцового датчика (принимается за действительное значение).

Относительная погрешность δ рассчитывается по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{P_{\text{обр}}} \cdot 100 \% . \quad (2)$$

Приведенная погрешность γ рассчитывается по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta}{P_{\text{max}}} \cdot 100 \% , \quad (3)$$

где P_{max} – максимальное значение давления, измеряемое на шкале манометра. В данных манометрах $P_{\text{max}} = 1 \text{ МПа}$.

Датчики давления тензорезистивного типа

Основной принцип преобразования давления в датчиках давления (ДД) – тензометрический. Чувствительным элементом является «мост Уитстона» из тензорезисторов, напыленных на мембрану из различного материала. Под действием измеряемого давления мембрана деформируется, тензорезисторы меняют величину своего сопротивления, нормирующий преобразователь преобразует разбалансировку «моста» в выходной сигнал с заданной погрешностью.

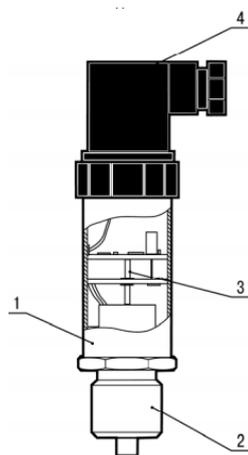


Рис. 8. Внешний вид датчика давления тензорезистивного типа

Принятые обозначения: 1 – корпус, 2 – штуцер, 3 – нормирующий преобразователь, 4 – кабельный ввод.

В описанном датчике использован сенсор КНК в корпусе из нержавеющей стали (рис. 8, 9). Технология КНК («кремний-на-кремнии») основана на изготовлении сенсора из монокристалла кремния с нанесенным на него методом диффузии тензорезистивным мостом.



Рис. 9. Внешний вид сенсора КНК и место ее установки в датчике

ДД обеспечивают непрерывное преобразование измеряемого давления (абсолютного, избыточного, дифференциального, разрежения, гидростатического и избыточного - вакуумметрического) нейтральных и неагрессивных (по отношению к контактирующим с ними материалам) сред в унифицированный токовый выходной сигнал 4-20 мА (рис.10).

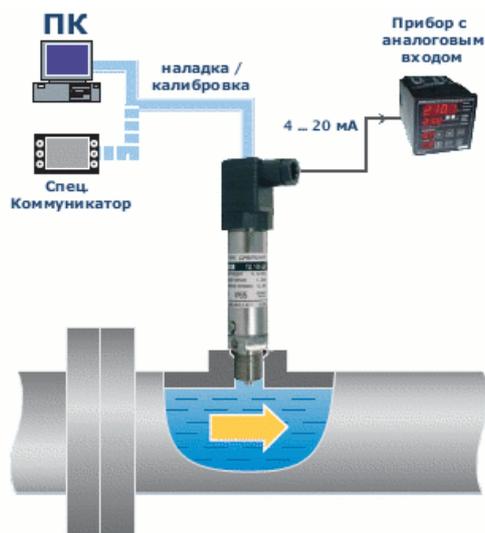


Рис. 10. Место установки датчиков давления на трубопроводе

В состав стенда включены следующие датчики давления:

- Датчик абсолютного давления (Д1) – РТ – 304 (КНР) с диапазоном измерений $0 \div 900$ кПа, класс точности 0,5 %.
- датчик избыточного давления (Д2) - ПД100-ДИ1.0-111.0.5 (Россия) с диапазоном измерений $0 \div 1000$ кПа, класс точности 0,5 %.
- датчик избыточного давления (Д3) - ПД100-ДИ1.0-111.1.0 (Россия) с диапазоном измерений $0 \div 1000$ кПа, класс точности 1,0 %.

Датчики Д1 и Д2 определяют давление в ресивере измерений. Датчик Д3 установлен в линию подачи сжатого воздуха после регулятора давления и фактически дублирует показания манометра регулятора давления.

Лабораторная работа № 1

Сравнительный анализ показаний рабочих и образцовых манометров

Целью лабораторной работы состоит в сравнении показаний двух манометров при одном и том же значении уставки давления с показаниями образцового манометра (датчика давления).

Порядок выполнения задания:

1. Подключить провод питания ноутбука и провод передачи данных от ноутбука к стенду.
2. Проверить и при необходимости установить выключатели «Нагрев» и «Компрессор» в положение «ВЫКЛ».
3. Установить «Регулятор давления» в положение «0» (ручку влево).
4. Переключатель режима работы компрессора установить в положение «ИЗБЫТОЧНОЕ».
5. Подать питание на стенд выключателем «Вводной автомат».

6. Включить ноутбук, запустить программу.
7. Зафиксировать показания манометров М1, М2 и датчика давления ДД2.
8. Заполнить данные в таблицу Н1.
9. Включить компрессор, дождаться его автоматического отключения.
10. Установить регулятором давления значение 0,1 МПа. Контроль вести по показанию датчика ДД2 на мнемосхеме.
11. Выполнить пункты 7,8 задания.
12. По предложенной методике, увеличивая давление с шагом 0,1 МПа, провести необходимые измерения. Максимальное давление в ресивере измерений не должно превышать 400 КПа.
13. Остановить установку и сбросить избыточное давление в ресивере, нажав кнопку «СТОП».

Таблица Н1

Результаты сравнительного анализа показаний рабочих
и образцовых манометров

	Класс точности	P_{max}	P_1	P_2	...				P_n
ДД2	0,5%	-							
М1	0,6%	1МПа							
М2	1,0%	1МПа							
$\Delta 1$	-	-							
$\Delta 2$	-	-							
$\delta 1$	-	-							
$\delta 2$	-	-							
$\gamma 1$	-	-							
$\gamma 2$	-	-							

14. Выключить установку. Установить ручки управления в первоначальное состояние.
15. Обработать полученные данные – рассчитать погрешности. Сделать выводы.
16. Подготовить отчет и представить преподавателю.

Лабораторная работа № 2
Изучение и анализ работы датчиков давления

Целью лабораторной работы № 2 является ознакомление с указанными датчиками давления, получение навыков измерений, сравнение показаний датчиков.

Порядок выполнения задания:

1. Подключить провод питания ноутбука и передачи данных от ноутбука к стенду.
2. Проверить и при необходимости установить выключатели «Нагрев» и «Компрессор» в положение «ВЫКЛ».
3. Установить «Регулятор давления» в положение «0» (ручку влево).
4. Переключатель режима работы компрессора установить в положение «ИЗБЫТОЧНОЕ».
5. Подать питание на стенд выключателем «Вводной автомат».
6. Включить ноутбук, запустить программу.
7. Зафиксировать показания датчиков давления Д1, Д2.
8. Заполнить данные в таблицу Н2.
9. Включить компрессор, дождаться его автоматического отключения.
10. Установить регулятором давления значение 0,1МПа. Контроль вести по показанию датчика Д2 на мнемосхеме.
11. Выполнить пункты 7, 8 задания.
12. По указанной методике увеличивая давление с шагом 0,1 МПа, провести необходимые измерения. Максимальное давление в ресивере измерений не превышать 400кПа.

Таблица Н2

Результаты измерений и анализа работы датчиков давления

	Класс точности	P_{max}	P_1	P_2	...				P_n
Д1	0,5%	0,9МПа							
Д2	0,5%	1МПа							
Δ	-	-							

13. Остановить установку и сбросить избыточное давление в ресивере, нажав кнопку «СТОП».
14. Выключить установку. Установить ручки управления в первоначальное состояние.
15. Обработать полученные данные – рассчитать расхождения между показаниями датчиков. Сделать выводы по проделанной работе.
16. Нажать кнопку «Графики» мнемосхемы компьютера (рис. 11). Проанализировать графики показаний давления обоих датчиков в режиме реального времени (рис. 12). Сделать выводы.
17. Подготовить отчет и представить преподавателю.

датчики давления			
Д1 (ДА 0..900кПа 0.5%)			
100 кПа		5.78 мА	
Д2 (ДИ 0..1000кПа 0.5%)		Д3 (ДИ 0..1000кПа 1%)	
0 кПа	4.00 мА	0 кПа	4.00 мА
Датчики температуры			
Т1 (ДТПЛ)		Т2 (ДТС-50М)	
20.0 °С	1.29 мВ	20.0 °С	54.3 Ом
Т3 (ДТС-50М)			
20.0 °С		54.3 Ом	
Управление			
Уставка давления		Пуск	
75 кПа			
Графики		Выход	

Рис. 11. Информационная модель программы

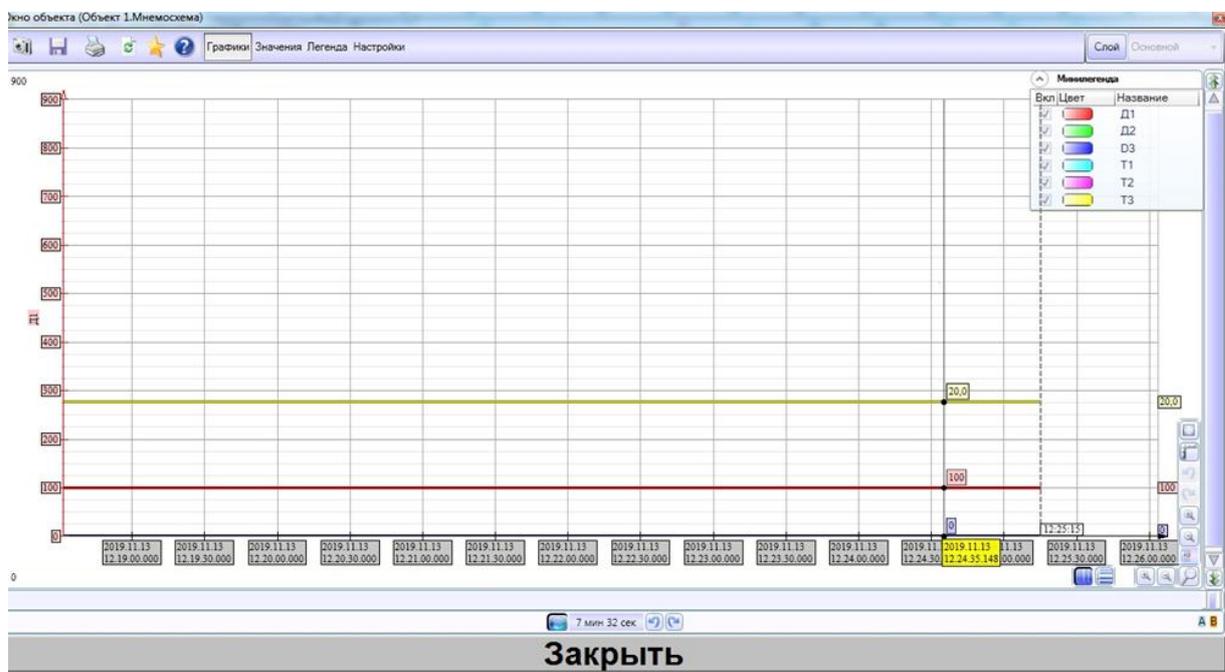


Рис. 12. Построение графиков измерения давления

Средства измерения параметров температуры

Термометры

Немного теории. Температура - скалярная физическая величина, характеризующая среднюю кинетическую энергию частиц макроскопической системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия. Температура не может быть измерена непосредственно. Об изменении температуры судят по изменению других физических свойств тел (линейных

размеров, давления, электрического сопротивления, ЭДС, интенсивности излучения и др.) однозначно с ней связанных.

Методы измерения температуры различны для разных диапазонов измеряемых температур, они зависят от условий измерений и требуемой точности. Их можно разделить на две группы методов: контактные (термометрия) и бесконтактные (пирометрия).

Для контактных методов характерно, что прибор, измеряющий температуру среды (термометр), должен находиться с ней в тепловом равновесии, то есть иметь одинаковую температуру. Основными узлами всех термометров являются чувствительные элементы, где реализуется термометрическое свойство и связанный с ним измерительный прибор (вторичный прибор). Вторичные измерительные приборы (механизм передачи вращения стрелки циферблата, потенциометры, манометры, милливольтметры, измерительные мосты и другое) определяют точность измерения температуры.

Любой метод измерения температуры связан с определением температурной шкалы. Основной температурной шкалой является термодинамическая. Единица измерения термодинамической температуры T - кельвин (К), определяемый как $1/273,16$ термодинамической температуры тройной точки воды. В инженерной практике достаточно широко используют нестандартные эмпирические температурные шкалы ртутно-стеклянных термометров, например, шкалы Цельсия, Фаренгейта, Реомюра и др. Наиболее известна температурная шкала Цельсия. В этой шкале интервал между точкой таяния льда (принятой за 0°) и точкой кипения воды при нормальных условиях (принятой за 100°) был разделен на 100 равных частей (градусов). Градус Цельсия принят в точности равным единице измерения термодинамической температуры – кельвину (К). Тройной точке воды присвоено значение $0,01^{\circ}\text{C}$, поэтому связь шкалы Цельсия с термодинамической шкалой определяется формулой: $T[\text{K}] = t[^{\circ}\text{C}] - 273,15$.

Термометр биметаллический

Термометр биметаллический (термометр БТ) относится к техническим приборам, предназначенным для измерений температуры жидкостей и газов в отопительных и санитарных установках, в системах кондиционирования и вентиляции, а также для измерений температуры сыпучих и вязких сред в пищевой промышленности.

Принцип действия термометра основан на зависимости деформации чувствительного элемента (биметаллической пружины) от измеряемой температуры (рис.13).

Биметаллическая пружина выполнена из двух прочно соединенных металлических пластин, которые имеют различные температурные коэффициенты линейного расширения. Один из металлов (обычно это медь) при нагреве расширяется сильнее, чем другой (обычно инвар), отчего и происходит раскручивание спирали. Инвар — это сплав железа и никеля, обладающий низким коэффициентом теплового расширения. Один конец биметаллической пружины закреплен внутри штока, а к другому присоединена стрелка. Для точного позиционирования стрелки в положение «0», например, при поверке прибора, служит корректор. Когда изменяется температура, пружина изгибается и вращает стрелку термометра (рис. 14).

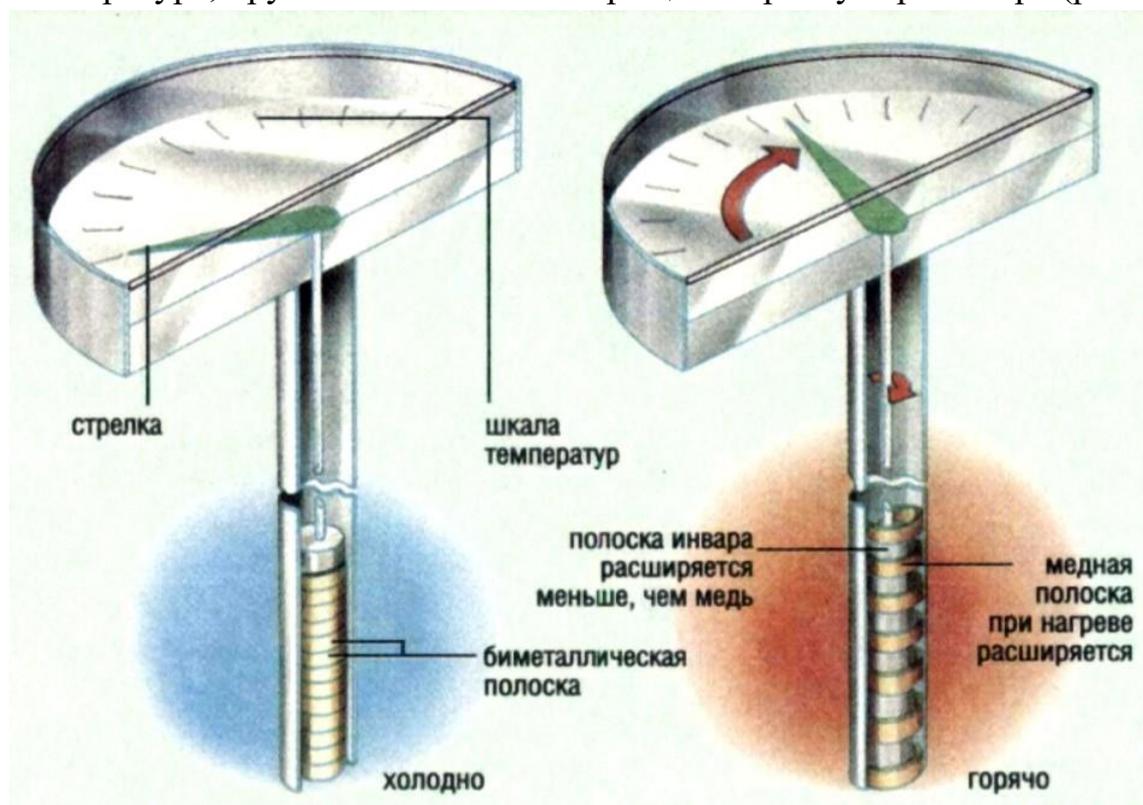


Рис.13. Устройство биметаллического термометра

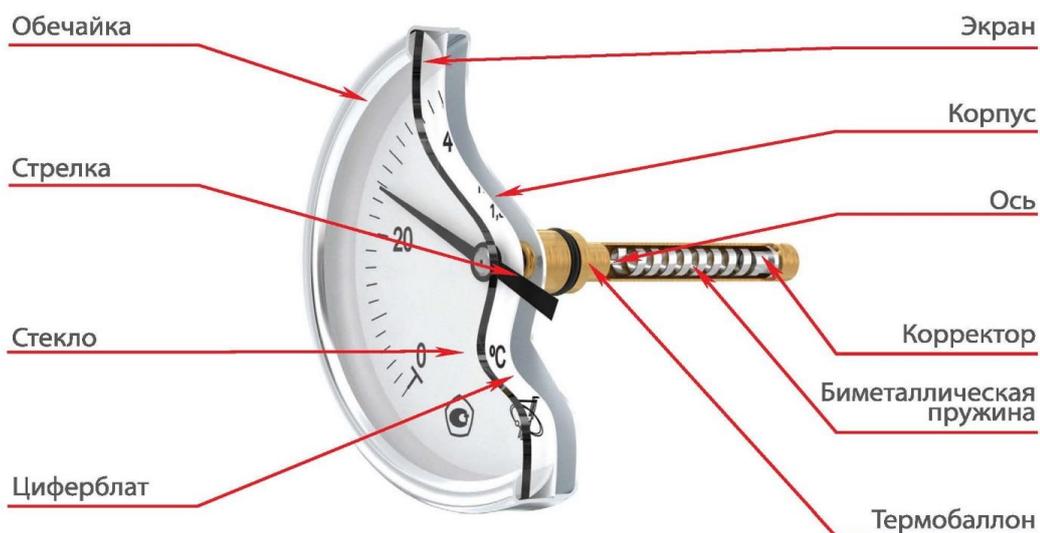


Рис.14. Конструкция биметаллического термометра БТ.

В зависимости от типа присоединения штока к корпусу термометры БТ делятся на осевые (рис.15а) и радиальные (рис.15б).



Рис.15. Тип присоединения штока к корпусу термометры БТ: а) осевой биметаллический термометр, б) радиальный биметаллический термометр

Корпус прибора изготавливается из хромированной или нержавеющей стали. Материал штока – из латуни или нержавеющей стали.

В настоящем стенде использованы два биметаллических термометра – ТМ1 и ТМ2, различающихся типом присоединения штока к корпусу и

классом точности. Класс точности термометров указывается на циферблате и выбирается из ряда 1,5; 2,5; 4,0.

Пределы допускаемой основной погрешности приборов, выраженные в процентах диапазона показаний при температуре окружающего воздуха (20 ± 5) °С, составляют:

$\pm 1,5$ % для приборов класса точности 1,5;

$\pm 2,5$ % для приборов класса точности 2,5.

$\pm 4,0$ % для приборов класса точности 4,0.

Термометры вмонтированы в ресивер для проведения измерений.

Целью настоящей лабораторной работы является получение навыков в проведении измерений с указанными термометрами, сравнение показаний термометров при различных значениях температур в ресивере, расчета погрешности приборов. В качестве образцового термометра можно использовать любой из датчиков температуры – Т1, Т2 (образцовыми измерительными приборами называются приборы, предназначенные для поверки других измерительных приборов).

Абсолютную погрешность Δ термометров рассчитать по формуле (4):

$$\Delta = |t_{\text{изм}} - t_{\text{обр}}| \quad (4)$$

где $t_{\text{изм}}$ – значение температуры на шкале термометра; $t_{\text{обр}}$ – показание образцового датчика (принимается за действительное значение).

Относительную погрешность δ рассчитать по формуле (5):

$$\delta = \frac{\Delta}{t_{\text{обр}}} \cdot 100 \% \quad (5)$$

Приведенную погрешность γ рассчитать по формуле (6):

$$\gamma = \frac{\Delta}{t_{\text{max}}} \cdot 100 \% \quad (6)$$

где t_{max} – максимальное значение температуры, измеряемое на шкале термометра. В данных термометрах $t_{\text{max}} = 120^{\circ}$.

Термоэлектрические термометры (термопары) Датчики температуры ДТПЛ(ТХК) и ДТС-50М

Принцип действия термоэлектрических термометров основан на термоэлектрическом эффекте, заключающемся в том, что в замкнутой цепи из двух или нескольких разнородных металлов или полупроводников возникает термоэлектродвижущая сила (т.э.д.с.), если места соединения

(спая) проводников имеют разную температуру. Термопара состоит из двух различных металлических проводов, сваренных или спаянных одними концами («горячий» спай), а другими концами соединенных с гальванометром (рис. 16).

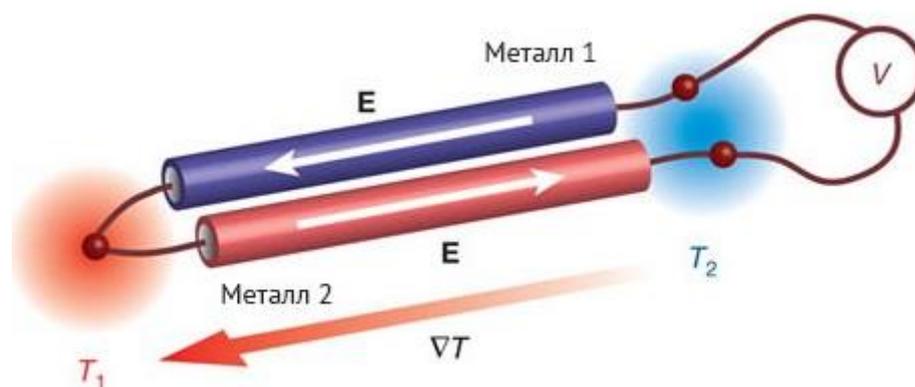


Рис.16. Конструктивные особенности термопар

Места скрепления обоих проводов с проводниками цепи называют «холодными» спаями. Если горячий спай помещен в среду с более высокой температурой, чем холодный, то на концах проводников возникает разность потенциалов. Разность потенциалов неодинакова для разных пар металлов и будет тем выше, чем больше разность температур горячего и холодного спаев.

Термоэлектрические термометры широко применяют в диапазоне температуры от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+2500\text{ }^{\circ}\text{C}$, но в области низких температур (менее $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$) они получили меньшее распространение, чем электрические термометры сопротивления. При температуре выше $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ термоэлектрические термометры применяют в основном для кратковременных измерений. Достоинствами термоэлектрических термометров являются возможность измерения температуры с достаточной точностью в отдельных точках тела, малая тепловая инерция, достаточная простота изготовления в лабораторных условиях, выходной сигнал является электрическим. Термо-ЭДС в термопарной цепи можно измерить милливольтметром по методу непосредственной оценки и потенциометром по методу сравнения.

Основные типы термопар, применяемых для измерения температур:

- вольфрам-вольфрамрениевые (ВР5/20) до $2400 \dots 2500\text{ K}$;
- платино-платинородиевые (Pt/PtRh) до $1800 \dots 1900\text{ K}$;
- хромель-алюмелевые (ХА) до $1600 \dots 1700\text{ K}$;
- хромель-копелевые (ХК) до 1100 K .

В настоящем стенде использован термоэлектрический преобразователь ДТПЦ производства ООО «ПО ОВЕН» (Россия) (рис. 17).



Рис.17. Внешний вид термопары ДТПЦ

Датчики такого типа предназначены для непрерывного измерения температуры жидких, паро- и газообразных сред, сыпучих материалов и твердых тел, не агрессивных к материалу защитной арматуры термометра (сталь 10X18Н10Т). Класс допуска – 2,0. Датчики выполнены с термоизолированным спаем, диаметр проволоки термоэлектрода 0,7 мм. Количество чувствительных элементов (ЧЭ) – один.

Основные характеристики датчика ДТПЦ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тип датчика	Материалы термопары	Диапазон измеряемых температур, °С	Номинальная статическая характеристика	Показатель тепловой инерции, с, не более
ДТПЦ 015-0100.80	хромель-копель	-40 ... +600	L(XK)	20

Хромель — сплав, состоящий из следующих элементов: хром – 8,7-10 %; никель – 89-91 %; кремний, медь, марганец, кобальт — примеси. В данной термопаре служит положительным электродом.

Копель — сплав, состоящий из следующих элементов: медь (основа); никель – 43-44 %; железо - 23 %. В данной термопаре служит отрицательным электродом.

Электрические термометры сопротивления

Электрические термометры сопротивления основаны на температурной зависимости электрического сопротивления термометрического вещества и широко применяются для измерения температуры от -260°C до $+750^{\circ}\text{C}$, а в отдельных случаях до $+1000^{\circ}\text{C}$. Чувствительным элементом термометра является терморезисторный преобразователь, который позволяет преобразовать изменение температуры (неэлектрической величины) в изменение сопротивления (электрической величины). Терморезистором может служить любой проводник с известной температурной зависимостью сопротивления. В качестве материала для терморезистора используют такие металлы, как платина, медь, никель, железо, вольфрам, молибден. Кроме них, в термометрах сопротивления могут быть использованы некоторые полупроводниковые материалы.

Достоинствами металлических термометров сопротивления являются высокая степень точности измерения температуры, возможность применения стандартной градуировочной шкалы во всем диапазоне измерения, электрическая форма выходного сигнала.

При применении в качестве резистивного элемента полупроводниковых материалов его обычно называют термосопротивлением, терморезистором или термистором; если резистивный элемент металл – металлическим термометром сопротивления.

Датчики, всюду применяемые на территории России, маркируются следующим образом. Медные — 50М и 100М, платиновые - 50П, 100П, Pt100, Pt500, Pt1000. Медные элементы 50М и 100М изготавливаются путем ручной намотки тонкой медной проволоки, а платиновые 50П и 100П — путем намотки проволоки платиновой (рис. 18).

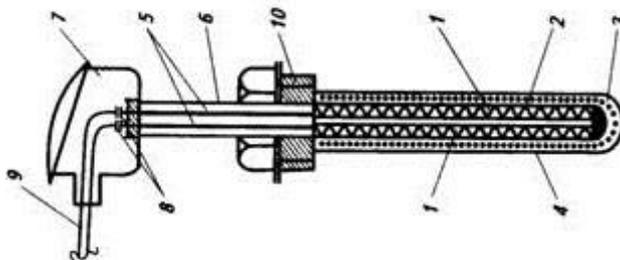


Рис. 18. Конструкция электрических термометров сопротивления

Принятые обозначения: 1 - чувствительный элемент из платиновой или медной проволоки в форме спирали, расположенный на керамическом стержне; 2 - пористый керамический цилиндр; 3 - керамический порошок; 4 - защитная наружная трубка из нержавеющей стали; 5 - токопередающие выводы; 6 - наружная защитная трубка из нержавеющей стали; 7 - головка

термометра со съемной крышкой; 8 - клеммы для присоединения выводного провода; 9 - провод к фиксирующему прибору; 10 - втулка с резьбой для установки в трубопровод, имеющий патрубки с внутренней резьбой (может не устанавливаться, в зависимости от конструктивного исполнения).

Наиболее чувствительные термометры Pt1000 и Pt100 изготавливают путем напыления тончайшего слоя платины на керамическую основу-подложку. Технологически достигается напылением малого количества платины (около 1 мг) на чувствительный элемент, дающим элементу небольшой размер. Свойства платины при этом сохраняются: линейная зависимость сопротивления от температуры, устойчивость к высоким температурам, термостабильность.

В настоящем стенде использован металлический датчик температуры ДТС-50М (рис. 19).



Рис.19. Внешний вид электрических термометров сопротивления

Принятые обозначения: 1 – корпус; 2 – крышка коммутационной головки; 3 – гайка-колпачок с сальником для провода; 4 – этикетка с маркировкой; 5 – полый герметичный стержень с установленным внутри чувствительным элементом.

Основные характеристики датчика ДТС 015 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Тип датчика	Металл ЧЭ	Статическая характеристика	Диапазон измеряемых температур, °С	Показатель тепловой инерции, с
ДТС 015-50М.В3.80	медь (проволока)	50М	-50+180	не более 30

Лабораторная работа № 3 Изучение работы датчиков температуры

Целью лабораторной работы является ознакомление с указанными датчиками температуры, получение навыков измерений, сравнение показаний датчиков.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Подключить провод питания и передачи данных от ноутбука к стенду.
2. Проверить и при необходимости установить выключатели «Нагрев» и «Компрессор» в положение «ВЫКЛ».
3. Установить потенциометр нагрева в положение минимальное (ручку влево).
4. Подать питание на стенд выключателем «Вводной автомат».
5. Включить ноутбук, запустить программу.
6. Зафиксировать показания термометров ТМ1, ТМ2 и датчика температуры.
7. Заполнить данные в таблицу НЗ.
8. Включить нагреватель.
9. Установить ручку регулировки нагрева в первое от минимального положения.
10. Дождаться установившегося температурного режима (по стабильности показаний датчика температуры).

Таблица НЗ

Результаты проведенных измерений по изучению
работы датчиков температуры разных типов

	Класс точности	t_{\max}	t_1	t_2	...				t_n
T1	-	-							
TM1	1,5%	120							
TM2	2,5%	120							
$\Delta 1$	-	-							
$\Delta 2$	-	-							
$\delta 1$	-	-							
$\delta 2$	-	-							
$\gamma 1$	-	-							
$\gamma 2$	-	-							

11. Зафиксировать показания термометров ТМ1, ТМ2 и датчика.
12. Установить ручку регулировки нагрева в следующее положение в сторону увеличения.
13. Выполнить пункты 10, 11 задания.

14. По указанной методике провести измерения вплоть до максимального значения температуры.
15. Выключить нагреватель. Установить регулятор температуры в наименьшее положение.
16. Выключить установку.
17. Обработать полученные данные – рассчитать погрешности. Сделать выводы. Подготовить отчет и представить преподавателю.

Лабораторная работа № 4

Изучение работы датчиков температуры в комплекте с ресивером

Целью лабораторной работы является изучение датчиков температуры, сравнение показаний в температурном диапазоне, доступном в ресивере измерений.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Подключить провод питания и передачи данных от ноутбука к стенду.
2. Проверить и при необходимости установить выключатели нагрева и компрессора в положение «ВЫКЛ».
3. Установить потенциометр нагрева в положение минимальное (повернуть ручку влево).
4. Подать питание на стенд выключателем «Вводной автомат».
5. Включить ноутбук, запустить программу.
6. Зафиксировать показания датчиков T1, T2.
7. Зафиксировать показания термо - ЭДС (мВ) термопары и сопротивления датчика ДТС (Ом).
8. Заполнить данные в таблицу Н4.
9. Включить нагреватель.
10. Установить ручку регулировки нагрева в первое от минимального положения.

Таблица Н4

Результаты исследования работы датчиков температуры
в комплекте с ресивером

	Класс допуска	t_{min}	t_{max}	t_1	t_2	...				t_n
T1	2,0	-40	+600							
T2	B	-50	+180							
ЭДС	-	-	-							
R	-	-	-							
ΔT	-	-	-							

11. Дождаться установившегося температурного режима (по стабильности показаний любого датчика температуры, например, T1).
12. Зафиксировать показания датчиков T1, T2.
13. Установить ручку регулировки нагрева в следующее положение в сторону увеличения.
14. Выполнить пункты 10,11 задания.
15. По указанной методике провести измерения вплоть до максимального значения температуры.
16. Выключить нагреватель. Установить регулятор температуры в наименьшее положение.
17. Выключить установку.
18. Обработать полученные данные – рассчитать расхождения показаний датчиков на всем диапазоне измерений. Построить графики зависимости ЭДС термопары от температуры $U(t)$; сопротивления медного термометра от температуры $R(t)$.
19. Нажать кнопку «Графики» мнемосхемы (рис.20). Проанализировать графики температуры обоих датчиков в режиме реального времени.
20. Сделать выводы по работе, подготовить отчет и представить преподавателю.

датчики давления			
Д1 (ДА 0..900кПа 0.5%)			
100 кПа		5.78 мА	
Д2 (ДИ 0..1000кПа 0.5%)		Д3 (ДИ 0..1000кПа 1%)	
0 кПа	4.00 мА	0 кПа	4.00 мА
Датчики температуры			
Т1 (ДТПЛ)		Т2 (ДТС-50М)	
20.0 °С	1.29 мВ	20.0 °С	54.3 Ом
Т3 (ДТС-50М)			
20.0 °С		54.3 Ом	
Управление			
Уставка давления		Пуск	
75 кПа			
Графики		Выход	

Рис. 20. Информационная модель программы

Компрессор лабораторно-исследовательского стенда

Лабораторная работа № 5

Изучение характеристик поршневого компрессора

Немного теории. Из уравнения Менделеева-Клапейрона, выразив объем накачанного в ресивер воздуха к нормальным условиям, получим уравнение (11):

$$V_1 = \frac{T_0 \cdot P_2}{T_2 \cdot P_0} \cdot V_2 \quad , \quad (11)$$

где V_1 – объем воздуха, находящегося в ресивере, приведенный к нормальным условиям; T_0 и P_0 – температура и давление воздуха при нормальных условиях ($P_0=100$ кПа и $T_0=273$ К); P_2 – давление в ресивере, кПа; V_2 – объем ресивера, л

Производительность в пересчете на нормальные условия вычисляются по формуле (12):

$$Q = V_1/\tau \text{ (л/мин)} \quad , \quad (12)$$

где τ – время заполнения воздухом ресивера от начального атмосферного давления P_0 до конечного давления P_2 , мин.

Учитывая, что воздух в ресивере нагревается незначительно, можно сделать допущение $T_0/T_2 \approx 1$, выражение (13) можно переписать в виде:

$$V_1 \approx \frac{P_2}{P_0} \cdot V_2 \quad . \quad (13)$$

Целью лабораторной работы № 5 является изучение работы поршневого компрессора, снятие его некоторых основных характеристик: степени повышения давления π , производительности Q . Производительность приблизительно можно рассчитать исходя из времени (τ) заполнения ресивера известного объема (в компрессоре стенда равен 8л) от некоторого начального значения (например, атмосферного P_0) до некоторого значения P_2 .

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Проверить отсутствие избыточного давления в ресивере компрессора, при наличии – стравить.
2. Отсоединить пневмотрубку, идущую к датчику давления 1, со стороны разъема ресивера измерений.
3. Вынуть заглушку разъема ресивера компрессора и вставить ее в освободившийся разъем ресивера измерений.

4. Вставить пневмотрубку датчика давления 1 в разъем ресивера компрессора.
5. Установить ручку регулятора давления в положение «0» (повернуть против часовой стрелки в крайне левое положение).
6. Установить выключатель компрессора в положение «ВЫКЛ».
7. Установить переключатель режима компрессора в положение «ИЗБЫТОЧНОЕ».
8. Подключить ноутбук к стенду.
9. Подать питание на стенд выключателем «Вводной автомат».
10. Запустить программу «SCADA».
11. Включить компрессор, одновременно начав отсчет времени по секундомеру.
12. В момент автоматического отключения компрессора остановить секундомер (или зафиксировать текущий момент времени).
13. Зафиксировать максимальное рабочее давление по показанию датчика Д1.
14. Зафиксировать (или пересчитать) время набора давления до автоматического срабатывания отключения в минутах.
15. Заполнить полученные результаты в табл. Н5.

Таблица Н5

Результаты исследования характеристик поршневого компрессора

Номер опыта	Время заполнения ресивера, τ (мин)	P_2 (кПа)	Q(л/мин)
1			
2			
3			

16. Выключить компрессор.
17. Выпустить воздух из ресивера – вынуть заглушку ресивера измерений; регулятором давления обеспечить стравливание воздуха до полного его выхода.
18. Установить заглушку на ресивер измерений.
19. Установить ручку регулятора давления в положение «0».
20. Повторить измерения в соответствии с пунктами 11 – 19 (всего 3 опыта).
21. Выключить установку. Привести ручки управления в первоначальное состояние, соединить пневмотрубку от датчика Д1 к ресиверу измерений.

22. Обработать полученные результаты – рассчитать π , Q . Сделать выводы по работе, подготовить отчет и представить преподавателю.

Лабораторная работа № 6

Изучение параметров работы измерительного ресивера при изменении температуры при избыточном давлении

Немного теории. В термодинамике часто встречаются квазистатические изопроцессы: изохорный – процесс, происходящий при постоянном объеме; изобарный – процесс, в котором давление остается постоянным; изотермический – процесс, происходящий при постоянной температуре и т.д. Все квазистатические процессы можно изобразить в виде графика. Соответствующие кривые называются изохорой ($V=\text{const}$), изобарой ($P=\text{const}$) и изотермой ($T=\text{const}$) и т.д.

Уравнение, выражающее связь между термодинамическими параметрами макросистемы, называется уравнением состояния. Уравнение (14) состояния в общем виде для термодинамической системы может быть записано:

$$f(P, V, T) = 0 \quad (14)$$

Для идеального газа уравнение (15) состояния выражается законом Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT, \quad (15)$$

где m – масса газа; μ – молярная масса газа; R – универсальная газовая постоянная 8,31 Дж/моль·К.

Из уравнения состояния (15) легко получить уравнения изопроцессов, происходящих в идеальном газе, например, изохорного, изобарного и изотермического. Так, при изохорическом процессе ($m = \text{const}$, $V = \text{const}$), уравнение (15) примет вид:

$$P/T = \text{const} \quad (16)$$

Давление данной массы газа при постоянном объеме меняется линейно с температурой (закон Шарля):

$$P = P_0 (1 + a_v t), \quad (17)$$

где P_0 – давление газа при нормальных условиях; a_v – термический коэффициент давления, определяет отношение увеличения давления газа при нагревании на 1°C к его давлению P_0 при 0°C при условии $V=\text{const}$.

График процесса в координатах P , T – прямая (рис.21), проходящая через начало координат.

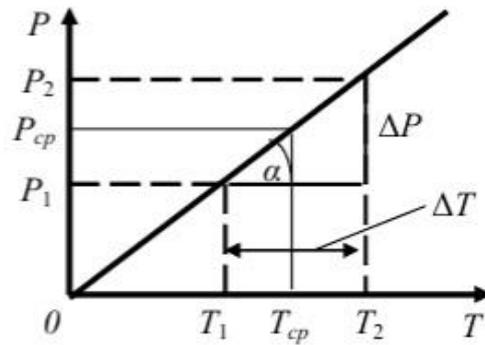


Рис. 21. График процесса в координатах P, T

Целью лабораторной работы является изучение параметров изменения давления в ресивере при нагревании в нем воздуха, находящегося при избыточном давлении; проверка справедливости закона Шарля.

Порядок выполнения работы.

1. Подключить провод питания и передачи данных от ноутбука к стенду.
2. Проверить и при необходимости установить выключатели нагрева и компрессора в положение «ВЫКЛ».
3. Установить потенциометр нагрева в положение минимальное (ручку влево).
4. Подать питание на стенд выключателем «Вводной автомат».
5. Включить ноутбук, запустить программу.
6. Включить режим компрессора «Автоматический» (ручка переключателя в среднее положение, рис. 22).

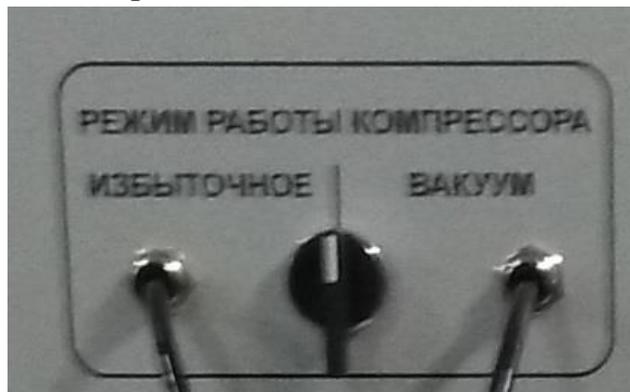


Рис. 22. Положение ручки переключателя

7. Установить вращением ручки регулятора давления величину избыточного давления - примерно 400кПа.
8. На информационной панели мнемосхемы программы компьютера с помощью «мышки» выбрать некоторую величину уставки давления в ресивере, например, 75 кПа (рис.23).
9. Включить компрессор.

10. С помощью «мышки» нажать кнопку «Пуск» на информационной панели мнемосхемы программы компьютера (при этом начнется набор давления в ресивере измерений, надпись на кнопке поменяется на «Стоп»).

11. При установке в ресивере выбранного значения величины избыточного давления (контролировать по стабильности показаний датчика Д2), с помощью «мышки» нажать кнопку «Стоп» на информационной панели мнемосхемы программы компьютера. При этом электромагнитные пневмоклапаны закроют линии подачи и выхода ресивера измерений.

Датчики давления			
Д1 (ДА 0..900кПа 0.5%)			
100 кПа		5.78 мА	
Д2 (ДИ 0..1000кПа 0.5%)		Д3 (ДИ 0..1000кПа 1%)	
0 кПа	4.00 мА	0 кПа	4.00 мА
Датчики температуры			
Т1 (ДТПЛ)		Т2 (ДТС-50М)	
20.0 °С	1.29 мВ	20.0 °С	54.3 Ом
Т3 (ДТС-50М)			
20.0 °С		54.3 Ом	
Управление			
Уставка давления		Пуск	
75 кПа			
Графики		Выход	

Рис. 23. Информационная модель программы компьютера

12. Зафиксировать температуру и давление в ресивере, показания температуры можно снимать по любым из датчиков -Т1 или Т2; для давления – по Д2.

13. Занести полученные данные в табл. Н6.

14. Включить нагреватель. Увеличить ручкой потенциометра нагрев в ресивере примерно на 10⁰С. Контроль температуры вести по датчику Т1 или Т2

15. Дождаться стабилизации состояния воздуха (по стабильности показаний датчиков температуры и давления).

16. Зафиксировать вновь полученные результаты, заполнить данные в таблицу.

17. Ступенчато повышая температуру в ресивере с шагом, например 10⁰С, провести серию измерений. В каждом случае перед фиксацией данных,

необходимо дождаться установившегося состояния воздуха по стабильности показаний датчиков.

18. Занести полученные данные в таблицу №6.

Таблица №6

Результаты исследования параметров работы измерительного ресивера при изменении температуры при избыточном давлении

№ опыта	1	2	n
t, °C									
P, кПа									

Внимание! При выполнении задания не допускать повышения температуры нагревательного элемента свыше 60 °C – контролировать по датчику ТЗ.

19. Выключить нагреватель.

20. Выключить компрессор.

21. Нажать кнопку «СТОП» на панели управления стенда.

22. Обработать полученные данные и построить график P(t).

23. Нажать кнопку «Графики» на информационной панели мнемосхемы программы компьютера с помощью «мышки», проанализировать графики изменения давления P и температуры t⁰ в режиме реального времени в ходе эксперимента.

24. Подготовить отчет о проделанной работе и сделать выводы. Отчет предъявить преподавателю.

Лабораторная работа № 7

Изучение параметров работы измерительного ресивера при изменении температуры при вакуумметрическом давлении

Теоретическая часть: цель настоящей работы и методика ее проведения аналогична лабораторной работе № 6. Отличие состоит в том, что опыты проводятся при создании первоначально вакуумметрического давления в ресивере измерений.

Порядок выполнения работы:

1. Подключить провод питания и передачи данных от ноутбука к стенду.
2. Проверить и при необходимости установить выключатели нагрева и компрессора в положение «ВЫКЛ».

3. Установить потенциометр нагрева в положение минимальное (ручку влево).
 4. Включить стенд.
 5. Включить ноутбук, запустить программу.
 6. Включить режим компрессора «Вакуум».
 7. Включить компрессор.
 8. С помощью регулятора давления установить некоторую величину вакуумметрического давления в ресивере измерений, например 50кПа. Контроль давления вести по датчику Д1.
 9. Вручную перекрыть линии подачи и выхода воздуха ресивера измерений с помощью дросселей.
- Внимание!** Запомнить положение дросселей до начала перекрытия! По окончании работы установить степень открытия каждого дросселя в первоначальное положение.
10. Дождаться установившегося состояния воздуха в ресивере, зафиксировать значения давления (по Д1) и температуры.
 11. Занести полученные данные в табл. Н7.

Таблица Н7

Результаты исследования параметров работы измерительного ресивера при изменении температуры при вакуумметрическом давлении

№ опыта	1	2	...						п
t, °C									
P, кПа									

12. Включить нагреватель. Увеличить ручкой потенциометра нагрев в ресивере примерно на 10⁰С. Контроль температуры вести по датчику Т1 или Т2.
13. Дождаться стабилизации состояния воздуха (по стабильности показаний датчиков температуры и давления).
14. Зафиксировать вновь полученные результаты, занести данные в таблицу.
15. Ступенчато повышая температуру в ресивере с шагом, например 10⁰С, провести серию измерений. В каждом случае перед фиксацией данных необходимо дождаться установившегося состояния воздуха по стабильности показаний датчиков.
16. Занести полученные данные в табл. Н7.

Внимание! При выполнении задания не допускать повышения температуры нагревательного элемента свыше 60°C – контролировать по датчику ТЗ.

17. Выключить нагреватель.
18. Выключить компрессор.
19. Нажать кнопку «СТОП» на панели управления стенда.
20. Обработать полученные данные и построить график зависимости $P(t)$.
21. Нажать кнопку «Графики» на мнемосхеме программы, проанализировать графики изменения P и t^0 в режиме реального времени в ходе эксперимента.
22. Подготовить отчет и сделать выводы по проделанной работе. Отчет представить преподавателю.

Лабораторная работа № 8 **Изучение работы вакуумного эжектора**

Немного теории. Работа компрессора в режиме «ВАКУУМ» осуществляется следующим образом. При установке переключателя в положение «ВАКУУМ» электромагнитным клапаном перекрывается линия подачи сжатого воздуха к штуцеру избыточного давления; одновременно с этим открывается клапан подачи сжатого воздуха на эжектор, линия разрежения которого подведена к штуцеру «ВАКУУМ».

Эжектором называют насос, в котором пассивный поток получает энергию и перемещается благодаря смешению с активным потоком, обладающим большей энергией. Подвижные детали в эжекторе отсутствуют, а принцип его работы основан на передаче кинетической энергии от активного потока к пассивному без использования промежуточных механизмов (рис. 24).

Сопло предназначено для преобразования потенциальной энергии потока в кинетическую, то есть для получения высокоскоростной струи. Приемная камера предназначена для приема пассивного потока. В рабочей камере происходит смешение активного и пассивного потоков, передача энергии от активного потока пассивному. На выходе камеры оба потока перемешаны и имеют одинаковый напор. Диффузор предназначен для преобразования части кинетической энергии в потенциальную, т.е. скорость потока в диффузоре снижается, а давление повышается. Проходя через сопло поток сжатого воздуха приобретает большую скорость. Кинетическая энергия потока возрастает, а потенциальная снижается. Давление падает и при достижении определенной скорости становится ниже атмосферного.

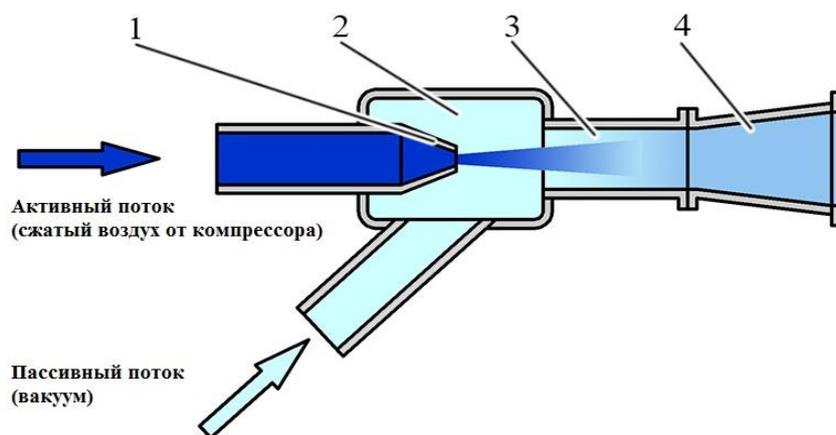


Рис. 24. Устройство эжектора

Принятые обозначения: 1 – сопло; 2 – приемная камера; 3 – рабочая камера; 4 – диффузор.

Пассивный поток под действием атмосферного давления попадает сначала в приемную, а затем в рабочую камеру, где происходит перемешивание потоков, и активный поток передает часть энергии пассивному потоку. На выходе камеры смешения установлен диффузор, который позволяет преобразовать скоростной напор в статический, в нем скорость движения смешанного потока уменьшается, а давление – увеличивается. В настоящее время промышленность выпускает вакуумные эжекторы различных типов (рис. 25).



Рис. 25. Вакуумные эжекторы различных типов

Разрежение, создаваемое эжектором, находится в пропорциональной зависимости от давления, подаваемого на него сжатого воздуха. Таким образом, величину вакуумметрического давления можно регулировать ручкой регулятора давления.

Одними из основных технических характеристик эжекторов являются:

- зависимость максимальной глубины вакуума от входного давления;
- время создания вакуума в одном литре объема при разных требуемых глубинах вакуума.

Целью лабораторной работы является изучение вакуумного эжектора, снятие графической зависимости вакуумметрического давления от входного.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Включить установку.
2. Подключить провод питания и передачи данных от ноутбука к стенду.
3. Включить ноутбук. Запустить программу «SCADA».
4. Установить режим работы компрессора в положение «Вакуум».
5. Ручку регулятора давления установить в крайнее левое положение.
6. Включить компрессор. Дождаться автоматического отключения.
7. Вращением ручки регулятора давления вправо установить некоторую величину вакуумметрического давления в ресивере измерений.
8. Зафиксировать показания давления (по Д1) в ресивере измерений и входного давления на эжектор (по Д3).

Таблица Н8

Результаты исследования работы вакуумного эжектора

Д1									
Д3									

9. Заполнить данные в табл. Н8.
10. Увеличить давление на входе эжектора, повернув ручку регулятора давления вправо по часовой стрелке.
11. Зафиксировать вновь полученные данные, занести их в таблицу.
12. По указанной методике провести серию измерений, ступенчато повышая давление на входе эжектора вплоть до максимального.
13. Выключить установку.
14. Обработать результаты измерений, построить график $P_{\text{вак}} = f(P_{\text{вх}})$.
15. Сделать выводы, подготовить отчет и представить его преподавателю.

Лабораторная работа № 9

Изучение работы системы автоматического управления (САУ) давлением в измерительном ресивере на базе персонального компьютера (ноутбука)

Немного теории. Процесс автоматического регулирования в данном стенде организован следующим образом:

- а) на мнемосхеме программы задается значение уставки давления;

б) при нажатии кнопки «Пуск» включается компрессор и производится набор воздуха в ресивер, давление в котором повышается до величины уставки, после чего поддерживается в соответствии с заданным значением.

Поддержание давления осуществляется с помощью двух электромагнитных клапанов: один установлен на линии подачи воздуха в ресивер, другой - на линии выхода. По сигналу от датчика Д2 контроллер постоянно сравнивает величину фактического давления (P_2) с уставкой ($P_{уст}$); при $P_2 < P_{уст}$ клапан входа открыт, клапан выхода закрыт; при увеличении давления $P_2 > P_{уст}$ производится закрытие клапана на входе в ресивер и открывается клапан на выходе. При этом автоматике стенда безразлична природа изменения давления в ресивере – утечка, изменение температуры или атмосферного давления и т.д.

Учитывая то, что датчик Д2 контролирует давление в системе автоматического управления, проведение опытов возможно только на примере избыточного давления в ресивере измерений.

Целью работы является ознакомление с работой САУ по поддержанию заданного давления в ресивере измерений при наличии возмущающего фактора – изменении температуры воздуха в ресивере.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Включить установку.
2. Проверить и при необходимости установить выключатели нагрева и компрессора в положение «ВЫКЛ».
3. Установить потенциометр нагрева в положение «минимальное» (установить ручку влево).
4. Подключить провод питания и передачи данных от ноутбука к стенду.
5. Включить ноутбук. Запустить программу «SCADA».
6. Установить режим работы компрессора в положение «избыточное».
7. На информационной панели мнемосхемы программы компьютера с помощью «мышки» (рис. 26) установить значение давления в ресивере из списка значений в выпадающем окне.
8. Включить компрессор.
9. На информационной панели мнемосхемы программы компьютера с помощью «мышки» нажать кнопку «Пуск».
10. Наблюдать за изменением значений давления в ресивере по датчику Д2 до достижения давления уставки.
11. Включить нагреватель.
12. Установить некоторое значение температуры потенциометром.

13. По мере увеличения значения температуры наблюдать за работой автоматики в двух – трех положениях, соответствующих разным значениям температуры.

Провести наблюдения в случае ступенчатого понижения температуры, вплоть до отключения нагревателя.

Внимание! При проведении опытов не повышать температуру нагревательного элемента свыше 60 °С. Контролировать по датчику температуры Т3.

14. Выключить нагреватель.
 15. Выключить компрессор.
 16. Сбросить избыточное давление в ресивере измерений нажав кнопку «СТОП» на панели управления стенда.

Датчики давления			
Д1 (ДА 0..900кПа 0.5%)			
100 кПа		5.78 мА	
Д2 (ДИ 0..1000кПа 0.5%)		Д3 (ДИ 0..1000кПа 1%)	
0 кПа	4.00 мА	0 кПа	4.00 мА
Датчики температуры			
Т1 (ДТПЛ)		Т2 (ДТС-50М)	
20.0 °С	1.29 мВ	20.0 °С	54.3 Ом
Т3 (ДТС-50М)			
20.0 °С		54.3 Ом	
Управление			
Уставка давления		Пуск	
75 кПа			
Графики		Выход	

Рис. 26. Задание уставки на информационной модели программы

17. Нажать кнопку «Графики» на информационной модели программы.
 18. Проанализировать график давления в ресивере по датчику давления Д2 в режиме реального времени в ходе работы.
 19. Подготовить отчет, сделать выводы, представить отчет для проверки преподавателю.

Общие требования к оформлению отчета

1. На титульном листе должны быть указаны: наименование университета, кафедры, название работы, фамилия студента, преподавателя и номер группы, год (Приложение 1).

2. Текстовая часть отчета выполняется на одной стороне белой бумаги формата А4 машинописным способом через 1,15 межстрочных интервала. Допускается выполнение отчетов рукописным способом, выполненным аккуратным разборчивым почерком.

3. В состав отчета должны входить следующие материалы: титульный лист, краткое содержание лабораторной работы с представлением схемы, применяемых формул расчета, таблицы результатов измерений, графики, выводы по лабораторной работе.

Перечень вопросов при подготовке к проведению лабораторных работ:

К лабораторным работам № 1,2:

1. Каково устройство деформационных манометров?
2. Чем отличаются классы точности манометров с характеристиками 0,5 и 1,5? Что эти цифры обозначают?
3. Что такое абсолютное давление?
4. Что такое избыточное давление?
5. С помощью каких устройств создают вакуум?
6. Что такое относительная погрешность измерения?

К лабораторным работам № 3-4:

1. Какие типы датчиков температур вы знаете?
2. Чем отличаются по устройству биметаллические термометры от термометров расширения?
3. Расскажите о конструктивных особенностях термоэлектрических термометров?

4. Какие классы точности термометров вы знаете?

5. Что такое абсолютная погрешность измерения температуры?

6. Что такое приведенная погрешность измерения?

К лабораторной работе № 5-8:

1. Как рассчитывается производительность поршневого компрессора?
2. О чем говорит формула Менделеева-Клапейрона? Какие параметры в нее входят?
3. Как влияет температура на давление в ресивере?
4. От каких параметров зависит плотность воздуха в ресивере?
5. Что такое ресивер и его назначение в лабораторном стенде?
6. Что такое изохорный процесс?
7. Что такое изобарный процесс?
8. Что такое изотермический процесс?

9. Напишите формулу Менделеева-Клапейрона, какие параметры в нее входят?
10. Нарисуйте график переходного процесса в осях Р и Т, что он означает?

К лабораторной работе № 9:

1. Что такое вакуумный эжектор?
2. Опишите принцип работы вакуумного эжектора
3. Где в теплоэнергетике применяется принцип вакуумного эжектора?
4. Что такое сопло Вентури? Где оно применяется?
5. Опишите принцип работы САУ поддержания заданного давления в лабораторном стенде.

Библиографический список

1. Калиниченко А. В. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике : учебно-практическое пособие / А. В. Калиниченко, Н. В. Уваров, В. В. Дойников. - Москва: Инфра-Инженерия, 2018., 580 с.

Форма титульного листа отчета по выполнению лабораторной работы

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Кафедра автоматизации технологических процессов
и производств

Отчет по выполнению лабораторной работы №__

Тема: «.....»

Выполнил (а): студент (ка) гр. № ____ /_____/

Проверил: преподаватель _____ /_____ /

Санкт-Петербург

202__

Содержание

Описание лабораторного стенда «Измерительные приборы – датчики давления и температуры»	3
Перечень применяемого в стенде оборудования.....	8
Средства измерения параметров давления.....	8
Стрелочные деформационные манометров.....	11
Датчики давления тензорезистивного типа.....	12
Лабораторная работа № 1: Сравнительный анализ показаний рабочих и образцовых манометров.....	14
Лабораторная работа № 2: Изучение и анализ работы датчиков давления....	15
Средства измерения параметров температуры.....	17
Термометры.....	17
Термометр биметаллический.....	18
Термоэлектрические термометры (термопары). Датчики температуры ДТПЛ(ТХК) и ДТС-50М.	21
Электрические термометры сопротивления.....	24
Лабораторная работа № 3: Изучение работы датчиков температуры.....	26
Лабораторная работа № 4: Изучение работы датчиков температуры в комплекте с ресивером.....	27
Компрессор лабораторного стенда.....	29
Лабораторная работа № 5: Изучение характеристик поршневого компрессора.....	29
Лабораторная работа № 6: Изучение параметров работы измерительного ресивера при изменении температуры при избыточном давлении.....	31
Лабораторная работа № 7: Изучение параметров работы измерительного ресивера при изменении температуры при вакуумметрическом давлении....	34
Лабораторная работа № 8: Изучение работы вакуумного эжектора.....	36
Лабораторная работа № 9: Изучение работы системы автоматического управления (САУ) давлением в измерительном ресивере на базе персонального компьютера (ноутбука).	38
Общие требования к оформлению отчета.....	40
Перечень вопросов при подготовке к проведению лабораторных работ.....	41
Библиографический список.....	42
Приложение:	
Форма титульного листа отчета по выполнению лабораторной работы.....	43
Содержание.....	44

Учебное издание

Владимир Иванович Рожков
Марина Ивановна Щагина

Метрология, технические измерения и автоматизация

Практикум
по проведению лабораторных работ
на лабораторно-исследовательском стенде ДД-ИПД-011-9ЛР
Часть 1

Редактор и корректор В.А.Басова
Техн. редактор Л.Я.Титова

Темплан 2020 г., поз. 91

Подп. к публикации 20.11.2020 Электронное издание. Печ.л. 2,75 Уч.-изд.л.
2,75. Изд.№ 91

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, СПб.,
198095, ул. Ивана Черных, д. 4.