

Филиал Государственного бюджетного профессионального
образовательного учреждения Иркутской области «Иркутский колледж
автомобильного транспорта и дорожного строительства» в поселке Улькан

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ МОДУЛЮ

**ПМ.01. Выполнение монтажа приборов и электрических схем систем
автоматики в соответствии с требованиями охраны труда и экологической
безопасности**

по программе подготовки квалифицированных рабочих и служащих
15.01.31 Мастер контрольно-измерительных приборов и автоматики

2021 г.

Методические указания по выполнению практических и лабораторных работ профессиональному модулю разработаны на основе ФГОС СПО по профессии **15.01.31 Мастер контрольно-измерительных приборов и автоматики** и рабочей программы профессионального модуля **ПМ.01. Выполнение монтажа приборов и электрических схем систем автоматики в соответствии с требованиями охраны труда и экологической безопасности**

Организация-разработчик:

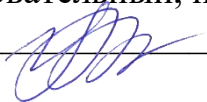
Филиал Государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения Иркутской области «Иркутский колледж автомобильного транспорта и дорожного строительства» в поселке Улькан

Составитель:

Пеннер Алексей Георгиевич преподаватель.

Рассмотрены и одобрены на заседании методической комиссии
«Общеобразовательный, профессиональный цикл»

Методист _____ Баженова И.В.



Введение

Цель изучения профессионального модуля ПМ.01 Выполнение монтажа приборов и электрических схем систем автоматики в соответствии с требованиями охраны труда и экологической безопасности – дать обучающимся теоретические знания, практические навыки и умения в области организации деятельности производственного подразделения.

В результате изучения профессионального модуля студент должен освоить основной вид деятельности "Выполнение монтажа приборов и электрических схем систем автоматики в соответствии с требованиями охраны труда и экологической безопасности" и соответствующие ему общие компетенции и профессиональные компетенции:

Перечень общих компетенций

Код	Наименование общих компетенций
ОК 01.	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам.
ОК 02.	Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности.
ОК 03.	Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие.
ОК 04.	Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.
ОК 05.	Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке с учетом особенностей социального и культурного контекста.
ОК 06.	Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей.
ОК 07.	Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.
ОК 08.	Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности.
ОК 09.	Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности.
ОК 10.	Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.
ОК 11.	Планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере.

Перечень профессиональных компетенций

Код	Наименование видов деятельности и профессиональных компетенций
ВД 1	Выполнение монтажа приборов и электрических схем систем автоматики в соответствии с требованиями охраны труда и экологической безопасности
ПК 1.1.	Осуществлять подготовку к использованию инструмента, оборудования и приспособлений в соответствии с заданием в зависимости от видов монтажа.
ПК 1.2.	Определять последовательность и оптимальные способы монтажа приборов и электрических схем различных систем автоматики в соответствии с заданием и требованиями технической документации.
ПК 1.3.	Производить монтаж приборов и электрических схем различных систем автоматики в соответствии с заданием с соблюдением требований к качеству выполненных работ, требований охраны труда, бережливого производства и экологической безопасности.

В результате освоения профессионального модуля студент должен:

Иметь практический опыт	Подготовка к использованию инструмента, оборудования и приспособлений в соответствии с заданием в зависимости от видов монтажа. Определение последовательности и оптимальных схем монтажа приборов и электрических схем различных систем автоматики в соответствии с заданием и требованиями технической документации. Проведение монтажа приборов и электрических схем различных систем автоматики в соответствии с заданием с соблюдением требования к качеству выполненных работ.
Уметь	Выбирать и заготавливать провода различных марок в зависимости от видов монтажа. Пользоваться измерительными приборами и диагностической аппаратурой для монтажа приборов и систем автоматики различных степеней сложности. Читать схемы соединений, принципиальные электрические схемы. Составлять различные схемы соединений с использованием элементов микроэлектроники. Рассчитывать отдельные элементы регулирующих устройств. Производить расшивку проводов и жгутование. Производить лужение, пайку проводов, сваривать провода. Производить электромонтажные работы с электрическими кабелями, производить печатный монтаж, производить монтаж электрорадиоэлементов. Прокладывать электрические проводки в системах контроля и регулирования и производить их монтаж. Производить монтаж трубных проводок в системах контроля и регулирования. Производить монтаж щитов, пультов, стативов. Оценивать качество результатов собственной деятельности. Оформлять сдаточную документацию.
Знать	Инструменты и приспособления для различных видов монтажа. Конструкторская, производственно-технологическую и нормативная документация, необходимую для выполнения работ. Характеристики и области применения электрических кабелей. Элементы микроэлектроники, их классификация, типы, характеристики и назначение, маркировка. Коммутационные приборы, их классификация, область применения и принцип действия. Состав и назначение основных блоков систем автоматического управления и регулирования. Электрические схемы и схемы соединений, условные изображения и маркировку проводов. Особенности схем промышленной автоматики, телемеханики, связи. Функциональные и структурные схемы программируемых контроллеров. Основные принципы построения систем управления на базе микропроцессорной техники. Способы макетирования схем. Последовательность и требуемые характеристики сдачи выполненных работ. Правила оформления сдаточной технической документации. Принципы установления режимов работы отдельных устройств, приборов и блоков. Характеристика и назначение основных электромонтажных операций. Назначение и области применения пайки, лужения. Виды соединения проводов. Технологию процесса установки крепления и пайки радиоэлементов. Классификацию электрических проводок, их назначение. Технологию сборки блоков аппаратуры различных степеней сложности. Конструкцию и размещение оборудования, назначение, способы монтажа различных приборов и систем автоматизации. Трубные проводки, их классификацию и назначение, технические требования к ним. Общие требования к автоматическому управлению и регулированию производственных и технологических

Основная задача практических занятий — научить обучающихся, самостоятельно использовать полученные знания в решении практических задач, составлять алгоритм действий в типовых и нетиповых ситуациях, выбирать материалы для профессиональной деятельности, определять их основные свойства по маркам. Основными формами организации учебного процесса по профессиональному модулю являются: самостоятельные работы, внеаудиторная самостоятельная работа, деловые игры, практические работы.

Итоговая аттестация по междисциплинарным курсам профессионального модуля в соответствии с учебным планом предусмотрена в форме дифференцированного зачета.

Выполнение практических работ призвано способствовать развитию у обучающихся аналитического мышления, умения самостоятельно работать с нормативными документами, ГОСТами, ОСТами, систематизации полученных знаний.

Правила выполнения практических и лабораторных работ

1. Обучающийся должен прийти на практическое занятие теоретически подготовленным к выполнению практической и лабораторной работы, иметь в наличии конспект, ручку.
2. При подготовке к занятиям обучающийся должен руководствоваться списком литературы, указанном в данных методических рекомендациях.
3. Перед выполнением задания обучающийся должен изучить краткие теоретические сведения, содержащиеся в практической и лабораторной работе, и ознакомиться с заданием и этапами работы.
4. Таблицы, рисунки должны выполняются аккуратно с помощью чертежных инструментов (линейки, циркуля) карандашом .
5. Расчеты проводятся на листах отчета.
6. Пользование справочной литературой, конспектами, учебниками разрешается только по согласованию с преподавателем.
7. Ответы на контрольные вопросы представляются в форме, определенной преподавателем.
8. По окончании времени, предусмотренного на выполнение работы, обучающихся сдает отчет преподавателю.
9. В случае не выполнения обучающимся практической и лабораторной работы (отсутствие, недобросовестное отношение), работа выполняется во внеурочное время, согласованное с преподавателем.
10. К сдаче дифференцированного зачета по дисциплине обучающийся допускается при условии выполнения всех предусмотренных программой практических и лабораторных работ и сдачи отчетов по ним.

Перечень лабораторных и практических работ

МДК.01.01 Средства автоматизации и измерения технологического процесса **Тема Исполнительные устройства.**

Лабораторная работа №1 "Исследование элементов релейно-контактной аппаратуры "

Лабораторная работа №2 "Исследование схемы управления исполнительным механизмом "

Лабораторная работа №3 "Устройство и принцип действия пневматического регулятора "

Лабораторная работа №4 "Изучение работы системы управления на базе ПЛК "

Лабораторная работа №5 "Изучение аппаратных и программных средств систем управления логическими контроллерами и сопрягаемыми с ними средствами автоматизации "

Лабораторная работа №6 "Исследование совместной работы приводного, информационного и управляющего оборудования мехатронной системы "

Тема Средства измерений

Лабораторная работа №1 "Снятие динамических характеристик терморезистивного преобразователя (ручной режим измерений)".

Лабораторная работа №2 "Снятие динамических характеристик терморезистивного преобразователя (автоматический режим измерений)".

Лабораторная работа №3 "Снятие статических характеристик и изучение принципа работы датчика температуры: термопара".

Лабораторная работа №4 "Снятие статических характеристик и изучение принципа работы датчика температуры: бесконтактный пирометр".

Лабораторная работа №5 "Исследование датчиков тока и напряжения".

Тема Технологические процессы

Лабораторная работа №6 "Определение расхода, скорости движения жидкости, гидростатического давления".

Тема Стандартизация, сертификация и метрология.

Лабораторная работа №1 "Выбор метода и вида измерений".

Лабораторная работа №2 "Выявление и исключение погрешностей. Решение задач на погрешность".

Лабораторная работа №3 "Построение графика зависимостей абсолютной, относительной и приведенной погрешностей".

Лабораторная работа №4 "Измерение ступенчатого вала штангенциркулем и микрометром".

Лабораторная работа №5 "Измерение деталей микрометрическим инструментом".

Лабораторная работа №6 "Измерение основных параметров наружной резьбы".

Лабораторная работа №7 "Измерение калибр-пробки".

Лабораторная работа №8 "Изучение определения шероховатости поверхности".

Лабораторная работа №9 "Изучение причин инструментальной погрешности манометров".

Лабораторная работа №10 "Снятие метрологических характеристик при испытании датчика температуры: термопара".

Лабораторная работа №11 "Снятие метрологических характеристик при

измерении расхода газа с помощью: ротаметра".

Лабораторная работа №12 "Снятие метрологических характеристик при испытании датчиков тока и напряжения".

Лабораторная работа №13 "Снятие метрологических характеристик при измерении давления газа с помощью дифференциального манометра".

МДК.01.02.Монтаж средств автоматизации

Тема Монтаж средств автоматики и средств измерения

Лабораторная работа № 1 "Выбор и заготовка проводов различных марок в зависимости от видов монтажа "

Лабораторная работа № 2 "Диагностическое оборудование для монтажа "

Лабораторная работа № 3 "Составление схем соединений и принципиальных электрических схем "

Лабораторная работа № 4 "Расчет элементов регулирующих устройств "

Лабораторная работа № 5 "Порядок проведения расшивки проводов и жгутирования "

Лабораторная работа № 6 "Порядок пайки, лужения проводов "

Лабораторная работа № 7 "Порядок сварки проводов "

Лабораторная работа № 8 "Установка и монтаж приборов на щитах".

Лабораторная работа № 9 "Установка и монтаж приборов на пультах".

Лабораторная работа № 10 "Монтаж кабельных каналов".

Лабораторная работа № 11 "Монтаж кабельных лотков".

Лабораторная работа № 12 "Монтаж трубных проводок систем автоматизации".

Лабораторная работа № 13 "Монтаж трубных проводок в системах контроля".

Лабораторная работа № 14 "Монтаж трубных проводок в системах регулирования".

Лабораторная работа № 15 "Маркировка кабеля и кабельных жил".

Лабораторная работа № 16 "Проверка работоспособности кабеля".

Лабораторная работа № 17 "Монтаж электрических проводок систем автоматизации".

Лабораторная работа № 18 "Монтаж электрических проводок в системах контроля".

Лабораторная работа № 19 "Монтаж электрических проводок в системах регулирования".

Лабораторная работа № 20 "Монтаж приборов для измерения и регулирования температуры –термометров сопротивления (термопар)".

Лабораторная работа № 21 "Монтаж приборов для измерения и регулирования температуры – термопреобразователей сопротивления, пирометров".

Лабораторная работа № 22 "Монтаж приборов для измерения давления– манометров".

Лабораторная работа № 23 "Монтаж приборов для измерения давления– вакуумметров".

Лабораторная работа № 24 "Монтаж приборов для измерения давления – дифманометров".

Лабораторная работа № 25 "Монтаж приборов для измерения давления – электроконтактных манометров".

Лабораторная работа № 26 "Монтаж приборов для измерения расхода – ротаметров".

Лабораторная работа № 27 "Монтаж приборов для измерения расхода – электромагнитных индукционных расходомеров".

Лабораторная работа № 28 "Монтаж приборов для измерения расхода – расходомеров переменного перепада давления".

Лабораторная работа № 29 "Монтаж приборов для измерения и регулирования уровня-буйковых, уровнемеров".

Лабораторная работа № 30 "Монтаж приборов для измерения и регулирования уровня- пьезометрических и емкостных уровнемеров".

МДК. 01.03 Система охраны труда и промышленная экология

Тема Промышленная безопасность.

Практическая работа № 1 "Средства индивидуальной защиты органов дыхания".

Практическая работа № 2 "Первичные средства пожаротушения".

Практическая работа № 3 "Определение параметров микроклимата в учебном помещении".

Практическая работа № 4 "Расследование, учет несчастных случаев на производстве".

Практическая работа № 5 "Оформление акта по форме Н-1".

Практическая работа № 6 "Приемы оказания первой помощи при поражении электрическим током".

Практическая работа № 7 "Приемы оказания первой помощи: искусственное дыхание, массаж сердца, кровотечение, ушибы, растяжения, переломы".

Практическая работа № 8 "Приемы оказания первой помощи: термические и химические ожоги".

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БЛОКИРОВОК

Для трех технологических станций производственного цеха необходимо разработать релейно-контакторную схему, используя комплект электрооборудования: реле, кнопки управления, переключатели режимов работы, звуковой сигнал и три конденсаторных однофазных асинхронных двигателя с коротко- замкнутым ротором типа РД-ОЭ.

Для питания цепей управления (цепей катушек реле) в комплект оборудования может быть включен двухполупериодный выпрямитель. Напряжение на выходе выпрямителя соответствует номинальному напряжению катушек реле, равному 24 В.

Напряжение питания двигателей (главных цепей) – 220В. Принципиальная схема включения обмоток двигателя и его изображение приведены на рис. 13.

При подаче напряжения питания (220В) на клеммы “В” и “0” ротор двигателя вращается по часовой стрелке, то есть в направлении “Вперед”. Если к сети подключаются клеммы “Н” и “0”, то ротор будет вращаться в

противоположном направлении.

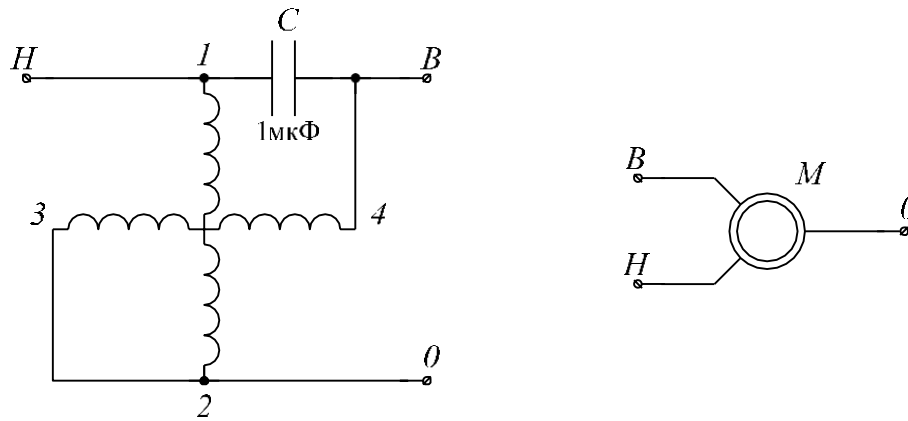


Рис.13.Принципиальная схема включения обмоток конденсаторного однофазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Аппаратура управления двигателями разбита на три группы, в каждую из которых входят 3 промежуточных реле (РПУ-1, РПУ-0, РПГ), две кнопки управления (“Пуск” и “Стоп”) и переключатель режимов работы. Каждая группа имитирует местную станцию управления. Две оставшиеся кнопки управления применяются для централизованного управления пуском и остановом двигателей.

Обозначение, тип и количество аппаратов, а также количество контактов каждого аппарата, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Электрические аппараты и их характеристики

Условное обозначение	Наименование аппарата	Тип	Кол-во аппарат	Кол-во контактов	
				замыкающих	размыкающих
<i>K1–K3</i>	Реле	РПУ-1	3	4	4
<i>K4–K6</i>	Реле	РПУ-0	3	3	3
<i>K7–K9</i>	Реле ¹	РПУ-110222	3	2□2	–
<i>SB1–SB8</i>	Кнопка управления	КЕ-011	8	1	1
<i>SM1–SM3</i>	Переключатель режимов ²	ПЕ-031	3	2□1	

¹Контакты реле могут использоваться только для коммутации слаботочных цепей. В каждом реле имеется две катушки.

² Имеет три фиксированных положения (1–0–2). В положении “0” оба контакта разомкнуты; при повороте влево на 90° один контакт замкнут (1), другой разомкнут (2); при повороте вправо на 90° состояние контактов меняется на противоположное (рис. 14).

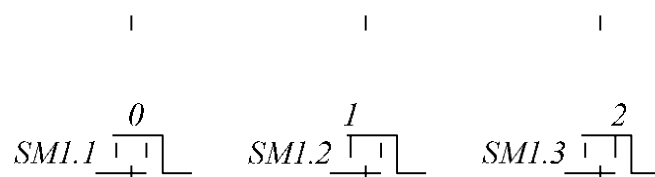


Рис. 14. Принципиальная схема переключателя режимов в трех различных положениях переключателя состояния

Варианты для составления схем

Вариант 1

1. Пуск и останов каждого двигателя осуществляется своей кнопкой.

2. Электрическая блокировка должна обеспечить зависимую последовательность ручного пуска в порядке: 1, 2, 3-й двигатели.

3. Останов двигателей должен быть ручным в обратной последовательности, то есть 3, 2, 1-й. Обеспечить невозможность останова в любой другой последовательности.

4. Возможность толчкового пуска любого двигателя для опробования с помощью местных переключателей режимов.

Вариант2

1. Централизованный пуск всех двигателей (от одной кнопки), обеспечивающий зависимую последовательность пуска: 1, 2, 3-й двигатели.

2. Останов всех двигателей от одной кнопки “Стоп” с централизованного пульта управления в той же зависимой последовательности, что и пуск.

3. Одновременный останов всех двигателей от любой из трех местных кнопочных станций.

4. Возможность независимого пуска и работы в длительном режиме каждого двигателя путем предварительной установки всех местных переключателей режимов на положение “Изолированный пуск”.

Вариант3

1. Централизованный пуск (от одной кнопки) всех двигателей, обеспечивающий зависимую последовательность пуска: 1, 2, 3-й двигатели.

2. Останов всех двигателей от одной кнопки с централизованного пульта в обратной зависимой последовательности, то есть 3, 2, 1-й.

3. Одновременный останов всех двигателей от любой из трех местных кнопочных станций.

4. Возможность независимого опробования каждого двигателя путем установки переключателя режимов на положение “Толчковый режим” (“Опробование”).

Вариант4

1. Пуск двигателей $M1$, $M2$ и $M3$ возможен только после подачи звукового сигнала.
2. После пуска любого из двигателей звуковой сигнал должен автоматически прерываться.
3. Возможность пуска и работы в длительном режиме любого одного двигателя, одновременного пуска и работы любых двух или всех трех двигателей.
4. Звуковой сигнал перед пуском может быть прерван от любой из трех местных кнопок “Стоп”. От этих же кнопок должен осуществляться одновременный останов двигателей.

Вариант5

1. Зависимая последовательность пуска двигателей $M1$ и $M3$ в направлении “Вперед” от одной кнопки.
2. Независимый пуск двигателя $M2$ в направлении “Назад”.
3. Автоматический останов двигателя $M1$ и реверс двигателя $M3$ сразу после пуска двигателя $M2$.
4. Одновременный останов двигателей от централизованной кнопки “Стоп”.
5. Возможность толчкового опробования каждого двигателя в заданных направлениях вращения с использованием местных переключателей режимов.

Вариант6

1. Пуск и остановка каждого двигателя осуществляется своей кнопкой.
2. Электрическая блокировка должна обеспечить зависимую последовательность ручного пуска в порядке: 1, 2, 3-й двигатели.
3. Останов двигателей должен быть ручным в той же зависимой последовательности, то есть 1, 2, 3-й двигатели. Обеспечить невозможность останова в любой другой последовательности.
4. Возможность толчкового пуска любого двигателя для опробования с помощью местных переключателей режимов.

Вариант7

1. Централизованный пуск (от одной кнопки) всех двигателей, обеспечивающий зависимую последовательность пуска: 1, 2, 3-й двигатели.
2. Останов двигателей должен быть ручным в обратной последовательности, то есть 3, 2, 1-й. Обеспечить невозможность останова в любой другой последовательности.
3. Одновременный останов всех двигателей от централизованной кнопки.
4. Возможность независимого пуска и работы в длительном режиме каждого двигателя путем предварительной установки всех местных переключателей режимов на положение “Изолированный пуск”.

Вариант8

1. Независимый пуск двигателя $M1$ в направлении “Назад”.
2. Зависимая последовательность пуска двигателей $M3$ и $M2$ в направлении “Вперед” от одной кнопки.
3. Автоматический реверс двигателя $M1$ сразу после пуска двигателя $M2$ и останова двигателя $M3$.
4. Одновременный останов двигателей от централизованной кнопки “Стоп”.
5. Возможность толчкового опробования каждого двигателя в заданных направлениях вращения с использованием местных переключателей режимов.

Вариант9

1. Пуск каждого двигателя осуществляется своей кнопкой.
2. Электрическая блокировка должна обеспечить зависимую последовательность ручного пуска в порядке: 1, 2, 3-й двигатели.
3. Останов всех двигателей от одной кнопки с централизованного пульта в обратной зависимой последовательности, то есть 3, 2, 1-й.
4. Возможность пуска и работы в длительном режиме любого одного двигателя, одновременного пуска и работы любых двух или всех трех двигателей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

МЕХАНИЗМОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ В ФУНКЦИИ ПУТИ

Для макета производственного механизма циклического действия (возвратно-поступательное перемещение) необходимо разработать релейно-контакторную схему, используя комплект электрооборудования: реле, кнопки управления, путевые выключатели и электродвигатели.

Производственный механизм (рис.15) работает следующим образом. Двигатель $M1$ (1) через цепную передачу(3) перемещает механизм суппорта(4), воздействующим на путевые (конечные) выключатели SQ (5), которые расположены в крайних положениях хода механизма “вперед” и “назад”. На самом производственном механизме расположен двигатель $M2$ (2), на вал которого насажен эксцентрический диск.

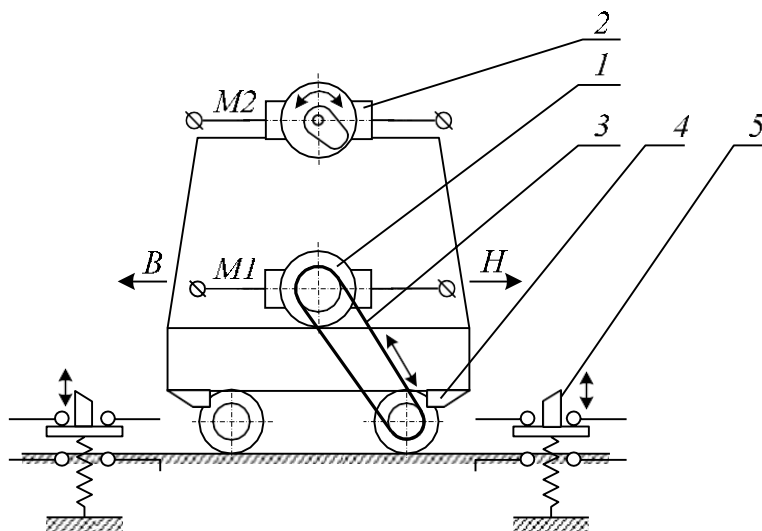


Рис.15.Макет производственного механизма

В качестве рабочих двигателей $M1$ и $M2$ используются электродвигатели постоянного тока малой мощности. Двигатель $M1$ с независимым (параллельным) возбуждением, двигатель $M2$ с последовательным возбуждением (рис.16). Двигатель $M2$ имеет три вывода “B”, “H” и “O” и в зависимости от то-

го, на какие зажимы (“В-0” или “Н-0”) подано напряжение, может обеспечить вращение вала в направлении как “вперед”, так и “назад”.

Напряжение питания двигателей 220 В и катушек аппаратов управления 24 В. В качестве источника питания используется выпрямитель.

Обозначение, тип и количество аппаратов, а также количество контактов каждого аппарата, приведены в табл. 3.

Защита оборудования и подача питания на механизм осуществляются автоматом типа АК. При включении автомата загорается сигнальная лампочка.

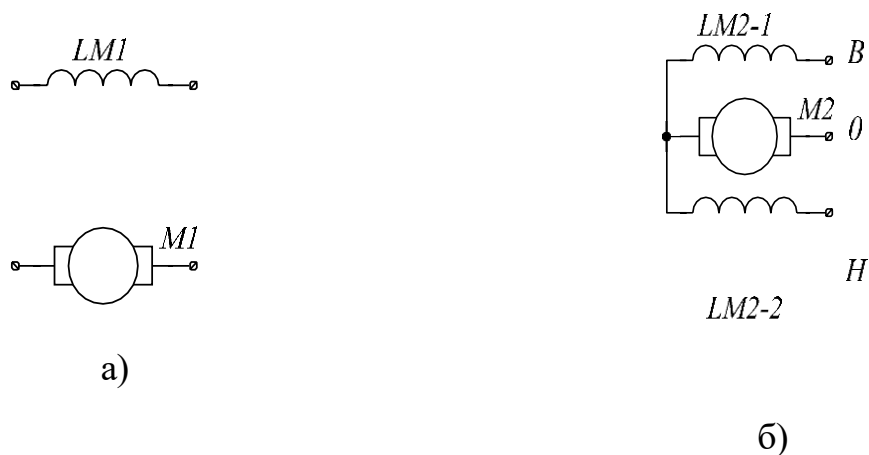


Рис.16. Принципиальные схемы включения двигателей постоянноготока с независимым (а) и последовательным возбуждением (б)

Таблица 3. Электрические аппараты и их характеристики

Условное обозначение	Наименование аппарата	Тип	Кол-во аппаратов	Кол-во контактов	
				замыкающих	размыкающих
K1–K5	Реле	РПУ-1	5	4	4
K6, K7	Реле	РПУ-2	2	2	2
KT1, KT2	Реле времени ¹	ЭМР В-27Б	2	1	1
SB1–SB4	Кнопка управления ²	КЕ-011	4	1	1
SQ1, SQ2	Путевой выключатель	ВК-211	2	1	1

¹Предназначены для обеспечения выдержки времени при включении.

²Кнопки *SB1* и *SB2* предназначены для централизованного пуска и останова. Кнопки *SB3* и

SB4 могут использоваться как “путевые выключатели” (“ручное ограничение хода”).

Варианты для составления схем

Вариант 1

1. Пуск двигателя $M1$ в направлении “вперед”.
2. Останов двигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “вперед”.
3. Автоматический пуск двигателя $M2$ сразу после отключения двигателя

$M1$. 4. Пуск двигателя $M1$ в направлении “назад” через 5–10 с после пуска двигателя $M2$.

5. Совместная работа двигателей до момента подхода механизма к крайнему положению хода “назад”.
6. Останов обоих двигателей.
7. Автоматическое повторение цикла по пп. 1–6 через 5–10 с.

Вариант 2

1. Пуск двигателя $M2$.
2. Автоматический пуск двигателя $M1$ в направлении “вперед” через 5–10 с после пуска двигателя $M2$.
3. Останов двигателя $M2$ сразу после пуска двигателя $M1$.
4. Останов двигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “вперед”.
5. Реверс двигателя $M1$ в направлении хода “назад”.
6. Пуск двигателя $M2$ сразу после реверса двигателя $M1$.
7. Совместная работа двигателей до момента подхода механизма к крайнему положению “назад”.
8. Останов обоих двигателей.
9. Автоматическое повторение цикла по пп. 1–8 через 5–10 с.

Вариант 3

1. Одновременный пуск двигателей $M1$ (“вперед”) и $M2$.
2. Совместная работа двигателей до момента подхода механизма к крайнему положению хода “вперед”.
3. Отключение двигателя $M1$.

4. Отключение двигателя $M2$ через 5–10 с после останова двигателя $M1$.
5. Автоматический пуск двигателя $M1$ в направлении “назад” сразу после останова двигателя $M2$.
6. Останов двигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “назад”.
7. Автоматическое повторение цикла по пп. 1–6 без паузы.

Вариант 4

1. Пуск двигателя $M1$ в направлении “вперед”.
2. Останов двигателя $M1$ от путевого выключателя, ограничивающего ход механизма “вперед”.
3. Автоматический пуск двигателя $M2$ через 5–10 с после останова двигателя $M1$.
4. Пуск двигателя $M1$ в направлении хода “назад” сразу после пуска двигателя $M2$.
5. Совместная работа двигателей до момента подхода механизма к крайнему положению хода “назад”.
6. Отключение двигателей от путевого выключателя.
7. Автоматическое повторение цикла по пп. 1–6 через 5–10 с.

Вариант 5

1. Пуск двигателя $M1$ в направлении “вперед”.
2. Останов двигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “вперед”.
3. Автоматический пуск двигателя $M2$ сразу после отключения двигателя $M1$.
4. Пуск двигателя $M1$ в направлении “назад” через 5–10 с после пуска двигателя $M2$.
5. Отключение двигателя $M2$ сразу после пуска двигателя $M1$.
6. Отключение двигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “назад”.
7. Автоматическое повторение цикла по пп. 1–6 через 5–10 с.

Вариант6

1. Пускдвигателя $M2$.
2. Пуск двигателя $M1$ в направлении “вперед” через 5–10с после пускадвигателя $M2$.
3. Отключениедвигателя $M2$ сразу после пускадвигателя $M1$.
4. Отключениедвигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “вперед”.
5. Автоматический пускдвигателя $M2$ сразу после остановадвигателя $M1$.
6. Автоматический пускдвигателя $M1$ в направлении “назад” через 5–10с после пускадвигателя $M2$.
7. Остановдвигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “назад”.
8. Автоматическое повторение цикла по пп. 1–7 без паузы.

Вариант7

1. Пускдвигателя $M2$.
2. Пуск двигателя $M1$ в направлении вперед через 5–10с после пускадвигателя $M2$.
3. Совместная работа двигателей.
4. Остановдвигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “вперед”,
5. Пуск двигателя $M1$ в направлении “назад” через 5–10с после его останова.
6. Остановдвигателя $M2$ сразу после пускадвигателя $M1$.
7. Остановдвигателя $M1$ в крайнейположении хода механизма “назад”.
8. Повторение цикла по пп. 1–7 ручное; оно возможно только в случае, если механизм находится в крайнем положении хода “назад”, то есть при нажатии на кнопку “Стоп” отключение двигателя $M1$ должно происходить в соответствии с п. 7.

Вариант8

1. Пускдвигателя $M2$ в направлении “вперед”.

2. Пуск двигателя *M1* в направлении “вперед” через 5–10с после пуска двигателя *M2*.
3. Останов двигателя *M2* сразу после пуска двигателя *M1*.
4. Останов двигателя *M1* в крайнем положении хода механизма “вперед”.
5. Реверс двигателя *M2* в направлении “назад”.
6. Пуск двигателя *M1* через 5–10с после реверса двигателя *M2*.
7. Совместная работа двигателей до момента подхода механизма к крайнему положению хода механизма “назад”.
8. Останов двигателей.
9. Автоматическое повторение цикла по пп. 1–8 без паузы.

Вариант 9

1. Пуск двигателя *M1* в направлении “вперед”.
2. Отключение двигателя *M1* в крайнем положении хода механизма “вперед”.
3. Автоматический пуск двигателя *M2* сразу после останова двигателя *M1*.
4. Пуск двигателя *M1* в направлении “назад” через 5–10с после пуска двигателя *M2*.
5. Останов двигателя *M2* сразу после пуска двигателя *M1*.
6. Останов двигателя *M1* в крайнем положении хода механизма “назад”.
7. Автоматический пуск двигателя *M2* сразу после останова двигателя *M1*.
8. Останов двигателя *M2* через 5–10с после его пуска.
9. Автоматическое повторение цикла по пп. 1–8 без паузы.

Библиографический список

1. **Борисов, В.А.** Автоматическое управление электроприводами. Ч.1. Системы релейно-контакторного управления. Вып.1 (гл.1–4), вып.2 (гл. 5, 6) / В.А. Борисов – Иваново: ИЭИ-ВЗЭТ, 1969, 1970. – 32 с.
2. **Архангельский, Н.Л.** Руководство по проектированию элементов систем управления электроприводами: учеб. пособие / Н.Л. Архангельский, А.В. Виноградов, С.К. Лебедев – Иваново, ИГЭУ, 1999. – 116 с.
3. **Архангельский, Н.Л.** Типовые электрические схемы простых дискретных САУ / Н.Л. Архангельский – Иваново, Иван. гос. энерг. ун-т, 2000. – 76 с.
4. **Терехов, В.М.** Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. – 2-е изд., стер. – М.: Изд. центр “Академия”, 2006. – 304 с.
5. **Тимофеев, В.С.** Релейно-контакторные схемы управления электроприводами / В.С. Тимофеев – Иваново, ИЭИ, 1993. – 32 с.
6. **Александров, К.К.** Электротехнические чертежи и схемы / К.К. Александров, Е.Г. Кузьмина – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.

Тема Средства измерений.

Лабораторная работа №1

Исследование динамических характеристик терморезистивного преобразователя (ручной режим измерений)

Цель работы: изучение зависимости показаний терморезистивного преобразователя от времени пребывания в среде, температура которой измеряется. Определение влияния среды на время установления показаний терморезистивного преобразователя.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда). Для выполнения работы используется гидравлическая часть стенда. Вынуть один из терморезистивных преобразователей (датчик ДТ1) из емкости для нагрева.
2. Дождаться выравнивания его температуры и температуры воздуха в лаборатории, измерить температуру воздуха в лаборатории – $T_{\text{вк}}$, занести показания температуры в таблицу 2.1.
3. Заполнить емкость нагрева рабочей жидкостью (водой), включив насос и открыв краны 1, 3, 4. После наполнения емкости закрыть кран 4 и выключить насос.
4. Включить процесс нагрева. Отключить процесс нагрева по достижении заданной преподавателем температуры и дождаться установления показаний второго терморезистивного преобразователя (датчик ДТ2).
5. Ввести датчик ДТ1 в емкость, включить секундомер.
6. По мере прогрева датчика ДТ1 заносить текущие значения температуры $T_{\text{жi}}$ и времени $t_{\text{жi}}$ в табл. 2.2 (секундомер при этом не выключать), рекомендуемый шаг по времени 4-6 сек, первая точка соответствует времени по секундомеру $t=0$ сек. Процесс продолжать до выравнивания показаний

датчика ДТ1 и датчика ДТ2 (разность температур не более 1°C).

7. Занести показания датчика ДТ2 в табл.2.2 как $T_{жк}$.

8. Выключить секундомер, сбросить его показания.

9. Вынуть датчик ДТ1 из емкости, повесить на стенд так, чтобы с металлический стержень не касался частей стенда.

10. По мере остывания датчика ДТ1 заносить текущие значения температуры $T_{вi}$ и времени $t_{вi}$ в табл.2.1 (секундомер при этом не выключать), рекомендуемый шаг по времени 10-15 с.

11. Слить воду из емкости, открыв кран 4.

12. Вычислить значения функции $F_{жi} = \ln\left(\frac{T_{жi} - T_{жк}}{T_{ж1} - T_{жк}}\right)$ и занести в табл.2.2,

где $T_{ж1}$ — первая измеренная точка по температуре при прогреве датчика ДТ1 (после введения в емкость).

13. Нанести полученные точки на график в координатах $t - F_{ж}$, провести через полученные точки прямую, вычислить ее угловой коэффициент $k_{ж}$, занести в табл.2.2. Вычислить постоянную времени пары преобразователь – жидкость, занести в табл.2.2.

14. Вычислить значение функции $F_{в1} = \ln\left(\frac{T_{в1} - T_{вк}}{T_{в1} - T_{вк}}\right)$ и занести в таблицу, где

$T_{в1}$ - первая измеренная точка по температуре при остывании датчика ДТ1 (после извлечения из емкости).

15. Нанести полученные точки на график в координатах $t - F_{в}$, провести через полученные точки прямую, вычислить ее угловой коэффициент $k_{в}$, занести в табл.2.1. Вычислить постоянную времени пары преобразователь –

воздух $\tau_{в} = \frac{1}{k_{в}}$, занести в табл.2.1.

16. Сделать выводы о влиянии среды, температура которой измеряется, на время установления показаний преобразователя.

17. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 2.1

Результаты измерения параметров терморезистивного преобразователя
В воздушной среде

Номер измерения	$t_{в}, \text{C}$	$T_{в}, ^\circ\text{C}$	$F_{в}$
1			
2			
...			
n			
$t_{0в}, \text{C}$		$T_{вк}, ^\circ\text{C}$	

Таблица 2.2

Результаты измерения параметров терморезистивного преобразователя
в водной среде

Номер измерения	$t_{ж}, \text{C}$	$T_{ж}, ^\circ\text{C}$	$F_{ж}$
1			
2			
...			
n			

$t_{0ж}, \text{C}$		$T_{жк}, ^\circ\text{C}$	
--------------------	--	--------------------------	--

Лабораторная работа №2

Динамические характеристики терморезистивного преобразователя
(автоматический режим измерений)

Немного теории: Терморезистивным преобразователем, или терморезистором, называется измерительный преобразователь, активное сопротивление которого изменяется при изменении температуры.

Рассмотрим ситуацию (рис.8), когда терморезистивный преобразователь (1) погружают в среду (2), находящуюся в адиабатической оболочке (3).

Пусть преобразователь имеет теплоемкость C_1 и начальную температуру T_1 , среда имеет теплоемкость C_2 и начальную температуру T_2 , коэффициент теплопередачи (учитывающий теплопроводность и конвекцию) между преобразователем и средой равен λ , тогда уравнение теплообмена между преобразователем и средой выглядит следующим образом (8):

$$C_1 \frac{dT}{dt} = -\lambda(T - T_c); \quad (8)$$

$$C_2 \frac{dT_c}{dt} = \lambda(T - T_c), \quad (9)$$

где t - время от начала погружения преобразователя в среду, T - текущая температура преобразователя, T_c - текущая температура среды.

Из формул (8) и (9) получаем (10):

$$\frac{dT_c}{dt} = -\frac{C_1}{C_2} \frac{dT}{dt}. \quad (10)$$

Из формулы (10) можно заключить, что при $C_2 \gg C_1$, $T_c = \text{const} = T_2$, уравнение (8) можно записать в следующем виде:

$$\frac{dT}{(T - T_2)} = -\frac{\lambda}{C_1} dt \quad (11),$$

после интегрирования с учетом, что при $t=0$, $T=T_1$, получаем:

$$T = T_2 + (T_1 - T_2)e^{-\frac{\lambda}{C_1}t} \quad (12)$$

Обозначим $t_0 = C1/\lambda$, тогда уравнение (12) приводится к следующему виду (13):

$$T = T_2 + (T_1 - T_2)e^{-\frac{t}{t_0}} \quad (13)$$

Анализируя выражения (12) и (13), можно заметить, что температура преобразователя, а следовательно, и его показания, далеко не всегда равны измеряемой температуресреды. При этом, чем больше начальная разность

температур и/или теплємкость преобразователя, тем большее время нужно для достижения заданной точности измерения температуры; чем выше коэффициент теплопередачи, тем меньшее время нужно для достижения заданной точности измерения температуры.

Для выполнения работы используется управляющая программа. График, отображающий количественные характеристики процесса, построенный с помощью управляющей программы, представлен на рис. 9.

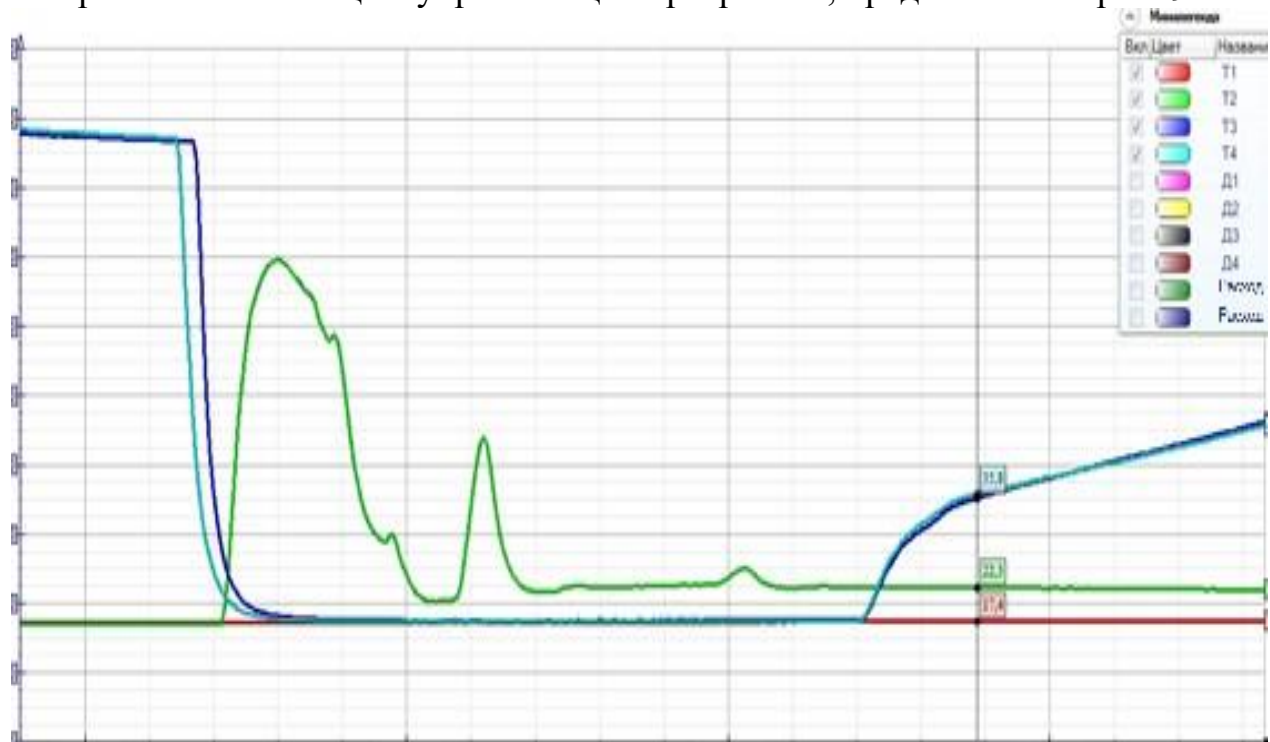


Рис.9.Графики,построенныеспомощьюуправляющейпрограммы

Лабораторная работа №3

Исследование динамических характеристик терморезистивного преобразователя (автоматический режим измерений)

Цель работы:

1. Изучение зависимости показаний терморезистивного преобразователя от времени пребывания в среде, температура которой измеряется.
2. Определение влияния среды на время установления показаний терморезистивного преобразователя.
3. Изучение процесса автоматизации сбора и обработки экспериментальных данных.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда). Для выполнения работы используется гидравлическая часть стенда. Включить ноутбук, подключить ноутбук к стенду.

2. Вынуть один из терморезистивных преобразователей (датчик ДТ1) из емкости. В случае необходимости дождаться выравнивания его температуры и комнатной, измерить температуру воздуха в комнате — $T_{Вк}$, занести температуру в табл. 3.1.

3. Заполнить емкость нагрева рабочей жидкостью (водой), включив насос и открыв краны 1, 3, 4. После наполнения емкости закрыть кран 4 и выключить насос.

4. Включить процесс нагрева. Отключить процесс нагрева по достижении заданной преподавателем температуры и дождаться установления показаний второго терморезистивного преобразователя (датчик ДТ2).

5. Запустить управляющую программу на ноутбуке, нажать кнопку «графики», выбрать датчики температуры ДТ1 и ДТ2.

6. Ввести преобразователь ДТ1 в емкость.

7. Дождаться выравнивания показаний ДТ1 и ДТ2 (разница не более 1°C), отслеживать показания по графику, который создается управляющей программой.

8. Используя график ДТ1, занести в табл. 3.2 значения температуры $T_{жi}$ и времени $t_{жi}$.

9. Вынуть ДТ1 из емкости, повесить на стенд так, чтобы металлический стержень не касался частей стенда.

10. Дождаться стабилизации показаний ДТ1 (отслеживать по графику), но не более 10 минут от начала измерения.

11. Используя график ДТ1, занести в табл. 3.1 значения температуры $T_{вi}$ и времени $t_{вi}$.

12. Слить воду из емкости и открыть кран 4.

13. Вычислить значения функции $F_{жi} = \ln \frac{T_{жi} - T_{жк}}{T_{ж1} - T_{жк}}$ и занести в

таблицу, где $T_{ж1}$ – первая точка по температуре при прогреве датчика ДТ1 (после введения в емкость).

14. Нанести полученные точки на график в координатах $t - F_{ж}$, провести через полученные точки прямую, вычислить ее угловой коэффициент $k_{ж}$, занести в табл. 3.2. Вычислить постоянную времени пары преобразователь – жидкость, занести в табл. 3.2.

15. Вычислить значение функции $F_{vi} = \ln \frac{T_{vi} - T_{vk}}{T_{v1} - T_{vk}}$ изанестив таблицу,

$$\frac{T_{vi} - T_{vk}}{T_{v1} - T_{vk}}$$

где T_{v1} - первая измеренная точка температуры при остывании датчика ДТ1 (после извлечения из емкости).

16. Нанести полученные точки на график в координатах $t - F_v$, провести через полученные точки прямую, вычислить ее угловой коэффициент k_v , занести в табл. 3.1. Вычислить постоянную времени пары преобразователь – воздух, занести в табл. 3.1.

17. Сделать выводы о влиянии среды, температура которой измеряется, на время установления показаний преобразователя.

18. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 3.1

Результаты измерения параметров терморезистивного преобразователя
В воздушной среде

номер измерения	$t_v, \text{с}$	$T_v, ^\circ\text{C}$	F_v
1			
2			
...			
n			
$t_{0v}, \text{с}$		$T_{vk}, ^\circ\text{C}$	

Таблица 3.2

Результаты измерения параметров терморезистивного преобразователя
в водной среде

Номер измерения	$t_{ж}, \text{с}$	$T_{ж}, ^\circ\text{C}$	$F_{ж}$
1			
2			
...			
n			
$t_{0ж}, \text{с}$		$T_{жк}, ^\circ\text{C}$	

Приборы измерения давления Стрелочные деформационные манометры

Немного теории: Конструкция деформационного манометра приведена на рис. 10. Под действием давления жидкости или газа, поступающего в загнутую трубку с запаянным концом, последняя стремится выпрямиться и деформируется на величину, пропорциональную давлению.

Перемещение свободного конца трубки передается через тягу на шестерню,

вращающую шестерню, связанную со стрелкой, индицирующей показания манометра. Таким образом, угол поворота стрелки пропорционален давлению. Изменяя жесткость загнутой трубки, получают манометры на различные диапазоны измерения давления. Подбором соотношения шестерен регулируют коэффициент пропорциональности между углом поворота стрелки и перемещением запаянного конца трубки.

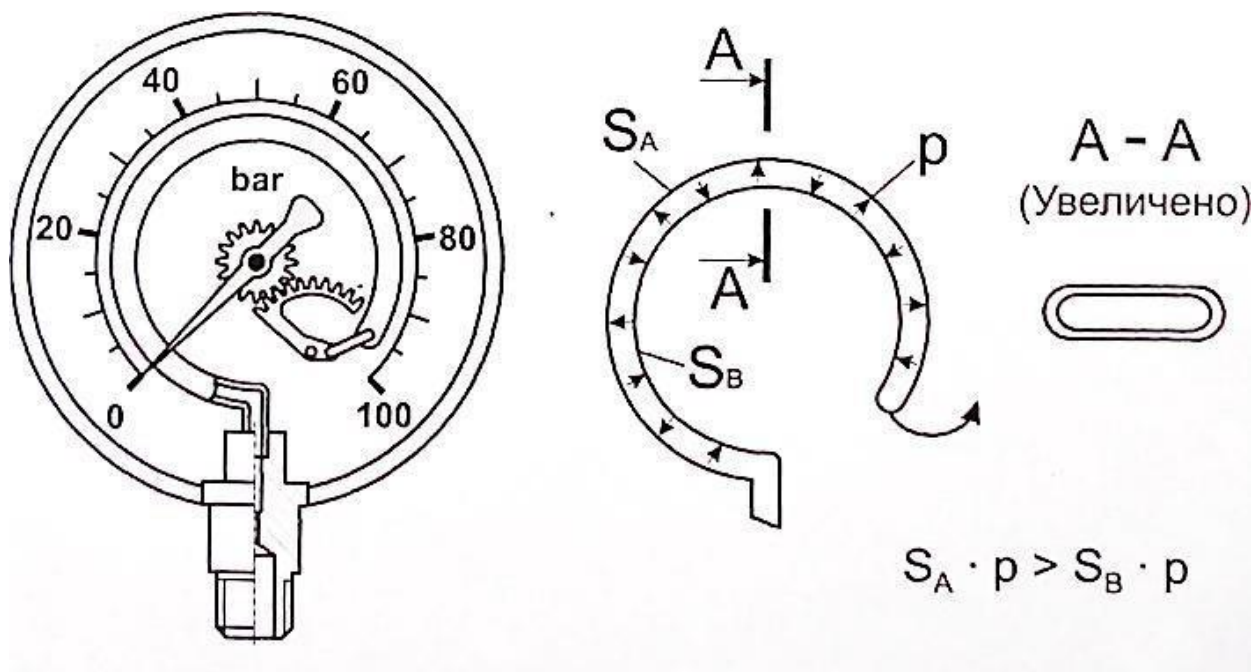


Рис.10.Стрелочныйдеформационныйманометр

Лабораторная работа №4

Исследование работы стрелочного деформационного манометра

Цель работы: Проведение исследований по работе прибора для измерения давления – стрелочного деформационного манометра, его конструкции и принципа действия.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда). Для выполнения работы используется пневматическая часть стенда. Подключить с помощью шлангов и тройников манометры 1, 2 и 3 к порту избыточного давления на лицевой панели стенда.
2. Включить компрессор, включить переключатель режимов работы компрессора на избыточное давление.
3. С помощью регулятора давления установить величину давления 0,1 МПа. Занести показания манометров 1, 2 и 3 в табл.4.

4. С помощью регулятора давления увеличить значение давления на 0,1 МПа.
5. Занести показания манометров 1, 2 и 3 в табл. 4.
6. Повторить пункты 4-5 до достижения давления 0,5 МПа.
7. Выключить компрессор. Принять показания манометра 1 за истинное значение давления. Вычислить абсолютную и относительную погрешность манометров 2 и 3.
8. Сравнить полученные результаты с классом точности измерителей. Сделать выводы.
9. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 4

Результаты исследования работы стрелочного деформационного манометра

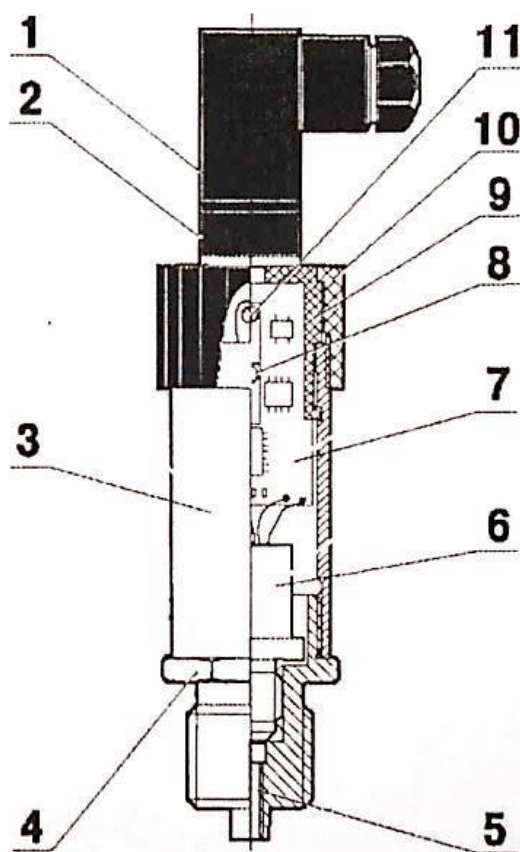
Номер измерения	$P_{МН1}$, кПа	$P_{МН2}$, кПа	$P_{МН3}$, кПа	$\Delta P_{МН2}$, кПа	$\Delta P_{МН3}$, кПа	$\delta P_{МН2}$, %	$\delta P_{МН3}$, %

Датчик давления деформационного мембранного типа

Немного теории: Конструкция деформационного датчика давления представлена на рис. 11. Преобразователь выполнен в цилиндрическом корпусе 3, в нижней части которого расположен штуцер 4, предназначенный для присоединения к линии измеряемого давления. В верхней части корпуса расположена «обойма» 9, которая крепится в корпусе с помощью специальных защелок, позволяющих ей вращаться вокруг своей оси (относительно корпуса 3). Для фиксации положения обоймы относительно корпуса служит крышка 10, которая навинчивается на наружную резьбу верхней части корпуса 3. На обойме установлена приборная часть 2 электрического соединителя типа DIN43650С. В кабельной части 1 соединителя производится подсоединение проводов внешних электрических цепей с помощью винтовых зажимов (клемм) без применения пайки. Во входном отверстии 5 приемной полости штуцера преобразователя предусмотрена резьба для установки гидравлического дросселя, предназначенного для предотвращения повреждения мембраны

чувствительного элемента преобразователя в случае возникновения гидроудара.

В штуцере преобразователя размещен чувствительный элемент 6. В качестве чувствительного элемента применен тензопреобразователь, на котором размещена тензочувствительная полупроводниковая схема из четырех тензорезисторов, соединенных в мост Уитсона.



Под действием давления измеряемой среды мембрана чувствительного элемента прогибается. Тензорезисторы, деформируясь, изменяют свое сопротивление. В результате происходит разбалансировка моста пропорционально измеряемому давлению. Разбалансированный сигнал в виде электрического сигнала преобразуется электронным блоком, расположенным в корпусе преобразователя, в выходной унифицированный сигнал постоянного тока 4...20 мА.

В корпусе преобразователя имеется специальное окно для доступа к подстроечному резистору корректора нуля. Корректор нуля предназначен для подстройки выходного сигнала преобразователя при давлении, равном атмосферному.

Рис.11.

Для подстройки выходного сигнала преобразователя при верхнем предельном значении измеряемого давления предназначен подстроечный резистор корректора диапазона 8. К преобразователю давления присоединяется вторичный электронный прибор, измеряющий сигнал с преобразователя и переводящий его в значения давления.

Лабораторная работа №5

Исследование работы датчика давления деформационного мембранного типа

Цель работы: Проведение исследований по работе прибора для измерения давления – датчика давления деформационного мембранного типа.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда). Для выполнения работы используется пневматическая часть стенда. Подключить с помощью шлангов и тройника манометр 1 (М1) и датчик давления 1 (ДД1) к порту избыточного давления на лицевой панели стенда.
2. Включить компрессор, включить переключатель режимов работы компрессора на избыточное давление.
3. С помощью регулятора давления установить величину давления 0,1 МПа. Занести показания М1 и ДД1 в табл.5.
4. С помощью регулятора давления увеличить значение давления на 0,1 МПа.
5. Занести показания М1 и ДД1 в табл.5.
6. Повторить пункты 4-5 до достижения давления 0,5 МПа.
7. Выключить компрессор. Принять показания манометра 1 за истинное значение давления. Вычислить абсолютную и относительную погрешность датчика давления ДД1.
8. Проанализировать результаты, сделать выводы по проделанной работе.
9. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 5

Результаты исследования работы датчика давления деформационного мембранного типа

Номер измерения	P_{M1} , кПа	$P_{ДД1}$, кПа	$\Delta P_{ДД1}$, кПа	$\delta P_{ДД1}$, %
1				
2				
3				
4				
5				

Датчик давления пьезорезистивного типа

Немного теории: Датчик давления пьезорезистивного типа в своей конструкции имеет чувствительный элемент, меняющий свое удельное электрическое сопротивление при деформации. Термин "тензорезистивный" употребляется, как правило, по отношению к сенсорам, в которых используются тонкопленочные тензопреобразователи, либо структуры КНС (кремний на сапфире), КНК (кремний на кремнии). В таких сенсорах упругим элементом является металлическая или керамическая мембрана, на которую наклеивается полупроводниковый тензопреобразователь. Пьезорезистивными обычно называют монокристаллические кремниевые сенсоры

Диффузионными пьезорезисторами, в которых упругим элементом служит сама кремниевая мембрана (рис. 12). Внутреннее устройство датчика давления пьезорезистивного типа представлено на рис. 13.

Типичный тензорезистивный сенсор давления на основе структуры КНС состоит из упругой металлической мембраны, к которой припаян тензопреобразователь, представляющий собой подложку из сапфира, на которой сформирован измерительный мост Уитстона из кремниевых тензорезисторов. Кроме тензомоста, на подложке сформирована схема температурной компенсации (на рисунке не показана).

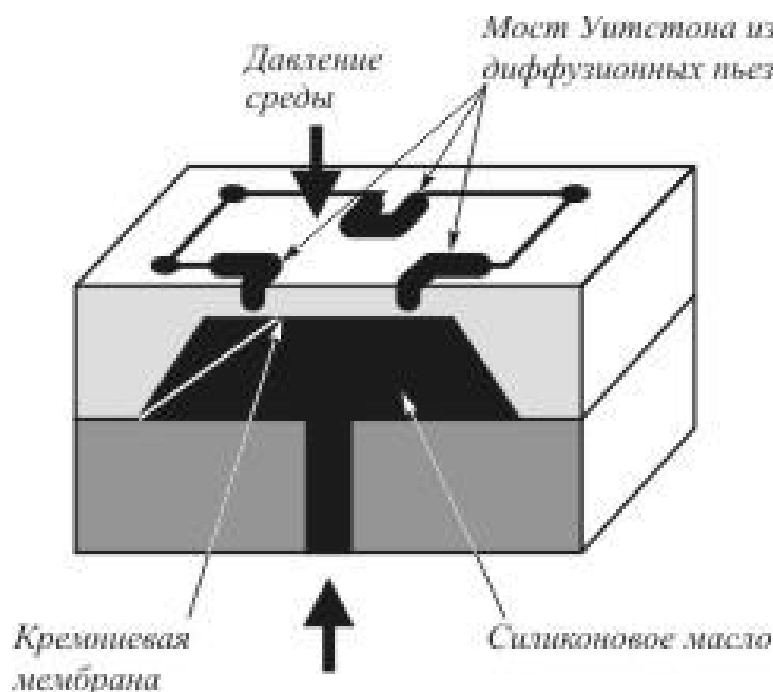


Рис.12. Внешний вид датчика давления пьезорезистивного типа

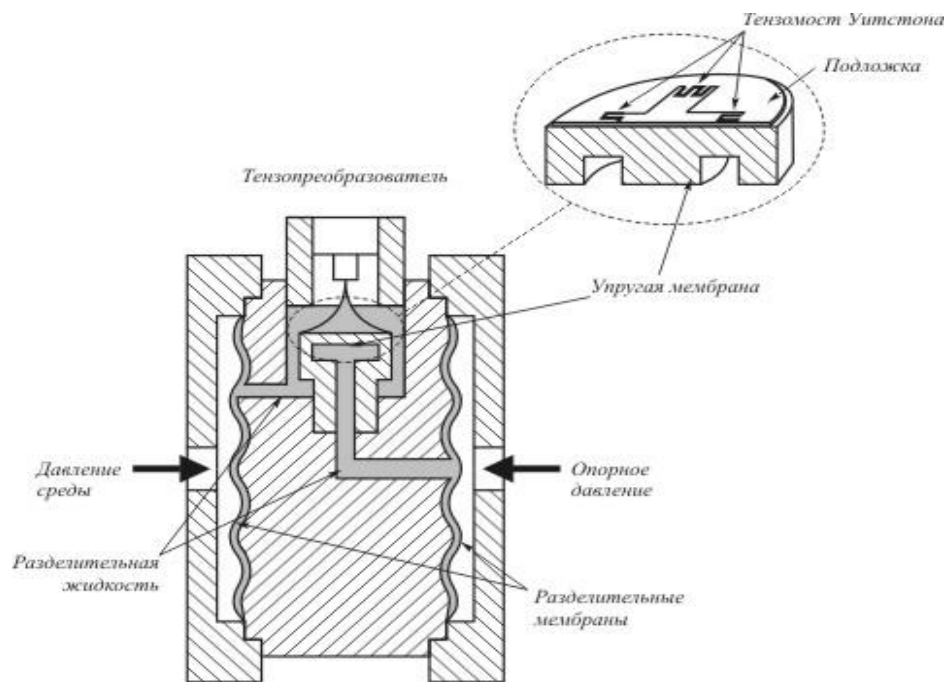


Рис.13.Внутреннее устройство датчика давления пьезорезистивного типа

Основное отличие пьезорезистивного сенсора от тензорезистивного заключается в следующем: как и тензорезистивный, он содержит упругую мембрану, закрепленную на стеклянном основании, на которой имеется мост Уитстона, преобразующий деформацию мембраны в электрический сигнал, однако, в данном случае мембрана изготавливается из монокристаллического кремния, а вместо тензорезисторов используются сформированные методом диффузии пьезорезисторы. Поскольку жесткость кремниевой мембраны значительно ниже, чем металлической, разность значений давлений передается от наружных разделительных мембран через силиконовое масло непосредственно на сенсор без использования рычагов, тяг и т. п.

Достоинствами пьезорезистивных сенсоров являются:

- малый гистерезис;
- стойкость к вибрации;
- однородность упругой мембраны.

Недостатки в основном те же, что и у тензорезистивных, но выражены в меньшей степени:

- низкая чувствительность (2...5%);
- сильно влияет температура (за счет изменения удельного сопротивления пьезорезисторов);
- существенно влияет статическое давление;
- недостаточная стабильность (фактором дрейфа является загрязненность примесями);

- наличие нелинейности.

Структурная схема датчика (рис. 14) включает в себя:

- интегральный упругий чувствительный элемент (ЧЭ);
- микроконтроллер (МК);
- преобразователь «напряжение-ток» (ПНТ).



Рис. 14. Структурная схема датчика давления пьезорезистивного типа

Контролируемое давление воспринимается ЧЭ и преобразуется в пропорциональные электрические сигналы. Сигналы с выхода ЧЭ поступают в микроконтроллер (МК), где происходят вычисления и формирование выходного сигнала в виде ШИМ. Преобразователь ПНТ преобразует сигнал с МК до нормализованной величины (4 – 20) мА.

Лабораторная работа №6

Исследование характеристик датчика давления пьезорезистивного типа

Цель работы: Исследование характеристик прибора для измерения давления – датчика давления пьезорезистивного типа.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда). Для выполнения работы используется пневматическая часть стенда. Подключить с помощью шлангов и тройника манометр 1 (М1) и датчик давления 2 (ДД2) к порту избыточного давления на лицевой панели стенда.
2. Включить компрессор, включить переключатель режимов работы компрессора на избыточное давление.
3. С помощью регулятора давления установить величину давления 0,1 Мпа. Занести показания М1 и ДД2 в табл. 6.
4. С помощью регулятора давления увеличить значение давления на 0,1 Мпа.
5. Занести показания М1 и ДД2 в табл. 6.
6. Повторить пункты 4-5 до достижения давления 0,5 Мпа.
7. Выключить компрессор. Принять показания манометра 1 за истинное значение давления. Вычислить абсолютную и относительную погрешность датчика давления ДД2.
8. Проанализировать результаты, сделать выводы.

9. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 6

Результаты исследования характеристик датчика давления
пьезорезистивного типа

Номер измерения	РМН 1, кПа	РДД 2, кПа	$\Delta P_{\text{ДД2}}$, кПа	$\delta P_{\text{ДД2}}$, %
1				
2				
3				
4				
5				

Способы измерения расхода воды

Объемный способ измерения расхода воды

Немного теории: Расход – это физическая величина, определяемая количеством жидкости или газа, проходящих через трубу или русло в единицу времени. Различают объемный расход Q , когда количество вещества измеряется в объемных единицах, и массовый M , когда оно измеряется в единицах массы.

Объемный способ измерения среднего расхода жидкости – мерная емкость. Пусть в момент времени t_1 в мерной емкости содержится объем жидкости V_1 , и емкость равномерно поступает жидкость до времени t_2 . Объем жидкости в емкости в момент времени t_2 равен V_2 , тогда средний расход поступающей жидкости:

$$Q = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

Изменяя время $(t_2 - t_1)$ замера, можно получать средний расход с различной точностью. В емкости установлены два датчика уровня (верхний и нижний), время между срабатываниями которых измеряется электронным секундомером с электрическим управлением. На боковую поверхность мерной емкости наклеена шкала, отградуированная в единицах объема.

Экспериментальное изучение способов измерения расхода заключается в измерении расхода жидкости по мерной емкости в зависимости от времени измерения объема, в определении объема жидкости между срабатываниями датчиков уровня.

Лабораторная работа №7

Исследование объемного способа измерения расхода воды

Цель работы: Изучение объемного способа измерения расхода воды, определение влияния величины измеряемого объема и времени измерения на погрешность измерений. Определение объема жидкости между срабатываниями датчиков уровня.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда). Открыть краны 1, 3, 5.
2. Включить насос.
3. Дождаться наполнения емкости и остановки электронного секундомера (в окне управляющей программы). Записать показания в табл. 7 в графу $\Delta t_{\text{авт}}$.
4. Выключить насос, дождаться слива емкости E , сбросить показания секундомера.
5. Частично закрыть кран 5 для уменьшения подачи насоса.
6. Повторить пункты 2-5 для различных положений закрытия крана 5.
7. Выключить насос.
8. Вычислить расход $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t_{\text{авт}}}$; где $\Delta V = 1.5 \text{ л}$ – объем емкости между

датчиками автоматического срабатывания секундомера.

9. Проанализировать результаты, сделать выводы по проделанной работе.

10. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 7

Результаты исследования объемного способа измерения расхода воды

Номер опыта	$\Delta t_{\text{авт}}$ Т	Q

Способ измерения расхода воды по показаниям счетчика воды

Немного теории: Расход – это физическая величина, определяемая количеством жидкости или газа, проходящими

хчерезтрубуилиуслов

единицу времени. Различают объемный расход Q , когда количество вещества измеряется в объемных единицах, и массовый M , когда оно измеряется в единицах массы. Принцип работы и конструкция лопастного (пластинчатого) ротационного счетчика количества воды показан на рис. 15.

Измеряемая жидкость движется в пространстве, ограниченном цилиндрическими поверхностями корпуса 6 и ротора 8. Внутри ротора расположен неподвижный кулачок 7, на который опираются четыре ролика 9 с закрепленными на них лопатками 1, 2, 4 и 5. Давление жидкости, поступающей через входной патрубок на лопасть 5, приводит ротор во вращение, которое передается на счетный указатель. Ролики катятся по кулачку, лопасти при этом поочередно занимают место снаружи и внутри ротора. Таким образом, за полный оборот ротора через счетчик проходит количество жидкости, равное разности объемов цилиндра и ротора. Перетеканию жидкости из входного отверстия в выходное препятствует вставка 3.

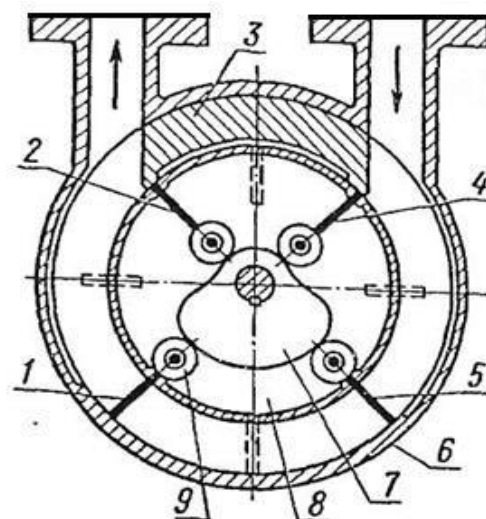


Рис.15.Ротационный счетчик с пластинчатыми лопастями

При изготовлении ротационных счетчиков особо внимание обращают на легкость хода роторов и уменьшение неучитываемых утечек через счетчик. Легкость хода (качественный показатель малого трения в механизме, а следовательно, и малой потери давления на счетчике) обеспечивается установкой валов ротора на подшипники качения. Уменьшение же утечек достигается тщательной обработкой и взаимной подгонкой сопрягаемых поверхностей.

Погрешность показаний ротационных счетчиков обычно не превышает 1% в пределах 10-100 % номинального расхода.

Лабораторная работа №8

Исследование способа измерения расхода воды по показаниям счетчика воды

Цель работы: Исследование способа измерения расхода воды по показаниям счетчика воды, сравнение с объемным способом измерения. Определение погрешностей измерения.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда). Открыть краны 1, 3, 5.
2. Включить насос.
3. Записать в табл. 8 значение расхода, определенное с помощью счетчика «датчик расхода воды» в окне управляющей программы), время Δt автоматической остановки секундомера при наполнении емкости Е. Выключить насос, дождаться слива воды из емкости Е, сбросить показания секундомера.
4. Частично закрыть кран 5.
5. Повторить пункты 2-4 для разных положений закрытия крана 5.
6. Вычислить значения расхода как $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ для ранее записанных результатов измерений (принять $\Delta V = 1,5 \text{ л}$). Сравнить значения расхода, полученные с помощью счетчика воды и мерной емкости Е.
7. Проанализировать результаты, сделать выводы по проделанной работе.
8. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 8

Результаты исследования способа измерения расхода воды
по показаниям счетчика воды

Номер измерения	$Q_{\text{счетч}}$	Δt	Q

Способ измерения расхода воды по величине
падения давления на мерной диафрагме

Немного теории: Расход – это физическая величина, определяемая количеством жидкости или газа, проходящих через трубу или русло

единицу времени. Различают объемный расход Q , когда количество вещества измеряется в объемных единицах, и массовый M , когда оно измеряется в единицах массы.

Наиболее распространенным методом измерения расхода в трубах является метод его измерения по переменному перепаду давления на сужающем устройстве. Схема расходомера показана на рис. 16. В трубу вставляется устройство, сужающее поток, например, диафрагма — диск с отверстием. В месте сужения скорость потока возрастает, и его кинетическая энергия увеличивается. Это вызывает уменьшение потенциальной энергии, которая определяется статическим давлением. Давление в суженном потоке меньше, чем давление в потоке до сужения. Разность давлений возрастает с увеличением скорости среды и служит мерой расхода. Сужающее устройство является преобразователем потока (или его расхода) в разность давлений, которая измеряется дифференциальным манометром, градуированным в единицах расхода.

В качестве сужающего устройства обычно используют так называемые нормальные сужающие устройства: нормальные диафрагмы (рис. 16, а), нормальные сопла (рис. 16, б), трубы Вентури (рис. 16, в).

Достоинства расходомеров с сужающими устройствами заключаются в их универсальности. Этими расходомерами можно измерять расход любых однофазных, а в ряде случаев и двухфазных сред. Они пригодны для измерения расхода в трубах практически любого диаметра и при любом давлении. Расходомер состоит из сужающего устройства, соединительных трубок и серийно выпускаемого дифференциального манометра, конструкция которого не зависит от измеряемой среды и расхода.

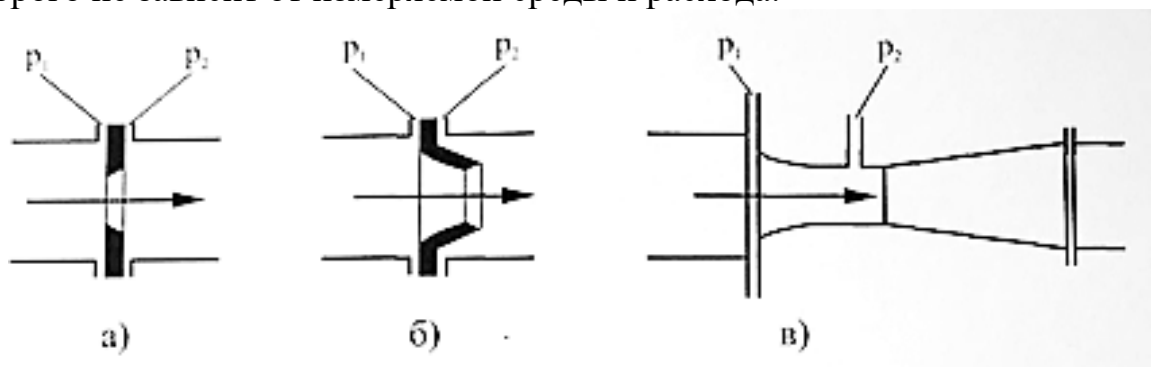


Рис. 16. Виды сужающих устройств

Сужающее устройство рассчитывается по стандартной методике. Исходными данными являются условия измерения и входные данные дифференциального манометра. Сужающие устройства изготавливаются потребителем после проведения необходимых расчетов.

Основными недостатками расходомеров с сужающими устройствами являются нелинейная функция преобразования, малое отношение $Q_{\max}/Q_{\min}$, обычно не превышающее 3, и затруднения при измерении пульсирующих и переменных расходов. Основная приведенная погрешность расходомеров этого типа не превышает 1-3 %.

В горизонтальной трубе (изменения уровня отсутствуют) с пренебрежимо малыми потерями на трение с несжимаемой жидкостью расход через диафрагму выражается формулой (14):

$$Q_D = C S_2 \sqrt{2 \frac{P_1 - P_2}{\rho}} \quad (14)$$

где C – коэффициент расхода, безразмерная величина, учитывающая соотношение диаметров трубы и отверстия в диафрагме, а также соотношение теоретического и действительного расхода через данную диафрагму;

S_2 – площадь сечения отверстия в диафрагме, м^2 ; P_1 –

давление жидкости до диафрагмы, Па;

P_2 – давление жидкости до диафрагмы, Па; ρ – плотность жидкости.

Для течения жидкости постоянной плотности расход через диафрагму связан с перепадом давления на диафрагме ($P_1 - P_2$) следующим соотношением (15):

$$Q_D = K \sqrt{P_1 - P_2} \quad (15)$$

где K – коэффициент, определяемый для расхода данной жидкости через данную диафрагму.

Коэффициент K определяется на основе экспериментальной тарировки диафрагмы.

Лабораторная работа №9 Исследование способа измерения расхода воды по величине падения давления на мерной диафрагме

Цель работы: Изучение измерительной диафрагмы как прибора для измерения расхода жидкости.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Для выполнения работы используется гидравлическая часть стенда. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда). Открыть краны 1, 3.

2. Подключить к точкам измерения давления на диафрагме Д датчики давления ДД1 и ДД2.

3. Включить насос. Занести в табл. 9 значения P_1 (по показаниям ДД1) и P_2 (по показаниям ДД2), значение расхода воды Q по показаниям управляющей программы. Вычислить коэффициент K , используя формулу (8). Выключить насос.

4. Повторить пункт 2 дважды и занести результаты в табл. 9.

5. Частично закрыть кран 3 и повторить пункты 2-3 для нового положения крана 3.

6. Выключить насос, вычислить $K_{ср}$, абсолютную и относительную ошибку вычисления K . Записать значение коэффициента K для данной диафрагмы.

7. Проанализировать результаты, сделать выводы.

8. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 9

Результаты исследования способа измерения расхода воды по величине падения давления на мерной диафрагме

Номер измерения	P_1	P_2	Q	K	ΔK	δK
$K_{ср}$						

Способ измерения расхода воздуха по величине падения давления на мерной диафрагме в газовой среде

Данный способ измерения расхода отличается от приведенного выше. Для адиабатического течения газа с постоянной начальной температурой расход через диафрагму связан с величинами давления перед диафрагмой P_1 и за ней P_2 следующим соотношением (16):

$$Q = K P_1 \sqrt{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}} \quad (16)$$

где $\gamma = 1,4$ — показатель адиабаты.

Отсюда

$$K = \frac{Q}{P_1 \sqrt{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}}} \quad (17)$$

Коэффициент K определяется на основе экспериментальной тарировки диафрагмы.

Лабораторная работа №10 Исследование способа измерения расхода воздуха по величине Падения давления на мерной диафрагме

Цель работы: Изучение способа измерения расхода воздуха по величине падения давления на мерной диафрагме.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Для выполнения работы используется пневматическая часть стенда. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда). Открыть вентиль 6.
2. Подключить к точкам измерения давления на диафрагме Д датчики давления ДД1 и ДД2.
3. Включить компрессор.
4. Занести в табл.10 значения P_1 (по показаниям ДД1) и P_2 (по показаниям ДД2), значение расхода воздуха Q по показаниям управляющей программы. Вычислить K по формуле (2).
5. Частично закрыть вентиль 6 и повторить пункт 3 для нового положения вентиля 6.
6. Выключить компрессор. Вычислить $K_{ср}$, абсолютную и относительную ошибку измерений.
7. Проанализировать результаты, сделать выводы по проделанной работе.
8. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 10

Результаты исследования способа измерения расхода воздуха по величине падения давления на мерной диафрагме

Номер измерения	P_1	P_2	Q	K	ΔK	δK
$K_{ср}$						

Способ измерения расхода газа по методу отсеченного объема

Немного теории: Расход – это физическая величина, определяемая количеством жидкости или газа, проходящих через трубу или русло в единицу времени. Различают объемный расход Q , когда количество вещества измеряется в объемных единицах, и массовый M , когда оно измеряется в единицах массы.

Метод измерения расхода по падению давления в емкости основан на газовых законах, а именно на уравнении Менделеева – Клапейрона:

$$PV = MRT,$$

где P – давление газа, V – объем, занимаемый газом, M – масса газа, R – газовая постоянная, T – температура газа.

Схема измерения приведена на рис. 17.

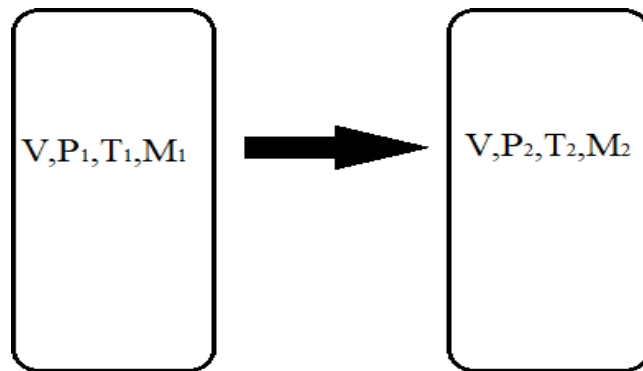


Рис. 17. Схема измерения расхода газа по емкости

Таким образом, измеряя давление и температуру для двух состояний газа в емкости через время t можно определить средний объемный расход газа из емкости, приведенный к нормальным условиям (18):

$$Q = V - \left(\frac{P_1}{RT_1} - \frac{P_2}{RT_2} \right) * \frac{1}{\rho_{ну}}, \quad (18)$$

где $\rho_{ну}$ – плотность газа при нормальных условиях: давлении ($p_{ну} = 101325$ Па) и температуре $T_{ну} = 293$ гр. К).

$R_{ну}$

С учетом, что $\rho_{ну} = \frac{M}{V}$

$\frac{RT_{ну}}{P_{ну}}$

,получаем:

$$Q = V \left[\frac{P_1 - P_2}{T_1 - T_2} \right]_{*} T_{Hy} \quad (19)$$

Однако, при применении датчиков температуры с большой инерционностью и больших расходах, т.е. быстром падении давления в ресивере, достоверно измерить можно только конечное давление. В таком случае принимают какой-либо из законов расширения газа – адиабатический или изотермический.

Для адиабатического истечения из емкости применяют формулу (20):

$$Q_A = \frac{V_{P1}}{t} \left(1 - \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \frac{T_{H1}}{T_{H2}} \quad (20)$$

где γ – показатель адиабаты для воздуха (принять $\gamma = 1.4$)

Для изотермического истечения применяют формулу:

$$Q_I = \frac{V_{P1}}{t} \left(1 - \frac{P_2}{P_1} \right) \frac{T_{H1}}{T_{H2}} \quad (21)$$

Для проведения лабораторных работ в лабораторном стенде используется ресивер объемом 8 л.

Лабораторная работа №11

Исследование способа измерения расхода газа по методу отсеченного объема

Цель работы: Исследование способа измерения расхода газа по методу замера падения давления в отсеченном объеме, определение погрешностей измерения.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Для выполнения работы используется пневматическая часть стенда. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда). Полностью открыть редукционный клапан (регулятор давления). Закрыть вентиль 6.
2. Включить компрессор. Дождаться наполнения ресивера и автоматической остановки работы компрессора.
3. По датчику температуры 4 (ДТ4 на рис. 2 описания стенда, Т4 в окне управляющей программы) определить температуру воздуха в ресивере T_R . По датчику давления 4 (ДД4 на рис. 2 описания стенда, Д4 в окне управляющей программы) определить давление P_{P1} .
4. Записать в табл. 11 давление в ресивере P_{P1} и температуру T_R .
5. Открыть вентиль 6, одновременно запустив секундомер.

6. Подождать пока давление в ресивере упадет не менее чем на 0,3 бар. Закрыть вентиль 6, одновременно остановив секундомер.

7. Записать в табл. 11 давление в ресивере P_{P2} , время по секундомеру t . Сбросить показания секундомера.

8. Перейти к следующему измерению в таблице. Записать в табл. 11 давление в ресивере P_{P1} и температуру T_P .
9. Открыть вентиль 6, одновременно запустив секундомер.
10. Подождать пока давление в ресивере упадет не менее чем на 0,6 бар. Закрыть вентиль 6, одновременно остановив секундомер.
11. Записать в табл. 11 давление в ресивере P_{P2} , время по секундомеру t . Сбросить показания секундомера.
12. Перейти к следующему измерению. Записать в табл. 11 давление в ресивере P_{P1} и температуру T_P .
13. Открыть вентиль 6, одновременно запустив секундомер.
14. Подождать пока давление в ресивере упадет не менее чем на 1,0 бар. Закрыть вентиль 6, одновременно остановив секундомер.
15. Записать в табл. 11 давление в ресивере P_{P2} , время по секундомеру t . Сбросить показания секундомера.
16. Выключить компрессор.
17. По формулам (20) и (21) вычислить расход по ресиверу для адиабатического Q_A и изотермического $Q_{и}$ истечения.
18. Проанализировать результаты, сделать выводы.
19. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 11

Результаты исследования способа измерения расхода газа
По методу отсеченного объема

Номер измерения	P_{P1} , бар	T_P , К	P_{P2} , бар	t , с	Q_A , л/мин	$Q_{и}$, л/мин

Способ измерения расхода воздуха по показаниям счетчика газа

Немного теории: Расход – это физическая величина, определяемая количеством жидкости или газа, проходящих через трубу или русло в единицу времени. Различают объемный расход Q , когда количество вещества измеряется в объемных единицах, и массовый M , когда оно измеряется в единицах массы.

Конструкция счётчика представляет классический состав аппарата подобного вида. В герметичном корпусе расположены следующие элементы:

- автоматический генератор струйного типа;
- электронный блок обработки сигнала;
- стандартный пьезоэлемент;
- литиевый источник питания.

Корпус закрывается крышкой с смонтированным пломбировочным кольцом.

Характеристики и принцип действия счетчика газа

В этом устройстве применён так называемый косвенный метод измерения расхода газовой смеси. Он основан на функциональной зависимости частоты колебаний газового потока в струйном генераторе от объёма проходящего газа. Эта зависимость носит линейный характер.

Принцип работы струйного счетчика газа основан на колебании струи газа в специальном струйном генераторе. Струя газа попеременно перебрасывается из одного устойчивого положения в другое и создает при этом пульсации давления и звука с частотой пропорциональной скорости течения газа и соответственно объемного расхода. В электронном преобразователе происходит вычисление количества пропущенного газа.

Принципиальная схема преобразователя с осциллирующей струей показана на рис. 18.

Глубина проточной части преобразователей постоянна. Поток жидкости или газа проходит через сопло 1 и попадает в диффузор 3 прямоугольного сечения. Под влиянием случайных причин поток в каждый данный момент в большей степени прижимается к той или другой стенке диффузора (допустим, к нижней). Тогда благодаря эжектирующему действию струи в преобразователе релаксационного типа давление p_2 в нижней части обводной трубки 2 станет меньше давления p_1 в верхней ее части, и по трубке 2 возникнет движение, показанное стрелкой, которое перебросит струю к верхней стенке диффузора. После этого направление движения в обводной трубке изменится, и струя станет осциллировать. Частота осцилляции пропорциональна скорости потока и, следовательно, расходу. Поэтому, используя пьезоэлектрический эффект, производят преобразования этих колебаний в электрический сигнал. После его последующей обработки в электронном блоке значения выводятся на жидкокристаллический индикатор.

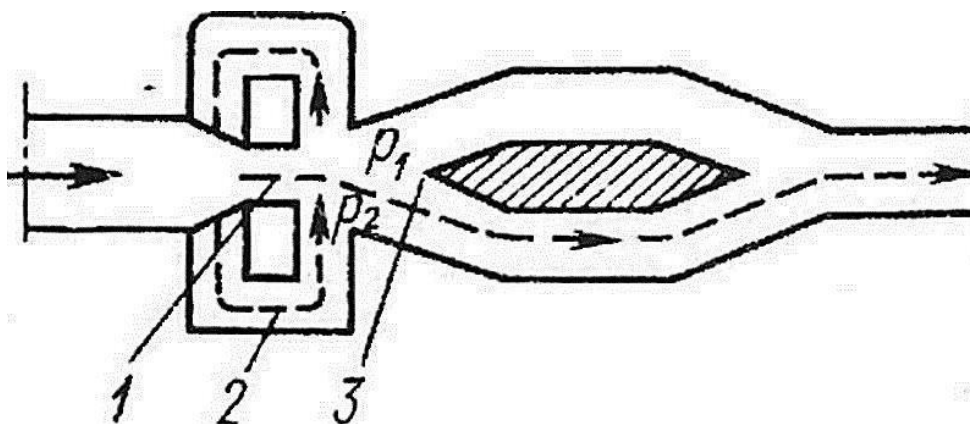


Рис.18.Схема преобразователя с циллирующей струей 1 – сопло; 2 – обводная трубка; 3 – тело обтекания

Лабораторная работа №12

Исследование способа измерения расхода воздуха по показаниям Счетчика газа

Цель работы: Изучение способа измерения расхода воздуха по показаниям счетчика газа.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Для выполнения работы используется пневматическая часть стенда. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда).
2. Включить компрессор.
3. Записать в табл.12 значение расхода, определенное помощью счетчика («датчик расхода воздуха» в окне управляющей программы)
4. Частично закрыть вентиль 6.
5. Повторить пункты 3-4 для разных положений вентиля 6.
6. Проанализировать результаты, сделать выводы.
7. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 12

Результаты исследования измерения расхода воздуха по показаниям счетчика газа

Номер измерения	Qсч тч

Способ измерения расхода воздуха по показаниям ротаметра, изучение устройства и принципа действия ротаметра

Немного теории: Расход – это физическая величина, определяемая количеством жидкости или газа, проходящих через трубу или русло в единицу времени. Различают объемный расход Q , когда количество вещества измеряется в объемных единицах, и массовый M , когда оно измеряется в единицах массы. Устройство ротаметра приведено на рис. 19.

В трубках 1 и 8, соединенных друг с другом болтовыми стержнями 5, с помощью накладных гаек 6 и сальниковых уплотнений укреплена стеклянная коническая трубка 3, на которую непосредственно наносится шкала. Длина трубки обычно находится в пределах от 70 до 600 мм, а диаметр от 1,5 до 100 мм. Для ограничения хода поплавок 4 служат верхний 2 и нижний 7 упоры.

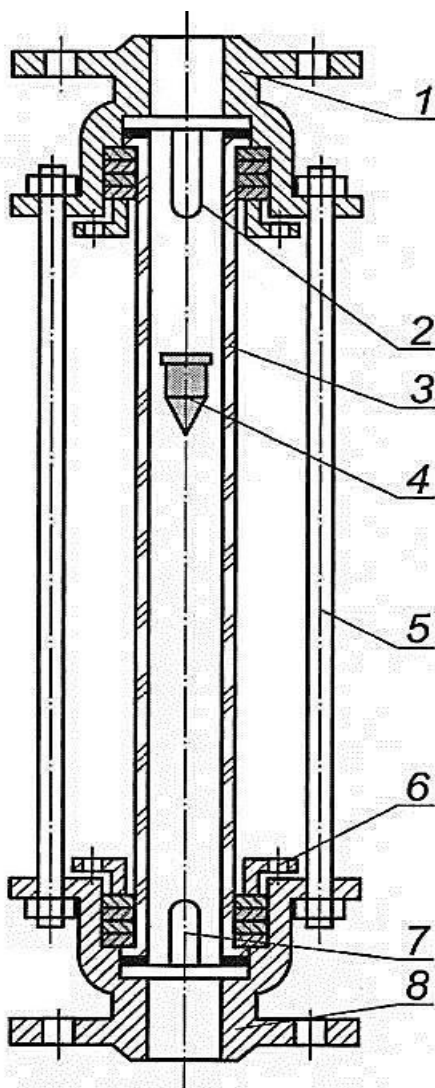


Рис.19. Устройство ротаметра

Пределы применения обычных ротаметров со стеклянной трубкой по давлению 0,5-0,6 МПа, по температуре 100—150°C.

Достоинства ротаметров: простота устройства и эксплуатации; наглядность показаний; надежность в работе; удобство применения для измерения малых расходов различных жидкостей и газов (в частности, агрессивных), а также неньютоновских сред; значительной диапазон измерения и достаточно равномерная шкала.

Недостатки: хрупкость и непригодность для измерения расхода веществ, имеющих высокие показатели давления; связанность прибора с местом измерения; только указывающий характер прибора (отсутствие записи и дистанционной передачи показаний); непригодность для измерения больших расходов.

Основные элементы ротаметра – коническая трубка и поплавков – образуют его проточную часть. Формы поплавка могут быть весьма разнообразны (рис. 20).

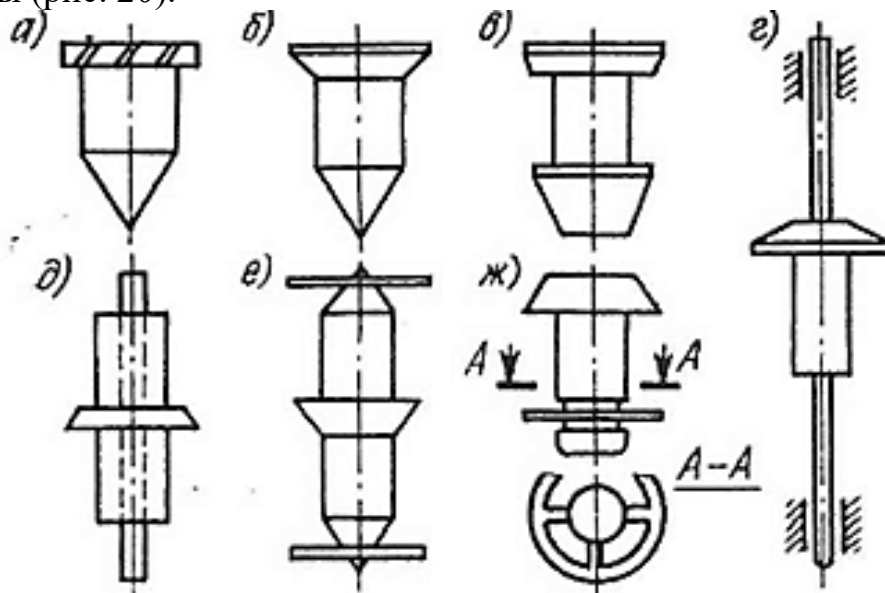


Рис.20.Формыпоплавков

Классическая его форма показана на рис. 20 (а). Поплавков имеет конусную нижнюю часть (иногда с несколько скругленным носом), цилиндрическую среднюю часть и дисковый верх. Существенный недостаток рассмотренной формы поплавка – сильная зависимость градуировочной характеристики от вязкости измеряемого вещества. Для снижения этой зависимости полезно уменьшать высоту верхней дисковой части поплавка и диаметр цилиндрической его части с тем, чтобы он был не более 0,6-0,7 от диаметра верхнего диска (рис.20(б)). В меньшей степени влияние вязкости

сказывается при катушечной форме поплавка, показанной на рис. 20 (в), которая находит теперь основное применение. Еще сильнее влияние вязкости устраняется при дисковой и тарельчатой форме поплавков, когда основное трение потока происходит на очень небольшой боковой поверхности диска. Но вес таких поплавков очень мал, и необходимо или увеличивать длину цилиндрического тела поплавка в одну или обе стороны от диска, или же подвешивать на стержне дополнительный груз. Кроме того, такие поплавки неустойчивы, и во избежание перекоса и трения о стенку трубки их необходимо снабжать направляющими. Последние могут быть трех видов: направляющие, связанные с поплавком и перемещающиеся вместе с ним (рис. 20(г)); неподвижные центральные штоки, проходящие через осевые отверстия поплавков (рис. 20(д)); направляющие кольца (два или одно), укрепляемые обычно в верхней или нижней части поплавков (рис. 20(е, ж)). Но для таких колец требуется применение конусных трубок с направляющими ребрами или гранями. Зато они имеют два дополнительных достоинства: обеспечение турбулентности потока, способствующего уменьшению влияния вязкости, и возможность измерения расхода непрозрачных жидкостей (благодаря малости зазора между направляющими ребрами и кольцами).

Поплавки изготавливаются из различных материалов: нержавеющей стали, титана, алюминиевых сплавов, фторопласта-4 и различных пластмасс (в зависимости от диапазона измерения и агрессивности измеряемого вещества). При необходимости для снижения массы поплавок его делают пустотелым.

Второй основной элемент ротаметра – измерительная коническая трубка (с конусностью 0,001-0,01). Она изготавливается из химически устойчивого или термостойкого боросиликатного стекла. Чувствительность прибора возрастает с уменьшением угла конусности трубки.

Уравнение равновесия поплавка

В ротаметре (рис. 21) можно выделить три сечения: 1 - сечение, где начинает сказываться возмущающее действие поплавка на поток; 2 - узкое кольцевое сечение потока, где имеется максимальная скорость; 3 - сечение, в котором кончается возмущающее действие поплавка на поток.

На поплавок снизу действует разность статических давлений на носовую и кормовую поверхности поплавка, возникающая вследствие перехода части потенциальной энергии в скорость v_k в узком сечении; эта

разность равна $(p_1 - p_2) \cdot s$, где s –
площадь наибольшего поперечного сечения поплавка.

Сумма этих трех сил уравновешивается весом G поплавка (22):

$$G = V g \rho_k \quad (22)$$

где V – объем, ρ_k – плотность материала поплавка (сплошного).

Из уравнения равновесия следует, что

$$(p_1 - p_2) = \frac{G}{s} \quad (23)$$

Расход – это физическая величина, определяемая количеством жидкости или газа, проходящих через трубу или русло в единицу времени. Расход является функцией площади потока и перепада давления $Q = f(S, \Delta p)$, где

$$S = \pi \frac{D^2 - d^2}{4} \quad (24)$$

Поскольку конусность трубки очень маленькая, можно считать, что расход Q пропорционален высоте подъема поплавка h (рис.21). В результате расчетов получим график зависимости расхода воздуха от высоты подъема поплавка (рис. 22).

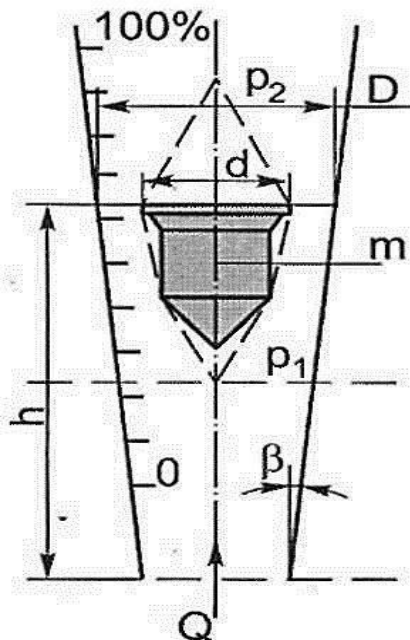


Рис.21.Схема ротаметра

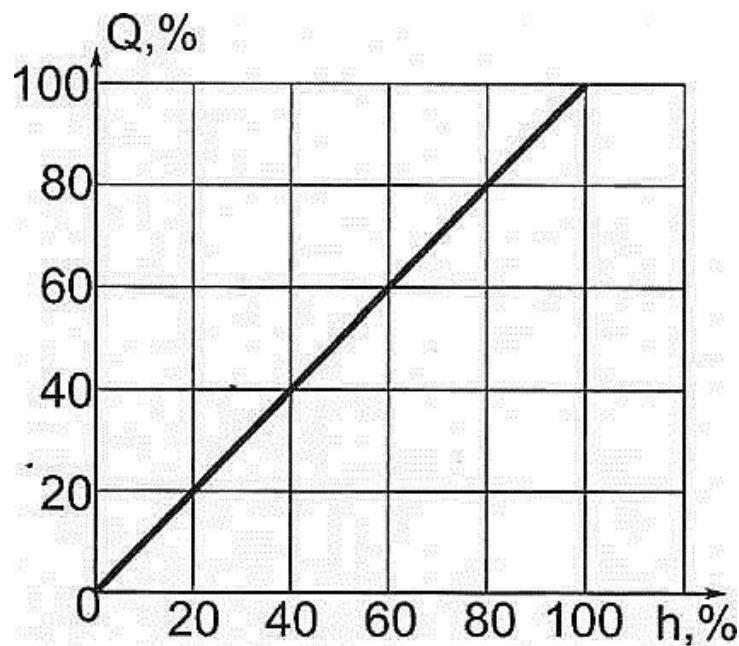


Рис.22. Зависимость расхода жидкости (газа) от высоты подъема поплавка

Лабораторная работа №13

Исследование способа измерения расхода воздуха по показаниям ротаметра

Цель работы:

1. Исследование способа измерения расхода воздуха по показаниям ротаметра,
2. Изучение устройства и принципа работы ротаметра.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Для выполнения работы используется пневматическая часть стенда. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда).
2. Включить компрессор.
3. Определить расход $Q_{\text{рот}}$ по показаниям ротаметра, определить расход Q по показаниям управляющей программы. Занести результаты в табл. 13.
4. Частично закрыть вентиль 6.
5. Повторить пункты 3-4 для разных положений вентиля 6.
6. Выключить компрессор.
7. Сравнить полученные значения расхода газа $Q_{\text{рот}}$ и Q .
8. Проанализировать результаты, сделать выводы.
9. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Результаты исследования способа измерения расхода воздуха
По показаниям ротаметра

номер измерения	Q_{po} т	Q

Способ измерения расхода воздуха по показаниям расходомера
с цифровой индикацией

Немного теории: Расход – это физическая величина, определяемая количеством жидкости или газа, проходящих через трубу или русло в единицу времени. Различают объемный расход Q , когда количество вещества измеряется в объемных единицах, и массовый M , когда оно измеряется в единицах массы. Внешний вид расходомера (датчика расхода), использующегося в стенде, представлен на рис. 23.

Принцип работы датчика расхода основан на применении технологии MEMS. MEMS-технология (Micro-Electro-Mechanical-System) позволяет формировать на поверхности кремниевой подложки микроэлектромеханические структуры различного функционального назначения. В стенку внутреннего канала прибора, по которому протекает поток воздуха, встроен микроскопический измерительный блок MEMS-расходомера (рис. 24). Он содержит нагреватель R_h и два датчика температуры.



Рис. 23. Внешний вид расходомера

Один из датчиков (Ru) расположен выше нагревателя по потоку, а второй (Rd) – ниже. Температура входящего воздуха измеряется датчиком Ra. При неподвижном воздухе температурное поле вокруг нагревателя симметрично, и датчики Ru и Rd показывают одинаковые значения температуры. Когда газ течет, температурное поле деформируется, и появляется разность температур между датчиками Ru и Rd. Разность температур зависит от скорости течения воздуха и позволяет определить и направление потока, и расход воздуха. Датчик Ra предназначен для компенсации влияния температуры воздуха.

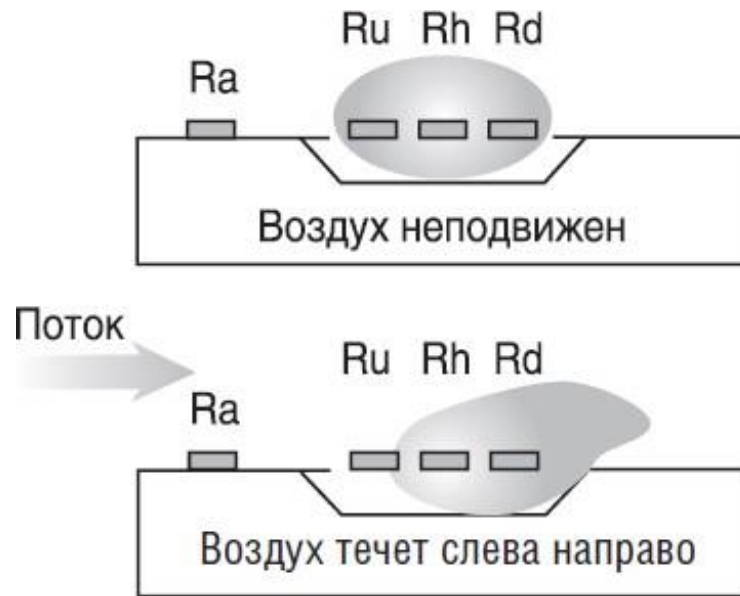


Рис.24.Измерительный блок MEMS-расходомера

MEMS-расходомеры могут измерять как мгновенный, так и накопленный расход, снабжены аналоговыми и дискретными выходами. Данные датчики могут работать не только в среде воздуха, но и средах с азотом, аргоном и углекислым газом. Варианты исполнений предусматривают встроенный пневмодроссель, а также присоединительные отверстия, обращенные вниз, перпендикулярно оси потока. То есть MEMS-расходомер в таком исполнении не требует прямого протяженного отрезка трубопровода, а это существенно сокращает протяженность измерительного участка.

Лабораторная работа №14

Исследование способа измерения расхода воздуха по показаниям
Расходомера с цифровой индикацией

Цель работы: Изучение способа измерения расхода воздуха по показаниям расходомера с цифровой индикацией (ЦИ).

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Для выполнения работы используется пневматическая часть стенда. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда).
2. Включить компрессор.
3. Определить расход $Q_{ЦИ}$ по показаниям расходомера с ЦИ, $Q_{рот}$ по показаниям ротаметра, Q по показаниям управляющей программы. Занести результаты в табл. 14.
4. Частично закрыть вентиль 6.
5. Повторить пункты 3-4 для разных положений вентиль 6.
6. Выключить компрессор.
7. Сравнить полученные значения расхода газа $Q_{ЦИ}$, $Q_{рот}$ и Q .
8. Проанализировать результаты, сделать выводы.
9. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 14

Результаты исследования измерения расхода воздуха по показаниям
Расходомера с цифровой индикацией

Номер измерения	$Q_{рот}$	Q

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Изучение работы циркуляционного насоса

Немного теории: Насос – это гидравлическая машина, преобразующая механическую, вращательную энергию привода в энергию движения жидкости.

Работа насоса характеризуется количеством жидкости, которое подается насосом в единицу времени, обозначается буквой Q и измеряется в $м^3/час$, $л/мин$ и др. Объем жидкости, перекаченной насосом, подключенном к гидравлической сети, определяется рабочей точкой на его характеристике, кроме конструктивных особенностей, зависит от гидравлической характеристики сети.

Оптимальная подача насоса достигается при максимальном значении коэффициента полезного действия. Фактическую подачу насоса можно определить по напорно-расходной характеристике зная создаваемый напор.

Напор— это удельная механическая работа, передаваемая насосом перекачиваемой жидкости, обозначается буквой Н и измеряется в метрах водного столба (м).

Полезная мощность $N_{\text{п}}$ – это мощность, затрачиваемая на сообщение жидкости энергии (25).

$$N_{\text{п}} = H M = Q \rho g H = Q P \quad (25)$$

где P —создаваемое насосом давление;

Напор, создаваемый насосом, представляет собой разность значений механической энергии единицы веса жидкости в сечении потока после насоса и перед ним. В полесилтяжестинапорнасосаравенразности полного напора жидкости после насоса $(Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{W_2^2}{2g})$ и передним $(Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{W_1^2}{2g})$,

$$H = Z_2 - Z_1 + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{W_2^2 - W_1^2}{2g} \quad (26)$$

полный напор выражается в метрах столба перемещаемой жидкости (26):

$$H = Z_2 - Z_1 + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{W_2^2 - W_1^2}{2g} \quad (26)$$

где $Z_2 - Z_1$ —разность высот сечений всасывающего и нагнетательного патрубков насоса, м;

ρ —плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³; g -

ускорение свободного падения, м/с²;

W_1, W_2 – скорость жидкости на входе и выходе из насоса соответственно, м/с;

P_1, P_2 - давление жидкости на входе и выходе из насоса соответственно, Па.

При одинаковой высоте всасывающего и нагнетательного патрубков насоса с учетом выражения (2) создаваемое насосом давление P выразится формулой (27):

$$P = (P_{\text{наг}} - P_{\text{вс}}) + \frac{\rho Q}{\pi} \left(\frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4} \right) \quad (27)$$

где $P_{\text{вс}}, P_{\text{наг}}$ —давление во всасывающем и нагнетающем патрубке насоса соответственно;

d_1, d_2 —внутренние диаметры всасывающего и напорного патрубков; ρ – плотность жидкости;

g —ускорение свободного падения.

При одинаковом диаметре всасывающего и нагнетательного патрубков

площадь сечений S_1 и S_2 до и после насоса будет равна. Учитывая, что

$$Q=W_1S_1=W_2S_2 \quad (28)$$

можно приравнять скорость на входе и выходе из насоса $W_1=W_2$. Если при этом высота z всасывающего и нагнетательного патрубков одинакова, формула (26) упрощается и принимает вид:

$$H = \frac{P_{\text{нагн}} - P_{\text{всас}}}{\rho g} = P \text{ — и } P = P_{\text{нагн}} - P_{\text{вс}} \quad (29)$$

Основной характеристикой насоса является его напорно-расходная характеристика. Эта характеристика может быть рассчитана с помощью теоретических зависимостей или измерена на специальном испытательном стенде. Характеристики насоса изменяются при изменении частоты вращения приводящего вала, соответственно для каждой частоты вращения существует свое семейство характеристик насоса.

Существуют два основных типа насосов - динамические (лопастные) и объемные.

Динамический насос — это гидравлическая машина, в которой жидкость перемещается под силовым воздействием в камере, постоянно сообщаемой с входом и выходом насоса. Перекачивание жидкости в динамических насосах осуществляется, как правило за счет сил инерции (в лопастных) или трения (в насосах трения). Циркуляционный насос, используемый в стенде - динамический.

Объемный насос — это гидравлическая машина, в которой передача энергии жидкости осуществляется за счет изменения объема рабочей камеры. Рабочая камера объемного насоса — герметична и попеременно сообщается с линиями нагнетания и всасывания — входом и выходом насоса.

В паспортах насосов, как правило, приводятся напорные характеристики для соответствующей частоты вращения вала насоса. На рис. 25 приведена напорно-расходная характеристика динамического насоса.

Как видно по графику характеристики, чем большее сопротивление динамический насос вынужден преодолевать, тем меньшую подачу он может обеспечить. Максимальный напор насос создает при нулевом расходе.

Напорная характеристика объемного насоса (рис. 26) имеет принципиально иной вид, чем для центробежного.

Давление, которое развивает объемный насос, зависит от гидравлической сети, в которую он включен. Если начать прикрывать задвижку на напорной магистрали, давление на выходе из насоса будет увеличиваться, однако двигатель насоса этого «не почувствует», он будет продолжать вращать кривошип с той же скоростью, и поршень будет вытеснять тот же объем жидкости. Теоретическая подача $Q_T = q \times n$ не зависит

от давления на выходе p_n (вертикальная прямая 1, рис. 26). В действительности с ростом давления p_n увеличиваются перетоки из полости нагнетания в полость всасывания, вследствие этого уменьшается объемный К.П.Д. и подача насоса (прямая 2).

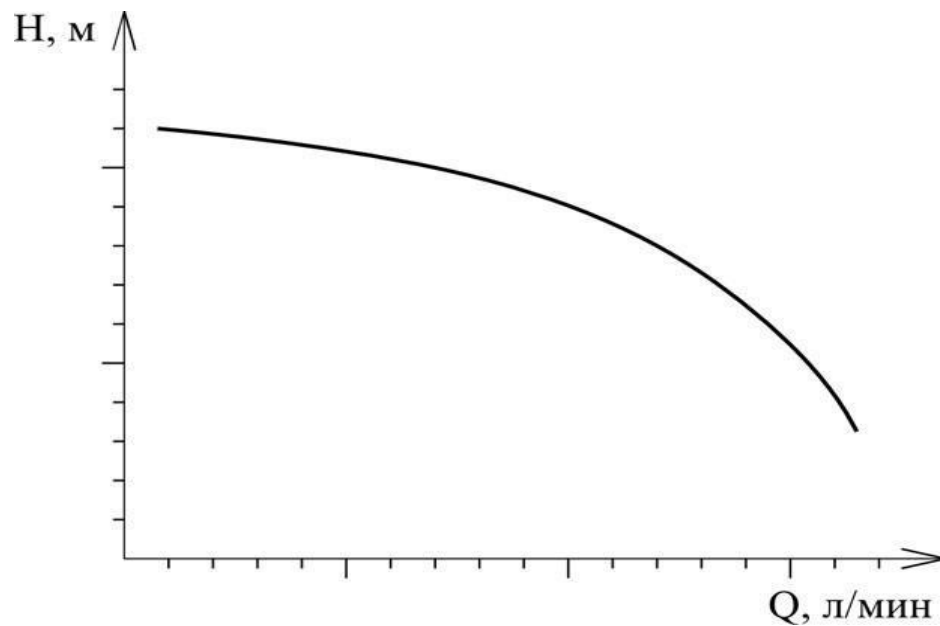


Рис.25. Напорно-расходная характеристика насоса

Вследствие того, что объемный насос «не чувствует» высокого давления, может произойти авария (разрыв стенки трубопровода, нарушение герметичности и др).

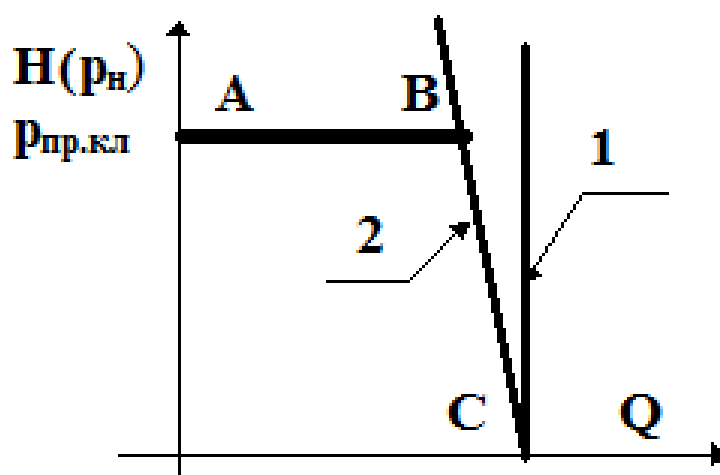


Рис.26. Напорная характеристика объемного насоса

Где 1 – теоретическая напорная характеристика; 2 – практическая, ABC – характеристика насоса с предохранительным клапаном, $p_{\text{пр.кл.}}$ – давление настройки предохранительного клапана 3, Н – напор насоса, p_n – манометрическое давление на выходе из насоса

В стенде для выполнения лабораторных работ используется поршневой компрессор. Принцип работы поршневого компрессора основан на поочередном наборе и вытеснении газа поршнем из замкнутой полости через клапаны всасывания и нагнетания соответственно. В связи с наличием в конструкциях зазоров всегда существуют утечки, величины которых связаны с давлением на выходе компрессора. Кроме того, предельное давление, создаваемое компрессором, определяется вредным объемом, остающимся над поршнем при максимальном сжатии газа. Таким образом, расход газа, создаваемый компрессором, зависит от давления нагнетания.

Лабораторная работа №15

Исследование работы компрессора и снятие характеристик его работы

Цель работы: Изучение приборов для измерения создания давления и расхода газа, построение характеристики компрессора.

При выполнении лабораторной работы используется способ измерения расхода газа по методу отсеченного объема (см. лабораторную работу № 11).

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Для выполнения работы используется пневматическая часть стенда. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда).

2. Включить компрессор. Запустить секундомер. С помощью датчика температуры 4 (ДТ4 - на рис. 2 описания стенда, Т4-в окне управляющей программы) определить температуру воздуха в ресивере T_1 . По показаниям датчика давления 4 (ДД4 - на рис. 2 описания стенда, Д4 - в окне управляющей программы) определить давление P_1 .

3. Подождать пока давление в ресивере возрастет не менее чем на 0,3 бар.

4. Записать в табл. 15 давление в ресивере P_2 , время по секундомеру, прошедшее между замерами давления P_1 и P_2 . Записать в таблицу значение $P = (P_1 + P_2) / 2$.

5. Перейти к следующему измерению. Записать в табл. 15 давление в ресивере P_1 и температуру T_1 .

6. Подождать пока давление в ресивере возрастет не менее чем на 0,3 бар.

7. Записать в таблицу 16.1 давление в ресивере P_2 , время по секундомеру t , прошедшее между замерами давления P_1 и P_2 . Записать в таблицу значение $P = (P_1 + P_2) / 2$.

8. Повторять пункты 5-7 до наполнения ресивера и отключения компрессора.

9. По формуле (20) для адиабатического процесса вычислить расход воздуха

где γ - показатель адиабаты для воздуха (принять $\gamma = 1.4$); давление $P_{\text{нв}} = 101325$ Па; $T_{\text{нв}} = 293$ К; $V = 8$ л.

10. Построить график зависимости расхода воздуха от давления $f = Q(P)$. Проанализировать результаты, сделать выводы.

11. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 15

Результаты исследований работы компрессора и снятие характеристики работы

Номер измерения	P_1 , бар	T_1 , К	P_2 , бар	t , с	Q , л/мин	P

Изучение устройства и работы редукционного клапана

Немного теории: Для регулирования давления воздуха, подводимого из пневмосистемы к какому-либо механизму, применяются специальные устройства, называемые редукционными клапанами. Это вызвано тем, что для уменьшения потерь транспортировать сжатый воздух по магистралям нужно при высоком давлении, тогда как для работы пневматических систем конечных потребителей сжатого воздуха, как правило, не требуется высокое давление. Редукционный клапан (рис. 27) состоит из собственно узла регулирования потока и узла настройки. Узел регулировки потока состоит из клапана 1, который устанавливают на седло 2 в полностью закрытом состоянии. В исходном состоянии клапан открыт. Толкатель клапана верхней сферической поверхностью упирается в седло заделки 3 мембраны 4. В данной заделке выполнено отверстие, соединяющее седло толкателя с верхней полостью клапана, которая, в свою очередь, соединена с атмосферой.

На заделку 3 мембраны опирается пружина 5, предварительное поджатие которой можно регулировать с помощью механизма настройки путем вращения регулировочного винта 6.

Давление сжатого воздуха из выходной линии А через отверстие 7 действует на мембрану, стремясь ее поднять и сжать пружину 5. Чем выше давление воздуха, тем выше поднимается мембрана и регулировочный клапан 1. Зазор, через который проходит сжатый воздух от линии Р к линии А, уменьшается и его сопротивление возрастает. Это должно привести к уменьшению давления в линии А. При работе клапана имеется определенное равновесное положение регулирующего клапана, соответствующего настроенному значению выходного давления. Для исключения влияния давления сжатого воздуха на верхнюю поверхность клапана 1 в толкателе выполнен канал 7. Через данный канал происходит уравнивание клапана. Пружина 8 служит для подъема клапана вслед за подъемом мембраны.

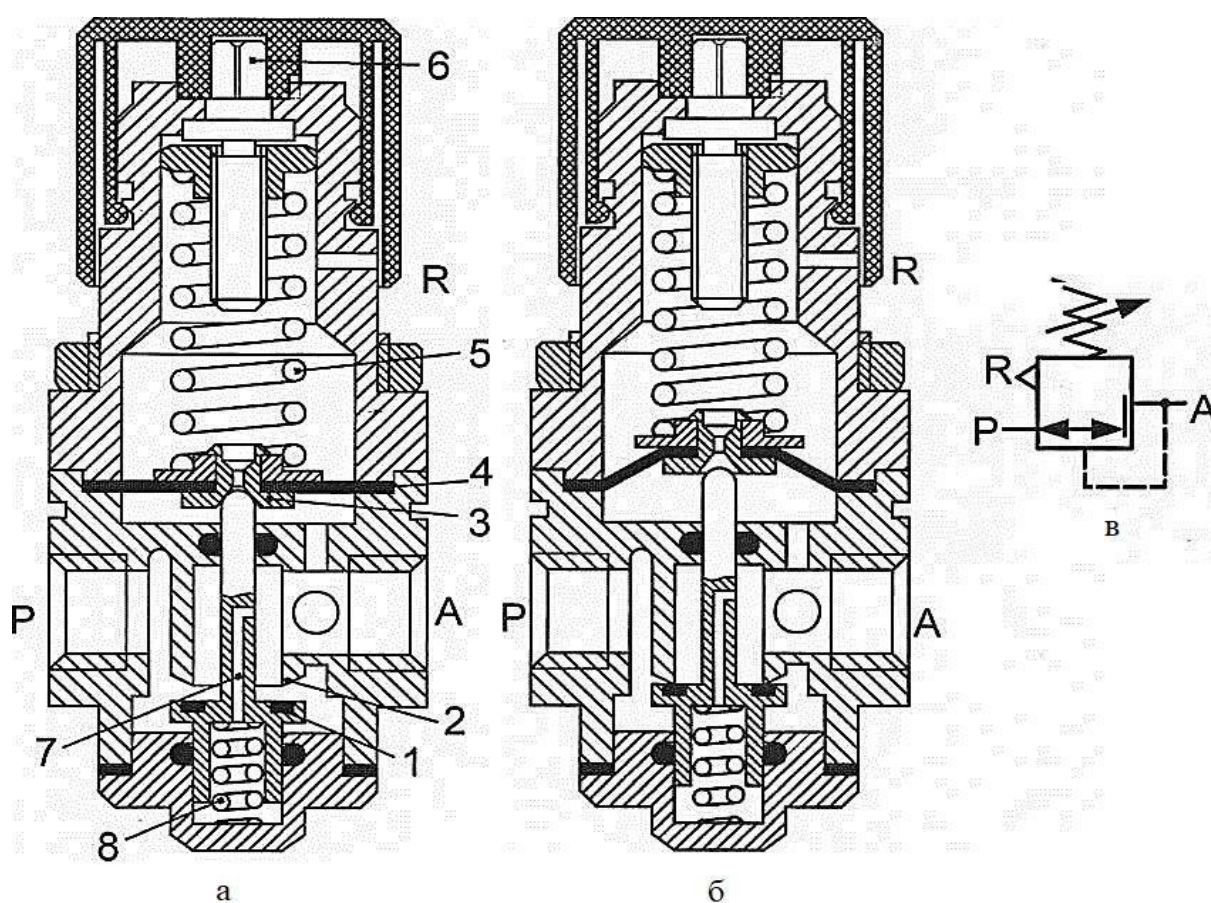


Рис.27.Конструктивная схема редукционного клапана

На рис. 27 показано состояние клапан: а) открыт, б) клапан закрыт, в) условное обозначение клапана на схемах. Конструктивные элементы редукционного клапана: 1–регулирующий клапан; 2–седло клапана; 3 – заделка мембраны; 4 – мембрана; 5, 8 – пружины; 6 – регулировочный винт; 7 – канал; А – выходная линия клапана; Р – линия питания; R – выхлопная линия.

Если по какой-либо причине давление в выходной линии поднимается выше значения, соответствующего давлению настройки, мембрана поднимается вверх, клапан 1 садится на седло, и за счет дальнейшего подъема мембраны открывается канал в заделке, через который выходная линия А соединяется с атмосферой и происходит сброс сжатого воздуха в атмосферу.

В момент начала работы пневматической системы, как только начнется потребление сжатого воздуха, давление p_2 снизится и усилие пружины станет больше, чем величина силы, которая зависит от величины давления p_2 и воздействует на диафрагму - в результате клапан открывается.

Если в процессе работы пневмосистемы потребление сжатого воздуха сокращается, давление p_2 незначительно увеличится, благодаря чему возрастет сила, действующая на диафрагму и противодействующая усилию пружины. Диафрагма и клапан начнут подниматься до тех пор, пока усилие пружины и сила давления воздуха не будут снова уравновешены. Расход воздуха, проходящего через клапан, будет снижаться до тех пор, пока он не придет в соответствие с интенсивностью потребления сжатого воздуха и не установится необходимое выходное давление. При отсутствии потребления сжатого воздуха регулировочный клапан находится в состоянии, близком к закрытому.

К основным параметрам редукционных клапанов относятся: условный проход D_u , характеризующий размер проходного сечения; номинальные значения расхода Q и давления p_1 на входе в клапан, диапазон изменения давления p_2 , а также точность поддержания заданной величины давления p_2 в рабочем диапазоне изменения расхода.

Статические характеристики редукционного клапана определяют зависимости давления на выходе из клапана от давления на входе и от расхода газа через него. Целью данной работы является экспериментальное получение расходной характеристики редукционного клапана $p_2=f(Q)$.

Лабораторная работа №16

Исследование работы редукционного клапана

Цель работы:

1. Изучить конструкцию и принцип работы предохранительного клапана.
2. Выполнить лабораторную работу и построить расходные характеристики предохранительного клапана.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Для выполнения работы используется пневматическая часть стенда. Подготовить стенд к работе (см. описание стенда). Полностью закрыть редукционный клапан.
2. Включить компрессор, дождаться заполнения ресивера.
3. Редукционным клапаном поднять давление до 90 кПа по манометру M_0 (рис. 2 описания стенда).
4. Частично открыть вентиль 6 (рис. 2 описания стенда) до появления расхода воздуха расходомеру с ЦИ около 5 л/мин.
5. Занести показания манометра M_0 и расхода по расходомеру в табл. 16.
6. Открыть вентиль 6 для увеличения величины расхода воздуха на 2-3 л/мин.
7. Занести показания манометра M_0 и расхода по расходомеру в табл. 16.
8. Повторить пункты 6, 7 до полного открытия вентиля 6.
9. Закрыть редукционный клапан (установить выходное давление на 0).
Закрыть вентиль 6.
10. Редукционным клапаном установить давление 50 кПа по манометру M_0 .
11. Повторить пункты 4-9.
12. По данным табл. 16 построить зависимости давления на выходе редукционного клапана от расхода воздуха для двух различных давлений настройки. Проанализировать результаты, сделать выводы.
13. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 16

Результаты исследования работы редукционного клапана

	Давление настройки $p=90$ кПа		Давление настройки $p=50$ кПа	
	Q	P_{M_0}	Q	P_{M_0}

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 4).

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

Вопросы для закрепления тем: Тема

1

1. Какие типы термосопротивлений Вы знаете?
2. Каковы различия термопреобразователей, имеющих маркировку МиП?
3. Определите назначение коэффициента α
4. Что такое динамические характеристики терморезисторного преобразователя?

Тема 2

1. Какие типы датчиков давления Вы знаете?
2. Что такое избыточное давление?
3. С помощью каких устройств создают вакуум?
4. Что такое относительная погрешность измерения?

Тема 3

1. Дайте определение: что такое расход жидкости?
2. Какие способы измерения расхода жидкости Вы знаете?
3. Каковы отличия способов измерения расхода жидкости от измерения расхода газа?
4. Что представляет собой способ измерения расхода воды по величине падения давления на мерной диафрагме?
5. Что такое уравнение равновесия поплавка? К какому типу расходомеров оно относится?

Тема 4

1. Каково устройство редукционного клапана?
2. Каков принцип работы редукционного клапана?
3. От чего зависят объемные характеристики работы циркуляционного насоса?

4. Чем отличается работа циркуляционного насоса от работы поршневого?
5. От чего зависит величина напора насоса?

Библиографический список

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, 2020., 580 с.

Приложение 1

Внешний вид стенда (верх)



Продолжение Приложения 1
Внешний вид стенда (низ)



Приложение 2
Номинальная статическая характеристика для медных
термопреобразователей сопротивления и чувствительных
элементов $R_0=100\text{ Ом}$, $\alpha= 0,00426\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

$t, ^{\circ}\text{C}$	Сопротивление R_t при температуре $t, \text{Ом}$									
	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-50	78,7									
-40	82,96	82,534	82,108	81,682	81,256	80,83	80,404	79,978	79,552	79,126
-30	87,22	86,794	86,368	85,942	85,516	85,09	84,664	84,238	83,812	83,386
-20	91,48	91,054	90,628	90,202	89,776	89,35	88,924	88,498	88,072	87,646
-10	95,74	95,314	94,888	94,462	94,036	93,61	93,184	92,758	92,332	91,906
0	100	99,574	99,148	98,722	98,296	97,87	97,444	97,018	96,592	96,166

Продолжение Приложения 2

t, °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100	100,4 26	100,8 52	101,2 78	101,7 04	102,1 3	102,5 56	102,9 82	103,4 08	103,8 34
10	104,2 6	104,6 86	105,1 12	105,5 38	105,9 64	106,3 9	106,8 16	107,2 42	107,6 68	108,0 94
20	108,5 2	108,9 46	109,3 72	109,7 98	110,2 24	110,6 5	111,0 76	111,5 02	111,9 28	112,3 54
30	112,7 8	113,2 06	113,6 32	114,0 58	114,4 84	114,9 1	115,3 36	115,7 62	116,1 88	116,6 14
40	117,0 4	117,4 66	117,8 92	118,3 18	118,7 44	119,1 7	119,5 96	120,0 22	120,4 48	120,8 74
50	121,3	121,7 26	122,1 52	122,5 78	123,0 04	123,4 3	123,8 56	124,2 82	124,7 08	125,1 34
60	125,5 6	125,9 86	126,4 12	126,8 38	127,2 64	127,6 9	128,1 16	128,5 42	128,9 68	129,3 94
70	129,8 2	130,2 46	130,6 72	131,0 98	131,5 24	131,9 5	132,3 76	132,8 02	133,2 28	133,6 54
80	134,0 8	134,5 06	134,9 32	135,3 58	135,7 84	136,2 1	136,6 36	137,0 62	137,4 88	137,9 14
90	138,3 4	138,7 66	139,1 92	139,6 18	140,0 44	140,4 7	140,8 96	141,3 22	141,7 48	142,1 74
100	142,6	143,0 26	143,4 52	143,8 78	144,3 04	144,7 3	145,1 56	145,5 82	146,0 08	146,4 34
110	146,8 6	147,2 86	147,7 12	148,1 38	148,5 64	148,9 9	149,4 16	149,8 42	150,2 68	150,6 94
120	151,1 2	151,5 46	151,9 72	152,3 98	152,8 24	153,2 5	153,6 76	154,1 02	154,5 28	154,9 54
130	155,3 8	155,8 06	156,2 32	156,6 58	157,0 84	157,5 1	157,9 36	158,3 62	158,7 88	159,2 14
140	159,6 4	160,0 66	160,4 92	160,9 18	161,3 44	161,7 7	162,1 96	162,6 22	163,0 48	163,4 74
150	163,9	164,3 26	164,7 52	165,1 78	165,6 04	166,0 3	166,4 56	166,8 82	167,3 08	167,7 34
160	168,1 6	168,5 86	169,0 12	169,4 38	169,8 64	170,2 9	170,7 16	171,1 42	171,5 68	171,9 94
170	172,4 2	172,8 46	173,2 72	173,6 98	174,1 24	174,5 5	174,9 76	175,4 02	175,8 28	176,2 54

180	176,6 8	177,1 06	177,5 32	177,9 58	178,3 84	178,8 1	179,2 36	179,6 62	180,0 88	180,5 14
190	180,9 4	181,3 66	181,7 92	182,2 18	182,6 44	183,0 7	183,4 96	183,9 22	184,3 48	184,7 74
200	185,2									

Перечень формул для расчета основных погрешностей измерения температуры контрольно-измерительными приборами

Абсолютную погрешность Δ термометров рассчитывается по формуле (1):

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

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

Относительную погрешность δ рассчитывается по формуле (2):

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

Приведенную погрешность γ рассчитывается по формуле (3):

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

где t_{max} — максимальное значение температуры, измеряемое на шкале термометра или диапазон измерений шкалы.

