

Проект «Инженерные кадры Зауралья»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра автоматизации производственных процессов

ИЗУЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

Методические указания
для лабораторных работ
по дисциплине «Технические измерения и приборы»
для студентов очной и заочной форм обучения
направления 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и
производств»

Курган 2015

Кафедра: «Автоматизация производственных процессов»

Дисциплина: «Технические измерения и приборы»
(направление 220700.62).

Составили: канд. техн. наук, доцент О.В. Дмитриева.

Утверждены на заседании кафедры 27 ноября 2014 г.

Рекомендованы методическим советом университета в рамках проекта
«Инженерные кадры Зауралья» 20 декабря 2013 г.

Содержание

Введение.....	4
1 Классификация средств измерения давления	4
2 Чувствительные элементы средств измерения давления	5
3 Промышленные датчики давления	8
4 Описание лабораторного оборудования	10
5 Порядок выполнения лабораторной работы.....	12
6 Контрольные вопросы.....	14
7 Список литературы.....	14

ВВЕДЕНИЕ

Давление является одним из основных параметров, точность и надежность измерения которого определяет качество технологических процессов в различных отраслях промышленности. Надежность измерения этого параметра гарантирует безопасность и целостность технологического оборудования, а также требуется во многих процессах учета расхода жидкостей, измерения абсолютного и дифференциального давления. Давление характеризуется силой, равномерно распределенной по поверхности. В системе СИ за единицу давления принят паскаль (Па). Паскаль – давление силы в 1 ньютон на площадь в 1 квадратный метр.

Абсолютное давление измеряется относительно идеального вакуума и равно сумме относительного давления (давления по прибору) и атмосферного давления.

Относительное давление (давление по прибору) измеряется относительно давления окружающего воздуха и равно разности абсолютного давления и атмосферного давления. Знак минус при этом обычно опускается.

Перепад давлений – разность давлений в двух точках. Точка отсчета давлений обычно понятна из контекста и оговаривается только когда необходимо пояснение. Разность давлений часто используется в промышленных установках. Измерители перепада давления имеют два впускных отверстия, каждое соединяется с сосудом, давление в котором должно быть контролируемым.

В технических измерениях допускаются единицы давления: килограмм-сила на квадратный метр ($\text{кгс}/\text{м}^2$); килограмм-сила на квадратный сантиметр ($\text{кгс}/\text{см}^2$), которую называют технической атмосферой (ат); миллиметр водного столба (мм вод. ст.); миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.).

Цель лабораторной работы: изучить методы и средства измерения давления жидкостей и газов; приобрести навыки работы с измерительной системой измерения давления.

1 КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Разнообразие требований к технике измерений давления, а также различные физико-химические свойства измеряемых сред обусловили множество различных методов и средств измерений давления, использующих многие физические явления и закономерности.

Для измерения давления используют манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры, тягонапоромеры, датчики давления.

Манометры - приборы, предназначенные для измерения избыточного, абсолютного и дифференциального давления или разности давлений жидкостей и газов. Действие манометров основано на зависимости ряда физических параметров от давления. По принципу действия все приборы для измерения

давления можно разделить на жидкостные, пружинные, грузопоршневые и с дистанционной передачей показаний.

Тягомеры, напоромеры, дифманометры-напоромеры - приборы, предназначенные для измерения вакуумметрического, избыточного, а также разности вакуумметрических и избыточных давлений воздуха и неагрессивных газов:

вакуумметр – прибор для измерения разряжения (вакуума);

мановакуумметр – прибор для измерения избыточного давления и вакуума;

напоромер – прибор для измерения малых избыточных давлений (верхний предел измерения не более 0,04 МПа);

тягомер – прибор для измерения малых разряжений (верхний предел измерения до 0,004 МПа);

тягонапорометр – прибор для измерения разряжений и малых избыточных давлений;

дифференциальный манометр – прибор для измерения разности давлений;

барометр – прибор для измерения барометрического давления атмосферного воздуха.

Датчики давления - устройства, физические параметры которых изменяются в зависимости от давления. В датчиках давление преобразуется в электрический, пневматический, цифровой или другой сигнал. Различают датчики избыточного, абсолютного и дифференциального давления.

2 ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

В качестве упругих деформационных чувствительных элементов в приборах давления используются мембраны, мембранные коробки, сильфоны и трубчатые пружины (рисунок 1).

Плоские мембраны (рисунок 1, а), изготавливаемые из стали и бронзы, представляют собой круглые тонкостенные пластины постоянной толщины. Под действием измеряемого давления $P_{изм}$ мембранная пластина прогибается. Приборы этого типа обладают малой инерционностью и позволяют измерять переменное давление с частотой до сотен герц. Прогиб мембраны дифференциально-трансформаторным преобразователем (ДТП) преобразуется в электрический сигнал.

Гофрировка поверхности мембраны в виде кольцевых волн значительно повышает ее надежность и спрямляет характеристику мембраны. В дифманометрах применяются мембранные коробки, образованные двумя спаянными гофрированными мембранами (рисунок 1, б).

В приборах давления, измеряющих малые давления и разность давлений (тягомерах, дифманометрах), применяют неметаллические (вялые) мембраны

(рисунок 1, в). Эти мембраны изготовляют из специальной сетчатой ткани (капрона, шелка), покрытой бензომаслостойкой резиной или пластмассой. Характеристики вялых мембран снимают экспериментально, т.к. рассчитать их не удастся. Для повышения жесткости вялых мембран применяют пружины.

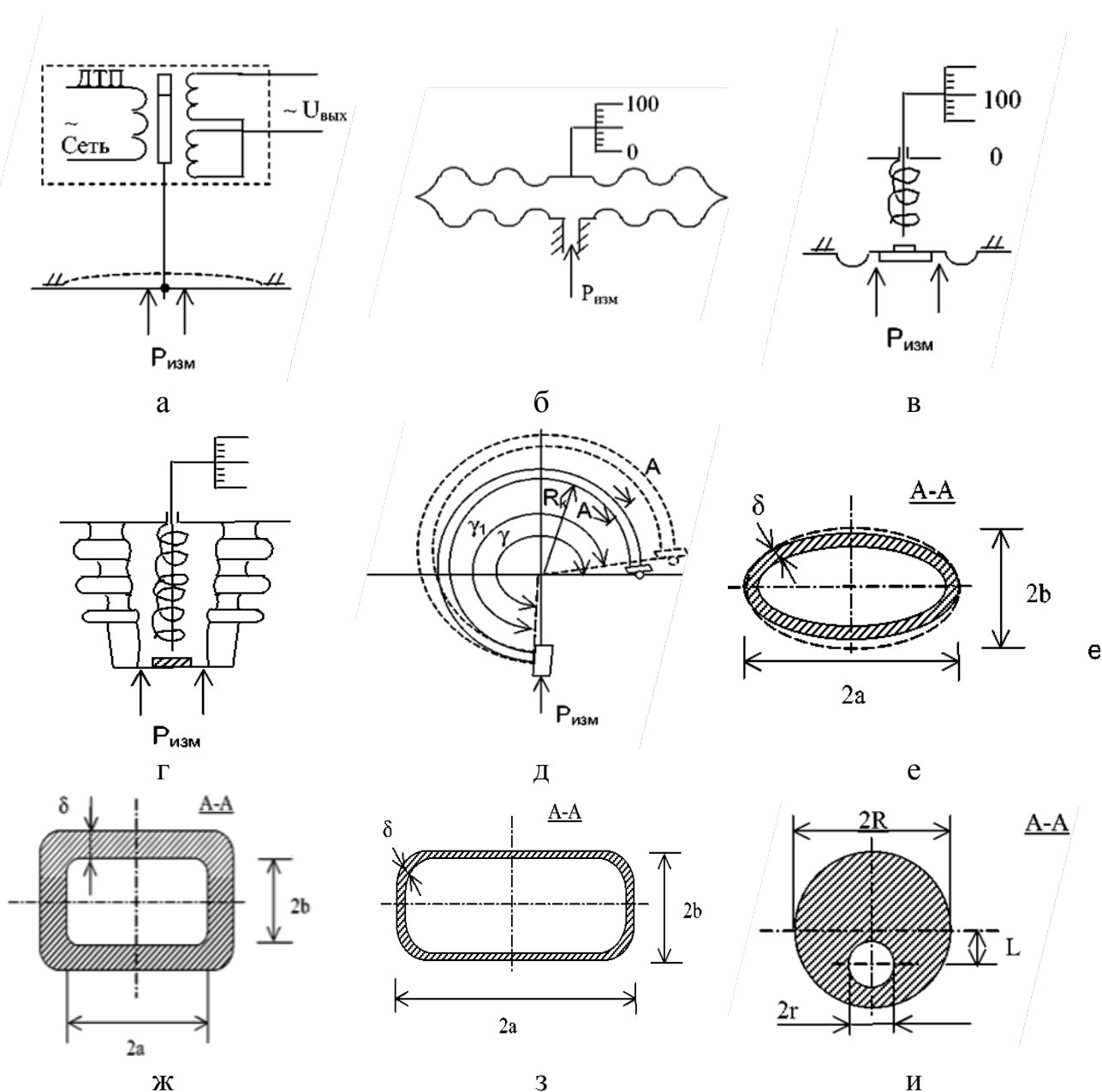


Рисунок 1 – Упругие чувствительные элементы приборов для измерения давления

Сильфон представляет собой тонкостенную трубку с поперечной гофрировкой (рисунок 1, г). Сильфоны применяют в приборах для измерения вакуумметрического давления до 1 кгс/см^2 ($0,1 \text{ МПа}$), избыточного давления до 600 кгс/см^2 и разности давлений до $2,5 \text{ кгс/см}^2$ ($0,25 \text{ МПа}$). При работе на сжатие сильфоны выдерживают давление в 1,5-2раза больше, чем при воздействии давления изнутри. Статическая характеристика сильфонов линейна в небольших диапазонах перемещений.

Трубчатые пружины чаще всего выполняются в виде одновитковых, центральная ось которых представляет собой дугу окружности с центральным углом, равным 200-270° (рисунок 1, д).

Наиболее широкое применение получили пружины Бурдона эллиптического (рисунок 1, е) и плоскоовального (рисунок 1, ж, з) сечения. Большая ось 2а поперечного сечения расположена перпендикулярно радиусу кривизны R_k центральной оси (среднему радиусу) пружины. Один конец пружины Бурдона закрепляется неподвижно, а другой - свободный, закрытый пробкой и запаянный - соединяют с механизмом прибора, стрелочным указателем или преобразователем.

Тонкостенные пружины Бурдона (рисунок 1, е) применяют в приборах для измерения вакууметрического давления до 1 кгс/см² (0,1 МПа) и избыточного давления до 60 кгс/см² (6 МПа).

Для измерения избыточного давления до 200-1600 кгс/см² (20-160 МПа) применяют толстостенные пружины овального сечения (рис. 5, ж). Для измерения сверхвысокого давления до 10000 кгс/см² (1000 МПа) и выше применяют одновитковые трубчатые пружины с эксцентричным каналом (рисунок 1, и).

Под действием измеряемого давления $P_{изм}$ пружина Бурдона деформируется в поперечном сечении, принимая форму, изображенную на рисунке 1, е пунктиром. Продольные волокна элемента пружин растягиваются наиболее значительно у малой полуоси. В продольных волокнах наружного радиуса трубки Бурдона будет возникать растяжение, а в волокнах внутреннего радиуса - сжатие. Вследствие того, что волокна стремятся сохранить свою первоначальную длину, трубка Бурдона будет разгибаться. При этом свободный конец трубки совершит некоторое линейное перемещение. Трубчатый манометр тем чувствительнее, чем больше радиус ее кривизны R_k и чем меньше толщина δ стенок трубки.

Чувствительность пружины Бурдона, а так же ее жесткость в сильной степени зависят от отношения осей поперечного сечения a/b и формы сечения (массы металла) вблизи концов большой оси. Пружина эллиптического сечения (рисунок 1, е) обладает большей чувствительностью и меньшей жесткостью, чем плоскоовального сечения (рисунок 1, з).

Пружина круглого сечения практически нечувствительна к давлению, т.к. ее поперечное сечение не деформируется при воздействии давления.

В трубчатых пружинах с эксцентричным каналом (рисунок 1, и) перемещения свободного конца происходит под действием в поперечном сечении изгибающего момента. Силы давления, приложенные в полости канала пружины, деформируют стенки канала, который расположен эксцентрично относительно сечения трубки. В результате пружина изгибается в сторону более толстой стенки.

Для изготовления мембран, сильфонов и трубчатых пружин необходим материал с высокой упругостью, антикоррозийностью, малой зависимостью параметров от изменения температуры, который также должен хорошо

поддаваться технологической обработке, пайке и сварке. Указанным требованиям отвечают бронза, латунь и хромоникелевые сплавы.

Статическая характеристика упругого элемента представляет собой зависимость перемещения λ от измеряемого давления $P_{\text{изм}}$, т.е.

$$\lambda = f(P_{\text{изм}}).$$

Обычно при проектировании упругих чувствительных элементов стремятся получить их линейную характеристику. Важными параметрами упругого чувствительного элемента являются:

- жесткость по давлению $K_p = \frac{P_{\text{изм}}}{\lambda}$, (Па/м);
- чувствительность по давлению $S_p = \frac{\lambda}{P_{\text{изм}}}$, (м/Па).

3 ПРОМЫШЛЕННЫЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ

Датчики давления предназначены для измерений и непрерывного преобразования давления в унифицированный выходной электрический сигнал.

Датчики давления измеряют разность двух давлений, действующих на чувствительный элемент (мембрану) датчика. Одно из этих давлений – измеряемое, второе – опорное, относительно которого происходит измерение.

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

1 Датчики абсолютного давления.

Опорное давление – вакуум, воздух из внутренней полости чувствительного элемента датчика откачан. Датчик предназначен для измерения величины абсолютного давления жидких и газообразных сред.

2 Датчики избыточного давления.

Опорное давление – атмосферное давление, которое действует на одну из сторон мембраны, т.е одна сторона мембраны соединена с атмосферой. Датчик предназначен для измерения величины избыточного давления жидких и газообразных сред.

3 Датчики дифференциального давления (датчики разности или перепада давлений).

Измеряемые давления подается на обе стороны мембраны. При этом выходной сигнал определяется разностью давлений. Датчики предназначены для измерений разности давлений и используются для измерения давления жидкостей, газа или пара.

4 Датчики вакуумметрического давления (датчики разрежения).

Опорное давление – атмосферное. Датчики предназначены для измерения вакуумметрического давления (давления меньшего атмосферного) жидких и газообразных сред.

5 Датчики избыточного давления-разряжения.

Датчики представляют собой сочетание датчиков избыточного и вакуумметрического давления и предназначены для измерения и давления, и разряжения.

Используемые в промышленности *измерительные преобразователи давления* различаются по виду используемых электрических преобразователей, устанавливаемых на мембрану датчика давления, различают следующие разновидности датчиков давления:

1 Резистивные тензодатчики, жестко связанные с исследуемым объектом, используются для определения механических напряжений под действием давления. Принцип действия основан на упругой деформации чувствительного элемента (диафрагмы), на который нанесены полупроводниковые тензорезисторы, включенные по мостовой схеме. Измеряемое давление вызывает деформацию диафрагмы и, как следствие, деформацию тензорезисторов и изменение их электрического сопротивления.

Время установления выходного сигнала при скачкообразном изменении измеряемого параметра 0,5 и 2,5 с. Диапазоны измерений: избыточного давления – $0 - 10^{-3}$ до $0 - 60$ МПа; разряжения – от $-1 - 0$ до $-10 - 0$ кПа; абсолютного давления от $0 - 2,5$ кПа до $0 - 2,5$ МПа; разности давлений- от $0 - 1$ кПа до $0 - 2,5$ МПа. Тензорезисторный преобразователь избыточного давления от $0 - 2,5$ кПа до $0 - 100$ МПа имеет унифицированные токовые сигналы $0 - 5$, $0 - 20$, $4 - 20$ мА.

Классы точности тензорезисторных измерительных преобразователей избыточного давления, разряжения и разности давлений 0,6; 1,0; 1,5.

2 Диафрагма и напорная камера емкостного датчика образуют конденсатор переменной емкости, с помощью которого можно определить механические напряжения под действием давления. Емкостные измерительные преобразователи давления применяют для измерения давления до 120 МПа.

Преобразователи давления данного типа используются для преобразования быстро изменяющихся давлений. Постоянная времени преобразователя 10^{-4} с, основная погрешность (0,2 – 5) %.

3 Магнитные датчики определяют перемещение диафрагмы по изменению ее индуктивности, с помощью LVDT-датчика, по эффекту Холла или вихревым индукционным токам.

Индуктивные измерительные преобразователи давления применяются при давлениях до 30 МПа, основная погрешность (0,2 – 5) %, постоянная времени $92,2 - 3)10^{-4}$ с.

Измерительные преобразователи давления дифференциально-трансформаторного (ДТ) типа имеют унифицированный сигнал в виде напряжения переменного тока в диапазоне $-1 - 0 - 1$ В. Преобразователи давления ДТ-типа работают в комплекте с ДТ вторичными приборами.

Классы точности 1,0 и 1,5.

4 Пьезоэлектрические датчики используют пьезоэлектрический эффект некоторых материалов, таких, как кварц, для измерения напряжения в чувствительном механизме под действием давления.

В основу работы положено преобразование измеряемого давления в усилие посредством деформационного чувствительного элемента и последующего преобразования этого усилия в сигнал измерительной информации пьезоэлектрическим преобразовательным элементом. Верхние пределы измерений пьезоэлектрических преобразователей давления с кварцевыми чувствительными элементами 2,5 – 100 МПа.

Классы точности 1,5; 2,0. Из-за утечки заряда с кварцевых пластин преобразователи давлений этого типа не используются для измерения статических давлений.

5 Оптические датчики используют физические изменения оптических волокон для измерения напряжений под действием давления.

6 Потенциометрические датчики определяют механические напряжения под действием давления с помощью контакта, движущегося вдоль резистивного механизма.

7 Резонансные датчики определяют напряжения или изменения плотности газов под действием давления, регистрируя изменения резонансной частоты чувствительного механизма.

Для надежной работы датчиков материал элементов, контактирующих с исследуемой средой, выбирают химически- и коррозионностойким: нержавеющая сталь, титановые сплавы, керамика и др.

Для корректной работы систем измерения давления необходимо тщательно выбирать конструктивное исполнение датчика. Датчики давления выпускаются промышленностью в различных климатических исполнениях, соответствующих различным условиям измерений: температуры, влажности, давления и др.

Кроме того, для измерений давления на взрывоопасных объектах во взрывчатых и легковоспламеняющихся средах выпускаются датчики, имеющие взрывозащищенное исполнение.

Промышленно выпускаемые датчики имеют различные классы точности, допускаемая относительная погрешность не превышает 0,05...0,5 %. Выбор того или иного датчика определяется требованиями к точности измерительной системы в целом.

4 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Лабораторный стенд для изучения промышленных датчиков (рисунок 2) предназначен для изучения основ измерения параметров технологических процессов и построен на промышленно применяемом оборудовании фирмы Festo.



Рисунок 2 – Общий вид стенда

Датчик давления (рисунок 3), исследуемый в лабораторной работе, предназначен для измерения давления жидкости, перекачиваемой насосом. В качестве датчика давления используется измерительный преобразователь давления с керамической измерительной ячейкой.



Рисунок 3 – Датчик давления

Технические характеристики датчика давления:

Диапазон измерения 0 – 400 мбар

Аналоговый выход 0 – 10 В постоянного тока/3 провода

Техническое подключение: G ½

Рабочее напряжение: 24 В постоянного тока

Нагрузка на выходе сигнала: > 2,5 кОм

Включает соединительный кабель и резьбовой штуцер

Корпус из высококачественной стали

5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Внимательно изучите данные методические указания и подготовьте ответы на контрольные вопросы.
2. Выключите систему и вытяните вилку из розетки.
3. Осушите систему через запорный кран.
4. Установите датчик давления на выходе насоса и подключите его к электропитанию (рисунок 4).

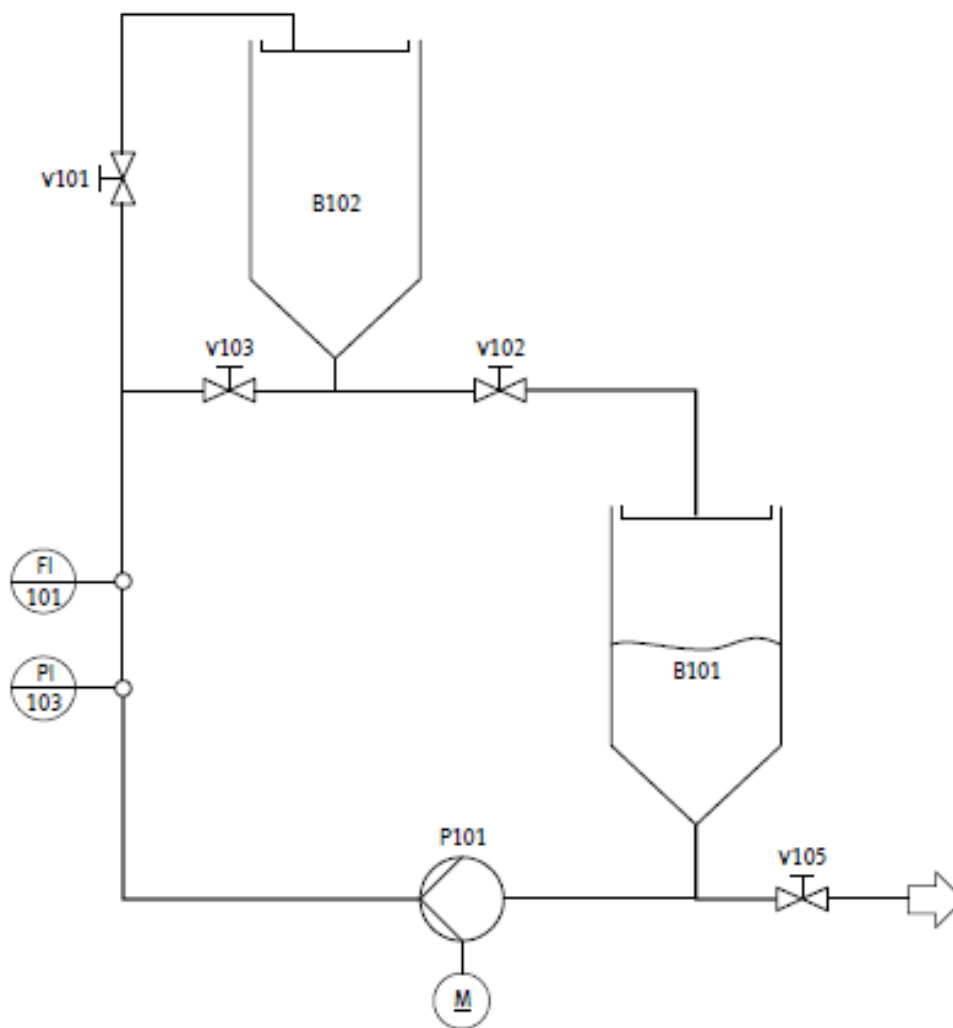


Рисунок 4 – Функциональная схема системы

5. Наполните систему водой.
6. Запустите программу и откройте меню «Setup».
7. Установите коэффициент равным 0,4, отклонение равным 0 (рисунок 5).

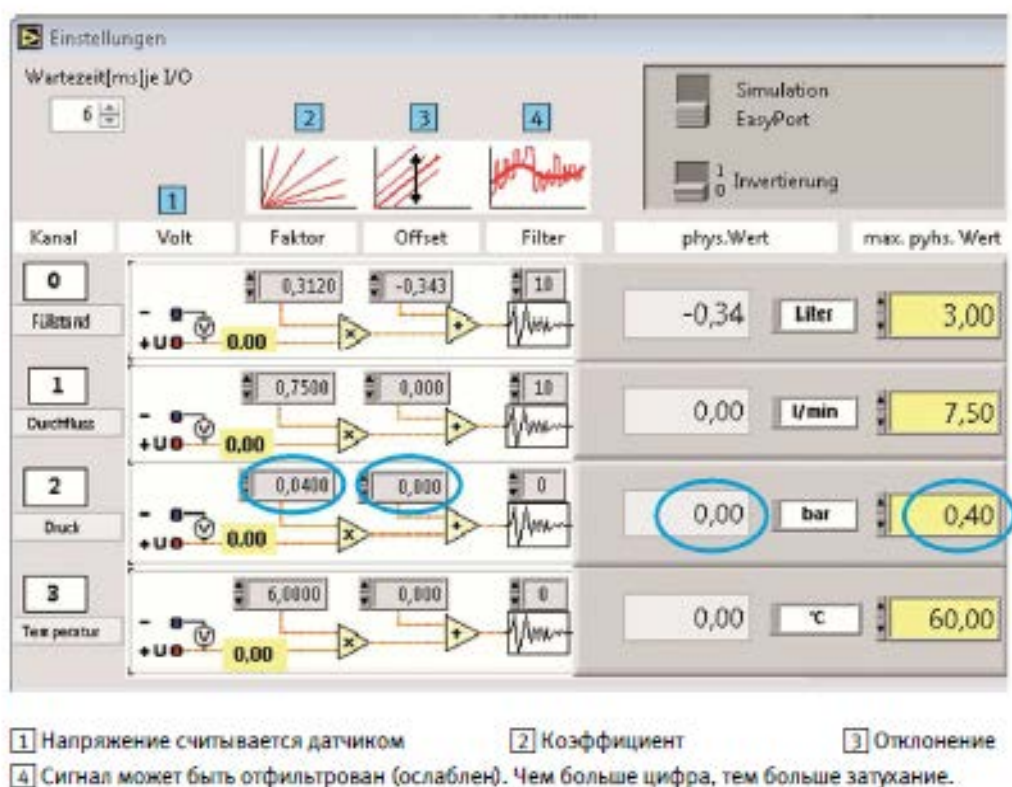


Рисунок 5 – Окно программы

8. Проведите измерения давления при различных значениях напряжения, подаваемого на насос.

9. Заполните таблицу.

	Напряжение, В	Давление, Па
1		
2		

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Какие средства измерений используются для измерения давления?

2 Какие чувствительные элементы используются в конструкции средств измерения давления?

3 Объясните принцип действия резистивных датчиков давления.

7 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Раннев Г.Г. Методы и средства измерений: Учебник для студентов вузов. -М.: Академия, 2004.-311с.

2 Измерение электрических и неэлектрических величин: Учеб. пособие для вузов / Н.Н. Евтихийев, Я.А. Купершмидт, В.Ф.Папуловский, В.Н. Скуров: Под ред. Н.Н. Евтихьева. – М.: Энергоатомиздат, 1990.-352 с.

3 Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Азим-заде А.Ю. Технологические измерения и приборы: Учеб. для студ. вузов по спец. “Автоматизация технологических процессов и производств”.-М.: Высш. шк. 1989.-456 с.

4 Датчики теплофизических и механических параметров: Справочник в трех томах. Т.1 (кн. 1) / Под общ. ред. Ю.Н.Коптева; Под ред. Е.Е. Багдатьяна, А.В. Горша, Я.В. Малкова.-М.: ИПРЖР, 1998.-458 с.

Дмитриева Ольга Венедиктовна

ИЗУЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

Методические указания
для лабораторных работ
по дисциплине «Технические измерения и приборы»
для студентов очной и заочной форм обучения
направления 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и
производств»

Авторская редакция

Подписано в печать 16.03.15	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ.л. 1,0	Уч.-изд.л. 1,0
Заказ 49	Тираж 25	Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета.
640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.