

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно–Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Информационно–измерительная техника»

РАБОТА (ПРОЕКТ) ПРОВЕРЕНА

Рецензент,

« ____ » _____ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, д.т.н., проф.

/ А.Л. Шестаков /
« ____ » _____ 2017 г.

Влияние температуры на точность измерения расхода сужающим устройством
дифманометра

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР

(код направления/специальности, год, номер студенческого билета)

Руководитель, д.т.н., профессор

/ С.Г. Некрасов /
« ____ » _____ 2017 г.

Автор

студент группы КЭ – 436

/ В.А. Грачёв /
« ____ » _____ 2017 г.

Нормоконтролёр, к.т.н., доцент

/ А.С. Волосников /
« ____ » _____ 2017 г.

АННОТАЦИЯ

Гацких Е.С. Программное обеспечение будстреп метода обработки результатов косвенных измерений. – Челябинск: ЮУрГУ, 2017, 87 с., 10 ил., 9 таблиц, библиогр. список – 24 наим.

В ходе выполнения данной ВКР было разработано программное обеспечение будстреп метода обработки результатов косвенных измерений.

Проведен аналитический обзор с целью выявления преимуществ метода будстреп перед другими методами обработки косвенных измерений и изучения работы метода будстреп для последующей реализации алгоритма в программном коде. Разработан интерфейс программного обеспечения в среде MATLAB. Проведено функциональное и экспериментальное тестирование программного обеспечения.

					<i>ЮУрГУ-12.03.01.2017.1382</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Е.С. Гацких</i>				<i>Программное обеспечение будстреп метода обработки результатов косвенных измерений</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Проверил</i>	<i>Е.В. Юрасова</i>						<i>5</i>	<i>82</i>
<i>Н. контр.</i>	<i>А.С. Волосников</i>					<i>ЮУрГУ</i>		
<i>Утвердил</i>						<i>Кафедра ИНИТ</i>		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	10
1.1 Классификация средств измерения. Виды расхода жидкости.....	10
1.1.1 Основные методы измерения объёмного расхода.....	10
1.1.2 Основные методы измерения массового расхода.....	14
1.1.3 Сравнительный анализ видов расхода.....	17
1.2 Измерение расхода жидкостей по перепаду давления в сужающем устройстве.....	18
1.2.1 Расходомеры переменного перепада давления.....	18
1.2.2 Сужающие устройства.....	19
1.2.3 Дифманометры.....	21
1.3 Влияние температуры на расход жидкости.....	22
1.4 Выводы по первому разделу и постановка задач исследования.....	25
2 КОМПАНОВКА УЧЕБНЫХ И ОБРАЗЦОВЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ СТЕНДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ И ВЫЯВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ВЛИЯЮЩИХ ВЕЛИЧИН.....	26
2.1 Стенд учебный СИУ–01 ИПДРТ.....	26
2.1.1 Основные технические данные и характеристики.....	26
2.1.2 Комплектность.....	27
2.1.3 Меры безопасности.....	28
2.1.4 Состав и устройство стенда.....	29
2.1.5 Модификация учебного стенда СИУ–01 ИПДРТ.....	38
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОХОЖДЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ЧЕРЕЗ СУЖАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ SOLIDWORKS (СРЕДА FLOW SIMULATION).....	53
3.1 Программа SolidWorks.....	53

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						6
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

3.2	Моделирование проточной части стенда.....	55
4	СРЕДА АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ LABVIEW. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РЕЖИМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕСОВОГО МЕТОДА.....	63
4.1	Программа LabVIEW.....	63
4.2	Разработка программного модуля, обеспечивающего автоматизацию измерений параметров жидкости в реальном масштабе времени.....	64
4.2.1	Первый раздел. Общие положения.....	65
4.2.2	Второй раздел. Внешний осмотр.....	66
4.2.3	Третий раздел. Сравнение зависимости объёмного и массового расходов от температуры воды.....	66
4.2.4	Четвёртый раздел. Изучение расхода зависимости расхода воды с помощью взвешивающего устройства.....	69
4.3	Проведение измерений в автоматизированном режиме.....	72
4.4	Сравнения результатов проведённых экспериментов.....	80
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	84
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	85
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	86
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	87
	ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	91
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	92
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	93
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	96
	ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	99

ВВЕДЕНИЕ

Значение расходомеров и счётчиков количества (массы и объёма) жидкости, газа и пара в современном индустриальном обществе исключительно велико. Их роль очень возросла в связи с необходимостью максимальной экономии энергетических и водных ресурсов страны, которые всё более и более дорожают.

Без расходомеров нельзя обеспечить управление, и тем более оптимизацию технологических режимов в энергетике, металлургии, нефтяной, газовой, целлюлозно-бумажной, пищевой и во многих других отраслях промышленности. Без этих приборов невозможны и автоматизация производства, и достижение максимальной её эффективности.

Так как изменение температуры жидкости существенно влияет на точность измерения, то современные требования к расходомерам многочисленны и разнообразны. Так например, одним из главных требований является необходимость измерения расхода не только в обычных, но и в экстремальных условиях, при очень низкой или очень высокой температуре и давления. Такие условия создают дополнительные трудности для обеспечения надёжного измерения расхода.

Отсюда следует, что разработка учебного методического материала по влиянию температуры на точность измерения расхода позволит повысить уровень подготовки специалистов и, в конечном итоге, экономики страны.

Цель выпускной квалификационной работы заключается в оценке влияния температуры на точность измерения расхода жидкости методом переменного перепада давления с использованием взвешивающего устройства.

Задачи выпускной квалификационной работы носят в себе как исследовательский, так и методологический характер, и разделены на следующие этапы:

1. Аналитический обзор литературы и постановка задач работы. Обзор автоматизированных стендов и их функциональности. Описание весового метода

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						8
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

измерения расхода жидкости при разных значениях температуры жидкости и оценка величины объёмного и массового расхода в зависимости от температуры;

2. Проведение моделирования процесса прохождения жидкости при разных температурах через сужающее устройство с помощью программы SolidWorks (среда Flow Simulation). Проведение теоретической оценки результата моделирования на основе полных уравнений Навье–Стокса с помощью вычислительной среды Flow Simulation;

3. Изучение среды автоматизации измерений LabVIEW. Оценка возможности проведения измерений в автоматизированном режиме с использованием весового метода. Разработка программного модуля, обеспечивающего автоматизацию измерений параметров жидкости в реальном масштабе времени;

4. Проведение экспериментального исследования. Проверка работоспособности и точности измерения на основе стенда объёмного/массового расхода жидкости в условиях автоматизации измерений. Сравнение результатов экспериментального и численного эксперимента. Оценка точности расчёта параметров течения жидкости. Проведение теоретической оценки результата моделирования с помощью уравнения Бернулли. Также оценка точности измерения с помощью образцовых средств. Нахождение погрешности измерения расхода как разность между их объёмными/массовыми величинами;

5. Разработка проекта лабораторной работы.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						9
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Классификация средств измерения. Виды расхода жидкости

Измерение расхода играет жизненно важную роль в промышленности. Несмотря на большую потребность в качественных датчиках расхода, точность этих устройств до сих пор оставляет желать лучшего.

Расходом вещества называют количество вещества (массы или объём), проходящее через определённое сечение канала (трубопровода) в единицу времени, а приборы или комплекты приборов, определяющие расход вещества, называют расходомерами. Расходомер может быть снабжён счётчиком (интегратором), показывающим массу или объём вещества, прошедшего через прибор за какой-либо промежуток времени.

Единицы измерения расхода могут быть объёмные – м³/ч, м³/мин, л/мин и т. д. и массовые – кг/ч, тн/ч и т. д. [1].

В настоящее время различают объёмный и массовый расходы жидкости.

1.1.1 Основные методы измерения объёмного расхода

Объёмный расход – объём жидкости или газа, протекающие через поперечное сечение потока в единицу времени. Объёмный расход рассчитывается по формулам 1 и 2.

$$Q_{об} = \frac{V}{t}, \quad (1)$$

где $Q_{об}$ – объёмный расход жидкости или газа, м³/с;

V – объём жидкости или газа, проходящий через поперечное сечение потока за время t , м³;

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						10
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

t – время, за которое жидкость или газ объёмом V проходит через поперечное сечение потока, с.

$$Q_{об} = v \cdot S, \quad (2)$$

где v – скорость потока, м/с;

S – площадь поперечного сечения потока, м².

При измерении объемного расхода необходимо указывать рабочие параметры – давление и температуру, так как они оказывают сильное влияние на плотность. Поэтому для газов и паров вводится понятие объемного расхода, приведенного к стандартным условиям: абсолютное давление $p_c = 101,325$ кПа, температура $t_c = 20^\circ\text{C}$.

В зависимости от принципа действия, наиболее часто применяемые в промышленности приборы для измерения расхода вещества можно разделить на следующие группы:

1. Расходомеры переменного перепада давления, принцип действия которых основан на зависимости от расхода вещества перепада давления, создаваемого неподвижным устройством, устанавливаемым в технологическом трубопроводе. Наибольшее распространение из расходомеров переменного перепада получили расходомеры с сужающим устройством, работа которых основана на зависимости от расхода перепада давления, образующегося на сужающем устройстве в результате частичного перехода потенциальной энергии потока в кинетическую;

2. Расходомеры постоянного перепада давления, принцип действия которых основан на зависимости от расхода вещества вертикального перемещения тел (поплавка), изменяющего при этом площадь проходного отверстия прибора так, что перепад давления по обе стороны поплавка остаётся постоянным.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						11
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

Из расходомеров постоянного перепада давления наибольшее распространение получили:

- ротаметры с поплавком, перемещающимся вдоль длинной конической трубки. Характерными признаками большинства конструкций ротаметров являются значительная длина трубки, обычно не менее чем в 10 раз превышающая его диаметр, и значительный ход поплавка, видимость поплавка или связанного с ним стержня;

- поплавковые расходомеры с поплавком обычно конической формы, перемещающимся внутри отверстия. Характерными признаками большинства конструкций поплавковых расходомеров являются дистанционная (электрическая или пневматическая) передача положения поплавка, незначительный ход поплавка, обычно не превосходящий его диаметр;

3. Ультразвуковые расходомеры, принцип действия которых основан на измерении зависящего от расхода того или иного акустического эффекта, возникающего при прохождении ультразвуковых колебаний через контролируемый поток жидкости или газа.

Ультразвуковые расходомеры в последние годы получают все более широкое распространение благодаря следующим положительным чертам:

- значительному динамическому диапазону, достигающему 25—30;
- высокой точности измерения, составляющей $\pm(1;2) \%$;
- возможности измерения расхода неэлектропроводных сред (нефтепродукты), загрязненных сред, суспензий;
- широкому диапазону диаметров трубопроводов от 10 мм и выше без ограничений;
- малой инерционности;
- отсутствию потери давления;
- широкому диапазону температур (от -220 до 600 °С) и давлений.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						12
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

К недостаткам этого метода измерения расхода следует отнести:

- необходимость значительных длин линейных участков до и после преобразователя;
- влияние на показания пузырьков воздуха в потоке;
- необходимость контроля отложений в трубопроводе на его рабочем участке;
- сложность и высокая стоимость приборов, которая при прочих равных условиях в 3–4 раза превышает стоимость тахометрических и электромагнитных расходомеров;
- ограничения по минимальной скорости потока.

4. Роторные расходомеры. Изобретение относится к гидравлическому оборудованию, а конкретно к средствам измерения расхода жидкостей, преимущественно повышенной вязкости и малых расходов. Расходомер состоит из корпуса с внутренней полостью и имеющимися внутри корпуса на поверхности полости выступами, с входным и выходным отверстиями, с расположенным внутри его полости вращающимся чувствительным элементом. Вращающийся чувствительный элемент является телом вращения с гладкой поверхностью с осью, проходящей через опоры элемента. Вращение этого элемента производится за счет сил вязкого трения движущейся в ламинарном режиме измеряемой жидкости о поверхность элемента. Технический результат – обеспечение высокой точности измерения во всем температурном диапазоне использования расходомера, возможность замены измеряемой расходомером жидкости любой другой без его дополнительной калибровки; возможность измерения сверхмалых расходов вязких жидкостей.

5. Электромагнитные (индукционные) расходомеры, принцип действия которых основан на измерении ЭДС, возникающей при движении электропроводной жидкости в магнитном поле [1].

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						13
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

1.1.2 Основные методы измерения массового расхода

Во многих случаях вместо объёмного расхода или скорости жидкости необходимо знать массовый расход. Если известна плотность несжимаемой жидкости, то массовой расход рассчитывается непосредственно по объёмному расходу с учётом, если необходимо, температуры, давления.

Массовый расход – масса вещества, которая проходит через заданную площадь поперечного сечения потока за единицу времени. Измеряется в единицах массы за единицу времени, в системе единиц СИ выражается в килограммах за секунду (кг/с).

Для расчёта массовых расходов используют значения средней скорости потока как усреднённой характеристики интенсивности протекания вещества. Средней скоростью потока в данном сечении называется такая одинаковая для всех точек сечения потока скорость движения вещества, при которой через это сечение проходит тот же расход, что и при действительном распределении скоростей движения вещества.

Массовый расход может быть вычислен по формуле 3 через плотность вещества, площадь сечения потока и среднюю скорость потока в этом сечении.

$$Q_M = \rho \cdot v_{\text{ср}} \cdot S, \quad (3)$$

где Q_M – массовый расход, кг/с;

ρ – плотность вещества, кг/м³;

$v_{\text{ср}}$ – средняя скорость потока, м/с;

S – площадь сечения потока, м².

Взаимосвязь объёмного и массового расхода определяется по формуле 4.

$$Q_{\text{об}} = \frac{Q_M}{\rho} \rightarrow Q_M = Q_{\text{об}} \cdot \rho, \quad (4)$$

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						14
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

где $Q_{об}$ – объёмный расход жидкости или газа, м³/с;

Q_m – массовый расход, кг/с;

ρ – плотность вещества, кг/м³;

В настоящее время широко распространены кориолисовы расходомеры (рисунок 1.1), которые измеряют одновременно и массовый расход и скорость течения жидкости.

Многие попытки определить массовый расход на основе измерения сил и ускорений потерпели неудачу. Один принцип, однако, получил промышленное применение – это измерение массового расхода на основе гидростатического метода и влияния ускорения силы Кориолиса.

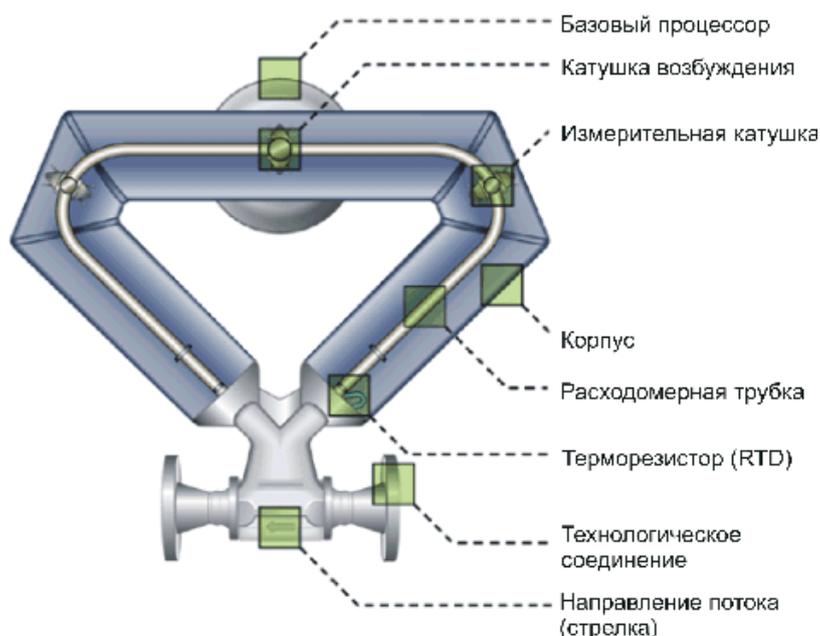


Рисунок 1.1 – Кориолисов расходомер

Во вращающейся системе на массу, движущуюся вдоль радиуса, действует сила, называемая силой Кориолиса. Направление этой силы перпендикулярно оси вращения и направлению движения массы, а ее величина пропорциональна скорости вращения и радикальной скорости массы. Эти расходомеры дают хорошие результаты, не требуя компенсации давления температуры.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						15
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

В прямолинейном участке трубопровода с помощью электромагнита возбуждаются колебания, резонансные собственной частоте трубы или частоте какой-либо ее гармоники. На входе и выходе трубопровода симметрично по отношению к электромагниту размещены приемники для определения фазы колебаний трубы. На любой элемент жидкости, текущей по трубе, будет действовать боковое ускорение. Из-за инерции этого элемента колебания на входе будут затухать. По мере прохождения элемента жидкости по трубе, он передает ей накопленную энергию, и ее колебания на выходном конце усиливаются. Фазы сигналов, измеренных на входе и выходе участка трубопровода, будут различаться; разность фаз прямо пропорциональна массовому расходу. Датчики расхода, построенные в соответствии с принципом Кориолиса, очень мало влияют на потери давления в трубопроводах.

Расходомер Кориолиса можно также использовать для измерения плотности жидкости. Для этого определяется собственная частота колебаний заполненного участка трубопровода, которая обратно пропорциональна плотности жидкости.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						16
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

1.1.3 Сравнительный анализ видов расхода

Доступным и точным методом измерения расхода является объемный способ, в котором фиксируется время наполнения нормированной емкости.

1. Ультразвуковой метод имеет преимущества перед другими наиболее распространенными способами. Метод перепада давления достаточно надежен и хорошо изучен, но имеет малый динамический диапазон и ограничен в применении. Вихревой и тахометрический способы имеют примерно одинаковые недостатки: низкую взрывобезопасность, движущиеся части и части, контактирующие со средой, недостаточную точность измерений, низкий динамический диапазон, сложность измерения в газовой среде. Ультразвуковой метод характеризуется широким динамическим диапазоном; возможностью реализации не только в жидкостях разной вязкости и загрязненности, но и в газах; безопасностью эксплуатации и монтажа; простотой; высокой точностью и надежностью, а также относительной погрешностью, не превышающей при низких давлениях 1 %.

2. Современные ультразвуковые расходомеры обладают функцией реализации разных способов измерения (доплеровский режим, с узким и широким измерительными лучами), а значит, отсутствует необходимость использования дополнительной аппаратуры и измерения любой среды (пара, жидкости или газа) можно осуществлять одним преобразователем [9].

В учебных целях надо заниматься методом ППД, потому что больше половины всех средств делают именно на этом принципе. Учить людей надо не на уникальных вещах, а на самых массовых.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		17

1.2 Измерение расхода жидкостей по переменному перепаду давления в сужающем устройстве

Одним из наиболее распространённых и изученных является способ измерения расхода жидкостей, газов и пара в трубопроводе по переменному перепаду давления в сужающем устройстве [3].

1.2.1 Расходомеры переменного перепада давления

Расходомером переменного перепада давления называется измерительный комплекс, основанный на зависимости от расхода перепада давления, создаваемого преобразователем расхода, установленным в трубопроводе, или элементом последнего (например, коленом).

В состав измерительного комплекса входят:

- первичный преобразователь расхода;
- первичная линия связи – соединительные трубки и вспомогательные устройства на них;
- первичный измерительный прибор – диффометр.

Расходомеры переменного перепада давления имеют следующие разновидности, в зависимости от вида преобразователя расхода:

1. с сужающим устройством;
2. с гидравлическим сопротивлением;
3. центробежные;
4. с напорными устройствами;
5. с напорными усилителями;
6. ударно–струйные [2].

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						18
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

1.2.2 Сужающие устройства

Расходомеры с сужающими устройствами – важнейшие среди расходомеров переменного перепада давления. Они основаны на зависимости от расхода перепада давления, создаваемого сужающим устройством, в результате которого происходит преобразование части потенциальной энергии потока в кинетическую.

Сужающее устройство выполняет функции первичного преобразователя, устанавливается в трубопроводе и создаёт в нём местное сужение, вследствие чего при протекании вещества повышается скорость в суженном сечении по сравнению со скоростью потока до сужения. Увеличение скорости, а следовательно, и кинетической энергии вызывает уменьшение потенциальной энергии потока в суженном сечении. Соответственно статическое давление в суженном сечении будет меньше, чем в сечении до сужающего устройства. Таким образом, при протекании вещества через сужающее устройство создаётся перепад давления $\Delta p = p_1 - p_2$ (рисунок 1.2), зависящий от скорости потока и, следовательно, расхода жидкости. Отсюда следует, что перепад давления, создаваемый сужающим устройством, может служить мерой расхода вещества, протекающего в трубопроводе, а численное значение расхода вещества может быть определено по перепаду давления Δp , измеренному дифманометром.

Диафрагма показана на рисунке 1.2 и представляет собой тонкий диск с отверстием круглого сечения, центр которого лежит на оси трубы. Сужение потока начинается до диафрагмы, и на некотором расстоянии за диафрагмой поток достигает минимального сечения. Далее поток постепенно расширяется до полного сечения трубопровода.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						19
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

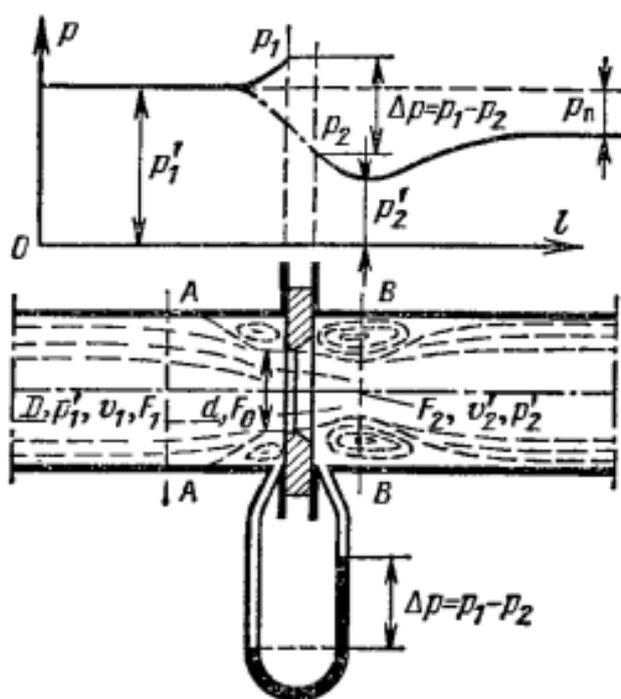


Рисунок 1.2 – Диафрагма

При протекании вещества через диафрагму за ней в углах образуется мёртвая зона, в которой вследствие разности давлений возникает обратное движение жидкости или так называемый вторичный поток. Вследствие вязкости струйки основного и вторичного потоков, двигаясь в противоположных направлениях, свёртываются в виде вихрей. На вихреобразования за диафрагмой затрачивается значительная часть энергии, а следовательно, имеет место и значительная потеря давления. Изменение направления струек перед диафрагмой и сжатие струи после диафрагмы имеют незначительное влияние.

Как видно из рисунка 1.2, отбор давлений осуществляется с помощью двух отдельных отверстий, расположенных непосредственно до и после диска диафрагмы в углах, образуемых плоскостью диафрагмы и внутренней поверхностью трубопровода.

Принцип измерения расхода вещества по перепаду давления, создаваемому сужающим устройством, и основные уравнения одинаковы для всех типов

сужающих устройств, различны лишь некоторые коэффициенты в этих уравнениях, определяемые опытным путём [3].

Основные недостатки расходомеров с СУ следующие:

1. Вследствие влияния погрешностей многих величин (α , ε , ρ , Δp), входящих в формулу расхода, общая предельная относительная погрешность измерения расхода обычно не менее 1–2 %, иногда и выше.

2. Квадратическая зависимость между расходом и перепадом давления обуславливает обычно малый диапазон изменения ($q_{max}/q_{min} = 3 \div 4$) и неравномерность шкалы прибора. Последний недостаток можно устранить, введя в передачу прибора лекало, имеющее параболический профиль, или другим способом — например с помощью вычислительного устройства.

Достоинства расходомеров с СУ следующие:

1. Пригодны для любых однофазных веществ и в очень широком диапазоне давлений, температур и расходов.

2. Не требуют образцовых расходомерных установок для градуировки и поверки в случае применения нормализованных СУ.

1.2.3 Дифманометры

Дифференциальные манометры (или сокращённо дифманометры) измеряют перепад давления, создаваемый сужающим устройством или другим преобразователем расхода. Они различаются по принципу действия, пределам измерений и характеру отсчётных устройств (показывающие, сомопишущие, интегрирующие и т. п.). Кроме того, многие дифманометры оборудуются электрическими или не имеют отсчётное устройство (т. е. быть бесшкальным). В последнем случае они представляют собой двухступенчатые преобразователи перепада давления.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						21
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

1.3 Влияние температуры на расход жидкости

Вода – одно из важнейших веществ на земле, она вездесуща и всеобъемлющая. Вода как вещество проявляется в своих химических и физических свойствах. Одним из физических свойств является температурное расширение.

Температурное расширение – свойство жидкости изменять свой объём при изменении температуры. Характеризуется коэффициентом температурного расширения β_T , который представляет собой относительное изменение объёма, приходящееся на 1 градус:

$$\beta_T = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT}, \quad (6)$$

где β_T – коэффициент температурного расширения;

При увеличении температуры для воды коэффициент β_T возрастает. При низких температурах рост давления приводит к увеличению β_T , а при температурах выше 50°C – к снижению.

Изменение объёма при нагревании жидкостей весьма ощутимо, поэтому коэффициент β_T необходимо учитывать при проектировании гидравлических устройств, в которых жидкость существенно нагревается.

Плотность – масса жидкости, заключённая в единице объёма, измеряемая в Международной системе единиц кг/м³.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						22
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

Для однородной жидкости плотность рассчитывается по формуле 7.

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (7)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

m – масса жидкости, кг;

V – объём жидкости, м³.

Для неоднородной жидкости в объёме V , формула 7 позволяет вычислить среднее значение плотности, а истинная плотность в какой-либо точке может быть определена по формуле 8.

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V}, \quad (8)$$

С увеличением температуры воды плотность жидкости уменьшантся. Плотность воды в диапазоне температур от 0 до 4°С увеличивается и достигает максимума $\rho = 1000$ кг/м³. При дальнейшем нагреве ее плотность снижается как и у других жидкостей.

Так как плотность жидкости ρ обратно пропорционально объёму V , то при снижении плотности объём увеличивается.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						23
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

На рисунке 1.3 приведён график изменения плотности воды при уменьшении температуры.

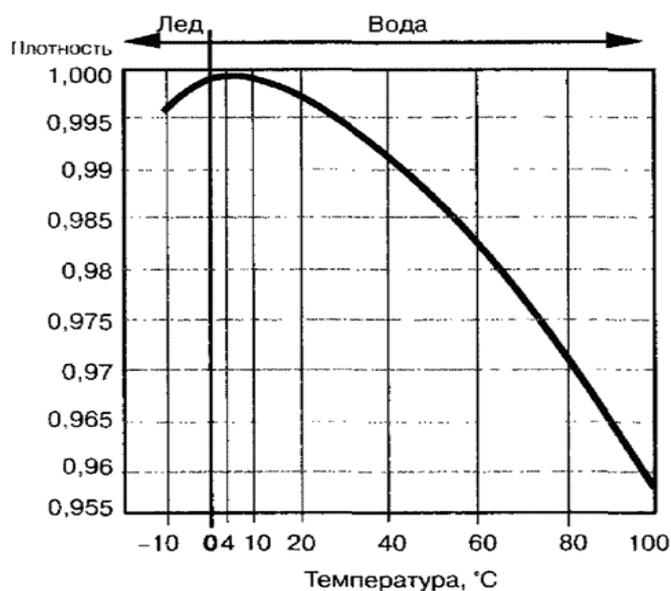


Рисунок 1.3 – График изменения плотности воды при уменьшении температуры

На рисунке 1.4 приведён график соотношения прироста объёма жидкости к температуре.

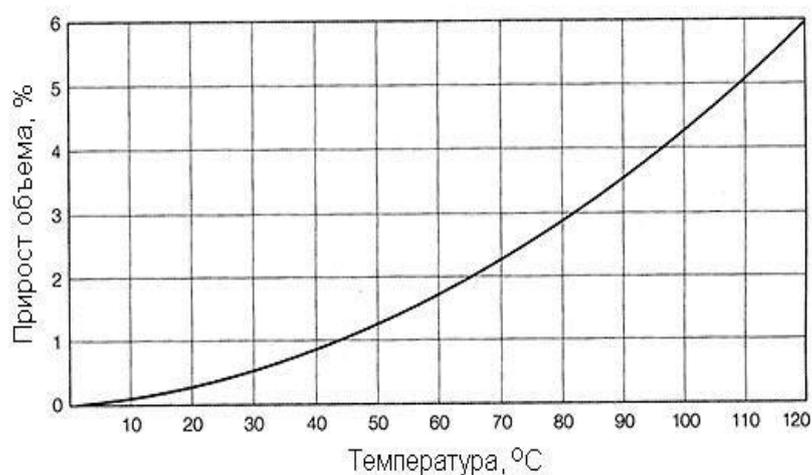


Рисунок 1.4 – График соотношения прироста объёма жидкости к температуре

1.4 Выводы по первому разделу и постановка задач исследования

По результату аналитического обзора литературы были рассмотрены основные виды расхода жидкости, а также принципы работы расходомеров. Изучили влияние жидкости при разной температуре на объёмный и массовый расход.

Также подробно изучили один из наиболее распространённых и изученных способов измерения расхода жидкостей, газов и пара в трубопроводе, как переменный перепад давления в сужающем устройстве.

Таким образом, задачи исследования сводятся к проведению экспериментальной работы на основе учебного стенда объёмного/массового расхода жидкости, где проверится работоспособность и точность измерения. Также мы сравним экспериментальный результат работы с компьютерной моделью процесса прохождения жидкости при разной температуре через сужающее устройство. Оценим точность расчёта параметров течения жидкости и найдём погрешность измерения расхода как разность между их объёмными/массовыми величинами.

Результатом решения поставленных задач станет учебно–методическое пособие, предназначенное для проведения лабораторной работы по измерению расхода жидкости.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						25
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

2 КОМПАНОВКА УЧЕБНЫХ И ОБРАЗЦОВЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ СТЕНДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ И ВЫЯВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ВЛИЯЮЩИХ ВЕЛИЧИН

2.1 Стенд учебный СИУ–01 ИПДРТ

Стенд учебный СИУ–01 “Измерительные преобразователи давления и расхода газа и жидкости в условиях генерации влияющих воздействий” предназначен для проведения лабораторных работ по изучению приборов измерения давления, расхода и температуры в жидкости и в газах.

Область применения стендов – средние специальные и высшие учебные заведения, комбинаты и центры повышения квалификации сотрудников, специализирующихся на обучении соответствующих специальностей.

К обслуживанию стендов допускается персонал после ознакомления с настоящим руководством по эксплуатации.

2.1.1 Основные технические данные и характеристики

Стенд позволяет задавать и определять температуру, давление и расход двух сред различными способами измерений. В стенде используется газообразная среда – воздух и жидкая – вода.

Температура измеряется с помощью биметаллического термометра и терморезистивных преобразователей с вторичными приборами: измерителями–регуляторами.

Расход жидкости измеряется объёмным способом и с помощью счётчика воды.

Расход газа измеряется объёмным способом, с помощью ротаметра, расходомера и счётчика газа.

Измерительные преобразователи с электрическим выходным сигналом подключаются ко входам устройства сбора данных NI USB–6008, которое через

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						26
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

USB–интерфейс связано с персональным компьютером для обработки и хранения полученной информации.

В таблице 1 приведены основные технические данные учебного стенда СИУ–01 ИПДРТ.

Таблица 1 – Основные технические данные учебного стенда СИУ–01 ИПДРТ

Давление подводимого газа	Номинальное, МПа	0,8
	Максимальное, не более, МПа	1
Напряжение питания, В		220
Частота питающей сети, Гц		50
Потребляемая мощность, не более, кВт		2,0
Габаритные размеры, не более, мм	Длина	1010
	Глубина	640
	Высота	2100
Масса (без рабочей жидкости), не более, кг		80
Ёмкость бака, л		40

2.1.2 Комплектность

В комплект поставки входит:

- Стенд учебный СИУ–01 “Измерительные преобразователи давления и расхода газа и жидкости в условиях генерации влияющих воздействий”;
- Руководство по эксплуатации СИУ–01–00.000.000 РЭ.;
- Тройник для подключения к системе питания сжатым воздухом (компрессору) и трубка подачи сжатого воздуха;
- Компрессор;

- Управляющая ПЭВМ станда в конфигурации: INTEL PENTIUM 4 (641 2600MHz–800 1024 Kb LGA775/512Mb/160Gb/DVD+–R/RW /3,5” / PCI–E x16 GF FX6600 128Mb/128bit DDR DVI TV 64 bit /LAN /Kb/Mouse/ Monitor TFT 17”);
- Рабочий стол для обучаемого;
- Устройство ввода/вывода информации в ПЭВМ – NI USB–6008 или аналогичное (2 шт.).

При поставке партии стандов разрешается поставлять для всей партии одно руководство по эксплуатации.

При поставке партии стандов до 4 шт. разрешается поставлять для всей партии один компрессор, обеспечивающий по своим характеристикам питание четырёх стандов.

2.1.3 Меры безопасности

Эксплуатация стандов должна производиться в соответствии с требованиями пожарной безопасности и требованиями ГОСТ 12.2.003–74 “ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности”.

К Обслуживанию стандов допускается персонал после ознакомления с настоящим руководством по эксплуатации.

Запрещается производить ремонтные работы при работающем станде.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						28
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

2.1.4 Состав и устройство стенда

Конструкция стенда представлена на рисунках 2.1 – 2.6.

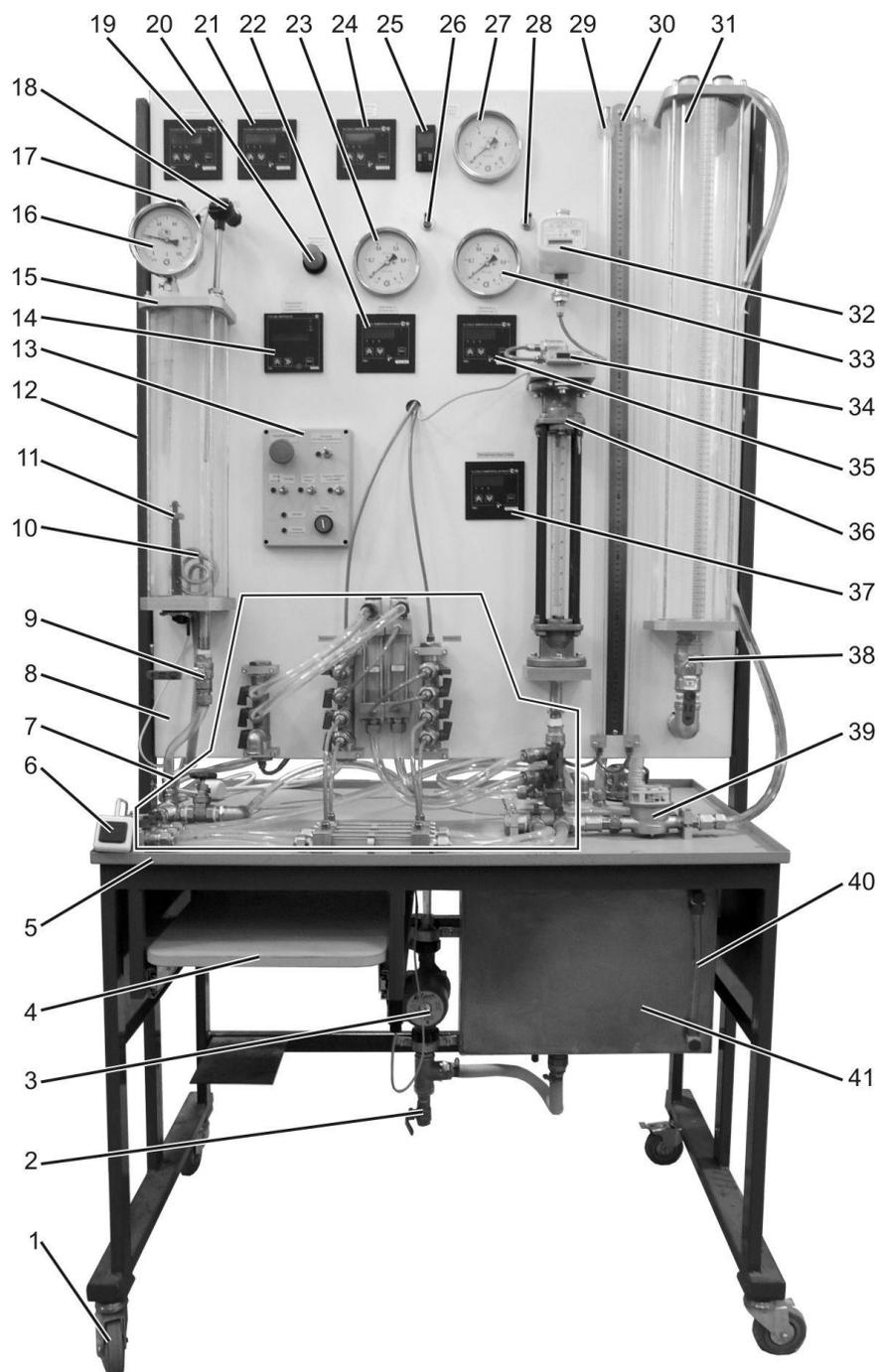


Рисунок 2.1 – Стенд. Вид спереди

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		29

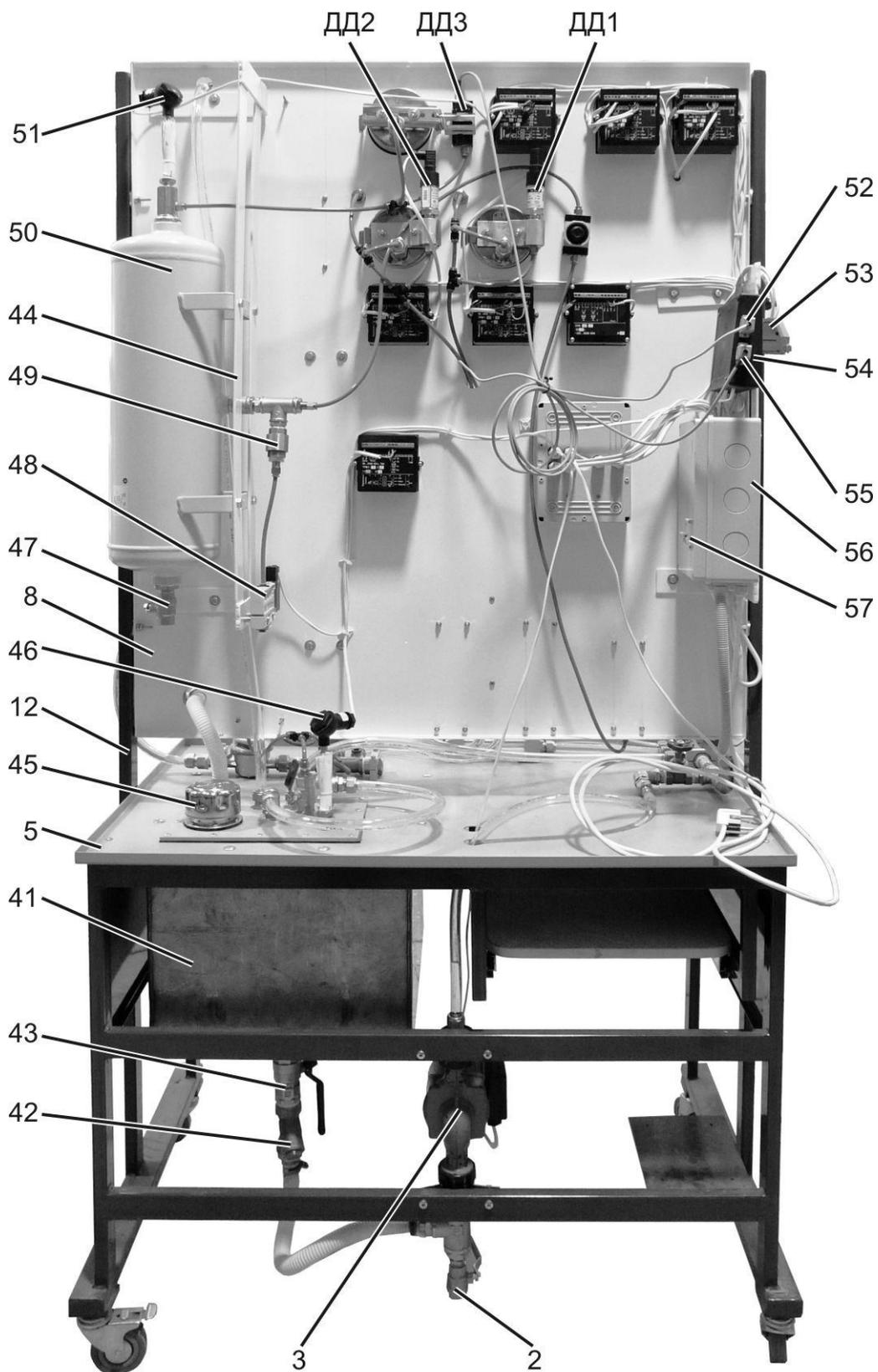


Рисунок 2.2 – Стенд. Вид сзади

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		30

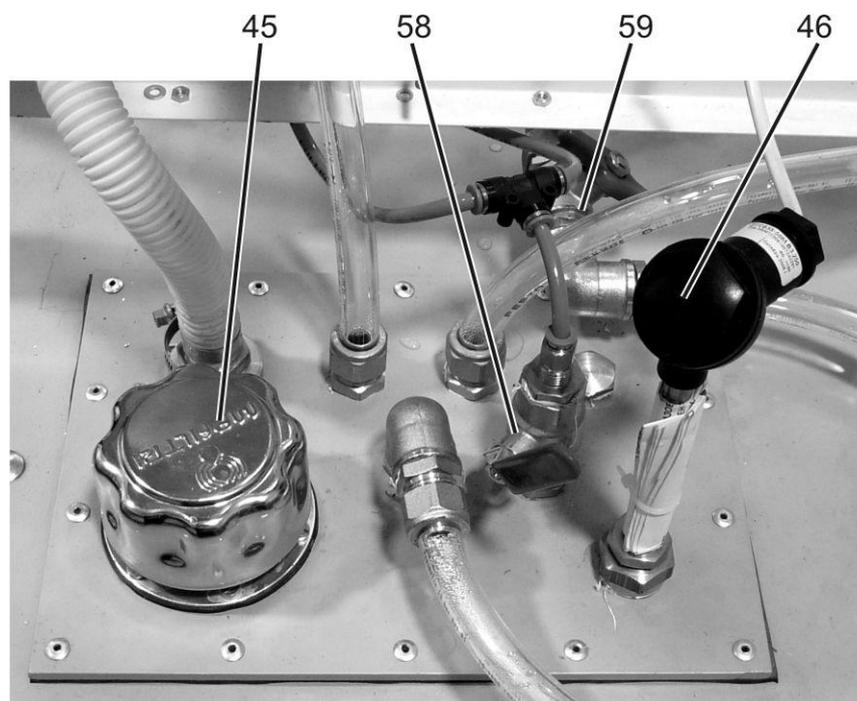


Рисунок 2.3 – Вид на сливной коллектор на баке

Обозначения шаровых кранов на коллекторах на рисунках соответствуют обозначениям на гидropневмосхеме (гидropневмосхема приведена в приложении А).

Стенд гидравлический учебный СИУ–01 «Измерительные преобразователи давления и расхода газа и жидкости в условиях генерации влияющих воздействий» включает в себя (рисунки 2.1 – 2.6):

- колеса 1, позволяющие перемещать стенд по ровному полу;
- шаровой кран 2 предназначен для слива жидкости из гидросистемы стенда;
- насос 3 для подачи жидкости в гидросистему, обозначение на гидropневмосхеме – Н1, (*циркуляционный насос отопления WCP 25–40G*);
- выдвижную полку 4;
- стол – поддон 5 для сбора утечек;
- кнопку 6 дистанционного управления секундомером;
- блок коллекторов и измерительных диафрагм 7, устройство блока подробно показано на рисунках 1.5, 1.6;

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						31
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

- панель 8, на которой смонтированы контрольно–измерительные приборы;
- шаровой кран 9 для набора и слива жидкости в емкость для нагрева жидкости, обозначение на гидropневмосхеме – ВНЗ;
- электронагреватель 10 для нагрева жидкости в емкости, обозначение на гидropневмосхеме – ТЭН1;
- датчик 11 уровня нагреваемой жидкости, обозначение на гидropневмосхеме – ДУ1;
- несущую раму 12;
- панель управления 13;
- секундомер 14, (*счетчик импульсов "Овен" СИ8*);
- емкость 15 для нагрева жидкости;
- биметаллический термометр 16 для измерения температуры нагреваемой жидкости;
- подвижный терморезистивный преобразователь 17, обозначение на гидropневмосхеме – ДТ1 (*термопреобразователь сопротивления ДТС035–50М.В3.250*);
- неподвижный терморезистивный преобразователь 18, обозначение на гидropневмосхеме – ДТ2 (*термопреобразователь сопротивления ДТС035–50М.В3.250*);
- измеритель–регулятор 19, подключенный к терморезистивному преобразователю 17 (*измеритель–регулятор микропроцессорный одноканальный "Овен" ТРМ1*);
- редукционный клапан 20, позволяющий регулировать давление воздуха, поступающего в пневмосистему из ресивера, обозначение на гидropневмосхеме – КР1;
- измеритель–регулятор 21 (*измеритель–регулятор микропроцессорный одноканальный "Овен" ТРМ1*), подключенный к терморезистивному преобразователю 18;
- измеритель–регулятор 22 (*измеритель–регулятор микропроцессорный одноканальный "Овен" ТРМ1*), подключенный к датчику ДД1 (*преобразователь*

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		32

избыточного давления измерительный ПД100–ДИ) давления в коллекторе 73 («коллектор 1»);

– манометр 23, подключенный к коллектору 73 («коллектор 1»), обозначение на гидропневмосхеме – МН1;

– измеритель–регулятор 24 (измеритель–регулятор микропроцессорный одноканальный "Овен" ТРМ1), подключенный к терморезистивному преобразователю 51 (термопреобразователь сопротивления ДТС035–50М.В3.250) установленному в ресивере 50;

– датчик 25 давления в ресивере 50, обозначение на гидропневмосхеме – ДД3 (датчик давления FESTO SDE1–D10–G2–H18–L–PU–M8–G);

– быстроразъемное соединение 26 с обратным клапаном для подключения дифференциального манометра 29 к коллектору 73 («коллектор 1»);

– манометр 27 давления в ресивере 50, обозначение на гидропневмосхеме – МН3;

– быстроразъемное соединение 28 с обратным клапаном для подключения дифференциального манометра 29 к коллектору 76 («коллектор 2»);

– дифференциальный U–образный манометр 29;

– шкалу 30 дифференциального U–образного манометра 29;

– емкости 31 для измерения расхода объемным способом;

– счетчика газа 32 (счетчик газа СГБМ–1,6);

– манометр 33, подключенный к коллектору 76 («коллектор 2»), обозначение на гидропневмосхеме – МН2;

– расходомер воздуха 34 (расходомер FESTO SFE3–F500–L–W18–2NB–K1);

– измеритель–регулятор 35 (измеритель–регулятор микропроцессорный одноканальный "Овен" ТРМ1), подключенный к датчику ДД2 (преобразователь избыточного давления измерительный ПД100–ДИ) давления в коллекторе 76 (коллектор 2);

– ротаметр 36 (ротаметр с местными показаниями РМ–4–2,5);

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						33
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

- измеритель–регулятор 37 (*измеритель–регулятор одноканальный "Овен" ТРМ1*), подключенный к терморезистивному преобразователю 46, установленному в баке 41;
- шаровой кран 38 для слива жидкости из емкости 31, обозначение на гидропневмосхеме – ВН17;
- счетчик жидкости 39 (*счетчик горячей воды крыльчатый ВСВГ–15*);
- указатель уровня 40 жидкости в баке 41;
- бак 41;
- фильтр жидкости 42 для грубой фильтрации жидкости, поступающей в насос 3;
- шаровой кран 43 для подачи жидкости в линию всасывания насоса 3, обозначение на гидропневмосхеме – ВН1;
- кронштейн 44 для крепления ресивера;
- заливную горловину 45 для заправки стенда рабочей жидкостью;
- терморезистивный преобразователь 46, обозначение на гидропневмосхеме – ДТ4 (*термопреобразователь сопротивления ДТС035–50М.В3.250*);
- шаровой кран 47 для слива конденсата из ресивера, обозначение на гидропневмосхеме – ВН18;
- пневмораспределитель 48 для подачи воздуха от внешнего компрессора в ресивер, обозначение на гидропневмосхеме – Р1;
- обратный клапан 49, обозначение на гидропневмосхеме – КО1;
- ресивер 50;
- терморезистивный преобразователь 51, обозначение на гидропневмосхеме – ДТ3 (*термопреобразователь сопротивления ДТС035–50М.В3.250*);
- электрический разъем 52 для подключения расходомера 34;
- электрический разъем 53 типа DRB–37F для подключения к плате АЦП;
- коробки 54, содержащей усилитель сигнала с терморезистивных преобразователей;
- электрический разъем 55 для подключения датчика давления 25;
- коробки 56 для коммутации силовой части электросхемы;

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						34
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

- автоматического выключателя 57 для защиты от перегрузок;
- шарового крана 58 для слива жидкости из дифференциального манометра в бак, обозначение на гидropневмосхеме – ВН25;
- шарового крана 59 для слива жидкости из пневматических линий в бак, обозначение на гидropневмосхеме – ВН24.

Панель управления учебного стенда представлена на рисунке 2.4.

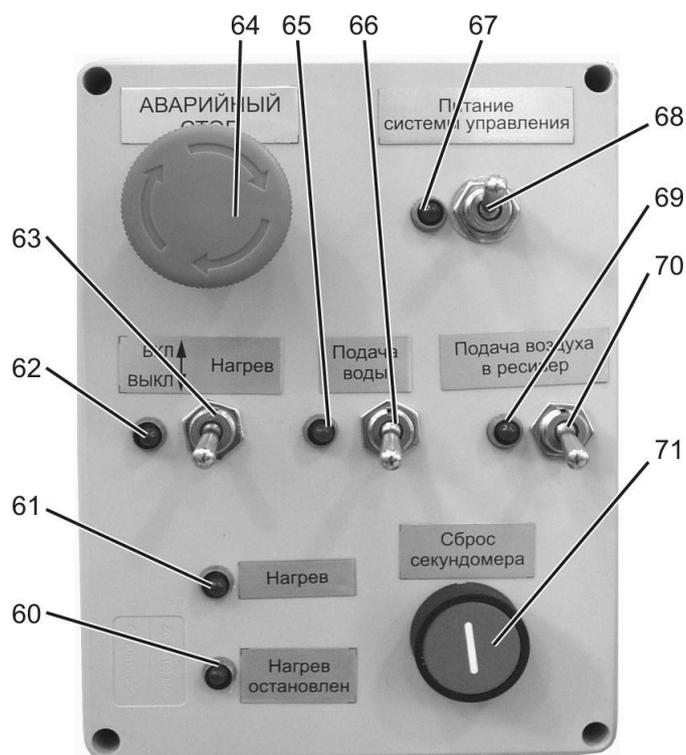


Рисунок 2.4 – Панель управления

На панели управления (позиция 13 на рисунке 1.1) установлены:

- светодиодный индикатор 60, который светится, если процесс нагрева остановлен из-за превышения допустимой температуры или низкого уровня жидкости в емкости нагрева;
- светодиодный индикатор 61, который светится, если идет процесс нагрева;
- светодиодный индикатор 62, который светится, если включен тумблер «Нагрев»;

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		35

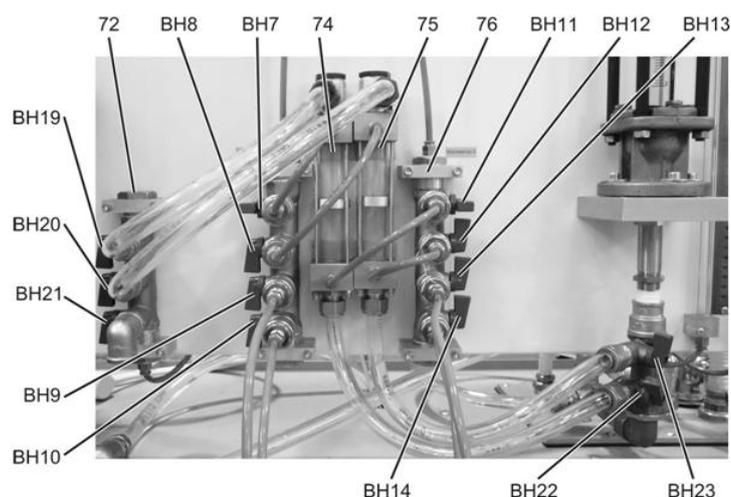


Рисунок 2.6 – Измерительные диафрагмы

Блок коллекторов и измерительных диафрагм (позиция 7 на рисунке 1.1)

включает в себя:

- коллектор 72 для распределения воздуха между диафрагмами;
- коллектор 73 («коллектор 1»), позволяющий подключать манометр МН1 (23) и датчик давления ДД1 к входам каждой из диафрагм;
- измерительную диафрагму 74, обозначение на гидropневмосхеме – ДР3;
- измерительную диафрагму 75, обозначение на гидropневмосхеме – ДР4;
- коллектор 76 («коллектор 2»), позволяющий подключать манометр МН2 (33) и датчик давления ДД2 к выходам каждой из диафрагм;
- коллектор 77 для суммирования потока воздуха из диафрагм перед ротаметром 36;
- коллектор 78 для суммирования потока рабочей жидкости из диафрагм перед счетчиком воды 39;
- измерительную диафрагму 79, обозначение на гидropневмосхеме – ДР1;
- измерительную диафрагму 80, обозначение на гидropневмосхеме – ДР2;
- коллектор 81 для распределения потока рабочей жидкости между диафрагмами.

Технические характеристики приборов стенда приведены в приложении Б.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						37
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

2.1.5 Модификация стенда учебного СИУ–01 ИПДРТ

Для проведения эксперимента измерения весовым методом нам требуется внести некоторые изменения в структуру учебного стенда СИУ–01 ИПДРТ.

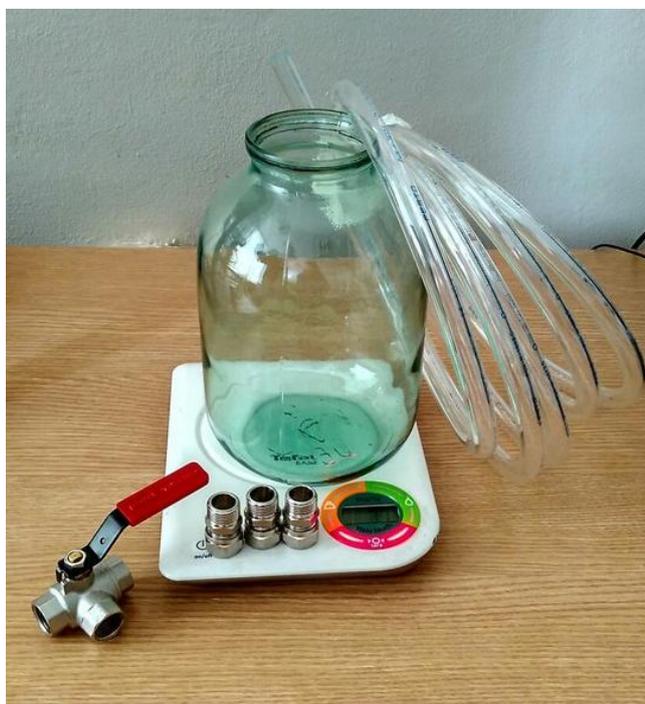


Рисунок 2.7 – Дополнительные элементы для модификации стенда СИУ–01 ИПДРТ

На рисунке 2.7 представлены следующие элементы:

1. В качестве проводящих тракта был выбран и заказан шланг полиуретановый длиной 4 метра фирмы FESTO PUN–H–16x2.5.

Данный шланг (рисунок 2.8) одобрен для применения в пищевой промышленности и имеет высокую стойкость к гидролизу.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						38
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		



Рисунок 2.8 – Полиуретановый шланг

Таблица 2 – Основные характеристики полиуретанового шланга FESTO PUN–H–16x2.5

Наружный диаметр	16 мм
Радиус гибки по отношению к расходу	88 мм
Внутренний диаметр	11 мм
Минимальный радиус изгиба	38 мм
Рабочее давление в зависимости от температуры	–0,95 ... 10 <i>bar</i>
Температура окружающей среды	–35 ... 60°C
Цвет	Нейтральный
Замечания по материалу	Не содержит медь и тефлон. Соответствует директиве по ограничению использования опасных веществ (RoHS)
Информация о материале, шланги	TPE–U(PU)

Зависимость рабочего давления от температуры представлена на рисунке 2.9.

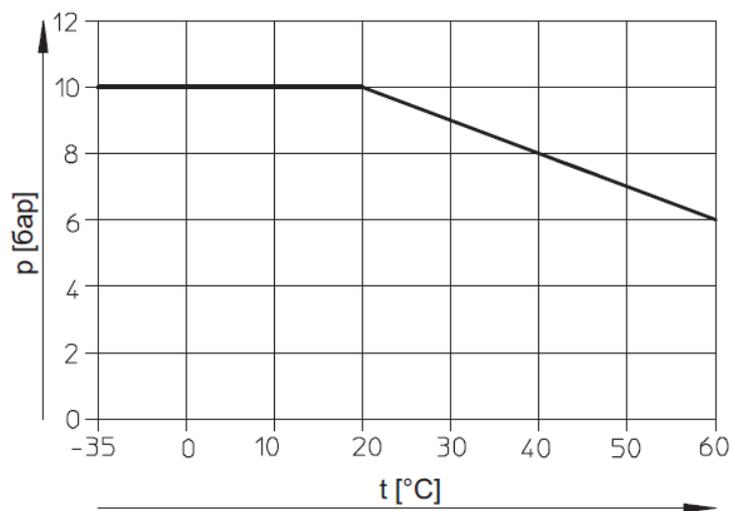


Рисунок 2.9 – График зависимости рабочего давления от температуры

2. Кран шаровой трехпроходной 1/2 Г–обр Royal Thermo (рисунок 2.10). На схеме стенда гидропневматической обозначены ВН25 (приложении А – Схема стенда гидропневматическая).



Рисунок 2.10 – Кран шаровой трехпроходной 1/2 Г–обр Royal Thermo

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						40
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

Таблица 3 – Основные характеристики крана шаровой трехпроходной 1/2 Г-
обр Royal Thermo

Тип затвора	L-образный
Количество проходов	трёхпроходной
Тип	шаровой кран
Вид соединения	резьбовой
Применение	запорный
Материал	латунь
Область применения	для систем водоснабжения
Рукоятка	рычаг
Резьба	внутренняя
Покрытие	никель
Диаметр резьбы	1/2'
Мин. ресурс. циклов	2000
Длина, см	17
Максимальная рабочая температура, С	150
Максимальное рабочее давление, бар	4
Цвет	хром
Минимальная рабочая температура, С	20
Марка металла	CW 617 N (Европа)

3. Три соединительных обжима VALTEC 16x1/2" HP (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Соединительный обжим VALTEC 16x1/2" HP

Фитинг для металлопластиковых труб систем отопления, водоснабжения, технологических установок. Обжимные фитинги VALTEC предназначены для соединения металлополимерных труб на основе обычного, сшитого или термоустойчивого полиэтилена и могут применяться в инженерных и технологических системах с рабочей температурой до 115 °С. Конструктивные особенности обжимных фитингов VALTEC, а также используемые материалы обусловили ряд их преимуществ перед аналогичной продукцией других фирм: большую (на 8–12 %) пропускную способность, механическую прочность, надежность соединений.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		42

4. Взвешивающим устройством в моей работе будут выступать кухонные весы TEFAL BC5060 Easy (рисунок 2.12) На схеме стенда гидropневматической обозначены В1 (приложении А – Схема стенда гидropневматическая).



Рисунок 2.12 – Кухонные весы TEFAL BC5060 Easy

Таблица 4 – Основные характеристики кухонных весов TEFAL BC5060 Easy

Предел взвешивания	5 кг
Точность измерения	0 г
Тарокомпенсация	Есть
Счётчик калорий	Нет
Последовательное взвешивание	Есть
Измерение объёма жидкости	Есть
Тип элементов питания	2 AAA
Съёмная платформа / чаша	Есть
Автоматическое отключение	Есть

5. Мерной тарой в моём эксперименте является стеклянная трёхлитровая банка, выполненная по ГОСТ 5717.2–2003 “Банки стеклянные для консервов. Основные параметры и размеры”.

Как и любой материал, стекло имеет коэффициент теплового расширения. При наливе горячей воды банка будет менять свой объём.

С помощью программы SolidWorks: Simulation, создадим модель трёхлитровой стеклянную банки и найдём её изменение объёма при наливе воды с разной температурой.

Размеры трёхлитровой банки взяты из ГОСТ 5717.2–2003 “Банки стеклянные для консервов. Основные параметры и размеры” и представлены на рисунках 2.13 и 2.14, и в таблице 5.

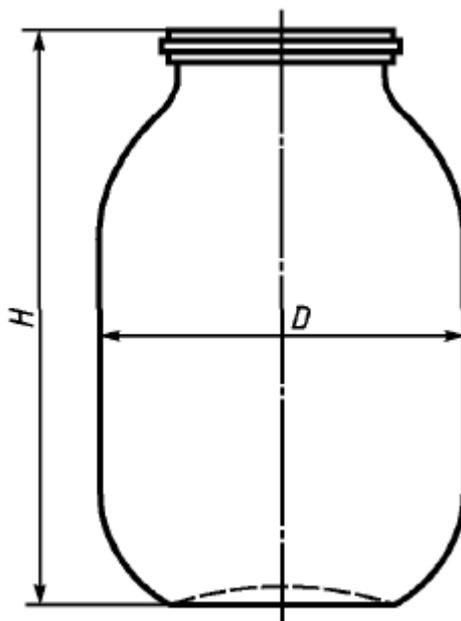


Рисунок 2.13 – Основные параметры и размеры трёхлитровой банки

Таблица 5 – Основные параметры и размеры трёхлитровой банки

Вместимость, см ³		Общая высота банки H , мм	Диаметр цилиндрической части D , мм
номинальная	полная		
3000	3200 ± 50	$235,0 \pm 1,5$	$153,0 \pm 2,3$

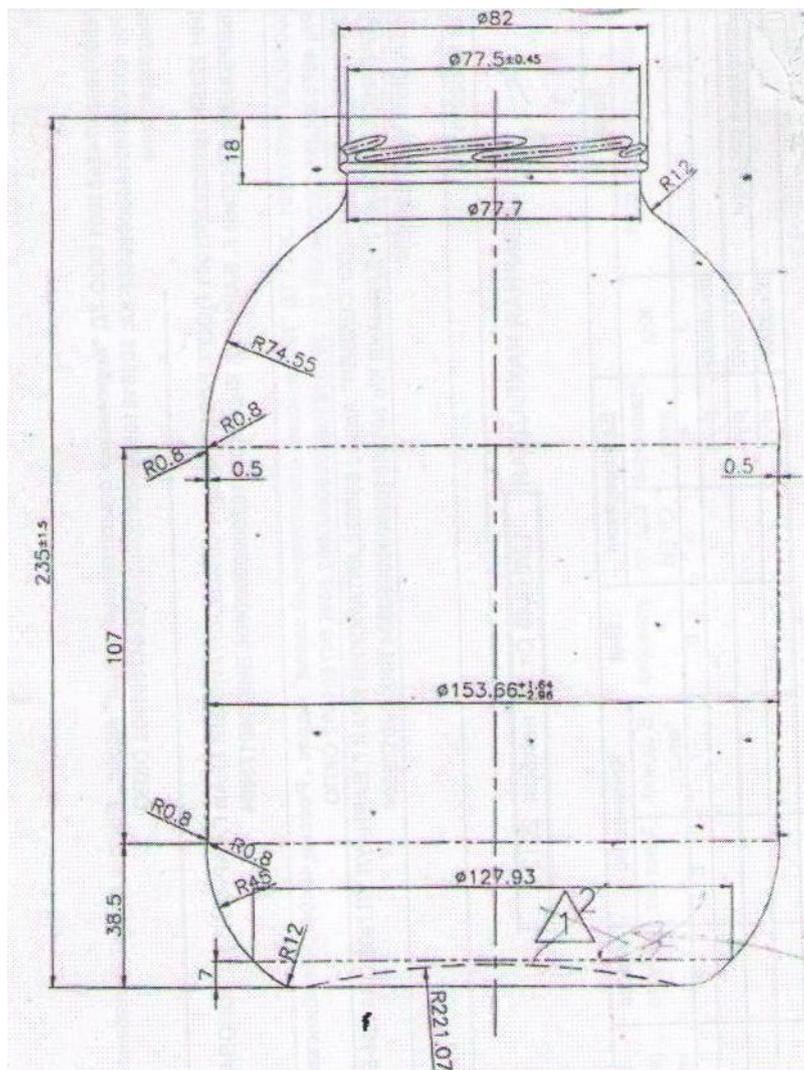


Рисунок 2.14 – Основные параметры и размеры трёхлитровой банки

Выполнив чертёж, с помощью команды “Повёрнутая бобышка/основание”, получаем 3д модель трёхлитровой банки.

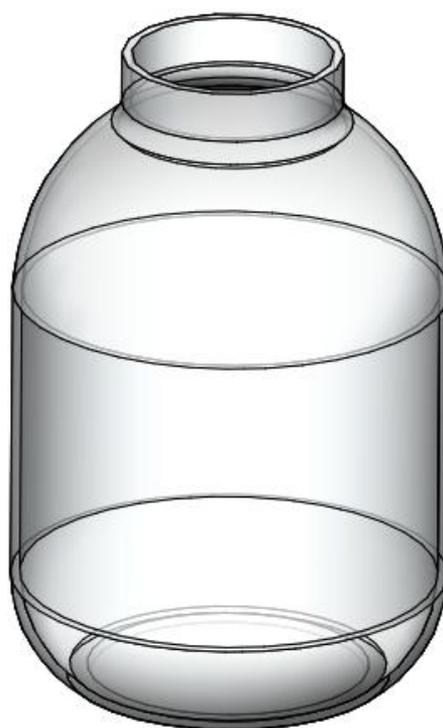


Рисунок 2.15 – 3д модель трёхлитровой банки

Применяем материал “Стекло” для нашей детали. Материал “Стекло” обладает параметрами, представленными в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры материала “Стекло” в программе SolidWorks

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	$6,8935 \cdot e^{10}$	H/m^2
Коэффициент Пуассона	0,23	
Модуль сдвига	$2,8022 \cdot e^{10}$	H/m^2
Массовая плотность	2457,6	$кг/m^3$
Коэффициент теплового расширения	$9 \cdot e^{-6}$	$/K$
Теплопроводность	0,74976	$Вт/(м \cdot K)$
Удельная теплоёмкость	834,61	$Дж/(кг \cdot K)$

Во вкладке “Анализировать” выбираем команду “Массовые характеристики”. На рисунке 2.16 видно что $m = 905,8171$ г. В России существует ГОСТ и ТУ на производство стеклянных банок, по которым вес такой тары должен быть 960 или 885 грамм соответственно.

Плотность = 2.4576 граммов на кубический сантиметр
Масса = 905.8171 граммов
Объем = 368.5779 кубические сантиметры
Площадь поверхности = 2294.8975 квадратных сантиметры

Рисунок 2.16 – Массовые характеристики

Выполнив пару преобразований, мы можем найти вместимость банки. Внутреннему объёму банки применим материал “Вода”.

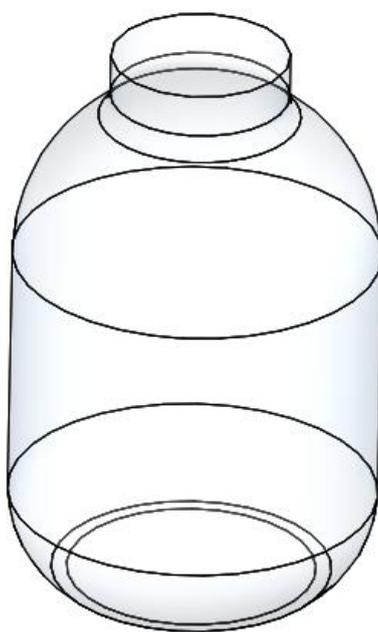


Рисунок 2.17 – Внутренняя часть трёхлитровой банки

Материал “Вода” обладает параметрами, представленными в таблице 7.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		47

Таблица 7 – Параметры материала “Вода” в программе SolidWorks

Свойство	Значение	Единицы измерения
Массовая плотность	1000	кг/м ³
Теплопроводность	0,61	Вт/(м · К)
Удельная теплоёмкость	4200	Дж/(кг · К)

Во вкладке “Анализировать” выбираем команду “Массовые характеристики”. На рисунке 2.18 видно что $V = 3190,1840 \text{ см}^3$. В таблице 5 полная вместимость равна $3200 \pm 50 \text{ см}^3$. Так как масса стеклянной трёхлитровой банки и полная вместимость равны табличным данным ГОСТ 5717.2–2003 “Банки стеклянные для консервов. Основные параметры и размеры”, то делаем вывод, что банка построено правильно.

Плотность = 1.0000 граммов на кубический сантиметр
 Масса = 3190.1840 граммов
 Объем = 3190.1840 кубические сантиметры
 Площадь поверхности = 1147.4791 квадратных сантиметры

Рисунок 2.18 – Массовые характеристики

С помощью среды Simulation проанализируем деформацию стеклянной банки при воздействии на неё воды при температурах 20°C, 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C.

Во вкладке “Simulation” используем команду “Новое исследование”. Исследуем распределение температуры с помощью статического анализа.

В свойствах во вкладке “Эффекты потока/Тепловые потоки” указываем справочную температуру при нулевой деформации 20°C. В “Креплениях” выбираем “зафиксированная геометрия” и отмечаем нижние грани и кромки. Во “Внешних нагрузках” выбираем “Температура” и отмечаем её на внутренние

стенки ёмкости и указываем нужную температуру. Создаём сетку где в "Плотности сетки: указываем "Высокое". После указания всех параметров запускаем исследование

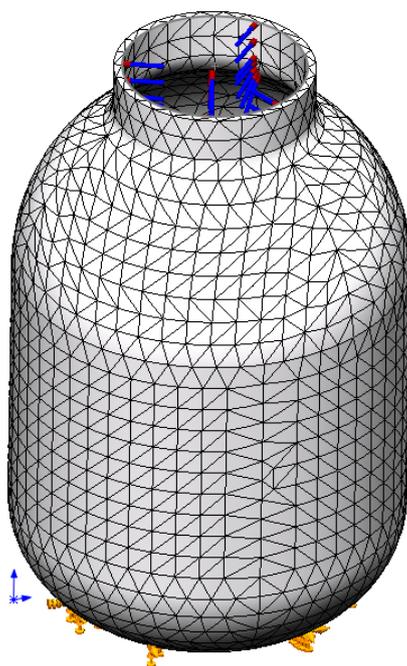


Рисунок 2.19 – Результат нанесения параметров

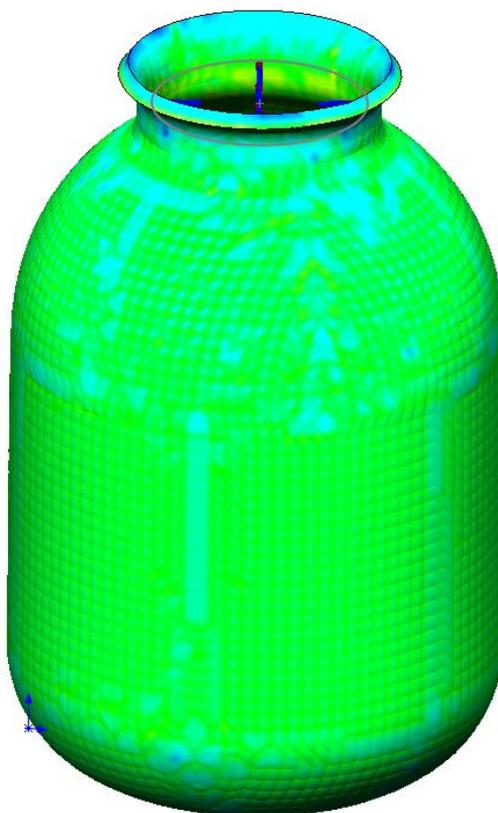


Рисунок 2.20 – Деформированный результат

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						49
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

Далее мы в результатах выбираем "Сохранить тело из деформированной формы". Открываем сохранённый документ. И в "Анализировать" нажимаем вкладку "Массовые характеристики". В таблице 8 указан результат исследования термического анализа трёх литровой банки.

Таблица 8 – Результат термического анализа

$t, ^\circ\text{C}$	$V, \text{л}$	$t, ^\circ\text{C}$	$V, \text{л}$
20	3,190184	45	3,19022718
25	3,19019252	50	3,19023563
30	3,19019779	55	3,19024097
35	3,19020663	60	3,19024709
40	3,19021191		

На рисунке 2.21 представлен график внутреннего объёма трёх литровой банки от температуры наливаемой в банку воды.

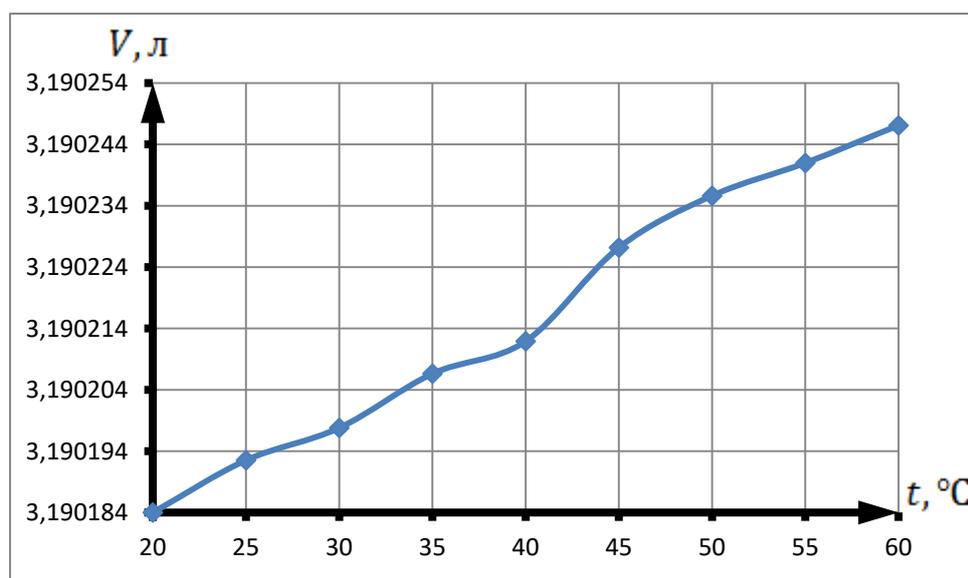


Рисунок 2.21 – График зависимости объёма трёх литровой банки от температуры, наливаемой в банку воды

На рисунке 2.22 показан график прироста объёма трёх литровой банки, при заливании в неё воду при разных температурах.

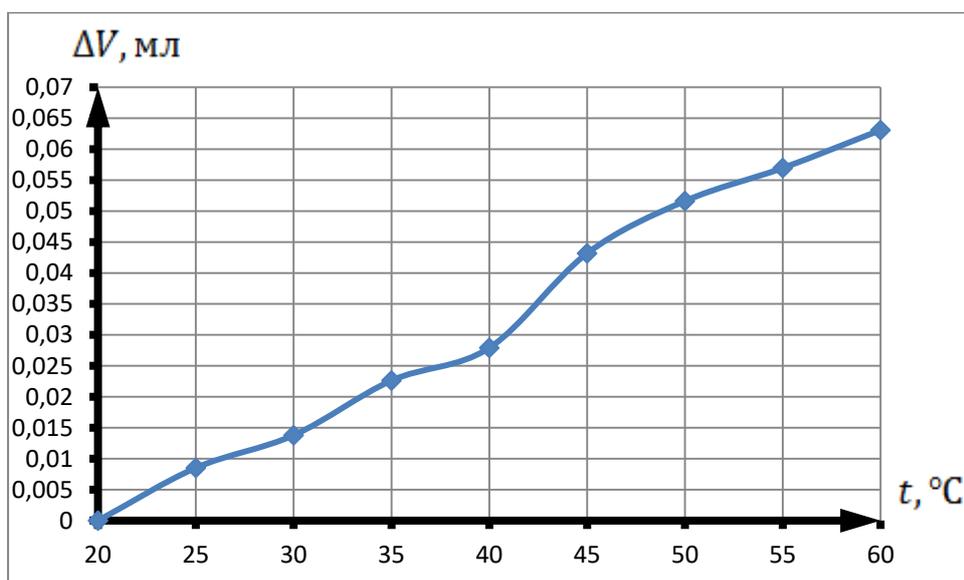


Рисунок 2.22 – График прироста объёма трёх литровой банки, при заливании в неё воду при разных температурах

На рисунке 2.23 представлен стенд СИУ–01 ИПДРТ после модификации. Теперь учебный стенд можно использовать не только для измерения объёмного расхода, но и массового.

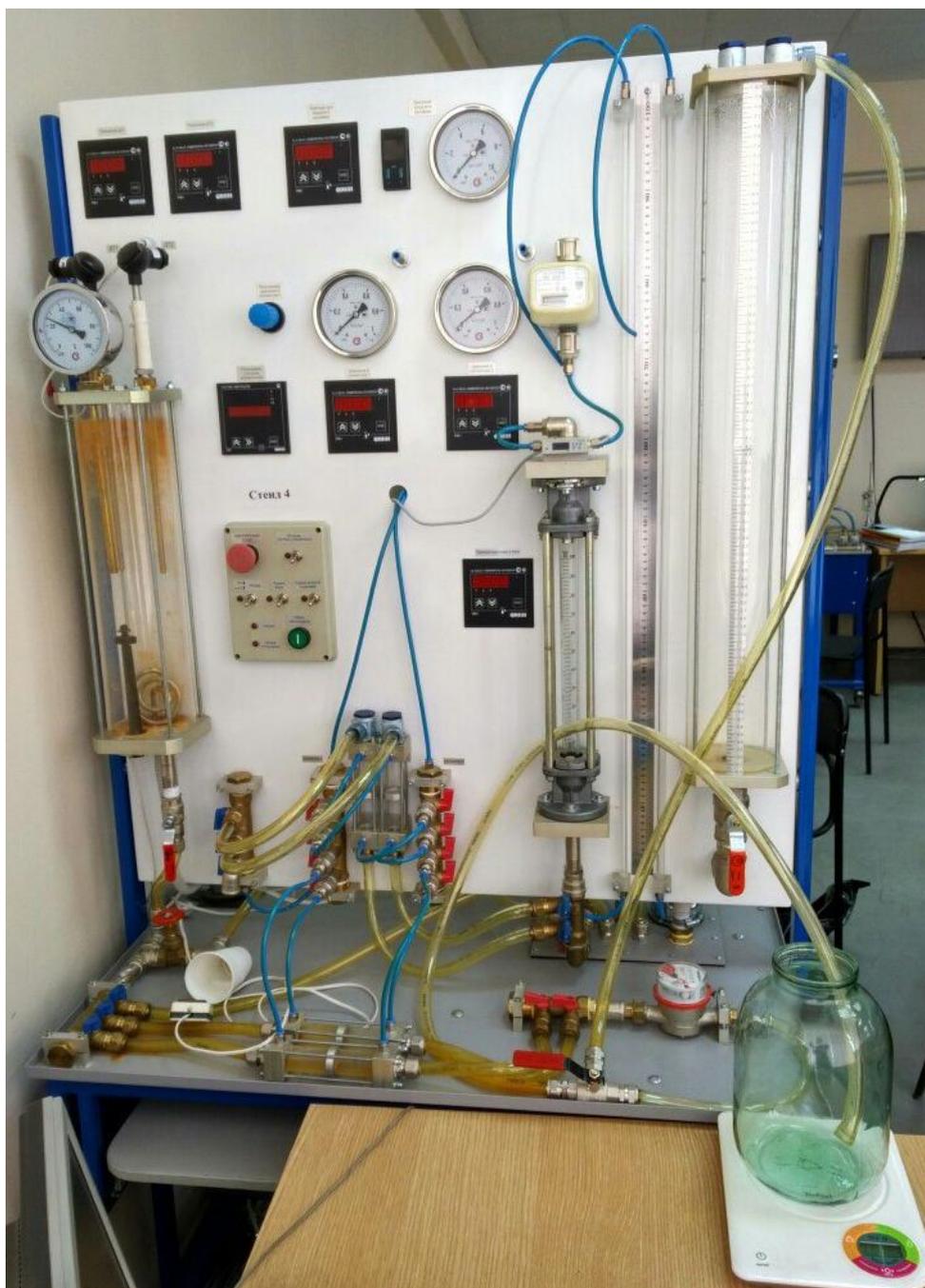


Рисунок 2.23 – Модифицированный стенд СИУ–01 ИПДРТ

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		52

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОХОЖДЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ЧЕРЕЗ СУЖАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ SOLIDWORKS (СРЕДА FLOW SIMULATION)

Компьютерное моделирование является одним из эффективных методов изучения сложных систем. Компьютерные модели проще и удобнее исследовать в силу их возможности проводить т.н. вычислительные эксперименты, в тех случаях, когда реальные эксперименты затруднены из-за финансовых или физических препятствий или могут дать непредсказуемый результат. Логичность и формализованность компьютерных моделей позволяет определить основные факторы, определяющие свойства изучаемого объекта – оригинала (или целого класса объектов), в частности, исследовать отклик моделируемой физической системы на изменения ее параметров и начальных условий.

3.1 Программа SolidWorks

Программа SolidWorks изучается на кафедре ИнИТ в пятом семестре на дисциплине “Физические основы получения информации”. Во время изучения программы SolidWorks были приобретены следующие навыки:

- построение и оформление чертежей;
- нахождение чувствительности измерительного преобразователя давления выполненного в виде мембраны или пластины;
- исследование упругих измерительных преобразователей;
- проведение численного и аналитического анализа спектральных характеристик ступенчатых балок.

Система SolidWorks позволяет сконцентрироваться на творческом процессе. Вам не нужно задумываться о том, где находится та или иная функция. Вы всегда найдёте её в меню, палитре или панелях. Интерфейс программы прост и интуитивно понятен: на каждой стадии проектирования моделей пользователю

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						53
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

предлагаются именно те команды, которые применимы в данный момент. SolidWorks не стесняет пользователя жёсткими рамками.

SolidWorks охватывает все этапы конструирования, от построения начального эскиза до выпуска конструкторской документации. Имея его в своём арсенале, вы будете более эффективно выполнять компоновки ваших разработок [6].

Данное программное обеспечение имеет в своём составе такие продукты как: SolidWorks Flow Simulation – семейство дополнительных модулей по газо/гидродинамическим расчетам. SolidWorks Flow Simulation – моделирование течения жидкостей и газов, управление расчётной сеткой, использование типовых физических моделей жидкостей и газов, комплексный тепловой расчёт, газо/гидродинамические и тепловые модели технических устройств, нестационарный и нестационарный анализ, расчёт вращающихся объектов, экспорт результатов в SolidWorks Simulation.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						54
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

3.2 Моделирование проточной части станда

На станде СИУ–01 проточной частью является стандартная диафрагма без конического расширения со стороны выхода потока.

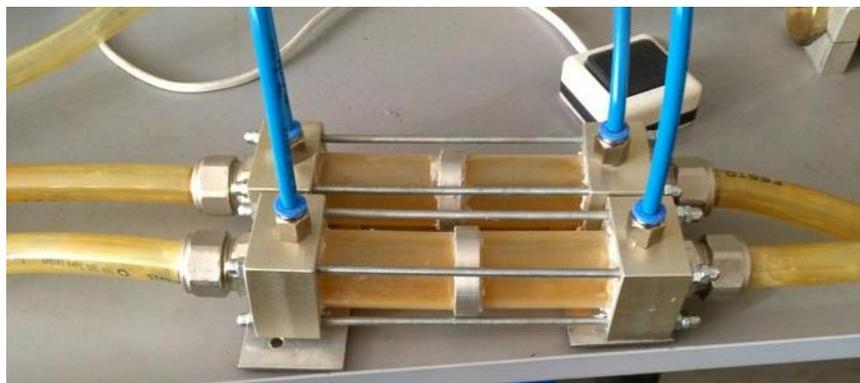


Рисунок 3.1 – Проточная часть станда

В программе SolidWorks 2015 воссоздаём модель проточной части станда СИУ–01.

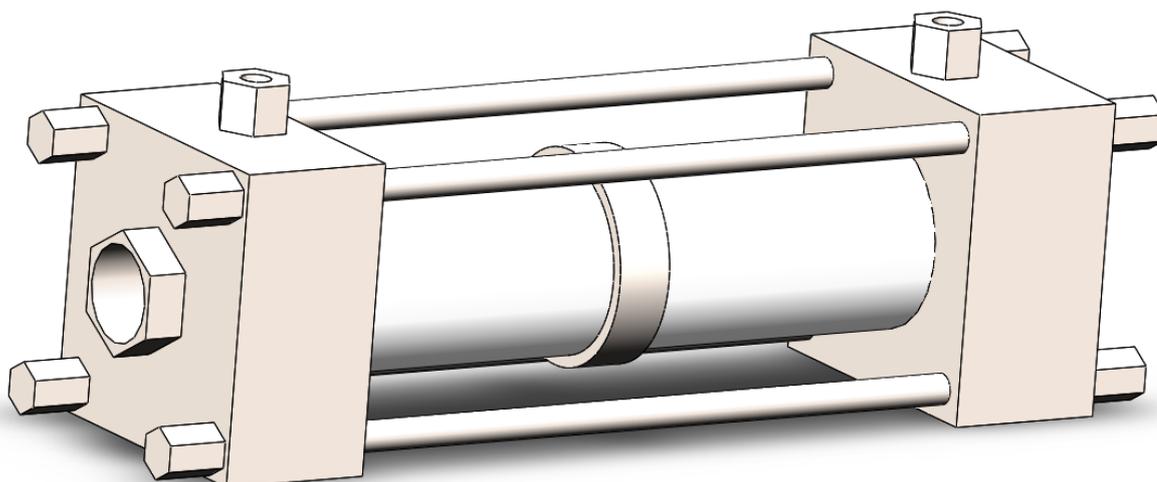


Рисунок 3.2 – Модель проточной части станда

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		55

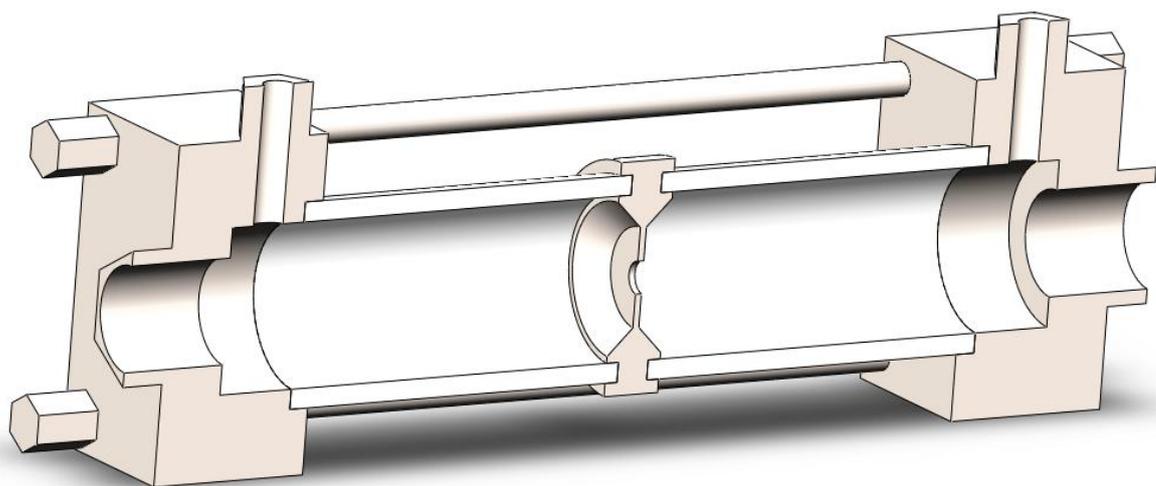


Рисунок 3.3 – Модель проточной части стенда в разрезе

С помощью добавленного модуля Flow Simulation создаём новый проект.

Так как модель не замкнута, то определение объёма проточной области не удаётся. Во внутренней задаче внутренний объём должен быть изолирован. Чтобы изолировать внутренний объём, необходимо закрыть отверстия и дыры. Закрываем отверстия с помощью инструмента "Создание заглушек".

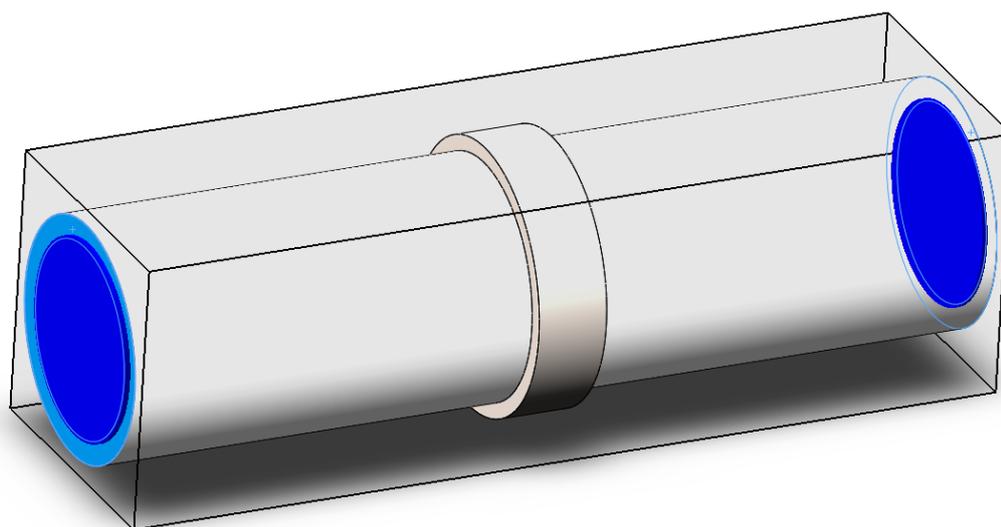


Рисунок 3.4 – Создание заглушек

Для выполнения расчётов необходимо построить сетку для разбиения модели на конечные элементы.

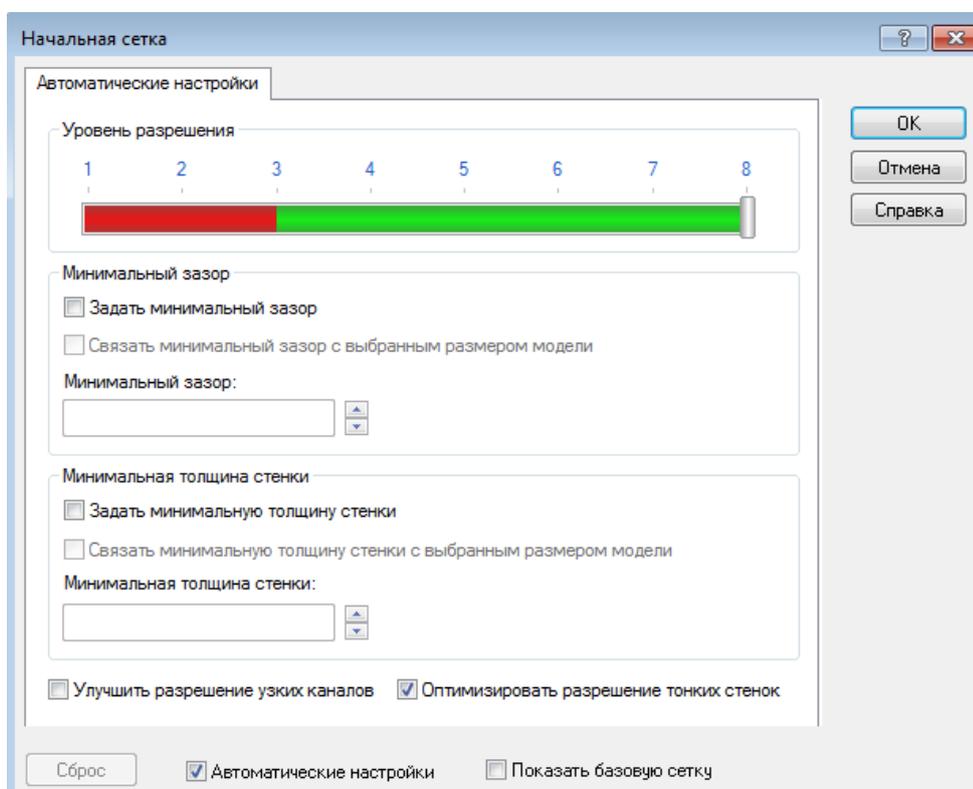


Рисунок 3.5 – Настройка начальной сетки

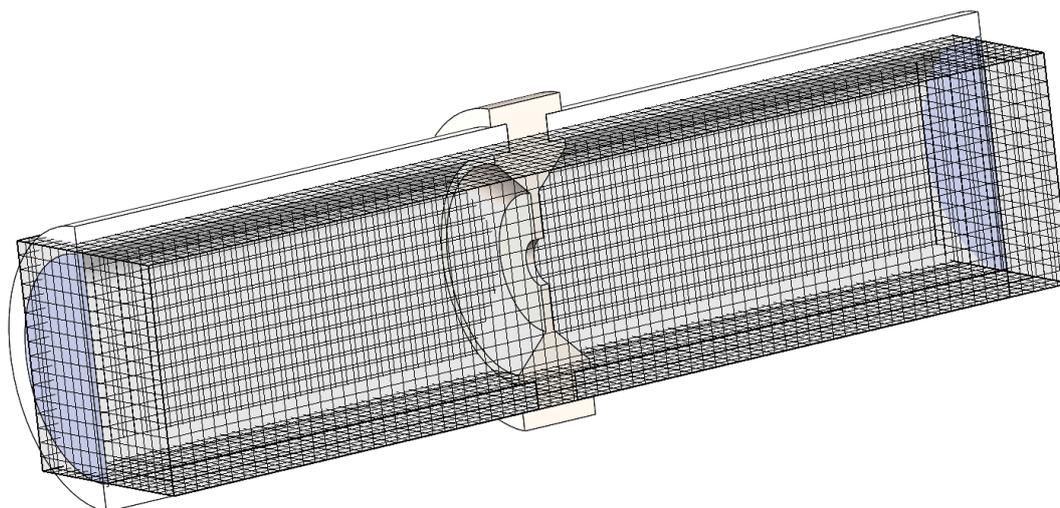


Рисунок 3.6 – Результат наложения базовой сетки

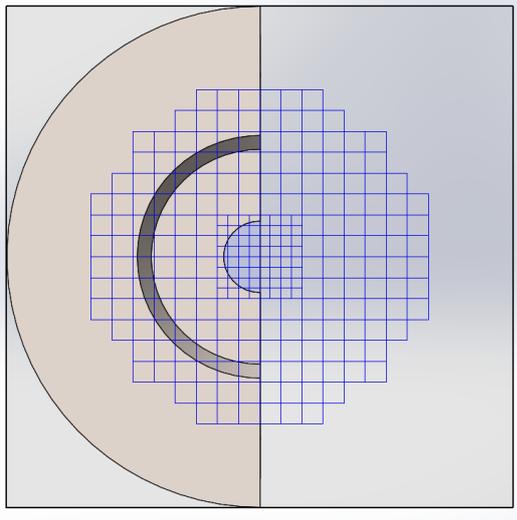


Рисунок 3.7 – Результат наложения сетки в отверстии сужающего устройства

В нашем новом проекте редактируем "Входные данные". На рисунке 3.8 представлена подобласть течения. В подобласти течения будем задавать температуру.

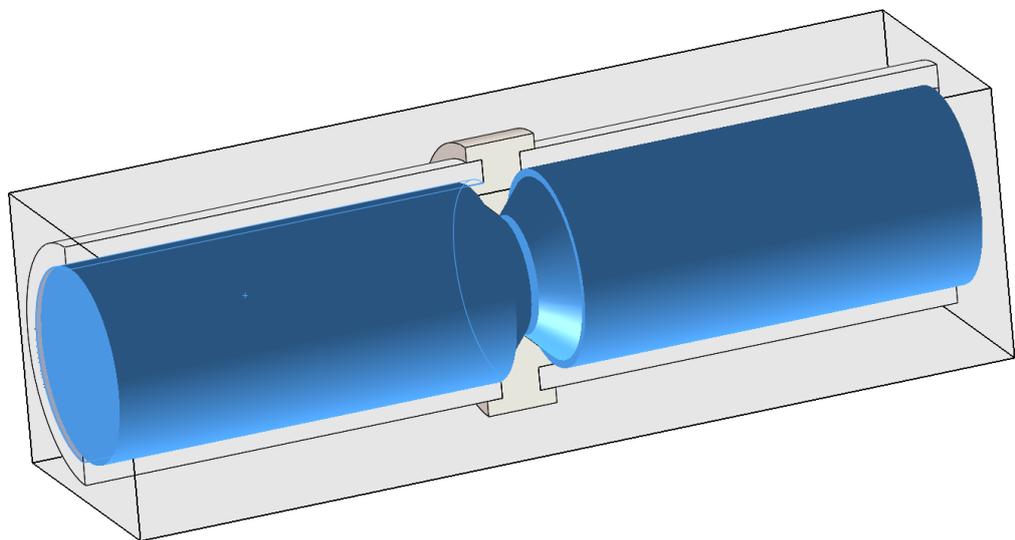


Рисунок 3.8 – Подобласть течения

В качестве нормальных условий устанавливаем давление $P = 101325$ Па и температуру $T = 273$ К ($T = 20^\circ\text{C}$).

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		58

Добавляем граничные условия. Полное давление $P = 12,43952$ кПа на правую часть трубы и полное давление $P = 11,2885$ кПа на левую часть трубы. Задаём поверхностные цели: массовый расход и объёмный расход.



Рисунок 3.9 – Граничные условия и поверхностные цели

На рисунке 3.10 приведён процесс расчёта после запуска программы.

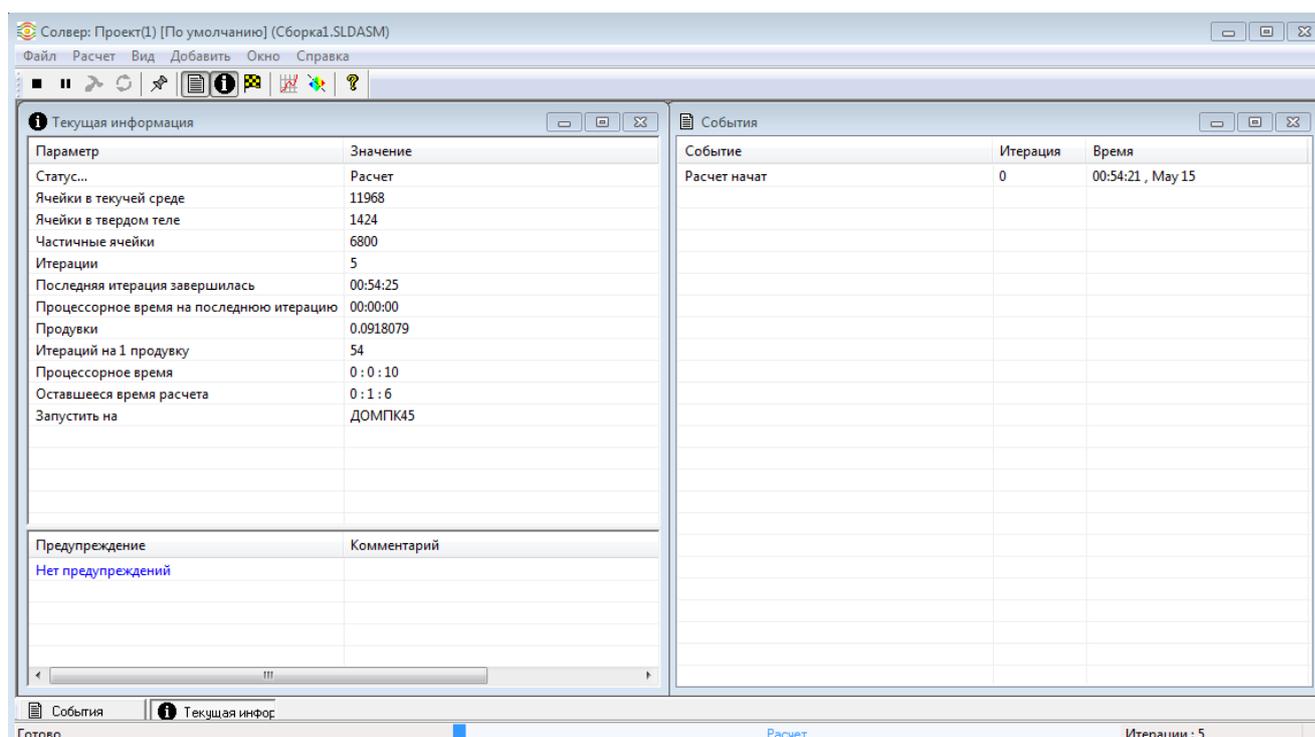


Рисунок 3.10 – Процесс расчёта после запуска программы

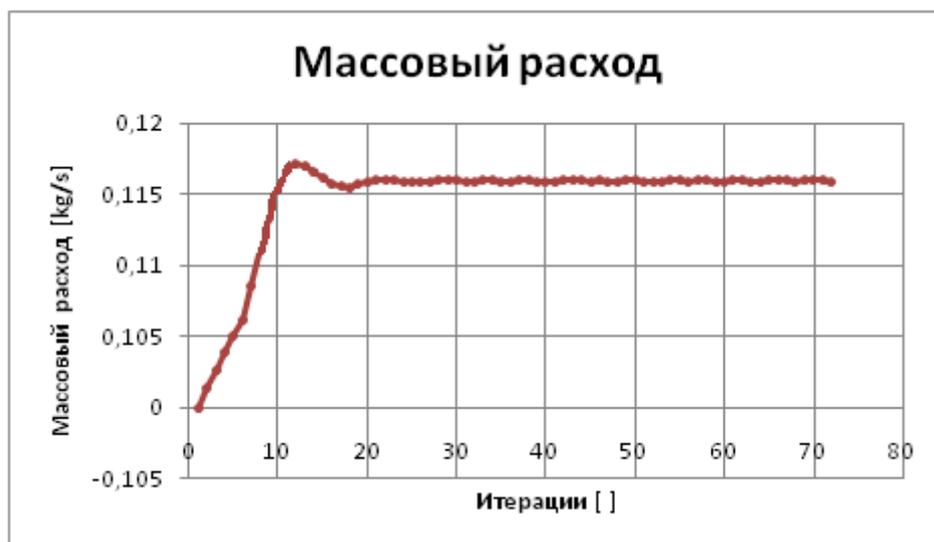


Рисунок 3.11 – Количество итерации при расчёте массового расхода

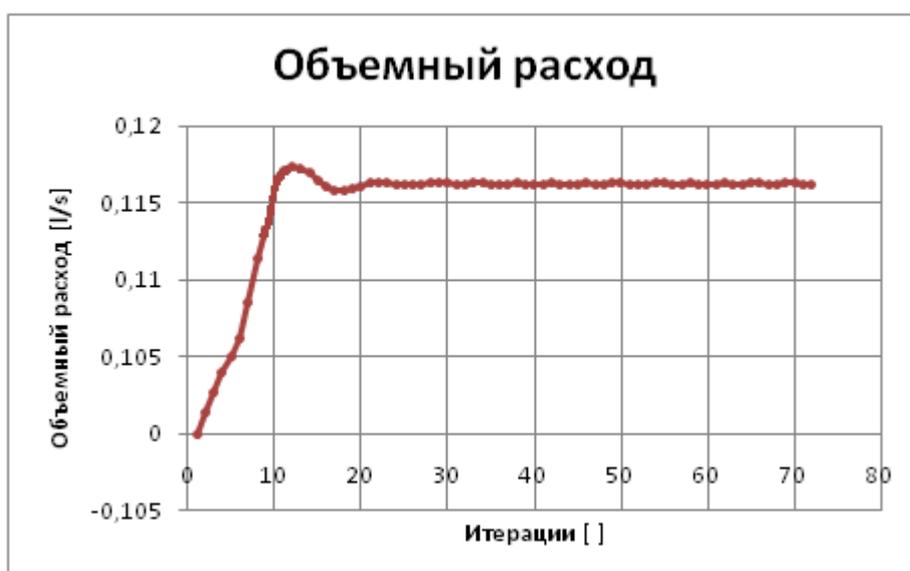


Рисунок 3.12 – Количество итерации при расчёте объёмного расхода

В таблице 9 представлены результаты расчёта объёмного и массового расходов воды в промоделированной диафрагме.

Таблица 9 – Результаты расчёта

$t, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{об.ппд}}, \text{л/с}$	$Q_{\text{м.ппд}}, \text{кг/с}$
0,01	0,113956	0,11393093
4	0,114323	0,114317284
5	0,114792	0,114785112
10	0,115126	0,115090311
15	0,115574	0,115468828
20	0,115949	0,115739132
25	0,116323	0,115976357
30	0,116746	0,116233485
35	0,117135	0,116431019
40	0,117587	0,116666294
45	0,117956	0,116796493
50	0,118328	0,116906881
55	0,118773	0,117068607
60	0,119157	0,117150396
65	0,119528	0,11720079
70	0,119943	0,117274268
75	0,120309	0,117282026
80	0,120762	0,117355304
85	0,121133	0,117488108
90	0,121501	0,11728856
95	0,121958	0,117313839
100	0,122316	0,117226431

На рисунке 3.13 представлены графики массового и объёмного расхода воды при разной температуре.

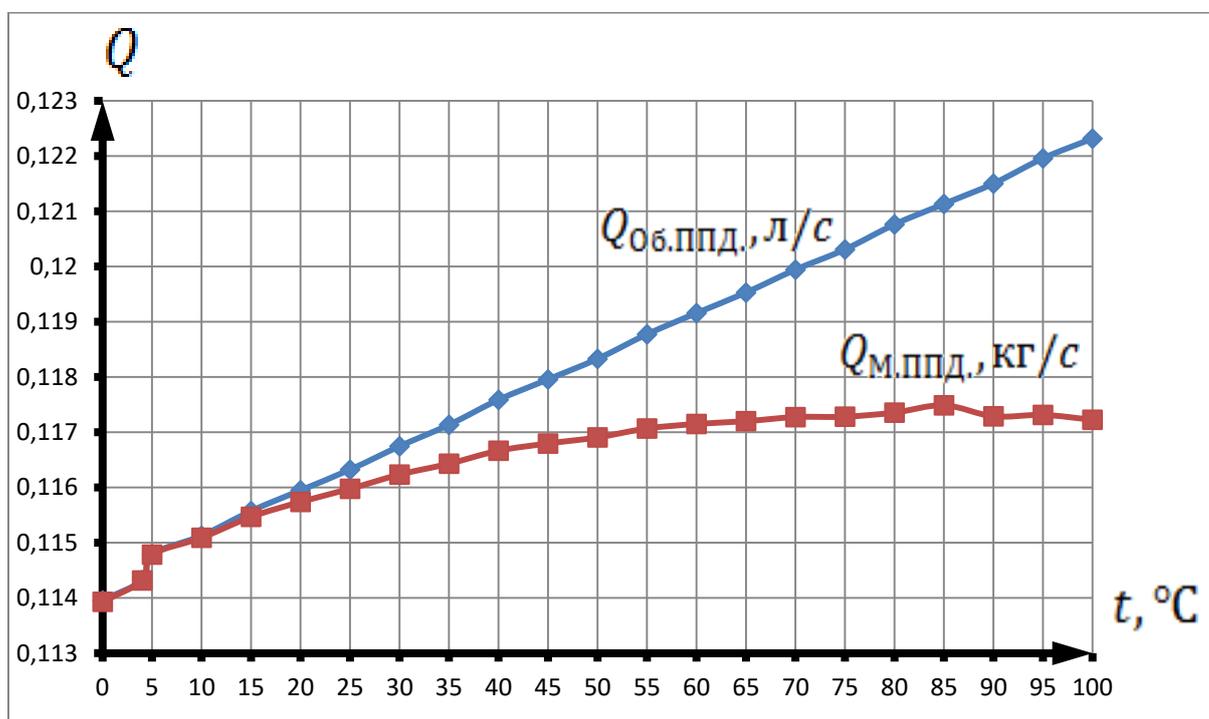


Рисунок 3.13 – График зависимости объёмного и массового расхода от температуры

4 СРЕДА АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ LABVIEW. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РЕЖИМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕСОВОГО МЕТОДА

Для повышения качества и надежности выпускаемой продукции и увеличения ее конкурентоспособности необходимо осуществлять сплошной непрерывный контроль технических характеристик производимых устройств. Это возможно только при автоматизации процесса проведения испытаний и создании специализированных систем (стендов).

Автоматизированные испытательные стенды имитируют работу испытуемой детали в составе готового изделия на режимах, заявленных производителем. Испытание детали со снятием в автоматическом режиме всех параметров направлено на контроль качества продукции.

4.1 Программа LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) — это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G» фирмы National Instruments (США). Первая версия LabVIEW была выпущена в 1986 году для Apple Macintosh, в настоящее время существуют версии для UNIX, Linux, Mac OS и пр., а наиболее развитыми и популярными являются версии для Microsoft Windows.

LabVIEW используется в системах сбора и обработки данных, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами. Идеологически LabVIEW очень близка к SCADA–системам, но в отличие от них в большей степени ориентирована на решение задач не столько в области АСУ ТП, сколько в области АСНИ.

Графический язык программирования «G», используемый в LabVIEW, основан на архитектуре потоков данных. Последовательность выполнения операторов в таких языках определяется не порядком их следования (как в императивных

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						63
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

языках программирования), а наличием данных на входах этих операторов. Операторы, не связанные по данным, выполняются параллельно в произвольном порядке.

Виртуальные приборы могут использоваться в качестве составных частей для построения других виртуальных приборов.

Лицевая панель виртуального прибора содержит средства ввода–вывода: кнопки, переключатели, светодиоды, верньеры, шкалы, информационные табло и т. п. Они используются человеком для управления виртуальным прибором, а также другими виртуальными приборами для обмена данными [11].

4.2 Разработка программного модуля, обеспечивающего автоматизацию измерений параметров жидкости в реальном масштабе времени

Цель моей выпускной квалификационной работы является создания методического пособия для проведения лабораторной работы с использованием программного модуля в среде LabVIEW. Перед тем как проводить исследование сужающего устройства я создал программу в среде LabVIEW, состоящую из 4 разделов.

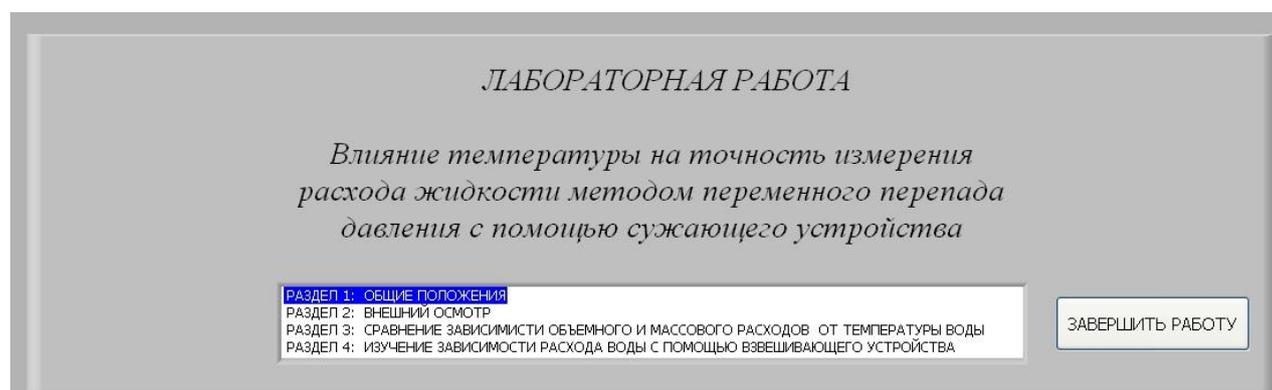


Рисунок 4.1 – Разделы в программе LabVIEW

Основа программы – модуль DAQ Assistant, осуществляющий «диалог» с платой NI–6008. После снятия единиц напряжения с выходов датчиков,

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		64

осуществляется данных усреднение и пересчет в единицы давления с использованием коэффициентов K и B уравнения прямой. Далее рассчитанные данные записываются в ячейки сформированного массива, которые, в свою очередь, собираются в таблицу измерений. Также происходит расчет разности давления и величины расхода жидкости на сужающем устройстве. Для регистрации давлений в первом и втором коллекторах используются соответствующие индикаторы, представленные динамически изменяющейся переменной.

4.2.1 Первый раздел. Общие положения

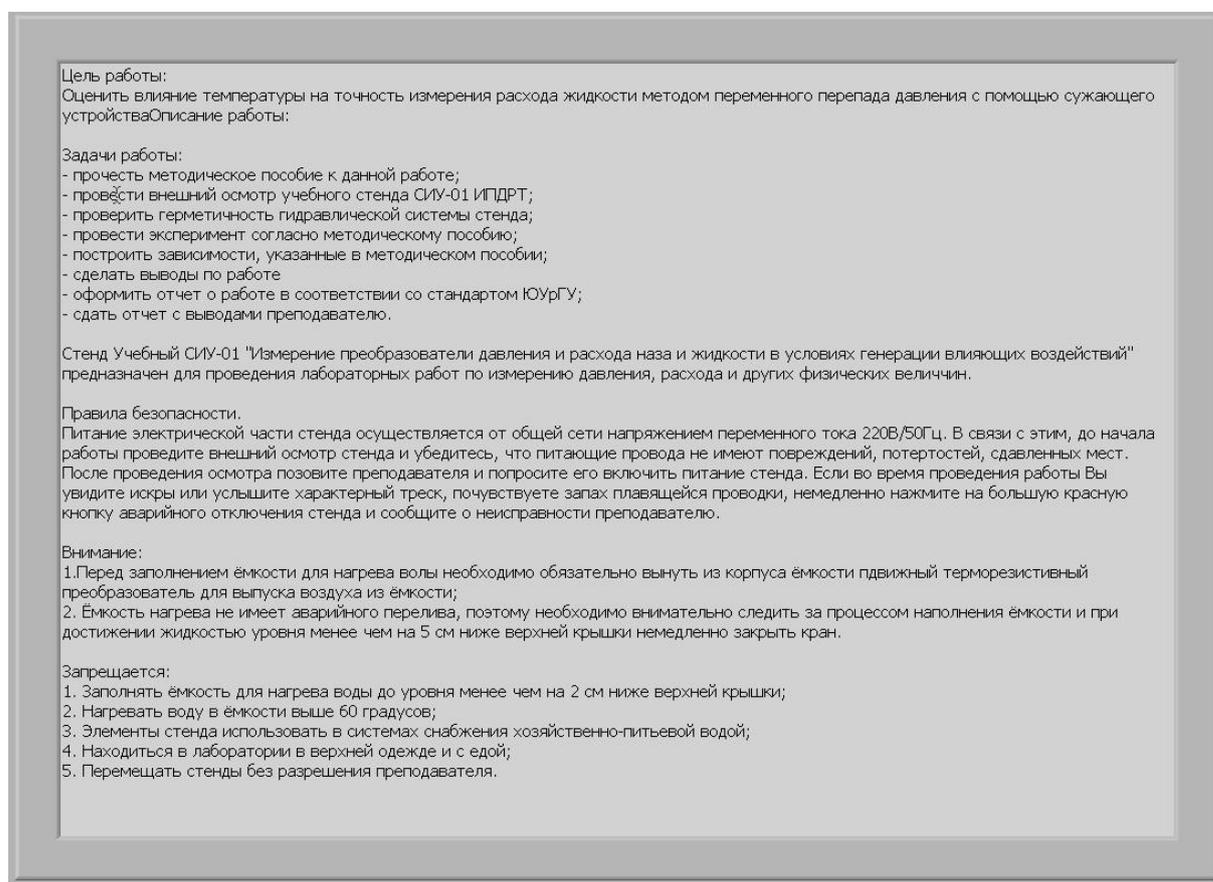


Рисунок 4.2 – Общие положения

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		65

4.2.2 Второй раздел. Внешний осмотр

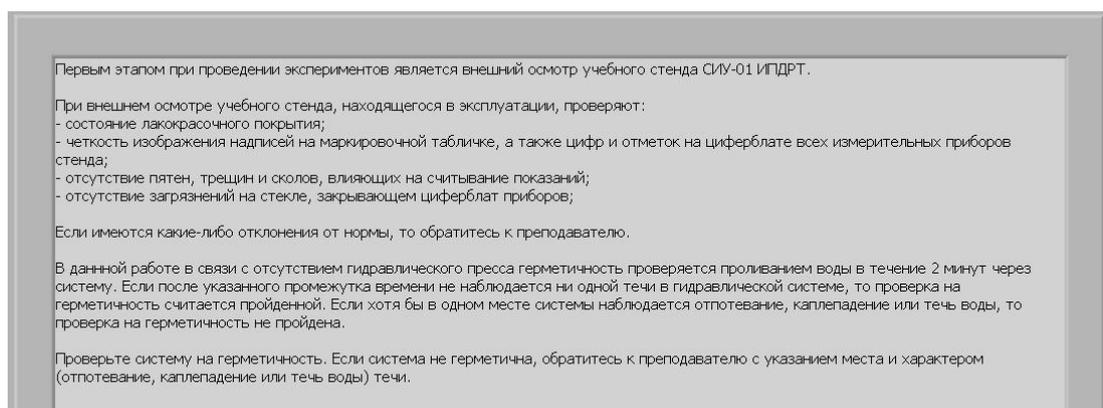


Рисунок 4.3 – Внешний осмотр

4.2.3 Третий раздел. Сравнение зависимости объемного и массового расходов от температуры воды

Ввод в таблицу производится вручную. В первую колонку запишите текущую температуру воды в баке. Во вторую колонку введите плотность воды при текущей температуре. С помощью клавиши "Измерить" получить данные об объемном и массовом расходах и запишите их в таблицу. Нажав клавишу "Рассчитать", вы получите объемный расход выраженный через массовый.

Плотность воды при различной температуре

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/л}$
20	0,99819
25	0,99702
30	0,99561
35	0,99399
40	0,99217
45	0,99017
50	0,98799
55	0,98565
60	0,98316

ГРАФИКИ

- Объемный расход
- Массовый расход
- Объемный расход и объемный, выраженный через массовый

Объемный расход, л/с

Температура, град

ОБЪЕМНЫЙ РАСХОД

Рисунок 4.4 – Сравнение зависимости объемного и массового расходов от температуры воды

Подпрограммы снятия, обработки и вывода данных являются одними из основополагающих. Они представляет собой case-структуру, к которой подведены начальные (или нулевые) значения с датчиков.

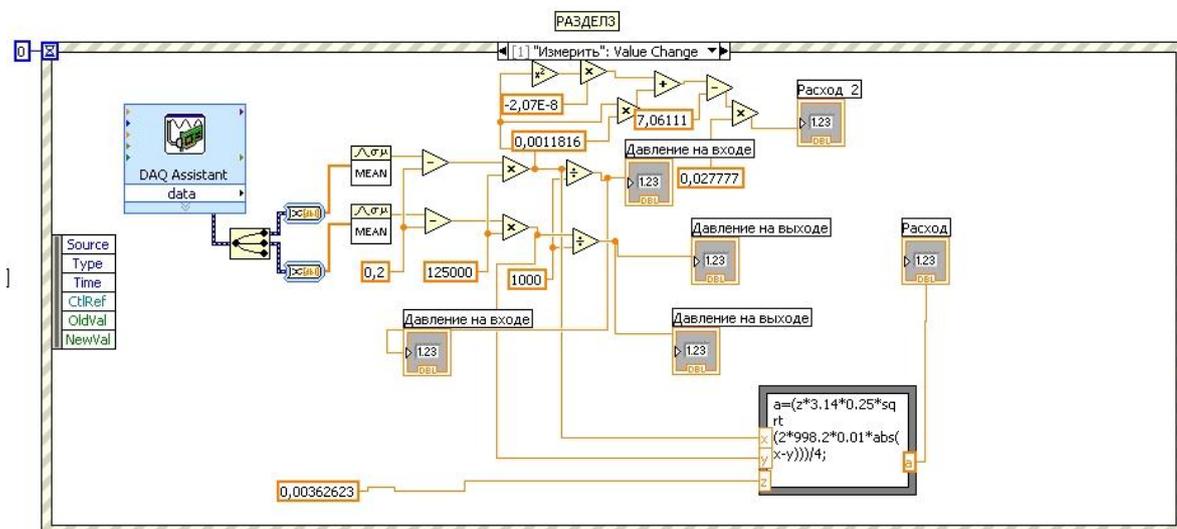


Рисунок 4.5 – Программа снятия, обработки и вывода данных

Подпрограмма работы с таблицей реализована event-структурой. Для очистки таблицы создается локальная переменная таблицы измерений, к которой подведена пара нулей. При вызове метода очистки, производится присвоение каждому значению в таблице измерений нулевого значения.

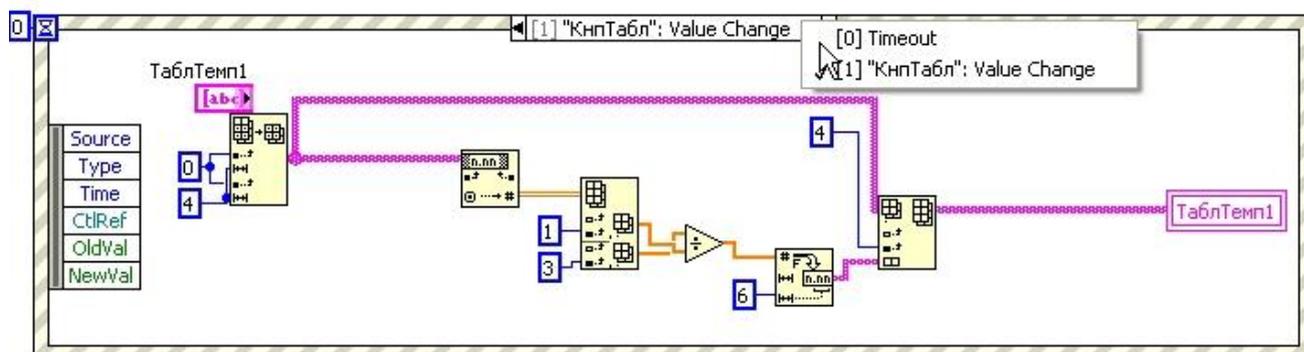


Рисунок 4.6 – Подпрограмма работы с таблицей

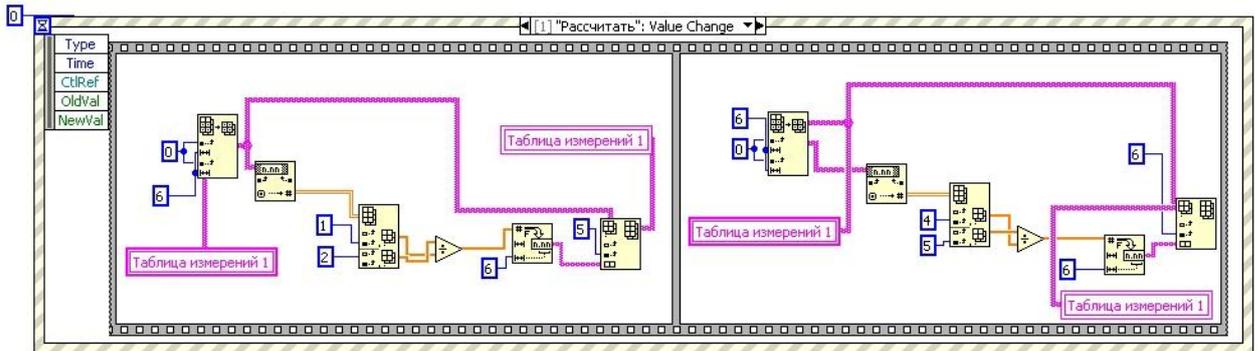


Рисунок 4.12 – Программа работы с таблицей

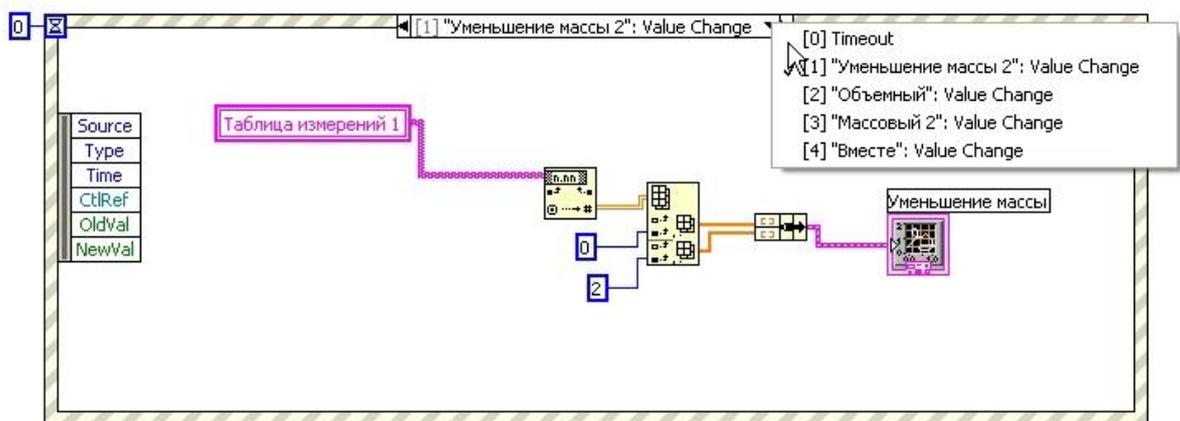


Рисунок 4.13 – Подпрограмма работы с графиком "Уменьшение массы"

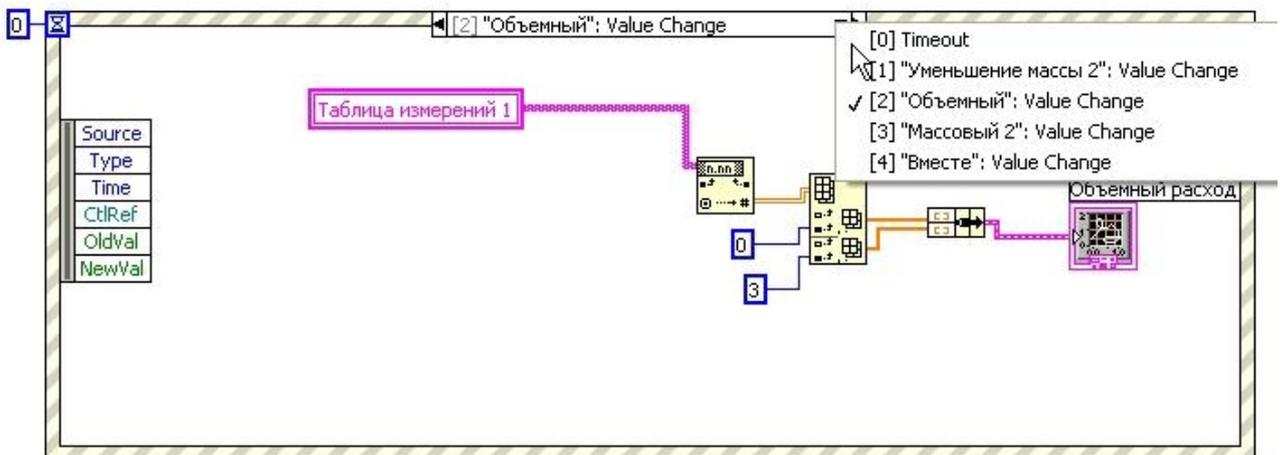


Рисунок 4.14 – Подпрограмма работы с графиком "Объёмный расход"

4.3 Проведение измерений в автоматизированном режиме

В процессе подготовки к работе было сформировано рабочее место для проведения исследования, связанного со сравнением объёмного и весового расходов жидкости при разной температуре.

Состав рабочего места:

1. Стенд СИУ–01 ИПДРТ:

- счётчик воды ВСВГ–15;
- микропроцессорный счётчик импульсов СИ8;
- стеклянная ёмкость;
- кухонные весы TEFAL BC5060 Easy;
- ёмкость для нагрева жидкости;
- термометр биметаллический БТ5.

2. Персональный компьютер с установленной средой программирования LabVIEW;

3. PCI–устройство сбора данных (DAQ) NI USB–6008 с блоком контактов SCB–68.

Создав программу в среде LabVIEW для проведения лабораторной работы, для выполнения эксперимента я использую четвёртый раздел (см. рисунки 4.1 и 4.10).

Таблица результатов измерения массового метода приведена в приложении Д.

На основании результатов эксперимента можно построить следующие графики:

На рисунке 4.17 представлен график изменения массы воды при увеличении температуры при постоянном объёме. При повышении температуры жидкости плотность уменьшается, что ведёт к увеличению объёма. Так как эксперимент проводился с ёмкостью имеющей постоянный объём, то образовавшийся в процессе нагревания воды объём вылился за пределы кромки ёмкости. Сухой тряпкой протёрли весы и банку и подождали некоторое время, чтобы лишняя

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						72
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

влага испарилась. При увеличении объёма масса воды не изменяется. Поэтому вместе с вылившейся водой вылилась некоторая масса воды.

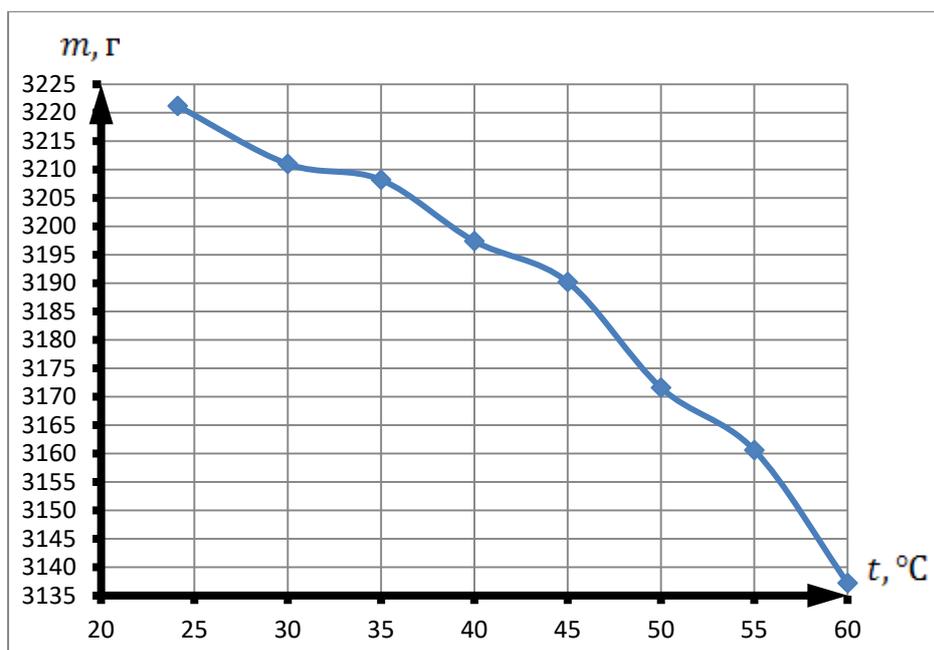


Рисунок 4.17 – График изменения массы воды при увеличении температуры при постоянном объёме

На рисунке 4.18 представлен график уменьшения массы при нагревании при постоянном объёме.

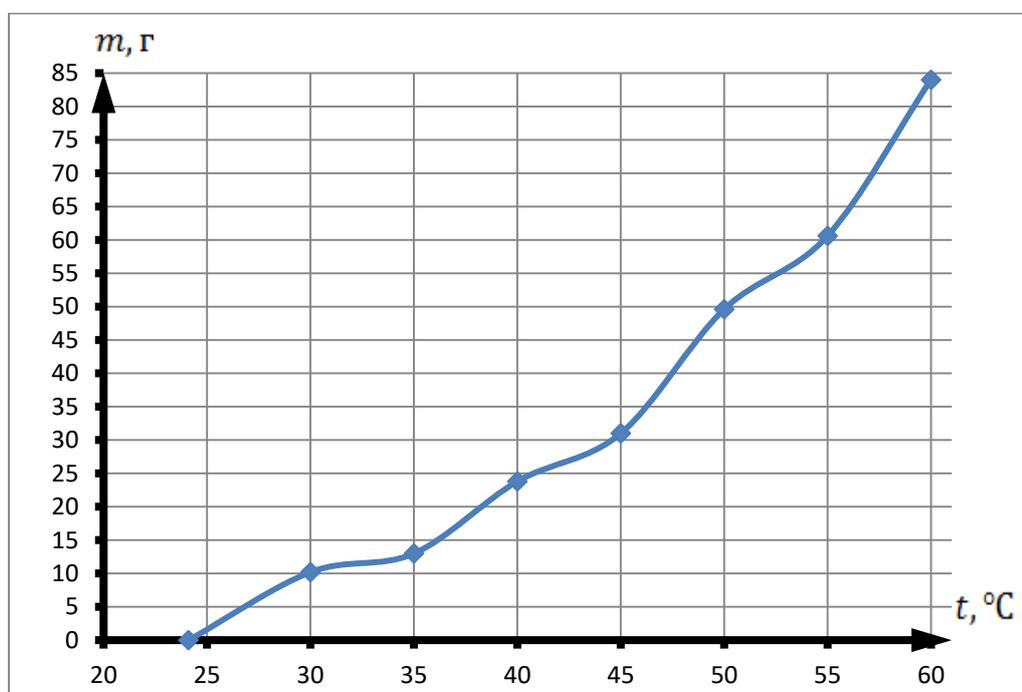


Рисунок 4.18 – График уменьшения массы при нагревании воды при постоянном объёме

На рисунке 4.19 изображён график уменьшения массы при нагревании воды при постоянном объёме в процентах.

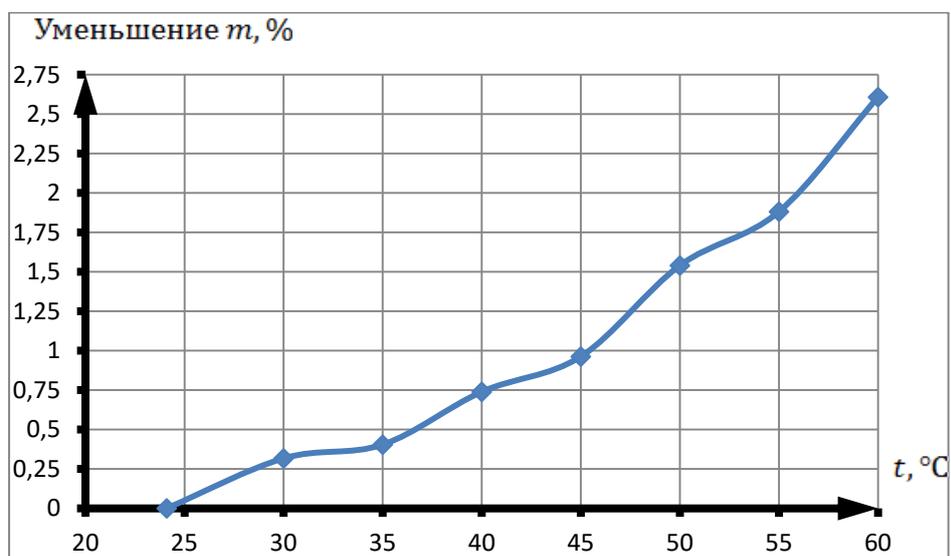


Рисунок 4.19 – График уменьшения массы при нагревании воды при постоянном объёме в процентах

На рисунке 4.20 представлен массовый расход воды при нагревании воды. Массовый расход воды находится при делении средней массы воды на среднее время заполнения ёмкости.

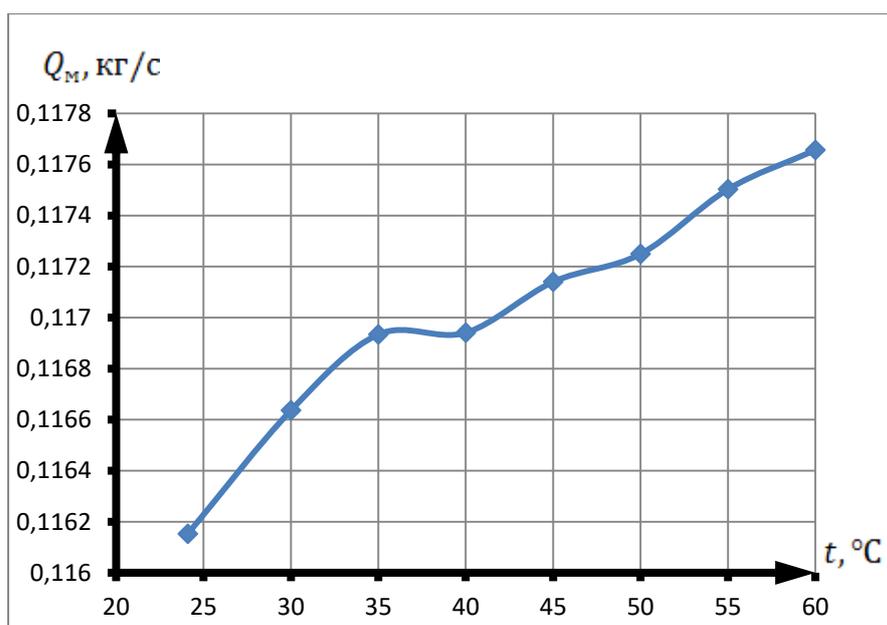


Рисунок 4.20 – График массового расхода воды

Исходя из графика массового расхода, можем получить график объёмного расхода, поделив значения массового расхода на плотность воды при разной температуре. Таблица плотностей воды при разной температуре приведена в приложении Г. На рисунке 4.21 представлен график объёмного расхода выраженного через массовый расход воды.

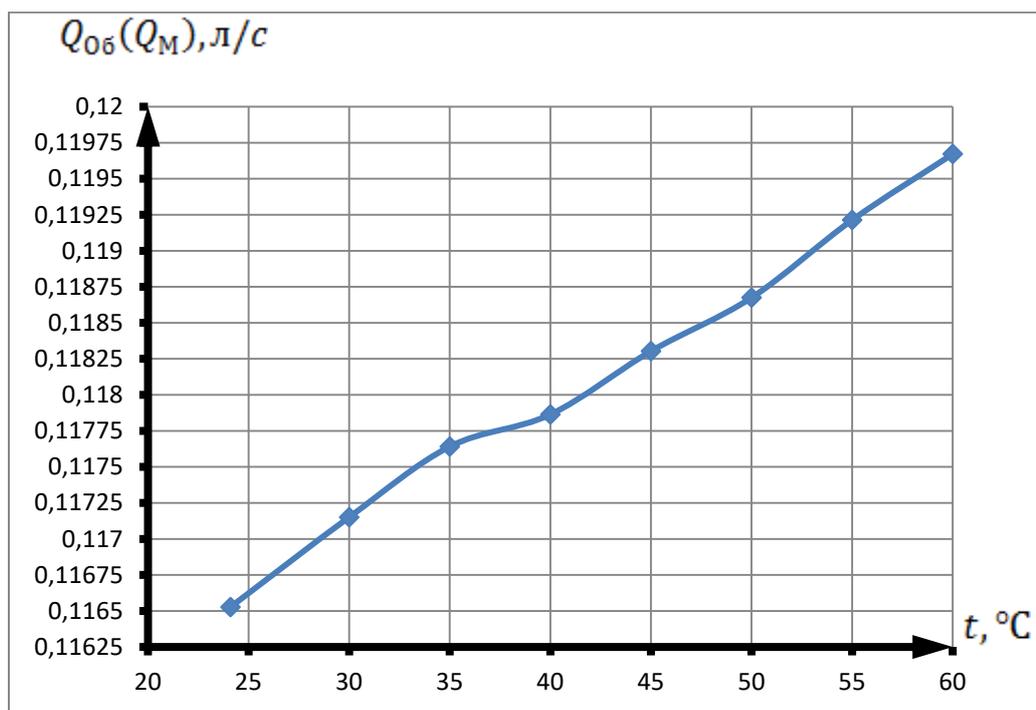


Рисунок 4.21 – График объёмного расхода выраженного через массовый расход

Так как мы имеем постоянный объём полной банки $V = 3,2212$ л, то можем найти объёмный расход воды, поделив массу на время заполнения ёмкости.

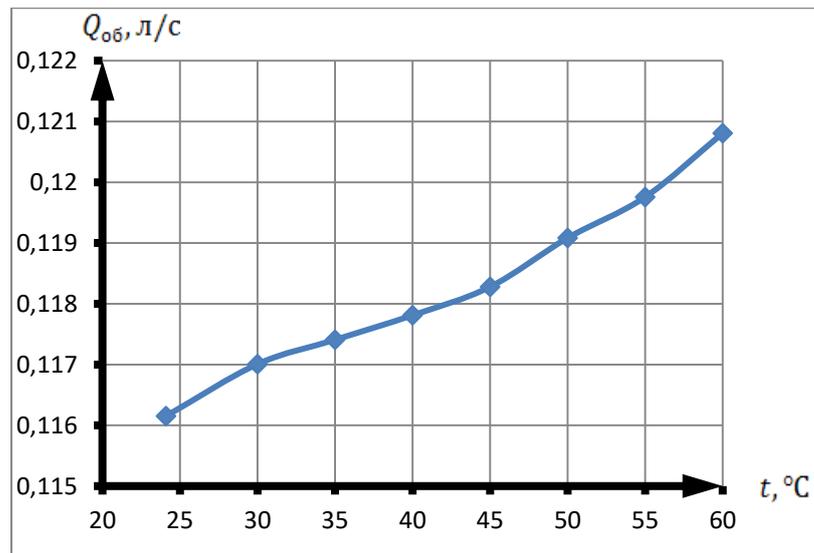


Рисунок 4.22 – График объёмного расхода при $V = 3,2212 \text{ л}$

Имея секундомер (счётчик импульсов “Овен” СИ8) и счётчик горячей воды крыльчатый ВСВГ–15 можем замерить объёмный расход воды при разной температуре. Один круг счётчика равен $0,001 \text{ м}^3 = 1 \text{ л}$. На рисунке 4.23 представлен график объёмного расхода измеренного с помощью счётчика.

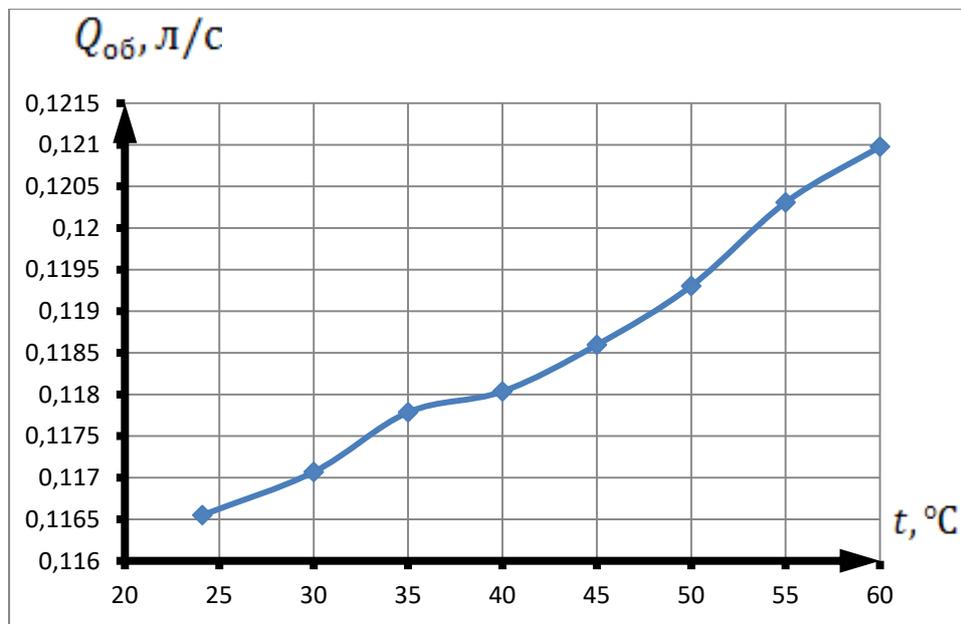


Рисунок 4.23 – График объёмного расхода воды измеренного с помощью счётчика

На рисунке 4.24 представлены три графика объёмного расхода воды полученные в результате эксперимента, где $Q_{об.счѐт}$ – объёмный расход воды, полученный с помощью секундомера (счѐтчик импульсов “Овен” СИ8) и счѐтчика горячей воды крыльчатый ВСВГ–15; $Q_{об}$ – объёмный расход воды, полученный при делении объёма на время заполнения ёмкости; $Q_{об}(Q_m)$ – объёмный расход воды, полученный при делении массового расхода воды на плотность воды при данной температуре.

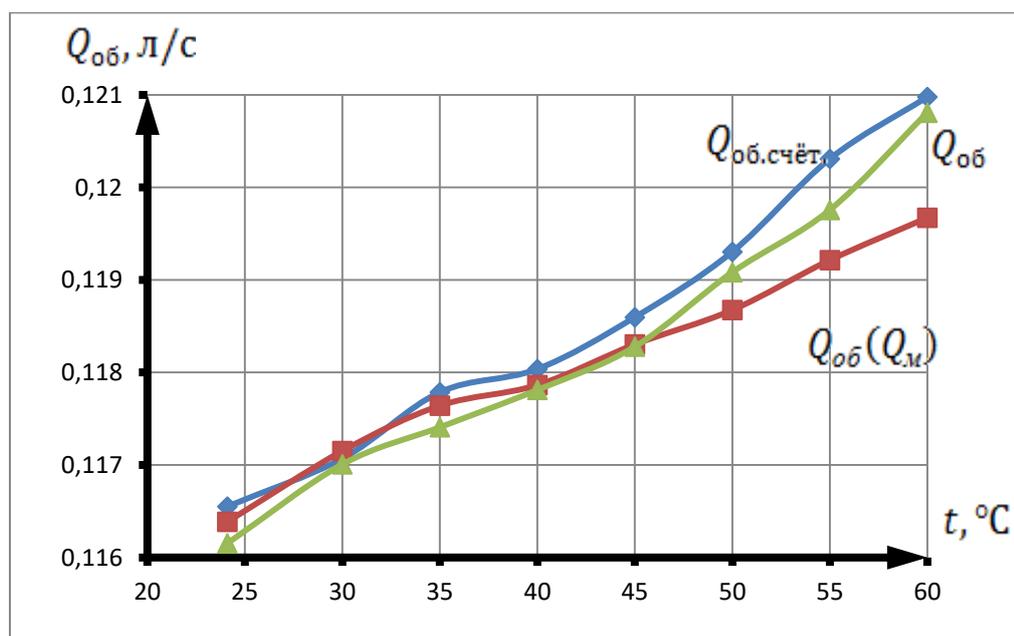


Рисунок 4.24 – Графики объёмного расхода

Таблица результатов измерения методом переменного перепада давления приведена в приложении Е.

На основании результатов эксперимента можно построить следующие графики:

На рисунке 4.25 представлен график зависимости входного и выходного давления от температуры воды. Как можно заметить входное давление увеличивается, а выходное давление уменьшается.

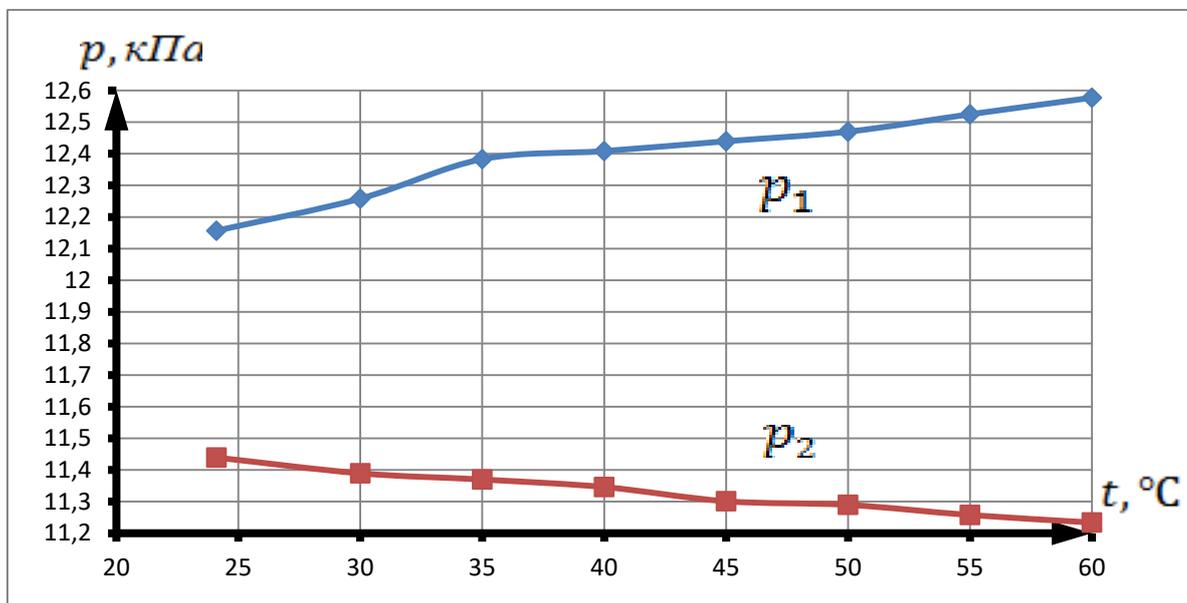


Рисунок 4.25 – График зависимости входного и выходного давления от температуры воды

На рисунке 4.26 представлен график зависимости разности давления в диафрагме от температуры воды. Из-за того, что входное давление увеличивается, а выходное уменьшается, разность давлений увеличивается. Из формулы 9 следует, что объёмный расход будет увеличиваться.

$$Q_{об} = \alpha \varepsilon \sqrt{2} \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \quad (9)$$

где α – коэффициент расхода;

ε – поправочный множитель на расширение поправочной среды;

d – диаметр отверстия сужающего устройства при температуре t ;

ρ – плотность измеряемой среды в рабочих условиях;

Δp – перепад давления среды при течении через сужающее устройство.

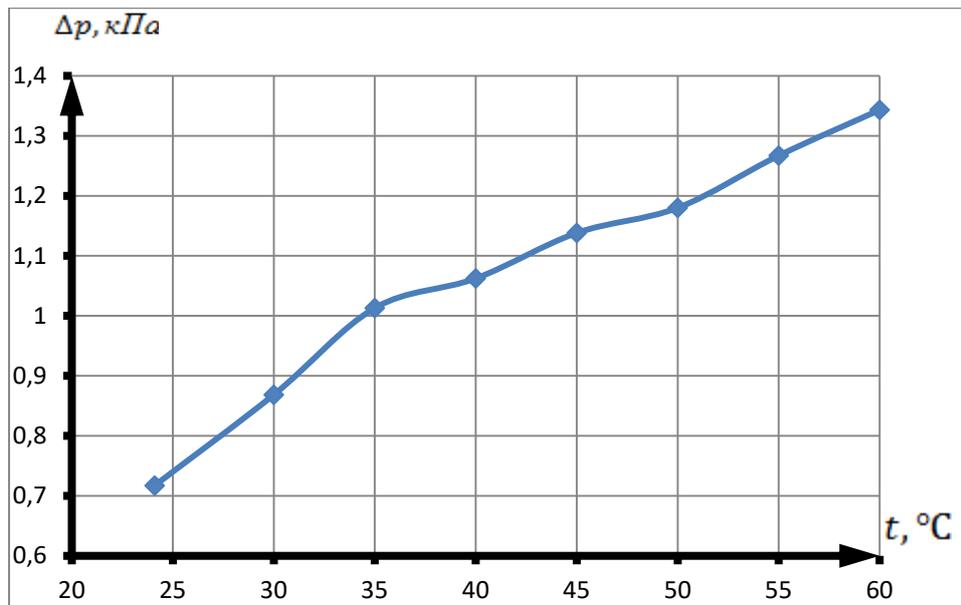


Рисунок 4.26 – График зависимости входного и выходного давления от температуры воды

На рисунке 4.27 представлен объёмный расход измеренный методом переменного перепада давления от температуры воды.

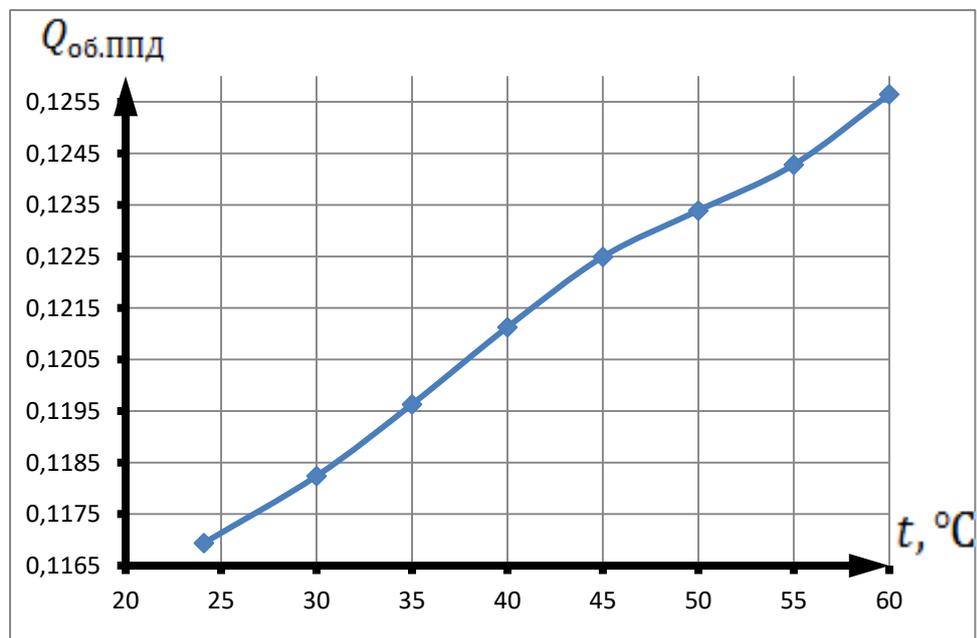


Рисунок 4.27 – График зависимости объёмного расхода измеренного методом переменного перепада давления от температуры воды

4.4 Сравнения результатов проведенных экспериментов

В ходе экспериментов с помощью измерительных приборов мы нашли:

- массовый расход, полученный с помощью секундомера (микропроцессорный счётчик импульсов СИ8), кухонных весов и ёмкости в виде трёхлитровой банки;
- объёмный расход, с помощью секундомера (микропроцессорный счётчик импульсов СИ8) и счётчика горячей воды ВСВГ–15;
- объёмный расход, измеренный методом переменного перепада давления.
- объёмный расход, полученный с помощью программы SolidWorks.

Таблица 10 – Результаты всех экспериментов

$t, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{об}}(Q_{\text{м}})$	$Q_{\text{об.счѐт.}}$	$Q_{\text{об.ппд.}}$	$Q_{\text{об.расчѐт.}}$
24,1	0,11652701	0,116550117	0,1169378	0,116323
30	0,117150688	0,117068602	0,1182384	0,116746
35	0,117640978	0,11778563	0,1196296	0,117135
40	0,117863844	0,118035883	0,1211268	0,117587
45	0,11830326	0,118595825	0,1224924	0,117956
50	0,118674823	0,119303269	0,1233906	0,118328
55	0,119213879	0,120307988	0,1242804	0,118773
60	0,119672043	0,120977498	0,1256474	0,119157

На рисунке 4.28 представлен график объёмных расходов: $Q_{\text{об.ппд.}}$ – объёмный расход, найденный по методу переменного перепада давления; $Q_{\text{об.счѐт.}}$ – объёмный расход, полученный с помощью счётчика горячей воды ВСВГ–15; $Q_{\text{об}}(Q_{\text{м}})$ – объёмный расход выраженный через массовый, который был получен с помощью ёмкости, весов и секундомера; $Q_{\text{об.расчѐт.}}$ – объёмный расход, полученный с помощью программы SolidWorks.

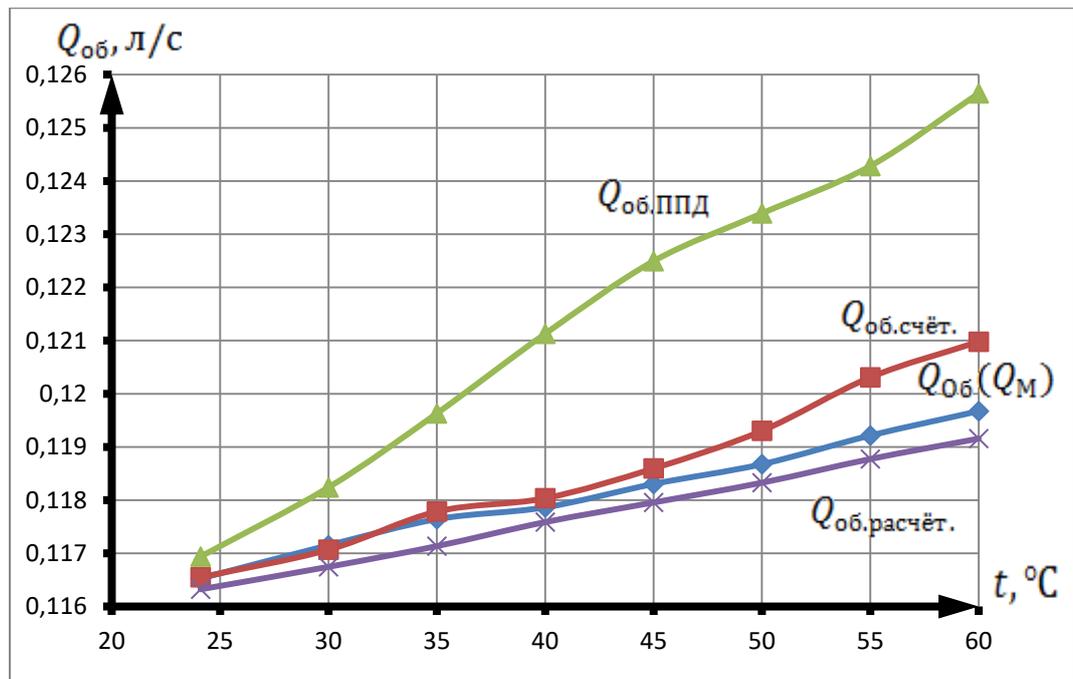


Рисунок 4.28 – График зависимости объёмных расходов от температуры воды

Так как с помощью программы SolidWorks нашли расчётные данные, то можем найти абсолютную и относительную погрешность измерений и построить соответствующий график.

Абсолютная погрешность измерения для каждого опыта рассчитывается по формуле 10.

$$\Delta Q = |Q_{\text{изм}} - Q_{\text{об.расчѐт.}}|, \quad (10)$$

где ΔQ – абсолютная погрешность измерения расхода;

$Q_{\text{изм}}$ – измеренное значение расхода;

$Q_{\text{об.расчѐт.}}$ – расчётное значение расхода (в качестве него используем значения полученные с помощью программы SolidWorks).

Так же рассчитана относительная погрешность по формуле 10. Результаты представлены в таблице 11.

$$\delta_Q = \frac{\Delta Q}{Q_{\text{Об.расчѐт.}}} \cdot 100\%, \quad (11)$$

где δ_Q – относительная погрешность измерения расхода

ΔQ – абсолютная погрешность измерения расхода;

$Q_{\text{Об.расчѐт.}}$ – расчѐтное действительное значение расхода.

Таблица 11 – Результаты расчѐта абсолютной и относительной погрешности

$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta Q_{\text{Об}}(Q_M)$	$\Delta Q_{\text{Об.счѐт.}}$	$\Delta Q_{\text{Об.ППД.}}$	$\delta_{Q_{\text{Об}}}(Q_M)$	$\delta_{Q_{\text{Об.счѐт.}}}$	$\delta_{Q_{\text{Об.ППД.}}}$
24,1	0,00020401	0,000227117	0,0006148	0,175382341	0,195246856	0,528528322
30	0,000404688	0,000322602	0,0014924	0,346639714	0,276328097	1,278330735
35	0,000505978	0,00065063	0,0024946	0,431961412	0,55545311	2,12967943
40	0,000276844	0,000448883	0,0035398	0,235437591	0,381745431	3,010366792
45	0,00034726	0,000639825	0,0045364	0,294397911	0,542426837	3,845840822
50	0,000346823	0,000975269	0,0050626	0,293103069	0,824208133	4,278446353
55	0,000440879	0,001534988	0,0055074	0,371194632	1,292371162	4,63691243
60	0,000515043	0,001820498	0,0064904	0,432238979	1,527814564	5,446931359

На рисунке 4.29 представлен график зависимости относительной погрешности измерения от температуры воды.

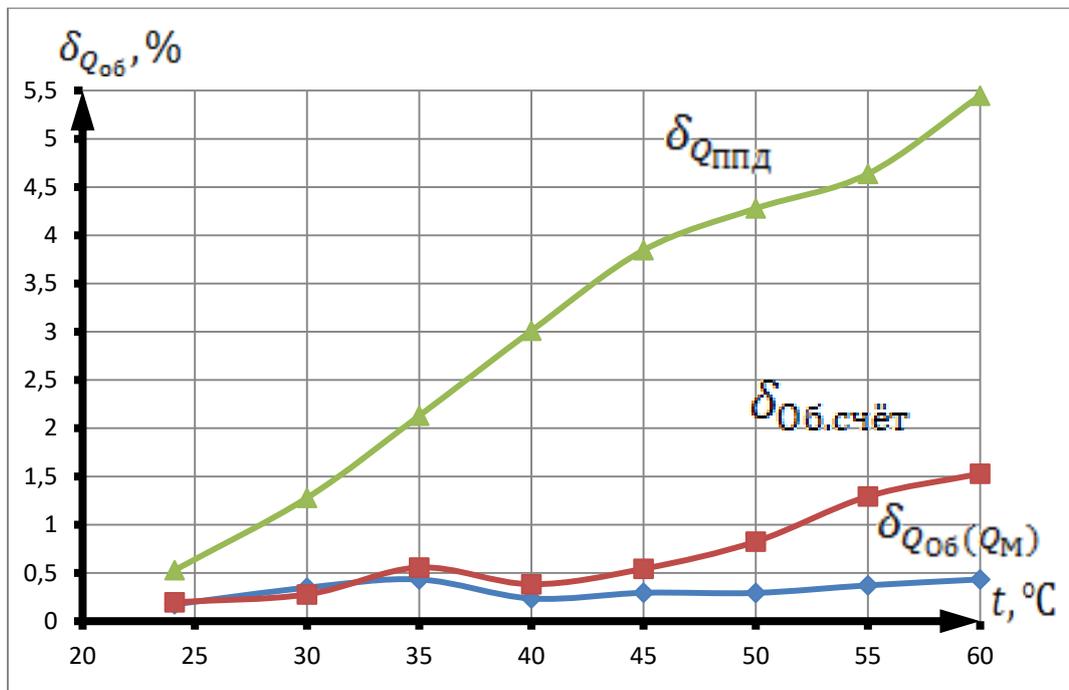


Рисунок 4.29 – График зависимости относительных погрешностей объёмных расходов от температуры воды

Проведя ряд экспериментов и получив данный график (рисунок 4.29), можно сделать вывод о том, что наиболее точным методом измерения расхода жидкости является массовый метод, так как массовый метод измеряют количество вещества. Измерять надо не объём жидкости, а её массу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были подробно проанализированы виды расхода и современные расходомеры. Так же был модифицирован учебный стенд СИУ–01 ИПДРТ, с помощью которого теперь расход можно измерять весовым методом. Для автоматизации измерений был разработан программный модуль в программе LabVIEW.

В результате моделирования проточной части стенда был сделан вывод, что при росте температуры объёмный и массовый расход увеличиваются. Для автоматизации

При измерении объёмного расхода жидкости методом переменного перепада давления была замечена закономерность, что с ростом температуры входное давление диафрагмы растёт, а выходное давление падает. Делаем вывод, что объёмный расход увеличивается, так как разность давлений увеличивается.

По итогам всей работы было выполнено методическое пособие к лабораторной работе для студентов, которое позволит повысить уровень подготовки специалистов.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						84
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Андронов, И.В. Измерение расхода жидкостей и газов / И.В. Андронов – М.: ЭНЕРГОИЗДАТ, 1981. – 90 с.

2 Кремлёвский, П.П. Расходомеры и счётчики количества веществ: Справочник / П.П. Кремлёвский – СПб.: ПОЛИТЕХНИКА, 2002. – 409 с.

3 Преображенский, В.П. Теплотехнические измерения и приборы / В.П. Преображенский – М.: ЭНЕРГИЯ, 1978. – 704 с.

4 Сутулов, А.Н. СТЕНД УЧЕБНЫЙ СИУ–01 “Измерительные преобразователи давления и расхода газа и жидкости в условиях генерации влияющих воздействий”: Техническое описание / А.Н. Сутулов – Челябинск: Изд–во ЮУрГУ, 2011. – 30 с.

5 Форенталь, М.В. Стенд учебный СИУ–01 “Измерительные преобразователи давления и расхода газа и жидкости в условиях генерации влияющих воздействий”: Руководство по эксплуатации СИУ–01–00–000–000 РЭ / М.В. Форенталь, С.Б. Сапожников – Челябинск: Изд–во Учтех–Профи, 2011. – 19 с.

6 Дударева, Н.Ю. SolidWorks 2009 на примерах / Н.Ю. Дударева, С.А. Загайко – СПб: БХВ –Петербург, 2009. – 544 с.

7 SolidWorks. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>

8 ГОСТ 8.586.1–2005 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. – М.: Стандартинформ, 2007. – 72 с.

9 Хлебнова, В.И. Методы и средства измерения расхода жидкости и газа: перспективы применения ультразвуковых преобразователей с широким измерительным лучом / В.И. Хлебнова – СПб: СПбГУ, 2016. – 52 с.

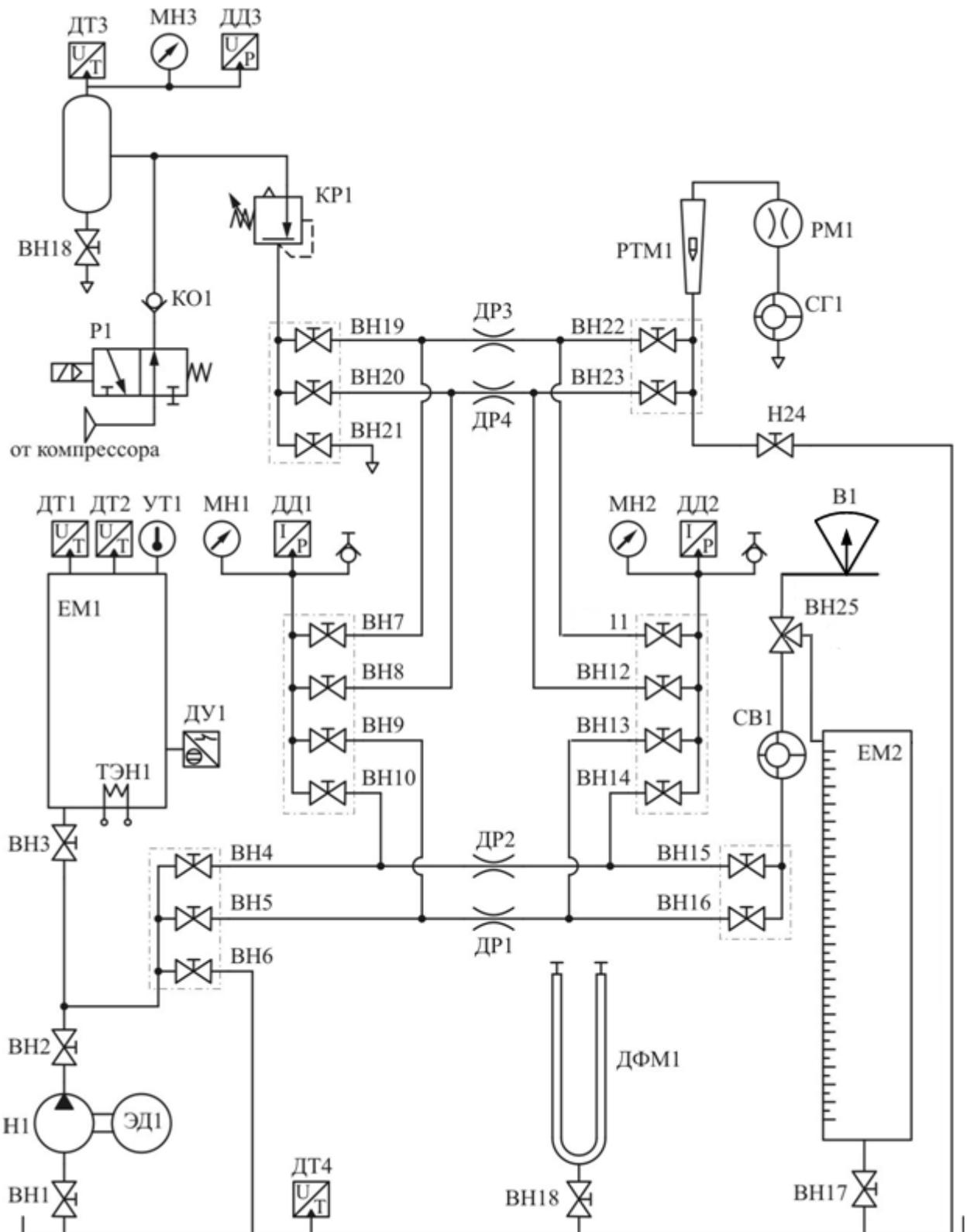
10 ГОСТ 5717.2–2003 “Банки стеклянные для консервов. Основные параметры и размеры”. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и стандартизации, 2004. – 14 с.

11 LabVIEW. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						85
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Схема станда гидropневматическая



Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б1 – Технические характеристики приборов стенда

Прибор	Техническая характеристика	Значение
Компрессор PRESTIGE 6 BEA	Напряжение питания, В	220
	Максимальное эксплуатационное давление, атм	8
	Производительность, л/мин	160
	Объём ресивера, л	6
	Время заполнения ресивера, с	30
Насос WCP 25–40G (позиция 3)	Присоединение	1"
	Напор, м вод.ст.	0,5–4,0
	Производительность, м ³ /ч	0,5–2,5
	Максимальное давление, атм	10
	Мах темп.жидкости, °С	110
	Питание	230В, 50Гц
	Мощность, кВт	0,065
	Монтажная длина, мм	180
Преобразователь избыточного давления измерительный ПД100–ДИ	Выходной сигнал постоянного тока, мА	4–20
	Вид статической характеристики преобразования	Линейная, возрастающая
	Предел допускаемой основной погрешности γ , выраженный в % от верхнего предела измерения давления 0,1 МПа	$\pm 0,5$
	Погрешность входного сигнала	$\pm 0,1\%$
	Дополнительная погрешность, %	$ \gamma = 0,5$ $\pm 0,4$

Продолжение таблицы Б1

Прибор	Технические характеристика	Значение
Одноканальный измеритель–регулятор ТРМ1 (позиция 19)	Выходной сигнал постоянного тока	4–20 мА
	Предел основной приведённой погрешности при измерении: термометрами сопротивления, %	±0,25
Термометр биметаллический БТ5 (позиция 16)	Диапазон измерения температур, °С	0 ..+100
	Чувствительный элемент	Биметаллическая спираль
	Класс точности	1,5
Манометр ТМ5 (позиция 23, 33)	Чувствительный элемент	Трубчатая пружина
Манометры МН1 и МН (позиции 23 и 33)	Измерение давления жидкости	до 1,0 атм
	Класс точности	1,0
Счётчик воды ВСВГ–15 (позиция 39)	Номинальное давление	до 1,0 МПа (10 кгс/см ²)
	Диапазон температур, °С	+5 ..+90
	Диаметр условного прохода, мм	15
	Расход воды, м ³ /ч	
	минимальный $q_{\text{мин}}$	0,06 (класс А); 0,03 (класс В)
	переходный q_t	0,15 (класс А); 0,12 (класс В)
номинальный q_n	1,5	
максимальный $q_{\text{макс}}$	3,0	

Продолжение таблицы Б1

Прибор	Техническая характеристика	Значение
Счётчик воды ВСВГ–15 (позиция 39)	Порог чувствительности, м ³ /ч, не более, %	0,03 (класс А), 0,015 (класс В)
	Пределы относительной погрешности измерения не более, % при расходе $q_{\min} \leq q < q_t$ при расходе $q_t \leq q \leq q_{\max}$	± 5 ± 2
	Падение давления Q_{\max} , МПа, не более	0,1
	Резьбовое соединение, дюйм	3/4
	Масса счетчика в упаковке, кг, не более	0,55
	Срок службы счетчика, лет, не менее	12
	Передаточный коэффициент К, м ³ /имп	1481×10^{-51}
	Габаритные размеры, мм, не более	110x80x7 8
	Микропроцессорный счётчик импульсов СИ8 (позиция 14)	Напряжение питания, В
Количество счётных разрядов		7
Дискретность отсчёта времени, с		0,01
Термометр сопротивления ДТС025–50М	Диапазон измерений температур, °С	–50..+180

Таблица Б2 – Основные характеристики УСД USB–6008

Характеристика	USB–6008
Разрешение при аналоговом вводе	12 бит* 11 бит**
Максимальная частота дискретизации, один канал	10 кГц
Максимальная частота дискретизации, несколько каналов	10 кГц
Конфигурация цифрового ввода/вывода	Открытый коллектор
* дифференциальное подключение, ** подключение с общим проводом	

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г1 – Плотность воды при различных температурах

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/л}$
0,01	0,99978
1	0,99985
4	0,99995
5	0,99994
10	0,99969
15	0,99909
20	0,99819
25	0,99702
30	0,99561
35	0,99399
40	0,99217
45	0,99017
50	0,98799
55	0,98565
60	0,98316
65	0,98053
70	0,97775
75	0,97484
80	0,97179
85	0,96991
90	0,96533
95	0,96192
100	0,95839

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

В таблице Д1 представлены экспериментальные данные, полученные в ходе работы с учебным стендом.

В 1 колонке показана температура воды $t_{\text{воды}}$ при которой проводилось исследование.

В 3 колонке представлено среднее время $t_{\text{сред}}$ заполнения нашей ёмкости.

В 5 колонке представлено среднее значение массы воды $m_{\text{сред}}$.

В 6 колонке рассчитан массовый расход $Q_m = \frac{m_{\text{сред}}}{t_{\text{сред}}}$.

В 7 колонке расчитан объёмный расход $Q_{\text{об}}$, выраженный через массовый Q_m . Объёмный расход находится при делении массового расхода на плотность воды ρ при данной температуре.

В 8 колонке рассчитан объёмный расход $Q_{\text{об}}$, полученный при делении массы $m = 3,2262$ кг жидкости при комнатной температуре $t = 24,1^\circ\text{C}$ на время заполнения нашей ёмкости.

В 10 колонке показано среднее значение времени $t_{\text{сред.счёт}}$, за которое проходит $0,001 \text{ м}^3 = 1$ л воды. Использовали счётчик воды ВСВГ–15.

В 11 колонке рассчитан объёмный расход $Q_{\text{об}}$, который был найден при делении одного оборота счётчика воды ВСВГ–15 на время $t_{\text{сред.счёт}}$.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.1382 ВКР	Лист
						93
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

Таблица Д1 – Результаты эксперимента

$t_{\text{воды}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{время наполн.ёмк.}}, \text{с}$	$t_{\text{сред.}}, \text{с}$	$m, \text{кг}$	$m_{\text{сред.}}, \text{кг}$	$Q_{\text{М}}, \text{кг/с}$	$Q_{\text{об}}(Q_{\text{М}}), \text{л/с}$	$Q_{\text{об}}, \text{л/с}$	$t_{\text{счётчик}}, \text{с}$	$t_{\text{сред.счёт.}}, \text{с}$	$Q_{\text{об.счёт.}}, \text{л/с}$
24,1	27,69	27,726	3,222	3,2212	0,116179759	0,11652701	0,116179759	8,55	8,58	0,116550117
	27,77		3,22					8,6		
	27,72		3,223					8,64		
	27,75		3,22					8,61		
	27,70		3,221					8,5		
30	27,55	27,530	3,21	3,211	0,116636397	0,117150688	0,117006902	8,57	8,542	0,117068602
	27,54		3,212					8,55		
	27,50		3,211					8,53		
	27,50		3,213					8,56		
	27,56		3,209					8,5		
35	27,46	27,436	3,209	3,2082	0,116933955	0,117640978	0,117407785	8,46	8,49	0,11778563
	27,46		3,208					8,49		
	27,45		3,206					8,55		
	27,40		3,208					8,5		
	27,41		3,21					8,45		
40	27,36	27,342	3,199	3,1974	0,11694097	0,117863844	0,117811426	8,48	8,472	0,118035883
	27,35		3,195					8,51		
	27,35		3,194					8,46		
	27,32		3,199					8,43		
	27,33		3,2					8,48		

Продолжение таблицы Д1

$t_{\text{воды}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{время наполн.ёмк.}}, \text{с}$	$t_{\text{сред.}}, \text{с}$	$m, \text{кг}$	$m_{\text{сред.}}, \text{кг}$	$Q_M, \text{кВт/с}$	$Q_{\text{об}}(Q_M), \text{л/с}$	$Q_{\text{об}}, \text{л/с}$	$t_{\text{счётчик}}, \text{с}$	$t_{\text{сред.счёт.}}, \text{с}$	$Q_{\text{об.счёт.}}, \text{л/с}$
45	27,20	27,234	3,186	3,1902	0,117140339	0,118303260	0,118278622	8,46	8,432	0,118595825
	27,26		3,194					8,41		
	27,19		3,19					8,46		
	27,24		3,193					8,4		
	27,28		3,188					8,43		
50	27,01	27,050	3,174	3,1716	0,117249538	0,118674823	0,119083179	8,36	8,382	0,119303269
	27,03		3,167					8,39		
	27,05		3,176					8,37		
	27,09		3,17					8,4		
	27,07		3,171					8,39		
55	26,89	26,898	3,166	3,1606	0,117503160	0,119213879	0,119756116	8,3	8,312	0,120307988
	26,91		3,153					8,33		
	26,88		3,165					8,3		
	26,94		3,161					8,32		
	26,87		3,158					8,31		
60	26,68	26,664	3,14	3,1372	0,117656766	0,119672043	0,120807081	8,28	8,266	0,120977498
	26,69		3,135					8,26		
	26,65		3,132					8,28		
	26,63		3,142					8,23		
	26,67		3,137					8,28		

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

В таблице Е1 представлены экспериментальные данные, полученные в ходе работы с методом переменного перепада давления.

В 1 колонке показана температура воды $t_{\text{воды}}$ при которой проводилось исследование.

В 3 колонке представлено среднее входное давление $p_{1.\text{сред.}}$.

В 5 колонке представлено среднее выходное давление $p_{2.\text{сред.}}$.

В 6 колонке рассчитана разность Δp между входным и выходным давлением.

В 8 колонке получен $Q_{\text{Об.су.}}$ объёмный расход полученный методом переменного перепада давления.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.1382 ВКР	Лист
						96
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

Таблица Е1 – Результаты эксперимента

$t_{\text{воды}}, ^\circ\text{C}$	$p_1, \text{кПа}$	$p_{1.\text{сред.}}, \text{кПа}$	$p_2, \text{кПа}$	$p_{2.\text{сред.}}, \text{кПа}$	$\Delta p, \text{кПа}$	$Q_{\text{Об.су.}}, \text{л/с}$	$Q_{\text{СУ.сред.}}, \text{л/с}$
24,1	12,1909	12,15644	11,4645	11,43938	0,71706	0,116645	0,1169378
	12,1584		11,3873			0,11792	
	12,1829		11,449			0,117439	
	12,1304		11,4662			0,117391	
	12,1196		11,4299			0,115294	
30	12,2806	12,25796	11,3445	11,3896	0,86836	0,120214	0,1190384
	12,2373		11,4012			0,119403	
	12,2622		11,4133			0,117992	
	12,2393		11,4158			0,117559	
	12,2704		11,3732			0,120024	
35	12,4729	12,38296	11,3521	11,37002	1,01294	0,121788	0,1211296
	12,32		11,3524			0,120658	
	12,3458		11,3515			0,12145	
	12,498		11,3967			0,121586	
	12,2781		11,3974			0,120166	
40	12,3965	12,40848	11,3012	11,34618	1,0623	0,122333	0,1224268
	12,4109		11,3127			0,122911	
	12,4041		11,3496			0,122515	
	12,416		11,3936			0,123105	
	12,4149		11,3738			0,12127	

Продолжение таблицы Е1

$t_{\text{воды}}, ^\circ\text{C}$	$p_1, \text{кПа}$	$p_{1.\text{сред.}}, \text{кПа}$	$p_2, \text{кПа}$	$p_{2.\text{сред.}}, \text{кПа}$	$\Delta p, \text{кПа}$	$Q_{\text{об.су.}}, \text{л/с}$	$Q_{\text{СУ.сред.}}, \text{л/с}$
45	12,4272	12,43952	11,2885	11,30134	1,13818	0,123129	0,1233924
	12,4223		11,3509			0,123223	
	12,4213		11,3407			0,123388	
	12,4322		11,2738			0,123034	
	12,4946		11,2528			0,124188	
50	12,4672	12,46986	11,2675	11,28988	1,17998	0,124129	0,1242906
	12,4831		11,2241			0,124377	
	12,4818		11,2178			0,124253	
	12,4525		11,3668			0,124412	
	12,4647		11,3732			0,124282	
55	12,5537	12,52486	11,2674	11,25782	1,26704	0,127111	0,1256804
	12,5009		11,2591			0,125306	
	12,5092		11,2827			0,126295	
	12,5328		11,2354			0,124892	
	12,5277		11,2445			0,124798	
60	12,5834	12,577242	11,2294	11,23406	1,343182	0,126952	0,1269474
	12,5769		11,2398			0,126852	
	12,57351		11,2352			0,126999	
	12,5811		11,2485			0,126891	
	12,5713		11,2174			0,127043	

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

План–проект лабораторной работы

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
Южно–Уральский государственный университет (НИУ)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Информационно–измерительная техника»

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Оценка влияния температуры на точность измерения расхода жидкости
методом переменного перепада давления с использованием взвешивающего
устройства

Челябинск 2017

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						99
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

ОГЛАВЛЕНИЕ

1	Теоретические основы метода переменного перепада давления.....	3
2	Лабораторный стенд СИУ–01 ИПДРТ.....	5
2.1	Основные технические данные и характеристики.....	5
2.2	Комплектность.....	6
2.3	Меры безопасности.....	7
2.4	Состав и устройство стенда.....	8
3	Порядок проведения работы.....	19
3.1	Раздел первый. Общие положения.....	19
3.2	Раздел второй. Внешний осмотр.....	20
3.3	Раздел третий. Сравнение зависимости объёмного и массового расходов от температуры воды.....	21
3.4	Раздел четвёртый. Изучение расхода зависимости расхода воды с помощью взвешивающего устройства.....	23
4	Требования к оформлению отчёта по лабораторной работе.....	27

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						10
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		0

1 Теоретические основы метода переменного перепада давления

Измерение расхода играет жизненно важную роль в промышленности. Несмотря на большую потребность в качественных датчиках расхода, точность этих устройств до сих пор оставляет желать лучшего.

Расходом вещества называют количество вещества (массы или объём), проходящее через определённое сечение канала (трубопровода) в единицу времени, а приборы или комплекты приборов, определяющие расход вещества, называют расходомерами. Расходомер может быть снабжён счётчиком (интегратором), показывающим массу или объём вещества, прошедшего через прибор за какой-либо промежуток времени.

Одним из наиболее распространенных и изученных является способ измерения расхода жидкостей, газов и пара в трубопроводах по перепаду давления в сужающем устройстве. Сужающее устройство выполняет функции первичного преобразователя, устанавливается в трубопроводе и создает в нем местное сужение, вследствие чего при протекании вещества повышается скорость в суженном сечении по сравнению со скоростью потока до сужения. Увеличение скорости, а, следовательно, и кинетической энергии вызывает уменьшение потенциальной энергии потока в суженном сечении. Соответственно статическое давление в суженном сечении будет меньше, чем в сечении до сужающего устройства. Таким образом, при протекании вещества через сужающее устройство создается перепад давления, зависящий от скорости потока и, следовательно, расхода жидкости. Отсюда следует, что перепад давления, создаваемый сужающим устройством, может служить мерой расхода вещества, протекающего в трубопроводе, а численное значение расхода вещества может быть определено по перепаду давления, измеренному дифманометром.

В качестве сужающих устройств широко применяют диафрагмы, сопла, сопла Вентури и трубы Вентури. В лабораторной работе используется диафрагма.

Диафрагма представляет собой тонкий диск с отверстием круглого сечения, центр которого лежит на оси трубы. Сужение потока начинается до диафрагмы, и

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						10
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		1

на некотором расстоянии за диафрагмой поток достигает минимального сечения. Далее поток постепенно расширяется до полного сечения трубопровода. Но давление за диафрагмой полностью не восстанавливается. И происходит это по нижеследующей причине.

При протекании вещества через диафрагму за ней в углах образуется мертвая зона, в которой вследствие разности давлений возникает обратное течение жидкости или так называемый вторичный поток. Вследствие вязкости жидкости струйки основного и вторичного потоков, двигаясь в противоположных направлениях, свертываются в виде вихрей. На вихреобразования за диафрагмой тратится значительное количество энергии, а, следовательно, имеет место и значительная потеря давления. Также изменение направления струек перед диафрагмой и сжатие струи после диафрагмы имеют незначительное влияние.

Отбор давлений осуществляется с помощью двух отдельных отверстий, расположенных непосредственно до и после диска диафрагмы в углах, образуемых плоскостью диафрагмы и внутренней поверхностью трубопровода.

Объёмный и массовый расходы вычисляются по формулам 1 и 2.

$$Q_{об} = \alpha \varepsilon \sqrt{2} \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

$$Q_M = \alpha \varepsilon \sqrt{2} \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\Delta p \cdot \rho} \quad (2)$$

где α – коэффициент расхода;

ε – поправочный множитель на расширение поправочной среды;

d – диаметр отверстия сужающего устройства при температуре t ;

ρ – плотность измеряемой среды в рабочих условиях;

Δp – перепад давления среды при течении через сужающее устройство.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						10
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		2

2 Лабораторный стенд СИУ–01 ИПДРТ

Стенд учебный СИУ–01 “Измерительные преобразователи давления и расхода газа и жидкости в условиях генерации влияющих воздействий” предназначен для проведения лабораторных работ по изучению приборов измерения давления, расхода и температуры в жидкости и в газах.

Область применения стендов – средние специальные и высшие учебные заведения, комбинаты и центры повышения квалификации сотрудников, специализирующихся на обучении соответствующих специальностей.

К обслуживанию стендов допускается персонал после ознакомления с настоящим руководством по эксплуатации.

2.1 Основные технические данные и характеристики

Стенд позволяет задавать и определять температуру, давление и расход двух сред различными способами измерений. В стенде используется газообразная среда – воздух и жидкая – вода.

Температура измеряется с помощью биметаллического термометра и терморезистивных преобразователей с вторичными приборами: измерителями–регуляторами.

Расход жидкости измеряется объёмным способом и с помощью счётчика воды.

Расход газа измеряется объёмным способом, с помощью ротаметра, расходомера и счётчика газа.

Измерительные преобразователи с электрическим выходным сигналом подключаются ко входам устройства сбора данных NI USB–6008, которое через USB–интерфейс связано с персональным компьютером для обработки и хранения полученной информации.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						10
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		3

В таблице 1 приведены основные технические данные учебного стенда СИУ–01 ИПДРТ.

Таблица 1 – Основные технические данные учебного стенда СИУ–01 ИПДРТ

Давление подводимого газа	Номинальное, МПа	0,8
	Максимальное, не более, МПа	1
Напряжение питания, В		220
Частота питающей сети, Гц		50
Потребляемая мощность, не более, кВт		2,0
Габаритные размеры, не более, мм	Длина	1010
	Глубина	640
	Высота	2100
Масса (без рабочей жидкости), не более, кг		80
Ёмкость бака, л		40

2.2 Комплектность

В комплект поставки входит:

- Стенд учебный СИУ–01 “Измерительные преобразователи давления и расхода газа и жидкости в условиях генерации влияющих воздействий”;
- Руководство по эксплуатации СИУ–01–00.000.000 РЭ.;
- Тройник для подключения к системе питания сжатым воздухом (компрессору) и трубка подачи сжатого воздуха;
- Компрессор;
- Управляющая ПЭВМ стенда в конфигурации: INTEL PENTIUM 4 (641 2600MHz–800 1024 Kb LGA775/512Mb/160Gb/DVD+–R/RW /3,5” / PCI–E x16 GF FX6600 128Mb/128bit DDR DVI TV 64 bit /LAN /Kb/Mouse/ Monitor TFT 17”);
- Рабочий стол для обучаемого;

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						10
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		4

– Устройство ввода/вывода информации в ПЭВМ – NI USB–6008 или аналогичное (2 шт.).

При поставке партии стендов разрешается поставлять для всей партии одно руководство по эксплуатации.

При поставке партии стендов до 4 шт. разрешается поставлять для всей партии один компрессор, обеспечивающий по своим характеристикам питание четырёх стендов.

2.3 Меры безопасности

Эксплуатация стендов должна производиться в соответствии с требованиями пожарной безопасности и требованиями ГОСТ 12.2.003–74 “ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности”.

К Обслуживанию стендов допускается персонал после ознакомления с настоящим руководством по эксплуатации.

Запрещается производить ремонтные работы при работающем стенде.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						10
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		5

2.4 Состав и устройство стенда

Конструкция стенда представлена на рисунках 1 – 6.

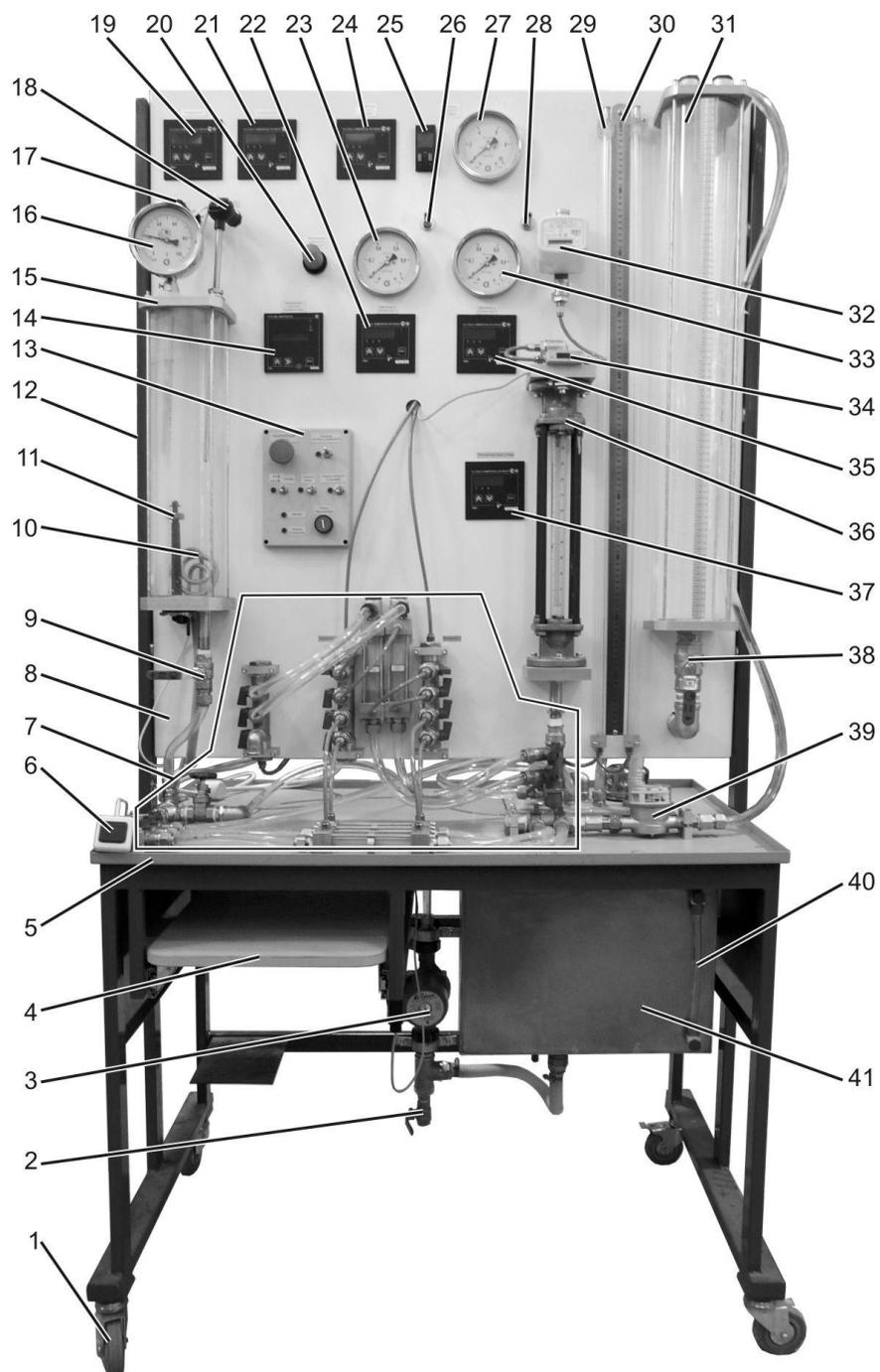


Рисунок 1 – Стенд. Вид спереди

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						10
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		6

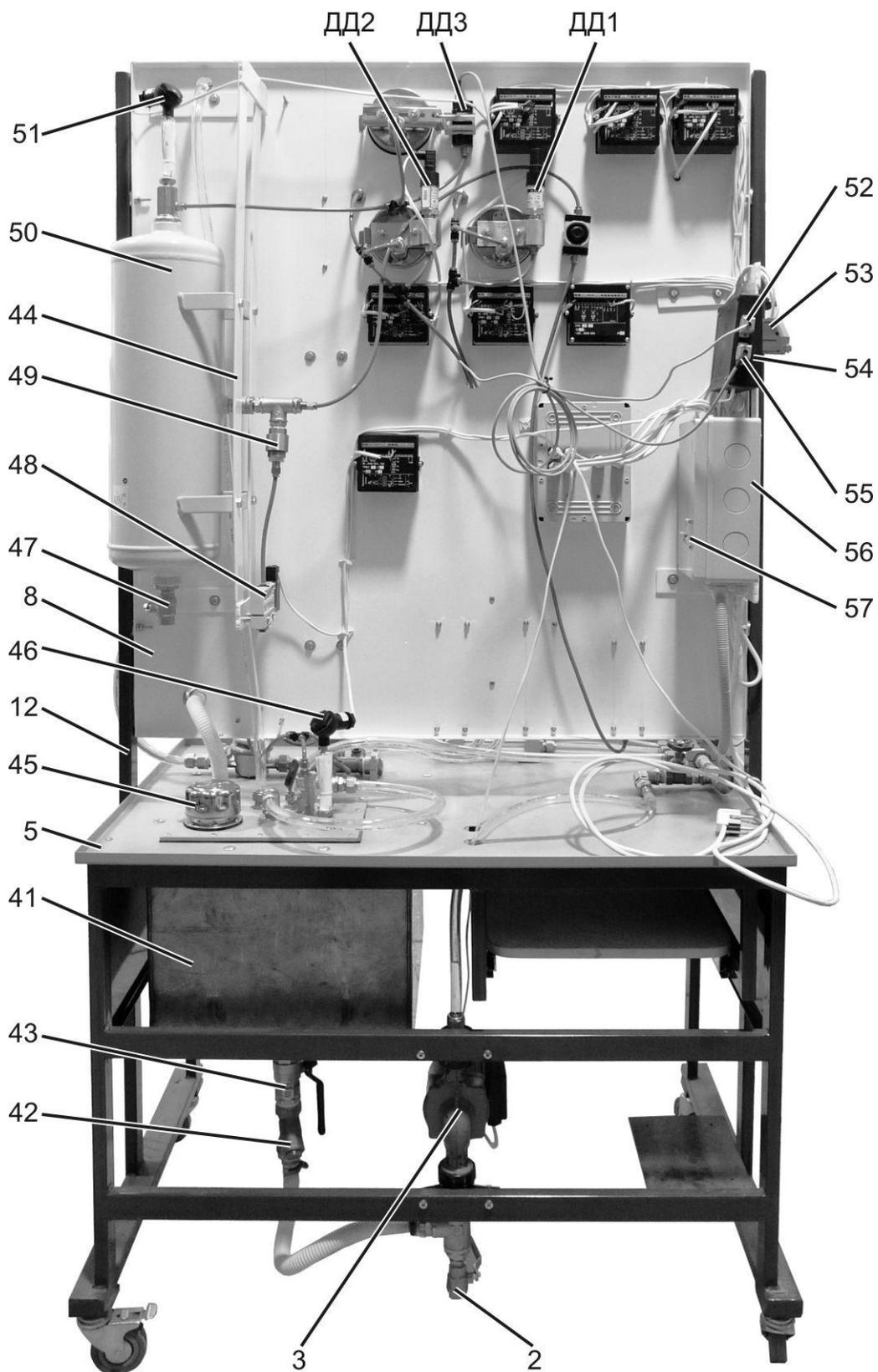


Рисунок 2 – Стенд. Вид сзади

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						10
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		7

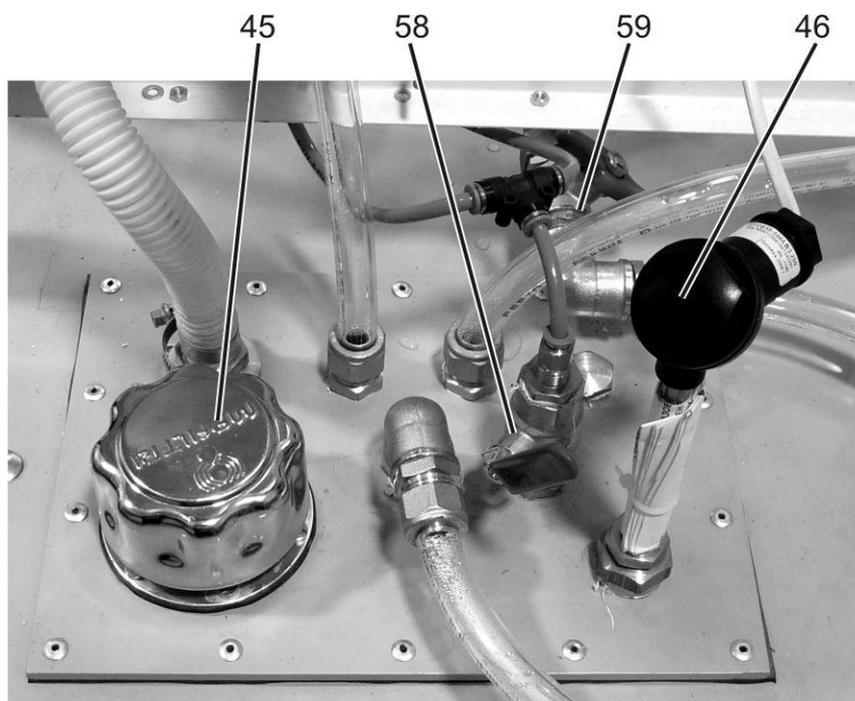


Рисунок 3 – Вид на сливной коллектор на баке

Обозначения шаровых кранов на коллекторах на рисунках соответствуют обозначениям на гидropневмосхеме (гидropневмосхема приведена на рисунке 8).

Стенд гидравлический учебный СИУ–01 «Измерительные преобразователи давления и расхода газа и жидкости в условиях генерации влияющих воздействий» включает в себя (рисунки 1 – 6):

- колеса 1, позволяющие перемещать стенд по ровному полу;
- шаровой кран 2 предназначен для слива жидкости из гидросистемы стенда;
- насос 3 для подачи жидкости в гидросистему, обозначение на гидropневмосхеме – Н1, (*циркуляционный насос отопления WCP 25–40G*);
- выдвижную полку 4;
- стол – поддон 5 для сбора утечек;
- кнопку 6 дистанционного управления секундомером;
- блок коллекторов и измерительных диафрагм 7, устройство блока подробно показано на рисунках 1.5, 1.6;
- панель 8, на которой смонтированы контрольно–измерительные приборы;

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						10
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		8

- шаровой кран 9 для набора и слива жидкости в емкость для нагрева жидкости, обозначение на гидropневмосхеме – ВНЗ;
- электронагреватель 10 для нагрева жидкости в емкости, обозначение на гидropневмосхеме – ТЭН1;
- датчик 11 уровня нагреваемой жидкости, обозначение на гидropневмосхеме – ДУ1;
- несущую раму 12;
- панель управления 13;
- секундомер 14, (*счетчик импульсов "Овен" СИ8*);
- емкость 15 для нагрева жидкости;
- биметаллический термометр 16 для измерения температуры нагреваемой жидкости;
- подвижный терморезистивный преобразователь 17, обозначение на гидropневмосхеме – ДТ1 (*термопреобразователь сопротивления ДТС035–50М.В3.250*);
- неподвижный терморезистивный преобразователь 18, обозначение на гидropневмосхеме – ДТ2 (*термопреобразователь сопротивления ДТС035–50М.В3.250*);
- измеритель–регулятор 19, подключенный к терморезистивному преобразователю 17 (*измеритель–регулятор микропроцессорный одноканальный "Овен" ТРМ1*);
- редукционный клапан 20, позволяющий регулировать давление воздуха, поступающего в пневмосистему из ресивера, обозначение на гидropневмосхеме – КР1;
- измеритель–регулятор 21 (*измеритель–регулятор микропроцессорный одноканальный "Овен" ТРМ1*), подключенный к терморезистивному преобразователю 18;
- измеритель–регулятор 22 (*измеритель–регулятор микропроцессорный одноканальный "Овен" ТРМ1*), подключенный к датчику ДД1 (*преобразователь*

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						10
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		9

избыточного давления измерительный ПД100–ДИ) давления в коллекторе 73 («коллектор 1»);

– манометр 23, подключенный к коллектору 73 («коллектор 1»), обозначение на гидропневмосхеме – МН1;

– измеритель–регулятор 24 (измеритель–регулятор микропроцессорный одноканальный "Овен" ТРМ1), подключенный к терморезистивному преобразователю 51 (термопреобразователь сопротивления ДТС035–50М.В3.250) установленному в ресивере 50;

– датчик 25 давления в ресивере 50, обозначение на гидропневмосхеме – ДД3 (датчик давления FESTO SDE1–D10–G2–H18–L–PU–M8–G);

– быстроразъемное соединение 26 с обратным клапаном для подключения дифференциального манометра 29 к коллектору 73 («коллектор 1»);

– манометр 27 давления в ресивере 50, обозначение на гидропневмосхеме – МН3;

– быстроразъемное соединение 28 с обратным клапаном для подключения дифференциального манометра 29 к коллектору 76 («коллектор 2»);

– дифференциальный U–образный манометр 29;

– шкалу 30 дифференциального U–образного манометра 29;

– емкости 31 для измерения расхода объемным способом;

– счетчика газа 32 (счетчик газа СГБМ–1,6);

– манометр 33, подключенный к коллектору 76 («коллектор 2»), обозначение на гидропневмосхеме – МН2;

– расходомер воздуха 34 (расходомер FESTO SFE3–F500–L–W18–2NB–K1);

– измеритель–регулятор 35 (измеритель–регулятор микропроцессорный одноканальный "Овен" ТРМ1), подключенный к датчику ДД2 (преобразователь избыточного давления измерительный ПД100–ДИ) давления в коллекторе 76 (коллектор 2);

– ротаметр 36 (ротаметр с местными показаниями РМ–4–2,5);

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						11
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		0

- измеритель–регулятор 37 (*измеритель–регулятор одноканальный "Овен" ТРМ1*), подключенный к терморезистивному преобразователю 46, установленному в баке 41;
- шаровой кран 38 для слива жидкости из емкости 31, обозначение на гидропневмосхеме – ВН17;
- счетчик жидкости 39 (*счетчик горячей воды крыльчатый ВСВГ–15*);
- указатель уровня 40 жидкости в баке 41;
- бак 41;
- фильтр жидкости 42 для грубой фильтрации жидкости, поступающей в насос 3;
- шаровой кран 43 для подачи жидкости в линию всасывания насоса 3, обозначение на гидропневмосхеме – ВН1;
- кронштейн 44 для крепления ресивера;
- заливную горловину 45 для заправки стенда рабочей жидкостью;
- терморезистивный преобразователь 46, обозначение на гидропневмосхеме – ДТ4 (*термопреобразователь сопротивления ДТС035–50М.В3.250*);
- шаровой кран 47 для слива конденсата из ресивера, обозначение на гидропневмосхеме – ВН18;
- пневмораспределитель 48 для подачи воздуха от внешнего компрессора в ресивер, обозначение на гидропневмосхеме – Р1;
- обратный клапан 49, обозначение на гидропневмосхеме – КО1;
- ресивер 50;
- терморезистивный преобразователь 51, обозначение на гидропневмосхеме – ДТ3 (*термопреобразователь сопротивления ДТС035–50М.В3.250*);
- электрический разъем 52 для подключения расходомера 34;
- электрический разъем 53 типа DRB–37F для подключения к плате АЦП;
- коробки 54, содержащей усилитель сигнала с терморезистивных преобразователей;
- электрический разъем 55 для подключения датчика давления 25;
- коробки 56 для коммутации силовой части электросхемы;

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						11
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		1

- автоматического выключателя 57 для защиты от перегрузок;
- шарового крана 58 для слива жидкости из дифференциального манометра в бак, обозначение на гидropневмосхеме – ВН25;
- шарового крана 59 для слива жидкости из пневматических линий в бак, обозначение на гидropневмосхеме – ВН24.

Панель управления учебного стенда представлена на рисунке 4.

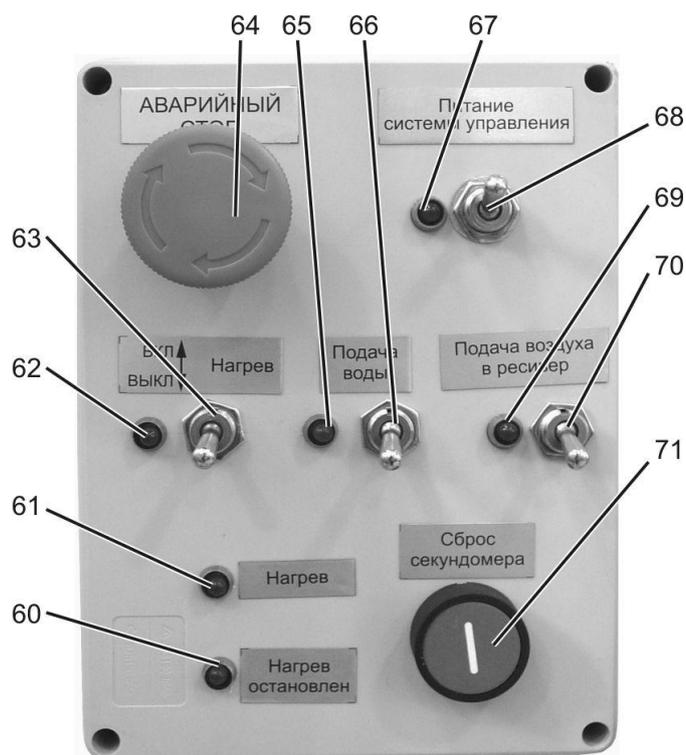


Рисунок 4 – Панель управления

На панели управления (позиция 13 на рисунке 1) установлены:

- светодиодный индикатор 60, который светится, если процесс нагрева остановлен из-за превышения допустимой температуры или низкого уровня жидкости в емкости нагрева;
- светодиодный индикатор 61, который светится, если идет процесс нагрева;
- светодиодный индикатор 62, который светится, если включен тумблер «Нагрев»;

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						11
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		2

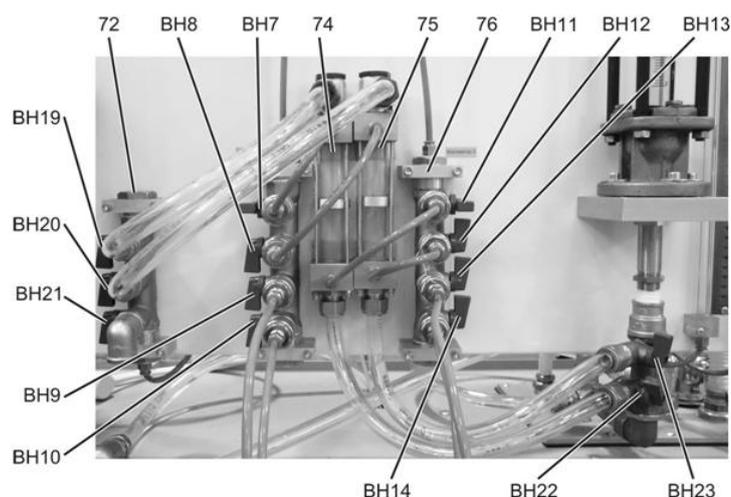


Рисунок 6 – Измерительные диафрагмы

Блок коллекторов и измерительных диафрагм (позиция 7 на рисунке 1) включает в себя:

- коллектор 72 для распределения воздуха между диафрагмами;
- коллектор 73 («коллектор 1»), позволяющий подключать манометр МН1 (23) и датчик давления ДД1 к входам каждой из диафрагм;
- измерительную диафрагму 74, обозначение на гидropневмосхеме – ДР3;
- измерительную диафрагму 75, обозначение на гидropневмосхеме – ДР4;
- коллектор 76 («коллектор 2»), позволяющий подключать манометр МН2 (33) и датчик давления ДД2 к выходам каждой из диафрагм;
- коллектор 77 для суммирования потока воздуха из диафрагм перед ротаметром 36;
- коллектор 78 для суммирования потока рабочей жидкости из диафрагм перед счетчиком воды 39;
- измерительную диафрагму 79, обозначение на гидropневмосхеме – ДР1;
- измерительную диафрагму 80, обозначение на гидropневмосхеме – ДР2;
- коллектор 81 для распределения потока рабочей жидкости между диафрагмами.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						11
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		4

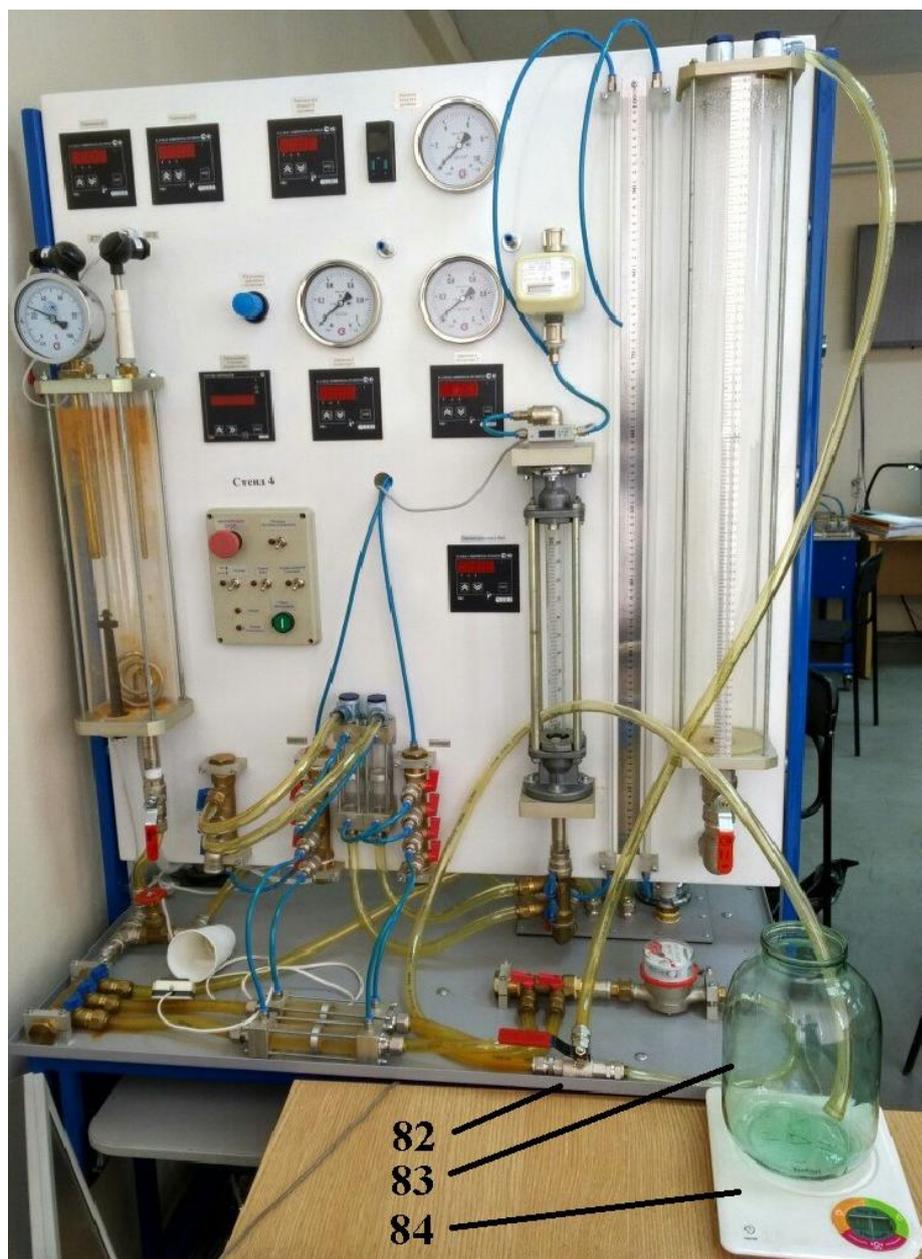


Рисунок 7 – Модифицированный учебный стенд СИУ-01 ИПДРТ

Модифицированный стенд включает в себя дополнительно:

- кран шаровой трехпроходной 1/2 Г-обр Royal Thermo 82, обозначение на гидropневмосхеме (рисунок 8) – ВН25;
- стеклянная трёхлитровая банка 83;
- взвешивающее устройство (кухонные весы TEFAL BC5060 Easy) 84, обозначение на гидropневмосхеме (рисунок 8) – В1.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						11
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		5

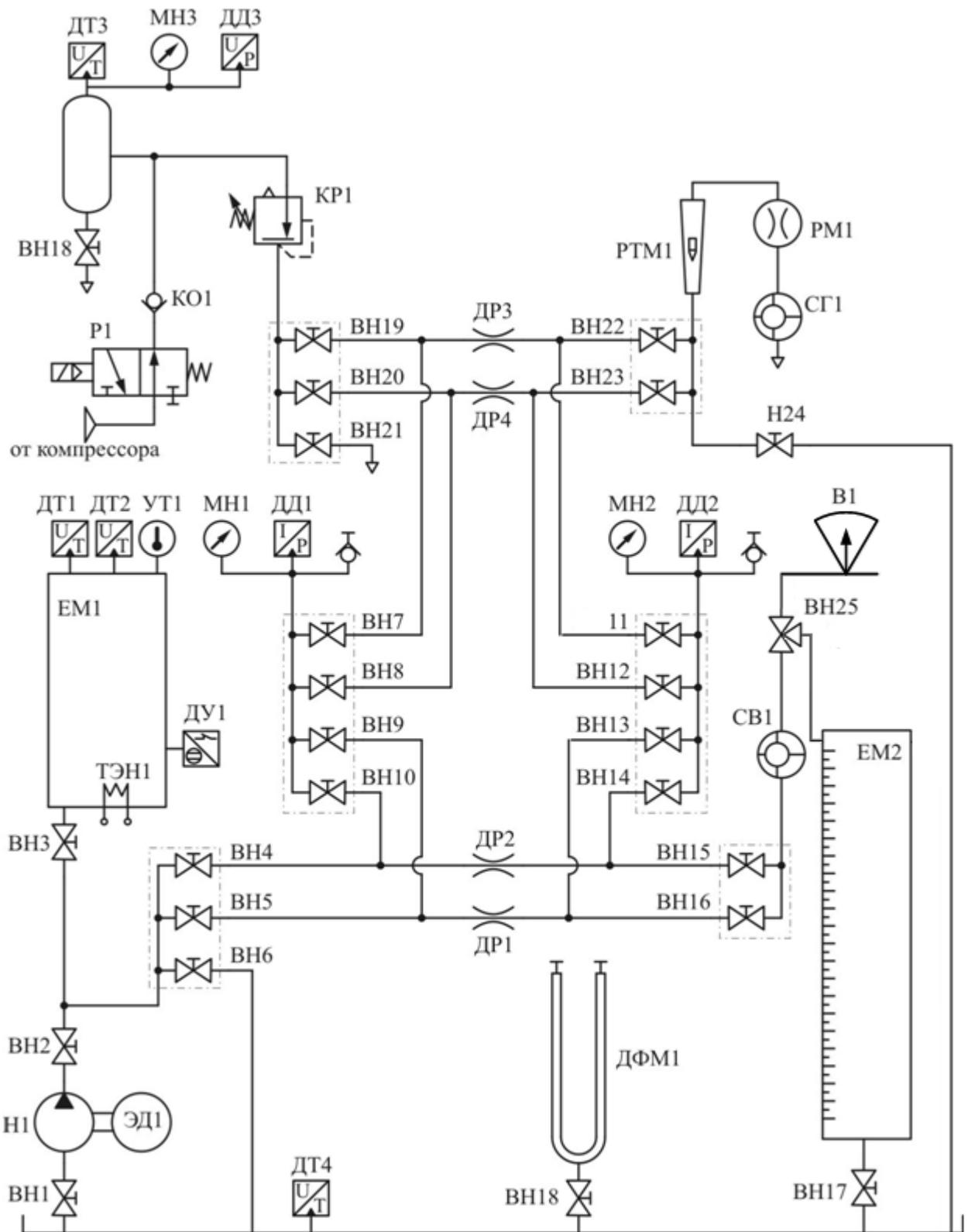


Рисунок 8 – Схема стенда гидропневматическая

3 Порядок проведения работы

Перед выполнением данной лабораторной работы, в домашних условиях следует ознакомиться с теоретической частью измерения объёмного расхода жидкости методом переменного перепада давления.

В лаборатории следует разбиться на группы и сесть за рабочее место. Включив персональный компьютер, следует запустить программу LabVIEW и загрузить программный модуль, предназначенный для данной лабораторной работы.

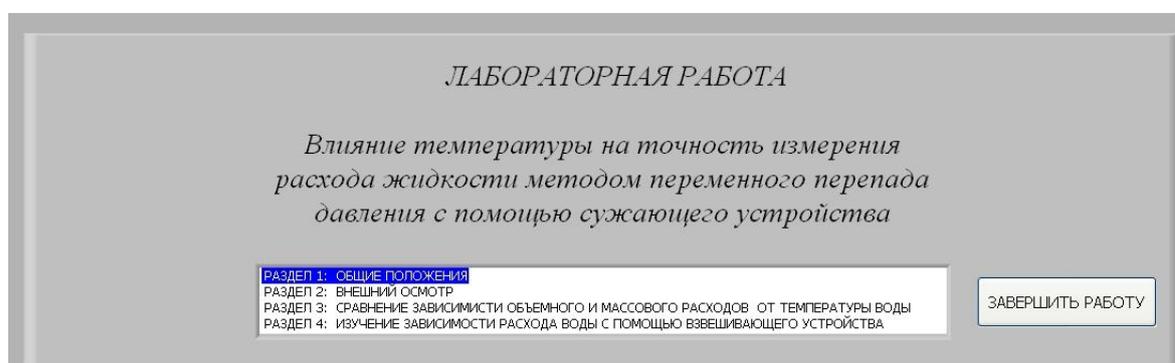


Рисунок 9 – Разделы в программе LabVIEW

3.1 Раздел первый. Общие положения

Для начала работы следует прочитать первый раздел “ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ”, где вы узнаете цель работы, задачи и правила безопасности.

По окончании ознакомления требуется перейти к следующему разделу.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						11
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		7

Цель работы:
Оценить влияние температуры на точность измерения расхода жидкости методом переменного перепада давления с помощью сужающего устройства. Описание работы:

- Задачи работы:**
- прочесть методическое пособие к данной работе;
 - провести внешний осмотр учебного стенда СИУ-01 ИПДРТ;
 - проверить герметичность гидравлической системы стенда;
 - провести эксперимент согласно методическому пособию;
 - построить зависимости, указанные в методическом пособии;
 - сделать выводы по работе
 - оформить отчет о работе в соответствии со стандартом ЮУрГУ;
 - сдать отчет с выводами преподавателю.

Стенд Учебный СИУ-01 "Измерение преобразователи давления и расхода газа и жидкости в условиях генерации влияющих воздействий" предназначен для проведения лабораторных работ по измерению давления, расхода и других физических величин.

Правила безопасности.

Питание электрической части стенда осуществляется от общей сети напряжением переменного тока 220В/50Гц. В связи с этим, до начала работы проведите внешний осмотр стенда и убедитесь, что питающие провода не имеют повреждений, потертостей, сдавленных мест. После проведения осмотра позвоните преподавателя и попросите его включить питание стенда. Если во время проведения работы Вы увидите искры или услышите характерный треск, почувствуете запах плавящейся проводки, немедленно нажмите на большую красную кнопку аварийного отключения стенда и сообщите о неисправности преподавателю.

Внимание:

1. Перед заполнением ёмкости для нагрева воды необходимо обязательно вынуть из корпуса ёмкости подвижный терморезистивный преобразователь для выпуска воздуха из ёмкости;
2. Ёмкость нагрева не имеет аварийного перелива, поэтому необходимо внимательно следить за процессом наполнения ёмкости и при достижении жидкостью уровня менее чем на 5 см ниже верхней крышки немедленно закрыть кран.

Запрещается:

1. Заполнять ёмкость для нагрева воды до уровня менее чем на 2 см ниже верхней крышки;
2. Нагревать воду в ёмкости выше 60 градусов;
3. Элементы стенда использовать в системах снабжения хозяйственно-питьевой водой;
4. Находиться в лаборатории в верхней одежде и с едой;
5. Перемещать стенды без разрешения преподавателя.

Рисунок 10 – Общие положения

3.2 Раздел второй. Внешний осмотр

Во втором разделе “Внешний осмотр” следует зрительно ознакомиться с учебным стендом.

Первым этапом при проведении экспериментов является внешний осмотр учебного стенда СИУ-01 ИПДРТ.

При внешнем осмотре учебного стенда, находящегося в эксплуатации, проверяют:

- состояние лакокрасочного покрытия;
- четкость изображения надписей на маркировочной табличке, а также цифр и отметок на циферблате всех измерительных приборов стенда;
- отсутствие пятен, трещин и сколов, влияющих на считывание показаний;
- отсутствие загрязнений на стекле, закрывающем циферблат приборов;

Если имеются какие-либо отклонения от нормы, то обратитесь к преподавателю.

В данной работе в связи с отсутствием гидравлического пресса герметичность проверяется проливанием воды в течение 2 минут через систему. Если после указанного промежутка времени не наблюдается ни одной течи в гидравлической системе, то проверка на герметичность считается пройденной. Если хотя бы в одном месте системы наблюдается отпотевание, каплепадение или течь воды, то проверка на герметичность не пройдена.

Проверьте систему на герметичность. Если система не герметична, обратитесь к преподавателю с указанием места и характером (отпотевание, каплепадение или течь воды) течи.

Рисунок 11 – Внешний осмотр

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						11
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		8

3.3 Раздел третий. Сравнение зависимости объёмного и массового расходов от температуры воды

Данная работа проводится с диафрагмой диаметром $d = 10$ см.

Для настройки проточного тракта следует:

- открыть полностью кран ВН2;
- открыть краны ВН5 и ВН16, ВН9 и ВН13;
- кран шаровой трехпроходной ВН25 открыть в направлении нашей переносной ёмкости.

Для измерения в данном разделе шланг из банки требуется достать и вложить его в заливную горловину 45.

Для включения стенда следует воспользоваться тумблером 68 (“Питание системы управления”). Для начала подачи воды по настроенному тракту используйте тумблер 66 (“Подача воды”). Таким образом, можно снять измерения для комнатной температуре. Значение температуры бака показано на измерителе–регуляторе 37 (измеритель – регулятор одноканальный “Овен” ТРМ1).

Сняв значения при комнатной температуре, следует:

- перекрыть воду с помощью тумблера 66 (“Подача воды”);
- закрыть кран ВН5;
- открыть кран 9, под ёмкостью для нагрева жидкости 15;
- подайте воду в ёмкость для нагревания с помощью тумблера 66;
- наберите как можно больше воды (до уровня 5 см от крышки ёмкости);
- прекратите подачу воды и перекройте кран 9;
- нагрейте воду в ёмкости для нагрева воды с помощью тумблера 63 (“Нагрев”) (больше 60°C воду не нагревать);
- открыть кран 9 и ВН6 для спуска воды в бак.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						11
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		9

В первую колонку вводится температура бака с водой, при которой проводится исследование. Данное значение снимается с измерителя–регулятора 37 (измеритель – регулятор одноканальный “Овен” ТРМ1).

Во вторую колонку записывается плотность воды при данной температуре. Значение плотности находится в верхнем правом углу.

В третью и четвертую колонку записывается объёмный и массовые расходы, полученные при нажатии клавиши “ИЗМЕРИТЬ”.

С помощью клавиши “РАСЧИТАТЬ”, в пятой колонке таблицы вы получите массовый расход, выраженный через объёмный. Нам это нужно для сравнения на одном графике.

В четвертом разделе потребуются также данные значений входного и выходного давлений диафрагмы при измерении объёмного расхода. Советуется сразу записывать в таблицу 3, для того чтобы не проводить повторных измерений.

Сделайте вывод о поведении графиков расходов. По теоретическим расчётам объёмный и массовый расходы должны увеличиваться, так как при увеличении температуры жидкости вязкость уменьшается, что ведёт к повышению скорости течения жидкости.

3.4 Раздел четвертый. Изучение расхода зависимости расхода воды с помощью взвешивающего устройства

Данная работа проводится с диафрагмой диаметром $d = 10$ см.

Для настройки проточного тракта следует:

- открыть полностью кран ВН2;
- открыть краны ВН5 и ВН16, ВН9 и ВН13;
- кран шаровой трехпроходной ВН25 открыть в направлении нашей переносной ёмкости.

Значения снятые в третьем разделе при нахождении объёмного расхода можно перенести в протокол измерений.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						12
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		1

При нахождении массового расхода следует аккуратно относиться к переносной ёмкости. Следует поставить ёмкость на взвешивающее устройство, предварительно включив его. Подождав получение массы пустой ёмкости использовать клавишу “Тара” на панели весов, для обнуления.

Для нахождения времени заполнения переносной ёмкости используйте кнопку 6 дистанционного управления секундомеров, предварительно обнулив его с помощью кнопки 71 “Сброс секундомера”.

Для включения стенда следует воспользоваться тумблером 68 (“Питание системы управления”). Для начала подачи воды по настроенному тракту используйте тумблер 66 (“Подача воды”). Таким образом, можно снять измерения для комнатной температуре. Значение температуры бака показано на измерителе–регуляторе 37 (измеритель – регулятор одноканальный “Овен” ТРМ1).

Наполнять ёмкость следует под срез с возможностью перелива. После перекрытия воды, следует тряпочкой вытереть велевшую воду с ёмкости и с весов. И дождаться некоторого времени для полного испарения воды с весов и с ёмкости.

Запишите массу воды в ёмкости и время с секундомера в протокол измерений. Затем аккуратно с помощью воронки влейте воду в стенд.

Проведите нагревание воды как описано в третьем разделе.

Проведите измерения с переносной ёмкостью при температурах 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C. С повышением температуры при постоянном объёме масса жидкости должна уменьшаться, так как воды расширяется.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						12
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		2

В четвертую колонку записывается объёмный расход, полученные при нажатии клавиши “ИЗМЕРЕНИЕ”.

В пятую колонку записывается плотность воды при данной температуре. Значение плотности находится в верхнем правом углу.

С помощью клавиши “РАСЧИТАТЬ”, в шестой и седьмой колонке таблицы вы получите массовый расход и массовый, выраженный через объёмный. Нам это нужно для сравнения на одном графике.

Используйте таблицу 3 для фиксирования измерений. Потребуется заполнять изменение давлений на входе и выходе диафрагмы. Сделайте вывод о поведении графиков расходов.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						12
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		4

4 Требования к оформлению отчёта по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать в себе:

1. Протоколы испытаний;
2. Таблицы с полученными экспериментальными данными;
3. Графики;
4. Описание приборов, используемых при выполнении работы;
5. Основные выводы по результатам экспериментов.

Протокол испытаний (черновик) является основным документом при составлении отчета. Главное требование к протоколу – аккуратность его заполнения. Протокол должен содержать:

- наименование работы;
- заголовки разделов работы;
- таблицы с экспериментальными данными.

Графики обладают большой информационной ёмкостью и должны давать наглядное представление об основных зависимостях между исследуемыми физическими величинами и диапазонах их изменения. Числа у шкал следует размещать вне поля графика и располагать горизонтально.

Когда на общем графике изображают несколько функциональных зависимостей, у линий, их изображающих, допускается проставлять наименование или символы соответствующих величин. Символы и номера должны быть разнесены в поясняющей части.

Каждый график должен иметь номер и содержательную подпись.

Форма титульного листа и протоколы измерений приведены ниже.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						12
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		5

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
Южно–Уральский государственный университет (НИУ)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Информационно–измерительная техника»

Отчёт по лабораторной работе №

по теме:

«Оценка влияния температуры на точность измерения расхода жидкости
методом переменного перепада давления с использованием взвешивающего
устройства»

по дисциплине «Физические основы получения информации»

Проверил:

_____ / ф.и.о. преподавателя /
« ____ » _____ 2017 г.

Выполнили:

студенты группы

_____ / ф.и.о. студента /
_____ / ф.и.о. студента /
_____ / ф.и.о. студента /
« ____ » _____ 2017 г.

Челябинск 2017

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						12
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		6

В таблице 2 представлен протокол измерений для нахождения массового расхода с помощью взвешивающего устройства и нахождения объёмного расхода с помощью счётчика горячей воды ВСВГ–15.

В 1–ю колонку записывается температура воды $t_{\text{воды}}$ при которой проводилось исследование.

В 3–ю колонку записывается среднее время $t_{\text{сред}}$ заполнения нашей ёмкости.

В 5–ю колонку записывается среднее значение массы воды $m_{\text{сред}}$.

В 6–й колонке рассчитывается массовый расход $Q_m = \frac{m_{\text{сред}}}{t_{\text{сред}}}$.

В 7–ю колонку записывается объёмный расход $Q_{\text{об}}$, выраженный через массовый Q_m . Объёмный расход находится при делении массового расхода на плотность воды ρ при данной температуре.

В 8–й колонке рассчитывается объёмный расход $Q_{\text{об}}$, полученный при делении массы m жидкости при комнатной температуре t на время заполнения нашей ёмкости.

В таблице 3 представлены экспериментальные данные, полученные в ходе работы с методом переменного перепада давления.

В 1–ю колонку записывается температура воды $t_{\text{воды}}$ при которой проводилось исследование.

В 3–ю колонку записывается среднее входное давление $p_{1.\text{сред}}$.

В 5–ю колонку записывается среднее выходное давление $p_{2.\text{сред}}$.

В 6–й колонке рассчитывается разность Δp между входным и выходным давлением.

В 8–ю колонку записывается $Q_{\text{об.су}}$ объёмный расход полученный методом переменного перепада давления.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.085 ВКР	Лист
						12
Изм.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		7

Таблица 2 – Протокол измерений для нахождения массового и объёмного расходов

$t_{\text{воды}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{время наполн.ёмк.}}, \text{с}$	$t_{\text{сред.}}, \text{с}$	$m, \text{кг}$	$m_{\text{сред.}}, \text{кг}$	$Q_{\text{м}}, \text{кг/с}$	$Q_{\text{об}}(Q_{\text{м}}), \text{л/с}$	$Q_{\text{об}}, \text{л/с}$

Таблица 3 – Протокол измерений для нахождения расхода методом переменного перепада давления

$t_{\text{воды}}, ^\circ\text{C}$	$p_1, \text{кПа}$	$p_{1.\text{сред.}}, \text{кПа}$	$p_2, \text{кПа}$	$p_{2.\text{сред.}}, \text{кПа}$	$\Delta p, \text{кПа}$	$Q_{\text{об.су.}}, \text{л/с}$	$Q_{\text{су.сред.}}, \text{л/с}$