

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 20.02.2023 20:24:34
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра фундаментальной химии и химической технологии



Проректор по учебной работе
О. Г. Локтионова
2014г.

**ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.
ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА**

Методические указания к лабораторным работам
по курсу «Процессы и аппараты химической технологии»
для студентов направления 240100.62 «Химическая технология»

Курск 2014

УДК 66 (076.5)

Составители: А.Ю. Елисеева, А.М. Иванов

Рецензент

Кандидат химических наук, доцент С.Д. Пожидаева

Гидромеханические процессы. Приборы для измерения основанных характеристик: методические указания к лабораторным работам по курсу «Процессы и аппараты химической технологии»/ Юго–Зап. гос. ун-т; сост.: А.Ю. Елисеева, А.М. Иванов. Курск, 2014. 10с.: рис.4, табл. 3.

Приведены методические указания по выполнению трёх лабораторных работ раздела «Гидромеханические процессы». Методикам предшествуют цели, краткие теоретические сведения о приборах для измерения основанных характеристик (описание лабораторных установок). Приводятся рекомендации по обработке и оформлению результатов экспериментов, перечень контрольных вопросов, подготовка которых позволит приобрести теоретические знания в данной области химической практике.

Методические указания предназначены для бакалавров направления 240100.62 «Химическая технология».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. Уч.-изд.л. Тираж 35 экз. Заказ . Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Лабораторная работа №1

Градуировка ротаметра

Цель работы: познакомиться с прибором для определения расхода жидкости (газа) и провести его тарирование (калибровку). Полученную калибровочную кривую приложить к прибору и использовать при выполнении других лабораторных работ (режим движения, стационарная теплопередача и т.д.).

Описание прибора и лабораторной установки

Расход жидкости (или газа) является одной из важнейших характеристик, подлежащих определению и контролю в химической практике (лабораторной и промышленной). Для этого служит серия приборов, называемых расходомерами. Одним из наиболее распространённых расходомеров является ротаметр. Он состоит (см. рис.1) из слегка конической трубы и поплавка. Поток жидкости (или газа) поступает снизу и заставляет поплавок подниматься до тех пор, пока переход давления в кольцевом сужении станет достаточным, чтобы поддерживать поплавок. Чаще всего эту коническую трубку изготавливают из стекла. На неё наносят шкалу, по которой визуально отмечают положение поплавка.

Ротаметры применяют для измерения расхода газов и жидкостей как при низких, так и при высоких давлениях. Одним ротаметром можно измерить расходы, изменяющиеся в десятикратном диапазоне. Некоторые ротаметры снабжены сменными поплавками из материалов с разной плотностью. В таких случаях диапазон измерения увеличивается до двух и более кратного.

При проведении экспериментальных работ ротаметр следует тарировать (калибровать). Установка для проведения этой операции представлена на рис.1. Принцип её работы прост. Через установленный вертикально ротаметр пропускают поток жидкости с разным расходом. Для каждой выбранной высоты поплавок (с увеличением расхода она увеличивается) замеряют время, за которое пройдёт через ротаметр определённое количество жидкости. Во время установления уровня поплавок, проходящая через ротаметр жидкость собирается в ёмкости (4) больших размеров. Периодически ёмкости (3) и (4) опорожняются. Полученная тарировочная кривая прилагается к прибору.

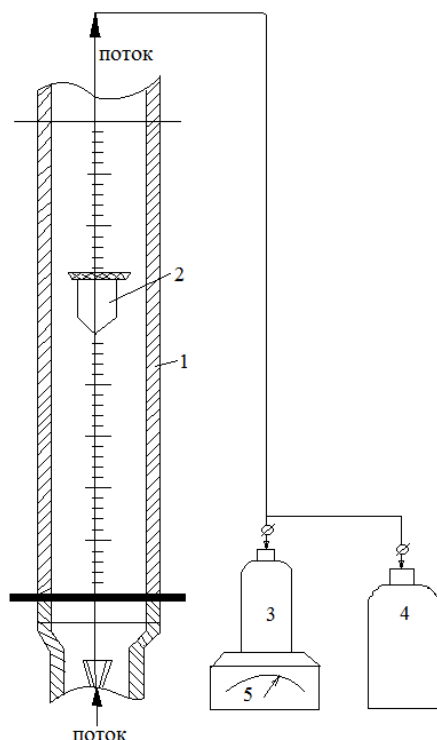


Рис.1. Принципиальная схема установки для градуировки ротаметра: 1 – коническая стеклянная труба; 2 – поплавок; 3, 4 – ёмкости для приёма жидкости; 5 – весы.

Значение расхода может быть получено по следующему уравнению:

$$M = V\rho = KD_n \sqrt{\frac{m_n(\rho_n - \rho)\rho}{\rho_n}},$$

где M - массовый расход жидкости, кг/сек; V - объёмный расход, м³/сек; ρ - плотность жидкости, кг/м³; D_n - диаметр поплавка в месте сужения, м; m_n - масса поплавка, кг; ρ_n - плотность поплавка, кг/м³; K - параметр потока, представленный функцией Φ :

$$K = \Phi \left[\frac{D_T}{D_n}, \frac{\mu}{\sqrt{\frac{m_n(\rho_n - \rho)\rho}{\rho_n}}} \right] \mu^{0,5},$$

где D_T - диаметр трубы в месте сужения потока, м; μ - вязкость жидкости, Н·сек/м².

В практической работе нужно стремиться к тому, чтобы плотность поплавка была вдвое больше плотности жидкости (газа). В этом случае увеличение плотности ρ на 10% вызывает уменьшение величины M всего на 0,5% при одном и том же показании ротаметра.

Порядок выполнения работы

1. Рассказать методику выполнения лабораторной работы преподавателю (инженеру) и выяснить с каким ротаметром (а они включены в схемы проведения других лабораторных работ) проводить его градуировку.

2. Выйти на рабочее место к обучающему ротаметру, выяснить подвод воды ротаметр и как регулируется её расход, а также куда и как направлен слив воды из ротаметра. С учётом этого выбрать место для установки весов на 5 кг, взвесить пластмассовую ёмкость (3) и установить резервную ёмкость (4). Проверить работу запорных кранов на подводах к указанным ёмкостям. На весах установить вес, который должен быть достигнут при наборе воды в ёмкость (3).

3. Установить положение поплавка на одной из отметок в нижней части шкалы ротаметра при свободном сливе воды в резервную ёмкость (4). Убедиться в стабильности такого положения.

4. Быстро переключить слив воды на ёмкость (3), заметив время начала такого слива. Кран на ёмкость (4) должен быть сразу же перекрыт. Внимание! Если работа с кранами перед ёмкостями (3) и (4) окажется для исполнителя трудной, от них можно отказаться, используя слив без развилки на ёмкости и перебрасыванием последней из одной ёмкости в другую.

5. Наблюдать за весами и определить момент, когда в ёмкости (3) наберётся указанное количество воды.

6. Во время выполнения п.5 ёмкость (4) освободить от имеющейся в ней воды путём выливания в раковину.

7. Перебросить слив из ротаметра с ёмкости (3) на ёмкость (4), освободить ёмкость (3) от собранной в ней воды и повторить операции по п.4 – 7 2 – 4 раза (согласовать с преподавателем).

8. П.3 выполнить для следующего положения поплавка с последующим выполнением операций по пп.4 – 7.

9. Для построения калибровочной кривой п.8 следует повторить, обеспечив не меньше 6 различных положений поплавка по всей высоте рабочей зоны реактора.

10. Полученные результаты занести в табл.1.1.

Обработка результатов эксперимента

1. На основании данных табл.1.1 построить график зависимости $M_i = f(h_i)$. Описать тип полученной зависимости и найти её математическую модель.

тическое выражение (график строить на миллиметровой бумаге по всем правилам; от руки вариант не принимается).

Таблица 1.1. – Таблица экспериментальных данных

№ п/п	Положение h_i плавка ротаметра от условного нуля, мм	Время τ_i заполнения заданной массы в ёмкость (3), сек			Среднее значение τ_i , сек	M_i , кг/сек	Условия проведения эксперимента
		$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$			
1						<i>Температура, °С</i> <i>Температура воды, °С</i> <i>Масса воды в ёмкости (3) при взвешивании, кг</i>	
2							
3							
4							
...							
n							

2. Изготовить дубликат графика по п.1 и передать инженеру для использования при проведении других лабораторных работ, где используется данный ротаметр для измерения расхода жидкости.

3. Оформить лабораторную работу и представить преподавателю на утверждение. Ответить на поставленные преподавателем вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что такое поток жидкости и каковы его основные характеристики?
2. Чем установившейся поток отличается от неустановившегося?
3. Сформулируйте закон неразрывности (сплошности) потока.
4. Закон постоянства расхода жидкости. Как этот закон связан с законом неразрывности потока?
5. Какова взаимосвязь между средней скоростью движения жидкости и её расходом?
6. Расход жидкости в соответствии с законом Пуазеля.

7. Перечислите основные способы измерения расхода жидкости и используемые для этих целей приборы и дайте краткую характеристику каждого из них.

8. Почему ротаметр устанавливают в вертикальном положении?

9. Расскажите, как устроен ротаметр и какие основные требования к его главным деталям. Объясните эти требования.

Лабораторная работа №2

Использование измерения перепада давлений дифференциальным манометром при пневматическом определении количества жидкости в резервуаре

Цель работы: познакомиться с использованием основного уравнения гидростатики для измерения количества жидкости в резервуаре, расположенном в любом, в том числе и недоступном для прямых измерений данного параметра, месте.

Дифференциальный манометр представляет собой установленный вертикально сообщающийся сосуд с большой (до 500 мм, а иногда и более) одного или обоих колен, заполненных рабочей жидкостью (чаще всего подкрашенной водой) таким образом, чтобы подъём жидкости практически на полную высоту в колене с малой площадью поперечного сечения не приводил к полному забору жидкости из другого колена. Концы колен дифференциального манометра эластичными кембриками подсоединяются к газовым пространствам систем, перепад давлений в которых подлежит измерению. Примеры комбинаций наиболее часто используемых дифференциальных манометров приведены на рис. 2.1. Вариант 1 не требует знания системы с более высоким давлением при подключении. Но он менее удобен в обращении, более стоек к поломкам. Но при его подключении нужно знать, где будет более высокое давление (на рис. 2.1 указано стрелкой).

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис.2.1) состоит из заполненного жидкостью резервуара (1), количество или плотность находящейся жидкости в котором следует измерить; подводной трубы (2), опущенной практически до дна резервуара; дифференциального

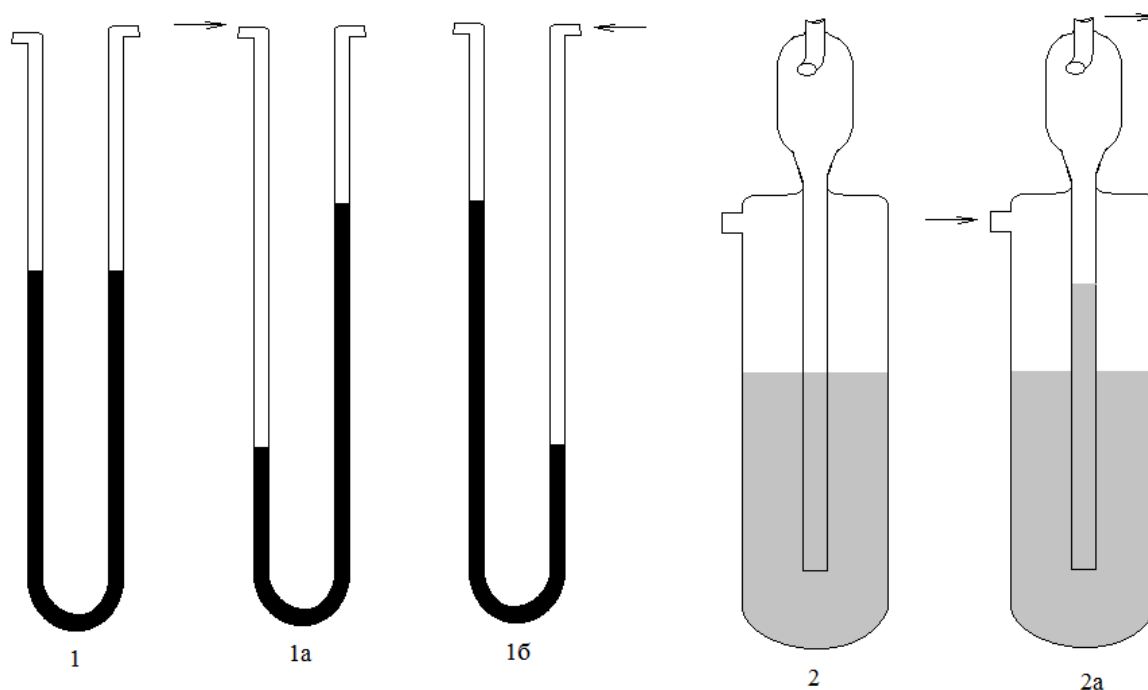


Рис.2.1. Принципиальные схемы устройства наиболее распространённых типов жидкостных дифференциальных манометров

манометра (3); регулировочного крана (4) и источника газа (5) (это может быть газодувка (воздуходувка), компрессор и т.д.). Сосуд (1) может иметь свободный выход в атмосферу или же находиться под давлением P_0 . В первом случае не связанное с резервуаром колено дифференциального манометра (3) должно быть открыто на атмосферу. Рабочая жидкость в сосуде (1) выбирается различной, но для первого варианта с известным удельным весом (плотностью). Конфигурация сосуда (1) принципиальной роли не играет, но его диаметр (эквивалентный диаметр) должен быть много больше диаметра подводной трубы (2). Диаметр трубы (2) не должен быть слишком мал, чтобы не создавать требующих учёта гидродинамических сопротивлений, но и не слишком велик, чтобы существенно не менять высоту заполняющей резервуар жидкости при освобождении трубы при подаче газа.

Порядок выполнения работы

1. Получить задание на эксперимент, предварительно ответив на вопросы по методике его проведения.
2. Заполнить данные последнего столбца табл. 2.1.
3. Произвольно заполнить сосуд (1) предложенной жидкостью, не проводя никаких измерений ее количества.
4. Открыть запорный кран (4) на атмосферу и включить воз-

духодувку(5).

5. Постепенно плавно закрывая запорный кран (4), достичь положения, когда создаваемое давление выдавит находящийся в трубе (2) столб жидкости, о чем будет свидетельствовать появление пузырьков газа, равномерно всплывающих в слое жидкости сосуда (1); перепад уровней в дифференциальном манометре (3) окажется для этого момента максимальным и при дальнейшем закрывании крана (4) меняться не будет (при условии, что гидродинамическое сопротивление трубы (2) мало!).

6. Убедиться в справедливости последнего утверждения в п.5, проводя дальнейшее закрывание запорного крана (4).

7. Замерить величину максимального перепада уровней h_3 в дифференциальном манометре.

8. Вылить жидкость из сосуда (1) в мерный сосуд и определить её количество прямым измерением.

9. Действия по пунктам 1-6 повторить 3-5 раз для различных заполнений сосуда (1) жидкостью.

10. Эти же действия повторить на иной, предложенной преподавателем жидкости.

11. Полученные результаты измерений занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Экспериментальные данные

Результаты эксперимента	Результаты прямого измерения количества жидкости в сосуде	h_3 , мм	h_1 , мм	Постоянные установки и справочные данные, необходимые для расчёта (величина, размерность)
1				$t_{\text{измерений}} = \dots$ жидкость: ...
2				$\rho_t = \dots$ $P_0 = \dots$
3				Геометрические размеры сосуда (1):
...				<i>диаметр внутренний</i> - ... <i>высота</i> - ... Геометрические размеры подводной трубы (2): <i>диаметр внутренний</i> - ... <i>диаметр внешний</i> - ...

Примечание: здесь $t_{\text{измерений}}$ – температура при которой проводятся измерения; ρ_t – плотность жидкости при данной температуре; P_0 – давление в системе.

12. Выполнить необходимые расчёты, должным образом оформить результаты, представить их преподавателю, защитить работу, ответив на выбранные преподавателем контрольные вопросы.
13. Получить задание на следующую лабораторную работу.

Обработка результатов эксперимента

1. На основании сведенных в табл. 2.1 данных и, используя основное уравнение гидростатики, рассчитать величину Z_0 :

$$Z_0 = \frac{(P - P_0)}{\rho g} = \frac{P - P_0}{\gamma},$$

где $\gamma = \rho g$ - удельный вес жидкости в Н/м³ (СИ).

Полученные значения сравнить с величинами h_1 и сделать соответствующие выводы.

2. Зная геометрическую форму и размеры сосуда (1), рассчитать количество жидкости в сосуде. При этом учесть объём, занимаемый подводной трубой (2).

3. Сравнить найденные в п.2 значения с величинами прямого измерения.

4. Оценить абсолютную и относительную ошибки выполненных измерений.

Данную работу можно проводить с целью определения плотности неизвестной жидкости, но при заданном её количестве в сосуде (1).

5. При определении плотности неизвестной жидкости основное уравнение гидростатики следует записать в разрешённом относительно ρ виде. Полученные экспериментальные данные занести в таблицу, аналогичную приведенной в методике. Сравнить результаты расчёта величины плотности с плотностью, полученной при непосредственном измерении с помощью ареометра, или другим, согласованным с преподавателем образом.

Контрольные вопросы

1. Что такое гидростатика? Какие задачи она решает?
2. Физические свойства жидкости и единицы их измерения?
3. Уравнений равновесия Эйлера.
4. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля и границы его применения.
5. Гидравлический пресс, сообщающиеся сосуды и прочие приложения основного уравнения гидростатики.

Лабораторная работа №3

Градуировка лабораторного реометра

Цель работы: на примере градуировки лабораторного реометра познакомиться с использованием дросселирующих устройств для измерения расхода газа; провести градуировку прибора с установленным капилляром в качестве дросселирующего устройства.

Современное развитие любой из отраслей народного хозяйства немислимо без перемещения жидкостей и газов. Количественной характеристикой такого перемещения является объемный (массовый) расход. Приборы для измерения расхода называют расходомерами. Рабочим элементом многих расходомеров являются соответствующие дросселирующие устройства, принцип действия которых основан на использовании уравнения Бернулли:

$$Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{W^2}{2g} + h_{\text{пот}} = \text{Const},$$

(3.1)

где Z - геометрический напор; $\frac{P}{\gamma}$ - статический или пьезометрический напор; $\frac{W^2}{2g}$ - динамический или скоростной напор; $h_{\text{пот}}$ - потерянный напор при протекании газа или жидкости до места установки расходомера; $\gamma = \rho g$ - удельный вес жидкости.

В любом определенном сечении трубопровода значения Z и $h_{\text{ном}}$ постоянны. Вследствие этого разность между общим напором и указанными постоянными величинами, равная сумме статического и динамического напоров будет постоянной:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{W^2}{2g} = \text{Const},$$

(3.2)

Из этого следует, что статический напор может превращаться в динамический и наоборот. На этом принципе основаны расходомеры с переменным перепадом давления. Основным элементом этих приборов является преграда в виде сужающегося отверстия на пути движущегося потока жидкости или газа. Это и есть дросселирующее устройство.

При прохождении потока через такую преграду происходит увеличение скорости, а, следовательно, и динамического напора. При этом соответствующим образом меняется и значение статического напора. Разность же между статическими напорами до и по-

сле преграды Δh фиксируется с помощью дифференциального манометра, один вывод которого подсоединен до дросселирующего устройства, а второй - после него.

Записав (3.20) в виде:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{W_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{W_2^2}{2g}$$

$$\frac{W_1^2}{2g} - \frac{W_2^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = h \quad (3.4)$$

где h - перепад (разность) давлений, измеряемый дифференциальным манометром, м. столба рабочей жидкости.

Таким образом, показания дифференциального манометра Δh являются функцией скорости движения потока в трубопроводе, а, следовательно, и расхода жидкости или газа: $\Delta h = f(W)$ или $\Delta h = \varphi(V)$, где $V = WS$.

Определение количественной характеристики такой функции и лежит в основе градуировки реометра (как и любого другого расходомера с рабочим элементом в виде дросселирующего устройства).

Описание лабораторной установки

Основным элементом установки (рис.3.1) является лабораторный реометр (1), включающий в свой состав капилляр (1а), оба конца которого подсоединены к коленам дифференциального манометра (1б). Реометр (1) с по-

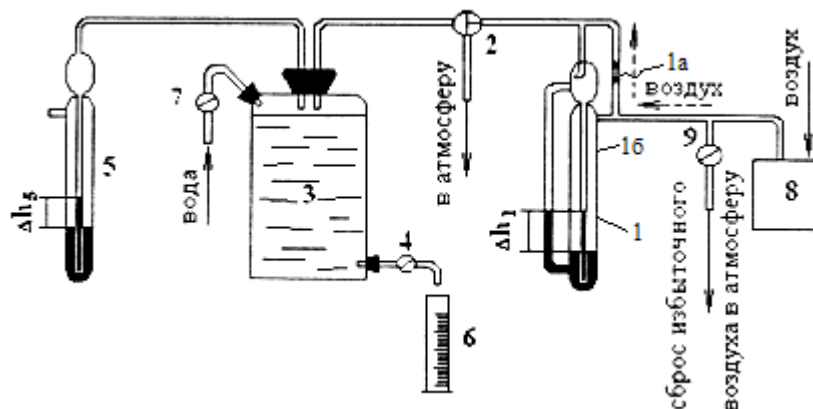


Рис.3.1 – Установка для градуировки лабораторного реометра
 мощностью трехходового крана (2) связан либо с атмосферой, либо с аспиратором (3), предназначенным для измерения количества прошедшего через реометр газа за определенное время. Аспиратор снабжен сливным отводом с запорным краном (4) и дифференциальным манометром (5), один выход которого открыт в атмосферу.

Жидкость из аспиратора сливают в мерный объем (6). Для заполнения аспиратора водой служит специальный ввод с запорным краном (7). Эта операция может производиться вручную через верхний штуцер аспиратора. Источником потока газа является воздуходувка (8). Избыток воздуха сбрасывается в атмосферу через отвод с запорным краном (9).

Порядок выполнения работы

1. Подготовить установку к эксперименту. Для этого открыть кран (2) со стороны аспиратора (3) в атмосферу, открыть кран (7), заполнить аспиратор водой, закрыть кран (7) и открыть кран (2) в атмосферу, но уже со стороны реометра (1).

2. При открытых в атмосферу кранах (2) и (9) включить воздуходувку (8).

3. Постепенно закрывая кран (9), подать определенный поток воздуха через реометр (1) (фиксируется по высоте столба жидкости Δh_1).

4. С помощью трехходового крана (2) соединить реометр с аспиратором (выход в атмосферу перекрыт), открыть сливной кран (4) и установить такую скорость истечения воды, чтобы разность уровней в манометре (5) Δh_5 стремилась бы к нулю. После этого с помощью линейки измерить перепад уровней в реометре Δh_1 . Заменить сосуд (6) с жидкостью, вытекающей из аспиратора в период настройки системы, на незаполненный сосуд (6) и определить время τ заполнения водой аспиратора (по секундомеру!). Объем мерного сосуда (6) V_6 указывается преподавателем (обычно 1 л).

5. Измерения по пункту 4 повторить 3-5 раз (по указанию преподавателя), оценить воспроизводимость полученных результатов: найти средние значения Δh_{1cp} и τ_{cp} .

6. Соединить кран (2) со стороны реометра (1) с атмосферой и задание по пунктам 3-5 повторить 7-8 раз для разных высот Δh_1 (по всей шкале реометра (1)).

Полученные экспериментальные данные свести в таблицу 3.1.

Обработка результатов эксперимента

1. Исходя из данных таблицы 3.1, построить график функции $V = f(\sqrt{h_1})$ и объяснить ее характер.

2. Построить калибровочную кривую реометра в координатах $V = \varphi(h_1)$. Объяснить, как пользоваться этой кривой в практической

работе.

Таблица 3.1 – Экспериментальные данные

№ п/п	Δh_l , мм	τ , с	τ_{cp} , с	Δh_{lcp} , мм	$V = V_0 / \tau_{cp}$, л/с
1	1 _a				
	...				
	1 _i				
2	2 _a				
	...				
	2 _i				
....					
п	п _a				
	...				
	п _i				

Контрольные вопросы

1. Уравнения движения Эйлера.
2. Уравнения Бернулли.
3. Уравнений-неразрывности потока.
4. Основные способы измерения расходов газов и их характеристики.
5. Гидравлические сопротивления, их классификация и характеристика.
6. Способы создания напора при перемещении газов.
7. Основные типы насосов и компрессоров (устройство и принцип действия).
8. Основные типы дросселирующих устройств.

Содержание

	Стр.
<i>Лабораторная работа №1. Градуировка ротаметра.....</i>	<i>3</i>
<i>Лабораторная работа №2. Использование измерения перепада давлений дифференциальным манометром при пневматическом определении количества жидкости в резервуаре.....</i>	<i>7</i>
<i>Лабораторная работа №3. Градуировка лабораторного реометра.....</i>	<i>11</i>