

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ГИДРАВЛИКА

Лабораторные работы
по курсу «Основы гидравлики»

Санкт-Петербург

2012

Гидравлика: Лабораторные работы по курсу «Основы гидравлики»/
О.И.Зайцев; Е.Н.Кожевникова; Е.А.Локтионова; В.Т.Орлов. СПб. 2012г.

Приводится описание шести лабораторных работ по курсу «Основы гидравлики» и даются рекомендации по обработке полученных результатов; поясняется порядок проведения каждой лабораторной работы.

Предназначено для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения всех специальностей инженерно-строительного, механико-машиностроительного факультетов, факультета технологии и исследования материалов и факультета комплексной безопасности при изучении курсов «Основы гидравлики», «Гидравлика», «Механика жидкости и газа».

ВВЕДЕНИЕ

Переход на двухуровневую подготовку кадров по системе бакалавр-магистр требует существенной переработки учебных программ. При изучении технических дисциплин особое значение имеет лабораторный практикум, основной задачей которого является изучение физической сущности гидравлических явлений, ознакомление с измерительной аппаратурой, методикой обработки экспериментальных данных, работой с технической справочной литературой.

Настоящий лабораторный практикум разработан в соответствии с ФГОС-3 для студентов, изучающих курс «Основы гидравлики» и является переработанным изданием лабораторного практикума «Механика жидкости и газа».

Лабораторный практикум включает шесть лабораторных работ по разделам: «Гидростатика», «Потери напора при движении жидкости», «Истечение жидкости из отверстий и насадков».

Экспериментальное определение основных гидравлических параметров

При проведении лабораторных работ необходимо на основании экспериментальных исследований определять следующие гидравлические параметры: отметки уровней жидкости, гидростатическое и гидродинамическое давление, расход жидкости, скорость движения жидкости. Часть параметров может быть определена путем непосредственных измерений (отметки уровней жидкости; гидростатическое и гидродинамическое давление), часть - косвенным путем (расход, скорость движения жидкости).

Отметки уровней жидкости измеряются с помощью измерительной иглы (рис.1).

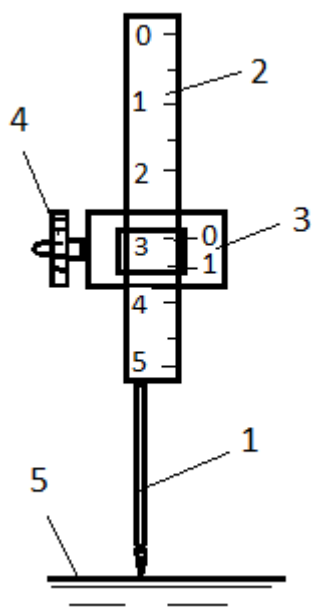


Рис.1

Измерительная игла 1 соединяется с рейкой 2, на которой нанесены сантиметровые и миллиметровые деления. Измерительная игла с помощью специального устройства может перемещаться в вертикальном направлении до касания со свободной поверхностью. Это устройство снабжено нониусом (3), представляющим собой 9 или 19 миллиметровый отрезок, разделенный на 10 равных частей. Отсчет по нониусу берется по той риске шкалы, которая ближе к нулевому делению линейки 2 (на рис.1 это риска «0» нониуса). При этом определяют целые сантиметры и миллиметры, а риска нониуса, совпадающая с миллиметровыми делениями линейки 2, дает десятые доли миллиметра. При необходимости измерительная игла может быть оборудована дополнительным

устройством, позволяющим перемещать её в горизонтальном положении.

Гидростатическое давление измеряются с помощью пьезометра - тонкой стеклянной трубки, один конец которой присоединен к точке, где измеряется давление, а другой конец сообщается с атмосферой. Пьезометры крепятся на специальных приспособлениях, снабженных сантиметровыми и миллиметровыми делениями.

Расход жидкости на используемых в лабораторных работах установках определяется объёмным способом. Объёмный способ измерения расхода заключается в определении продолжительности наполнения T

некоторого мерного объема W , величина которого известна. Расход определяется косвенным способом по формуле

$$Q = \frac{W}{T}. \quad (1)$$

Средняя скорость движения жидкости определяется косвенным путем при известном расходе по формуле

$$v = Q \omega, \quad (2)$$

где ω - площадь живого сечения.

Работа 1

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Задачи работы – получение практических навыков экспериментального определения гидростатического давления с помощью простейшего устройства, называемого пьезометром, а также навыков вычисления избыточного давления, вакуума, абсолютного давления в различных системах единиц измерения.

Описание экспериментальной установки

Для изучения способов измерения гидростатического давления на кафедре имеются две экспериментальные установки, имеющие разный принцип получения давления в замкнутой воздушной области.

Экспериментальная установка №1

Схема установки представлена на рис.2. Установка состоит из основного резервуара 1, резервуара 2 обратного пьезометра, ручного воздушного насоса 8 для создания избыточного давления, водоструйного насоса 9 для создания вакуума, запорных кранов 3-7, позволяющих управлять режимом работы установки, а также системы пьезометров для измерения давления в воздушной области основного резервуара и в точке А на его дне.

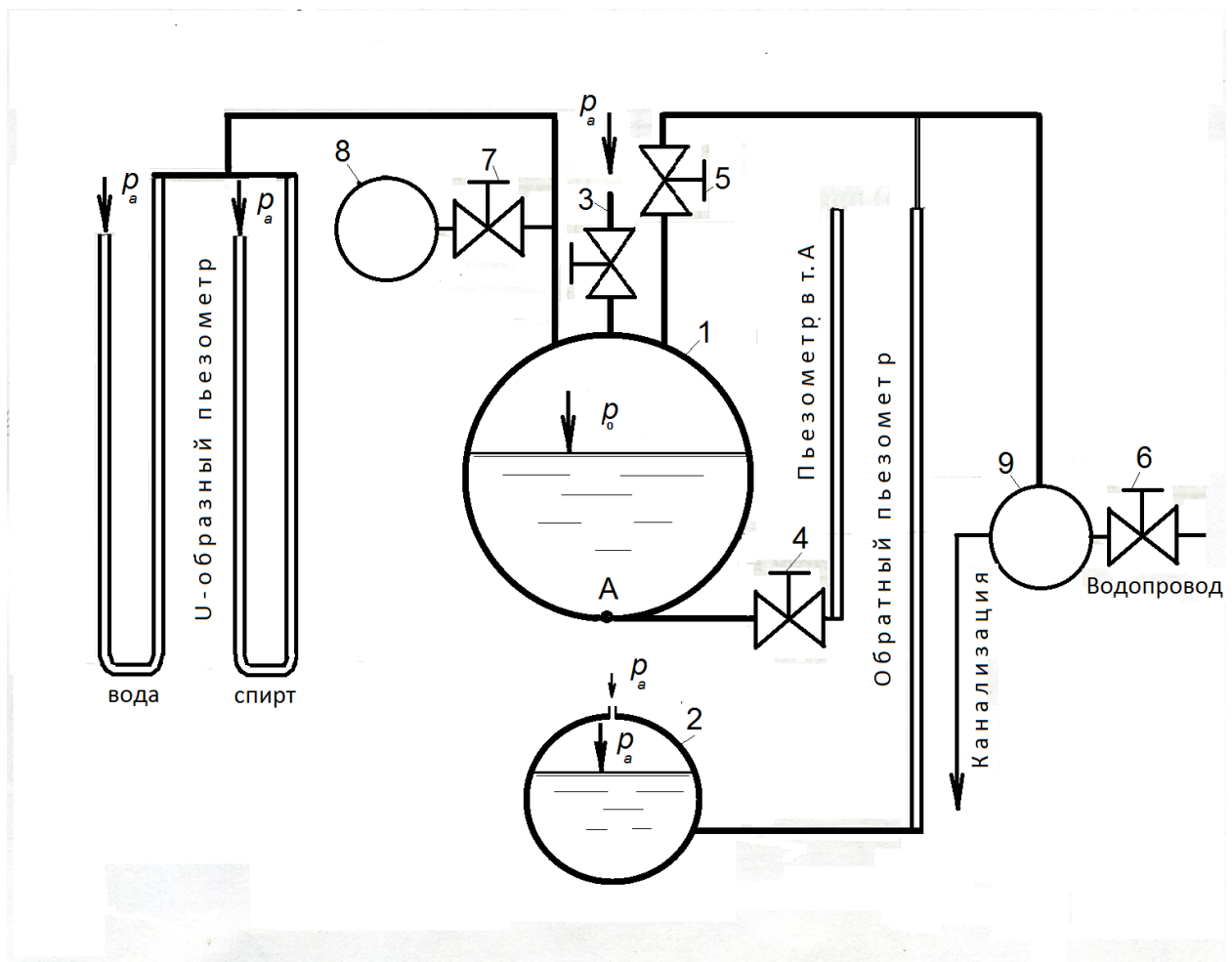


Рис.2

Экспериментальная установка №2

Схема установки представлена на рис. 3. Установка представляет собой закрытый неподвижный резервуар A , соединенный резиновой трубкой T_1 со стеклянным подвижным сосудом T_2 . В данной работе измеряется давление в воздушной области W резервуара A . Резервуар A и стеклянный сосуд T_2 частично заполнены водой, так что их можно рассматривать как два сообщающихся сосуда, в которых находится жидкость. Верхний конец сосуда T_2 открыт и выходит в атмосферу. Этот сосуд можно перемещать в вертикальном направлении, пользуясь системой блоков. При перемещении её вверх или вниз величина избыточного давления или вакуума в воздушной области резервуара A изменяется.

Для измерения давления в воздушной области служат два U -образных пьезометра Π_1 и Π_2 и обратный пьезометр Π_3 , смонтированные на одном щите \mathcal{I} и снабженные шкалой \mathcal{I} с сантиметровыми и миллиметровыми делениями. Все эти пьезометры одним концом соединены с воздушной областью W резервуара A , где должно измеряться давление, а другим концом

– непосредственно с атмосферой или с сосудом, где давление на поверхности равно атмосферному. Резервуар A может быть соединён с атмосферой, для чего необходимо открыть кран K_1 . Обратный пьезометр Π_3 отключают от резервуара A поворотом крана K_2 . Вдоль трубок пьезометров передвигается ползунок B с натянутой нитью. По этой нити делают отсчеты по шкале $\mathcal{Ш}$.

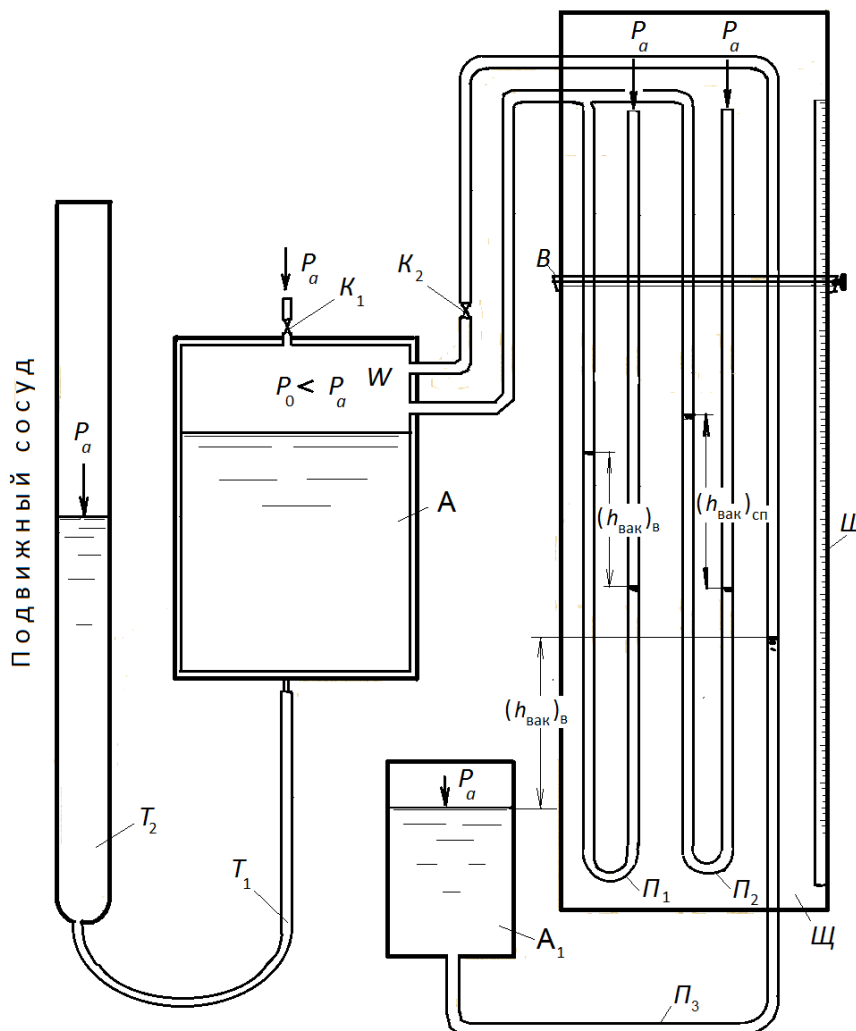


Рис.3

Содержание работы

1. Получение и определение избыточного давления в замкнутой воздушной области основного резервуара и в точке A (для установки №1) с помощью U -пьезометров. В одном пьезометре рабочей жидкостью является вода, в другом - спирт.

2. Получение и определение величины вакуума в замкнутой воздушной области с помощью U -образных пьезометров и обратного пьезометра.

3. Вычисление абсолютного давления p_A в замкнутой воздушной области для случаев $p_A > p_a$ и $p_A < p_a$.

При выполнении работы опыты необходимо провести для трёх - пяти различных значений избыточного давления и трёх - пяти значений вакуума.

Порядок проведения опытов

На установке №1

Измерение избыточного давления

1. Закройте краны 5 и 6 системы создания вакуума, вращая их до упора по часовой стрелке.

2. Откройте кран 3 атмосферного давления, кран 7 воздушного насоса, и кран 4 пьезометра, установленного в т. А, вращая их до упора против часовой стрелки.

3. Снимите отсчет по шкале пьезометра, установленного в точке А, соответствующий атмосферному давлению в замкнутой области. Запишите отсчет в соответствующую графу бланка отчета.

4. Закройте кран 3, изолируя замкнутую область резервуара от воздействия атмосферного давления.

5. Подкачайте воздушным насосом некоторый дополнительный объем воздуха в основной резервуар, при этом визуально контролируйте уровни в пьезометрах. Уровни должны находиться в пределах соответствующих шкал.

6. Закройте кран 7 воздушного насоса и после стабилизации уровней в пьезометрах снимите отсчеты по шкале U-образных пьезометров и пьезометра в точке А.

Первый опыт закончен. Чтобы перейти ко второму и последующим опытам, измените давление в замкнутой области. Для этого на весьма короткое время плавно приоткройте и сразу закройте кран атмосферного давления 3, контролируя уровни жидкости в пьезометрах. После стабилизации уровней в пьезометрах снимите соответствующие отсчеты.

Измерение вакуума

1. Откройте кран 3 атмосферного давления и кран 5 системы создания вакуума в замкнутой области.

2. Снимите отсчет по шкале обратного пьезометра, соответствующий атмосферному давлению.

3. Закройте краны 3,4 и 7.

4. Приведите в действие струйный насос, постепенно открывая вентиль 6 и контролируя уровни жидкости в пьезометрах. При достижении требуемых уровней в пьезометрах закройте вентиль 6.

5. Запишите в бланк отчета отсчеты по шкалам U -образных и обратного пьезометров.

Переход ко второму и последующим опытам осуществляется также как и при измерении избыточного давления, т.е. с помощью крана 3.

По окончании опытов откройте все краны, за исключением вентиля 6 струйного насоса.

На установке №2

Измерение избыточного давления

1. Откройте кран K_1 , трубку T_2 установите в самое нижнее положение.

2. Закройте краны K_1 и K_2 и поднимите трубку T_2 вверх на некоторую высоту (10-15см); дождитесь установления уровней жидкости в трубке T_2 и в пьезометрах $П_1$ и $П_2$.

3. Снимите отсчеты по шкале $Ш$, соответствующие горизонтам жидкости (воды и спирта) в левом и правом коленах U -образных пьезометров. При этом ползунок B с натянутой на нем нитью должен быть установлен так, чтобы нить касалась центра мениска жидкости, находящейся в пьезометрах $П_1$ и $П_2$ и совпадала со своим отражением в зеркале, помещенном за трубками пьезометров.

Первый опыт закончен. Чтобы перейти к следующему опыту, измените давление в замкнутой области. Для этого необходимо поднять трубку T_2 вверх (краны K_1 и K_2 должны быть закрыты). Результаты всех измерений должны быть записаны в соответствующие графы бланка отчета.

Измерение вакуума

1. Откройте K_1 и K_2 и установите трубку T_2 в самое верхнее положение. После установления уровней жидкости в трубке T_2 , в области W и в пьезометрах, в замкнутой воздушной области установится атмосферное

давление, и обратный пьезометр будет соединен с замкнутой воздушной областью.

2. Снимите отсчет по обратному пьезометру при атмосферном давлении.

3. Закройте кран K_1 , опустите трубку T_2 вниз и подождите пока уровни жидкости в трубке T_2 и в пьезометрах установятся.

4. Снимите отсчеты по шкале **III**, соответствующие горизонтам жидкости (воды и спирта) в левом и правом коленах U -образных пьезометров и обратного пьезометра.

При переходе к следующим опытам необходимо только опускать трубку T_2 вниз, при этом кран K_1 должен быть закрыт, а кран K_2 открыт.

Обработка экспериментальных данных

1. Вычислите избыточное давление p_u в замкнутой воздушной области по формулам:

$$p_u = \gamma_B h_B \quad \text{и} \quad p_u = \gamma_{сп} h_{сп} ,$$

где h_B и $h_{сп}$ -разность отсчетов, соответствующих уровням воды и спирта в правом и левом коленах U -образных пьезометров для случая, когда в области W имеет место избыточное давление; γ_B и $\gamma_{сп}$ - объемный вес воды и спирта соответственно.

2. Вычислите величину вакуума в замкнутой воздушной области.

Величина вакуума $p_{вак}$ вычисляется по тем же формулам, что и избыточное давление, только вместо h_B и $h_{сп}$ в формулы подставляем $h_{(вак)B}$ и $h_{(вак)сп}$.

3. Вычислите абсолютное давление в замкнутой воздушной области по формулам

$$p_A = p_a + p_u \quad \text{и} \quad p_A = p_a - p_{вак} .$$

Величину атмосферного давления принять равной $p_a = 10^5 \text{ Па} = 10^2 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа}$.

Работа 2

ИЗУЧЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОКОЯ ЖИДКОСТИ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ СОСУДЕ

Задачи работы – визуальное наблюдение формы свободной поверхности жидкости при действии на неё системы объемных сил – силы тяжести и центробежной силы инерции; приобретение навыков экспериментального определения отметок свободной поверхности жидкости при помощи измерительной иглы; сопоставление результатов опытов с результатами расчетов по теоретической зависимости.

Описание экспериментальной установки

Установка (рис.4) представляет собой открытый сверху круглоцилиндрический сосуд **2**, частично наполненный жидкостью. Глубина жидкости в сосуде равна h . Сосуд приводится во вращение вокруг своей вертикальной оси электродвигателем с некоторой угловой скоростью Ω . Часть установок снабжена регулятором скорости, позволяющим изменять скорость вращения двигателя. Измерение отметок свободной поверхности z_0 и горизонтальных координат r проводится с помощью измерительной иглы. Игла **7** закреплена на специальном устройстве, позволяющем перемещать иглу в вертикальном и горизонтальном направлениях. В горизонтальном направлении игла перемещается с помощью маховика **6**, в вертикальном – ручкой **5**.

Отсчеты, определяющие положение какой-либо точки свободной поверхности, считываются с линеек **3** и **4**.

Содержание работы

1. Экспериментальное определение отметок z_0 и горизонтальных координат r точек свободной поверхности жидкости, вращающейся вместе с сосудом, т.е. $(z_0)_{\text{оп}}$ и $(r)_{\text{оп}}$. Измерения проводятся только для одной (левой или правой) ветви кривой.

2. Теоретическое определение величин $(z_0)_{\text{теор}}$ при известном r (взятом из опытов) по зависимости

$$z_0 = \frac{\Omega^2}{2g} r^2, \quad (3)$$

где r – расстояние от оси вращения до данной точки свободной поверхности; Ω – угловая скорость, выраженная в радианах в единицу времени; g – ускорение силы тяжести.

Угловая скорость вращения сосуда в радианах в секунду определяется по формуле

$$\Omega = \frac{\pi n}{30},$$

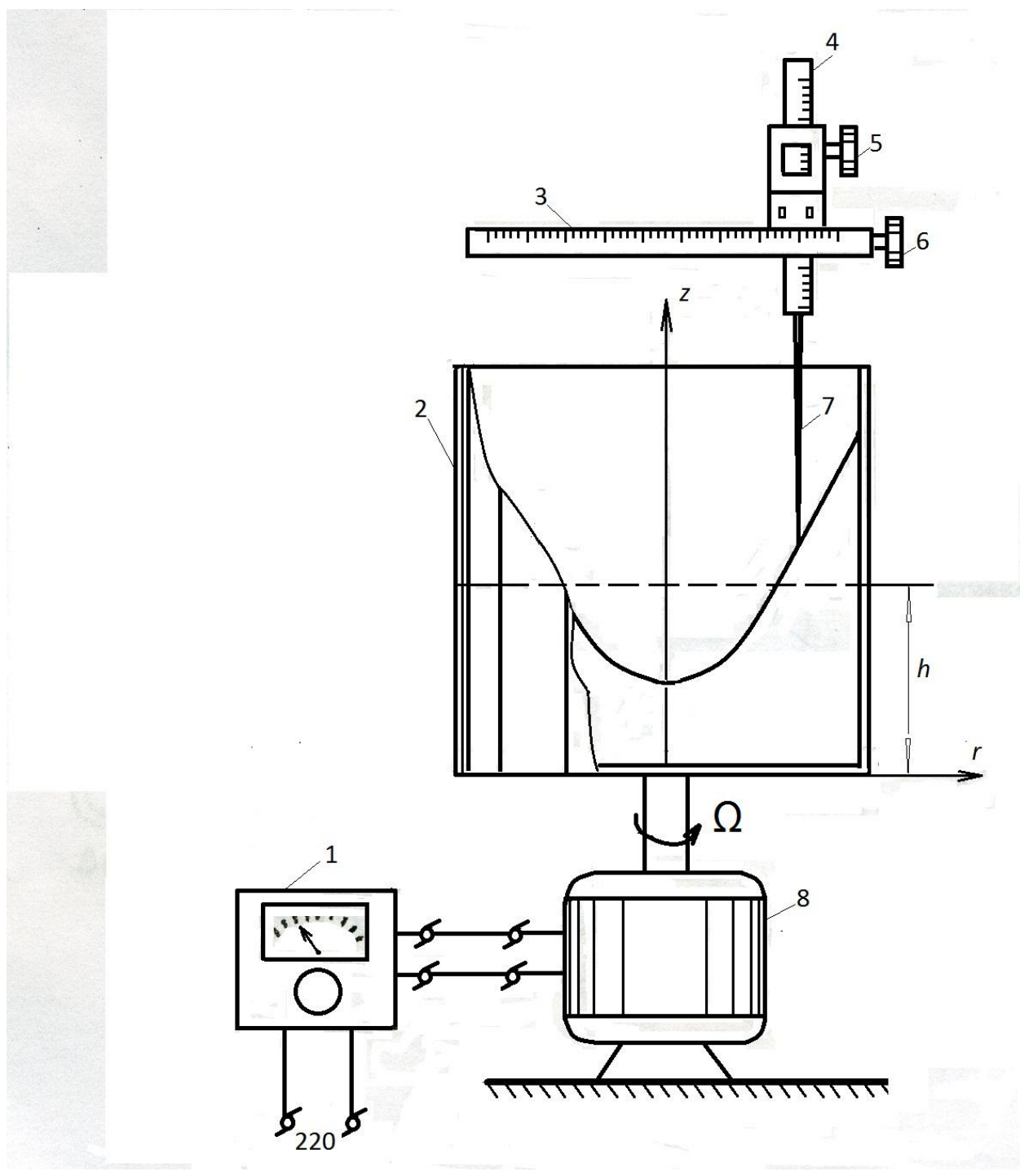


Рис.4

где n - угловая скорость вращения, выраженная числом оборотов сосуда в минуту.

Порядок проведения опытов

1. Установите измерительную иглу в такое положение, чтобы её ось совпадала с осью сосуда. В зависимости от типа установки, на которой проводятся опыты это либо отсчет «0» по горизонтальной шкале, либо отсчет, соответствующий оси сосуда (указывается для данного прибора).

2. Включите электродвигатель. На установках, оборудованных регулятором скорости, установите скорость вращения двигателя в диапазоне от 80 до 140 об/мин. Если установка не оборудована регулятором скорости, то скорость её вращения установится автоматически и будет соответствовать указанной на специальной табличке.

3. Опустите иглу до соприкосновения с жидкостью (игла должна находиться в положении, соответствующем оси сосуда) и снимите отсчет $\nabla_{\text{оп}}^0$ по нониусу измерительной иглы.

4. Поднимите иглу вверх и переместите её в горизонтальном направлении (вправо или влево) на некоторое расстояние (шаг измерения координаты r дается в бланке) опустите иглу до соприкосновения с жидкостью и возьмите отсчет $\nabla_{\text{оп}}$ по нониусу измерительной иглы. Повторите измерения для следующих точек.

5. На установках с регулятором скорости вращения двигателя установите другое число оборотов двигателя и повторите действия п.3, 4 и 5.

Обработка экспериментальных данных

1. Вычислите ординаты точек свободной поверхности во вращающемся сосуде (начало отсчета на свободной поверхности жидкости на оси сосуда) по формуле

$$(z_{\text{оп}})_i = (\nabla_{\text{оп}})_i - \nabla_{\text{оп}}^0, \quad (4)$$

где i – номер точки.

2. Определите ординаты точек свободной поверхности $z_{\text{теор}}$ по формуле (3).

3. На специально предусмотренной в бланке отчета координатной сетке (рис.5) постройте в соответствии с формулой (3) кривые свободной поверхности и нанесите на этот график экспериментальные точки.

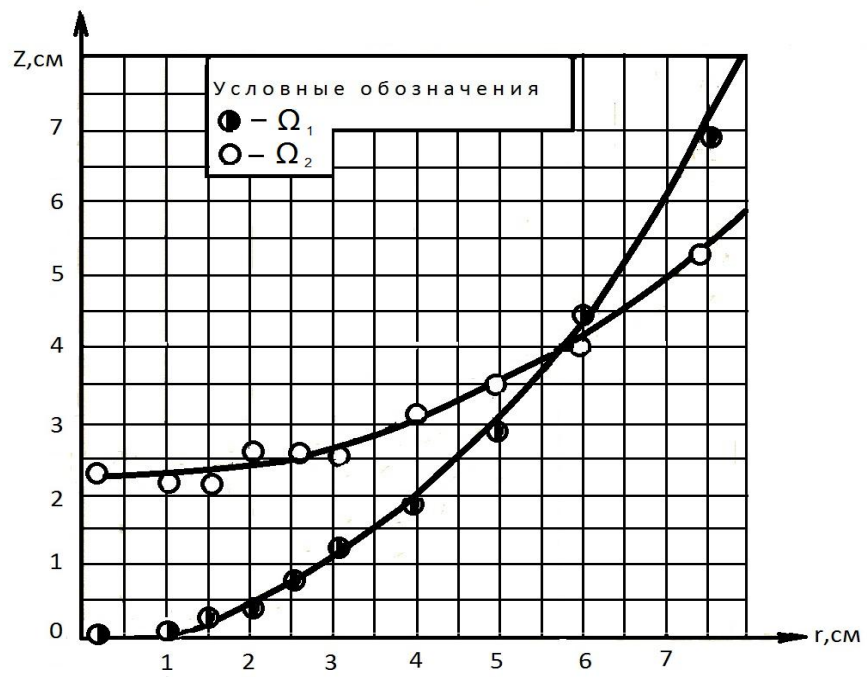


Рис.5

Работа 3

ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Задачи работы - визуальное наблюдение особенностей ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости в стеклянной трубке; приобретение навыков экспериментального определения расхода жидкости, средней скорости движения жидкости; вычисление чисел Рейнольдса на основании экспериментальных данных.

Описание экспериментальной установки

Для изучения режимов движения жидкости используется экспериментальная установка, схема которой представлена на рис.6. Установка включает в себя напорный бак 1, в который вода поступает из водопроводной сети. Уровень воды в баке поддерживается на постоянной отметке благодаря холостому сливу 7, представляющему собой

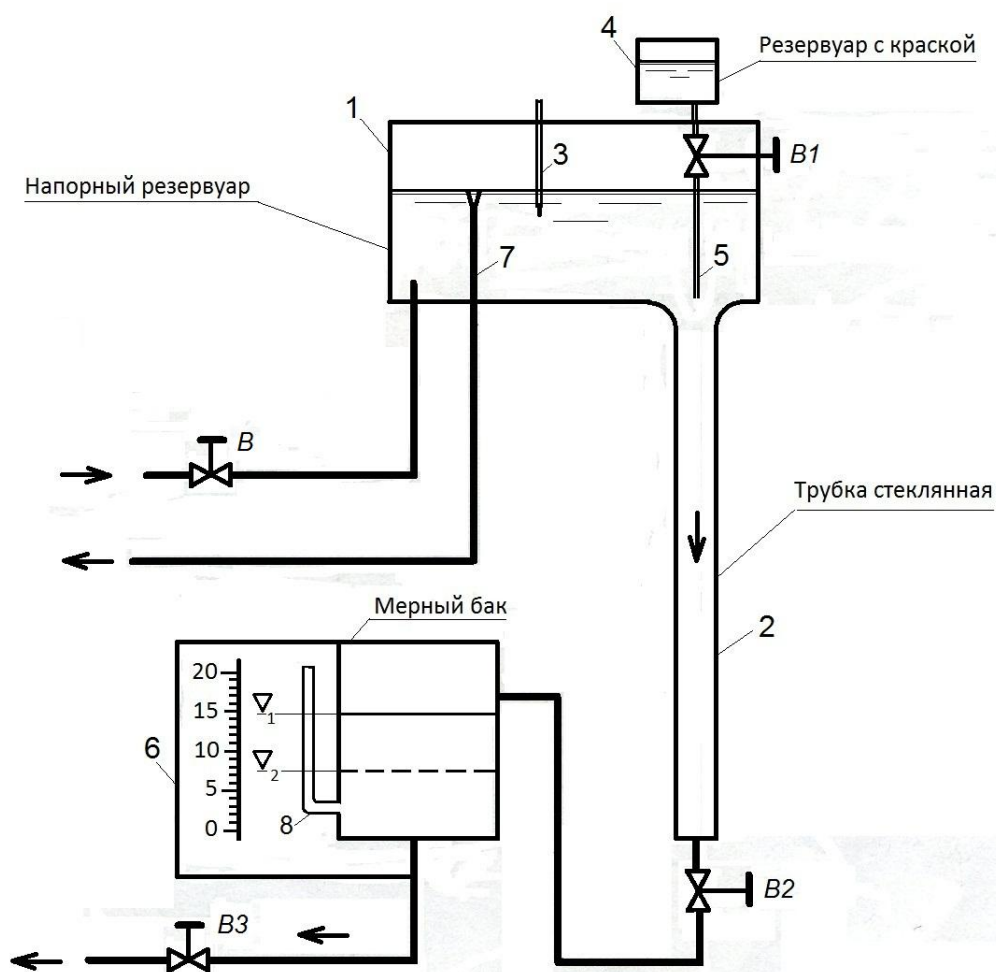


Рис.6

вертикальную трубу с воронкой, расположенной на заданном уровне. Из напорного бака **1** вода поступает в стеклянную трубку **2**, имеющую плавноскругленный вход, в которой наблюдаются режимы движения жидкости. Краска в стеклянную трубку подается из бачка **4** с помощью тонкой трубочки **5**, снабженной вентиляем **B1**. Для регулирования расхода воды имеется вентиль **B2**, расположенный на выходе из стеклянной трубки. Вода, из стеклянной трубки поступает в мерный бак **3**, оборудованный пьезометром **8** с делениями для определения уровня жидкости в баке. Для опорожнения мерного бака служит труба, оборудованная вентиляем **B3**. Для определения температуры воды служит термометр **3**.

Содержание работы

1. Проведение двух опытов для визуального наблюдения за подкрашенной жидкостью при разных режимах движения жидкости; измерение расхода и температуры воды.

2. Обработка опытных данных для вычисления чисел Рейнольдса, соответствующих наблюдаемым в опытах ламинарному и турбулентному режимам движения.

Порядок проведения опытов

1. Наполните бак **1** до максимальной отметки. Для этого откройте вентиль **B**. После наполнения бака закройте вентиль **B**.

2. С помощью вентиляей **B1** и **B2** добейтесь того, чтобы в стеклянной трубке установился ламинарный режим и скорость выпускаемой краски была примерно равна скорости движения воды в стеклянной трубке.

3. Определите расход жидкости. Для этого закройте кран **B3** и, наблюдая за наполнением мерного бака по делениям мерного стекла **8**, с помощью секундомера определите продолжительность наполнения t заранее намеченного мерного объема.

4. Откройте кран **B3** и убедитесь, что мерный бак опорожнился.

5. Установите турбулентный режим движения. Для этого откройте вентили **B**, **B1** и **B3**. Регулируя вентиляем **B1** подачу краски, убедитесь, что установился турбулентный режим движения жидкости. Закройте вентиль **B2** и приступайте к измерению расхода (см. п.3).

6. Определите температуру воды в баке 1 с помощью термометра 3.

Обработка экспериментальных данных

1. Вычислите расход воды по формуле (1).

2. Вычислите среднюю скорость течения воды в стеклянной трубке по формуле (2).

3. Определите число Рейнольдса по формуле

$$Re_D = \frac{vD}{\nu}, \quad (5)$$

где ν - кинематический коэффициент вязкости, значение которого определяется по справочной литературе в зависимости от температуры воды.

4. Сравните числа Рейнольдса, вычисленные для каждого опыта с нижним и верхним критическими числами Рейнольдса $(Re_D)_K = 2300$ и 4000 . Обратите внимание на соответствие полученных значений чисел Рейнольдса результатам визуальных наблюдений за режимом течения в стеклянной трубке.

Работа 4

ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕРЬ НАПОРА ПО ДЛИНЕ

Задачи работы – определение потерь напора по длине и коэффициента гидравлического трения на основании данных опытов, изучение влияния средней скорости течения жидкости на величину потерь напора по длине, а также приобретение практических навыков в определении гидродинамического давления с помощью пьезометров и закрепление навыков в определении расхода объёмным способом.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка для изучения потерь напора по длине представлена на рис.7.

Установка включает в себя трубопровод *1*, на рабочем участке которого длиной *L* подключены пьезометры *П₁* и *П₂*. Трубопровод присоединен к напорному баку *2*, где с помощью холостого слива *9* поддерживается постоянный уровень. В напорный бак вода подается центробежным насосом *4*, забирающим воду из емкости *3*, куда вода поступает из исследуемого трубопровода через мерный бак *7*. Таким образом, на установке используется замкнутая система водоснабжения. Подача воды насосом регулируется вентилем *5*. Расход воды в трубопроводе изменяется с помощью вентиля *6*, установленного в его конце. Мерный бак *7* оборудован вентилем *8*. Мерный бак наполняется при закрытом вентиле *8*. Отметки уровня воды в мерном баке визуальны контролируются по шкале водомерного стекла, имеющегося на лицевой стенке мерного бака. Температура воды измеряется с помощью термометра.

Содержание работы

1. Проведение серии опытов по измерению потерь напора по длине на участке между пьезометрами *П₁* и *П₂*, соответствующих различным значениям расхода жидкости в трубе.

2. Определение на основании экспериментальных данных чисел Рейнольдса, коэффициентов гидравлического трения и области сопротивления.

3. Построение графика зависимости потерь напора от средней скорости и графическое определение показателя степени при средней скорости в этой зависимости.

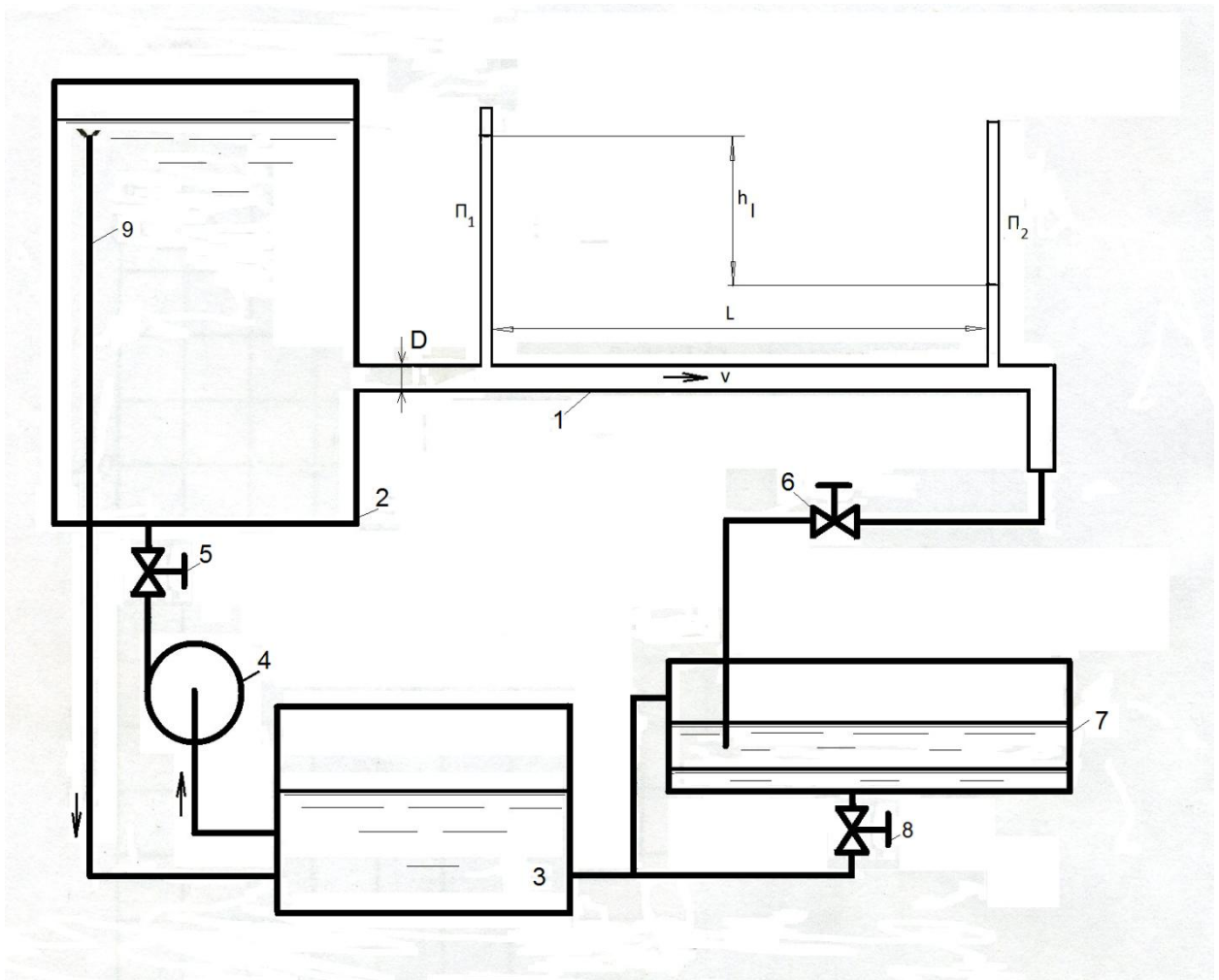


Рис.7

Порядок проведения опытов

1. Подготовьте установку к проведению опытов. Для этого включите насос **4**, откройте вентиль **5** и вентиль мерного бака **8**. Измерьте температуру воды в баке.
2. Установите в трубе максимально возможный расход. Для этого полностью откройте вентиль **6**, контролируя при этом уровни воды в пьезометрах Π_1 и Π_2 .
3. Снимите отсчеты по пьезометрам Π_1 и Π_2 .
4. Приступайте к измерению расхода. Для этого закройте вентиль **8** мерного бака и ручным секундомером определите время заполнения заранее намеченного мерного объёма, которому отвечают два уровня воды в мерном баке по водомерному стеклу.

5. Измените расход жидкости с помощью вентиля **б**, контролируя уровни жидкости в пьезометрах.

Повторите действия пунктов **3** и **4**. Всего проведите 8-10 опытов.

Обработка экспериментальных данных

1. Вычислите расход жидкости по формуле (1).

2. Вычислите среднюю скорость по зависимости (2).

3. Определите кинематический коэффициент вязкости воды, зная её температуру [2].

4. Вычислите число Рейнольдса по формуле (3) .

5. Найдите относительную шероховатость для исследуемого трубопровода $\Delta_r = \frac{\Delta}{D}$, где Δ - абсолютная шероховатость (входит в число исходных данных).

6. Вычислите предельные числа Рейнольдса по формулам.

$$Re_D '_{\text{пред}} = \frac{10}{\Delta_r} \quad \text{и} \quad Re_D ''_{\text{пред}} = \frac{500}{\Delta_r} .$$

7. Установите область сопротивления. Для этого сопоставьте числа Рейнольдса, найденные в пунктах 4 и 6.

8. Найдите значения опытных потерь напора по формуле

$$h_l = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} - z_2 + \frac{p_2}{\gamma} ,$$

где $z_1 + \frac{p_1}{\gamma}$ и $z_2 + \frac{p_2}{\gamma}$ – показания пьезометров.

9. Определите опытные значения коэффициента гидравлического трения по формуле Вейсбаха –Дарси

$$h_l = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}, \quad \lambda_{\text{оп}} = h_l \frac{D}{l} \frac{2g}{v^2} .$$

10. Для каждого опыта, зная числа Рейнольдса (п.4), относительную шероховатость (п.5) и область сопротивления (п.7), определите расчетное значение коэффициента гидравлического трения $\lambda_{\text{расч}}$ по графику Кольбрука-Уайта [2].

11. Найдите расхождение между $\lambda_{оп}$ и $\lambda_{расч}$ по формуле

$$\frac{\lambda_{расч} - \lambda_{оп}}{\lambda_{оп}} 100\%.$$

12. Определите, какой степени m при скорости пропорциональны потери напора по длине для данной области сопротивления $h_l = kv^m$. Для этого постройте логарифмическую анаморфозу $lgh_l = lgk + mlgv$. Искомый показатель степени m численно равен $tq\theta$, который следует находить как отношение катетов с учетом масштабов (рис. 8). Убедитесь, что найденное значение соответствует установленной ранее области сопротивления (п.7).

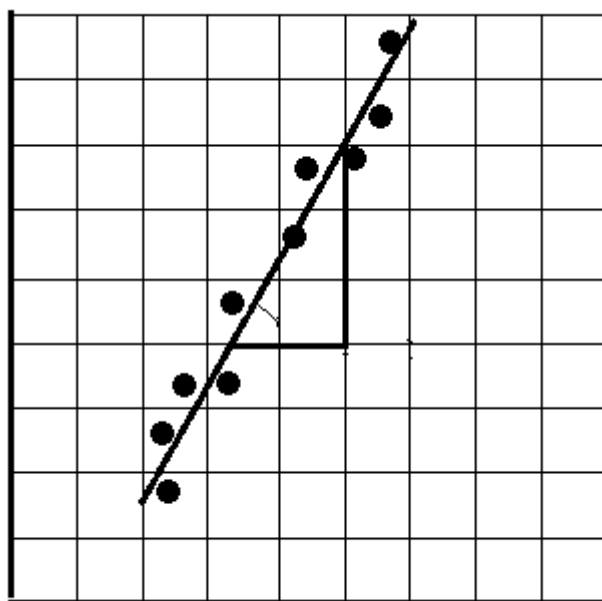


Рис. 8

Работа 5

ИЗУЧЕНИЕ МЕСТНЫХ ПОТЕРЬ НАПОРА

Задачи работы - получение и закрепление навыков экспериментального определения коэффициентов местного сопротивления, измерения расхода объемным способом, гидродинамических давлений с помощью пьезометров, построения напорной и пьезометрической линий по данным опытов.

Описание экспериментальной установки

Лабораторная работа проводится на той же установке, что и работа 4. Схема установки представлена на рис 8. Вода из напорного бака 2 поступает в трубопровод 1, имеющий местные сопротивления: резкий поворот 9 на 180° , резкое расширение 10 и резкое сужение 11. По длине трубопровода установлены десять пьезометров, служащих для измерения потенциальных напоров в этих сечениях. Вода из трубопровода поступает в мерный бак 7.

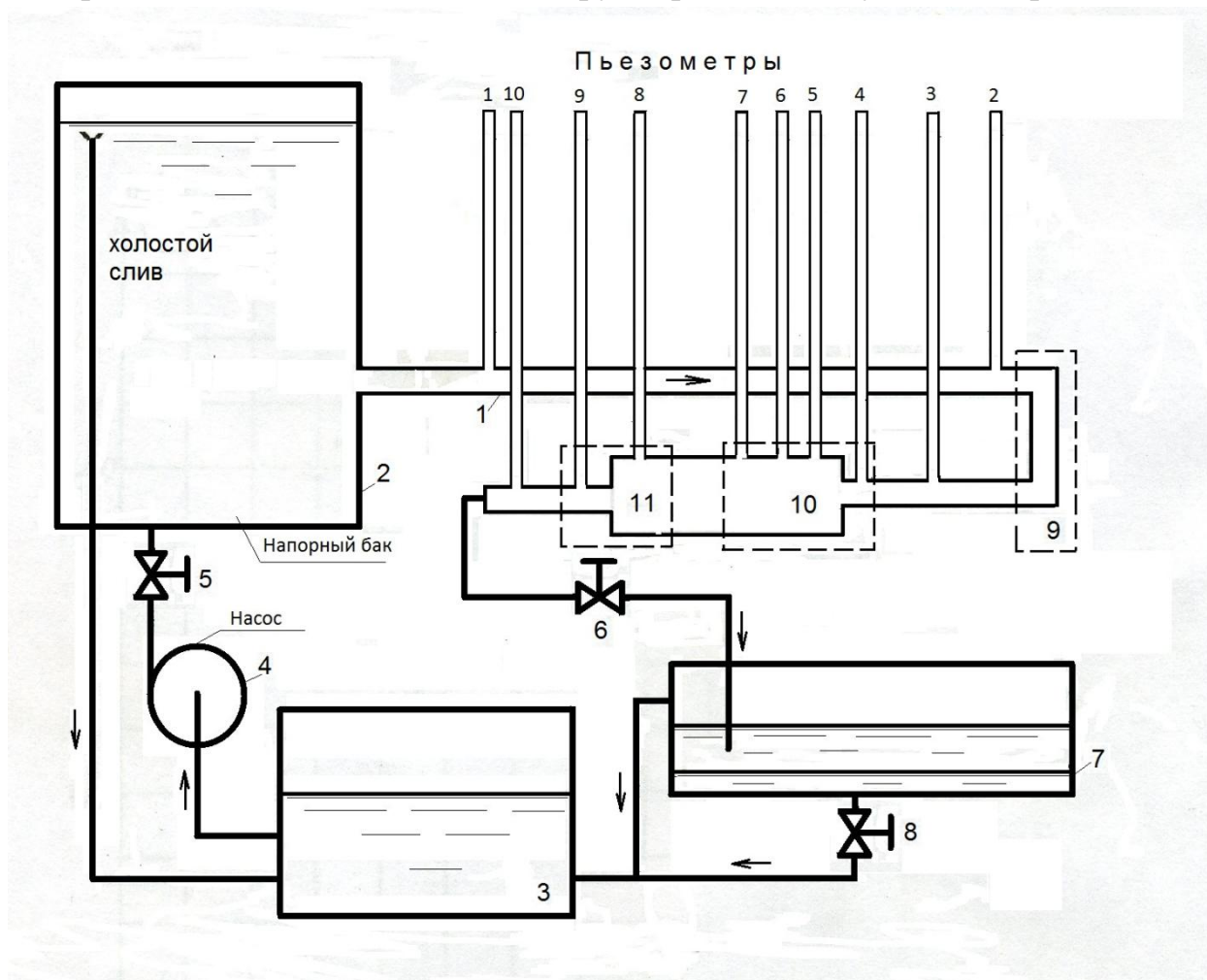


Рис.9

Содержание работы

1. Проведение опытов при различных расходах воды и определение потенциальных напоров по показаниям пьезометров.
2. Определение коэффициентов местного сопротивления на основании экспериментальных данных.
3. Сопоставление опытных значений коэффициентов местного сопротивления с коэффициентами, найденными в справочной литературе [2].
4. Построение по данным опытов напорной и пьезометрической линий.

Порядок проведения опытов

Подготовьте установку к проведению опытов: включите насос 4, откройте вентили 5 и 8.

1. Установите максимальный расход в трубопроводе. Для этого полностью откройте вентиль 6, контролируя уровень воды в пьезометрах (уровни воды должны быть в пределах шкалы пьезометров).
2. Снимите показания пьезометров.
3. Определите продолжительность наполнения мерного бака, соответствующую измеряемому расходу (более подробно см. работу 4). Вычислите значение расхода по формуле (1).
4. Уменьшите расход воды в трубопроводе и повторите измерения п.2 и п.3.

Всего проведите три опыта при разных расходах.

Обработка экспериментальных данных

1. Определите потенциальные напоры в сечениях до и после исследуемых сопротивлений. Потенциальные напоры соответствуют показаниям пьезометров. Рабочие номера пьезометров, для каждого местного сопротивления, указаны в исходных данных (см. бланк отчёта).
2. Определите скорость движения воды, скоростной напор и полный напор в сечениях до и после сопротивления.

3. Вычислите потери напора на каждом местном сопротивлении по результатам опытов, исходя из уравнения Бернулли, приняв $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha = 1$.

$$h_m = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} \right),$$

где $z_1 + \frac{p_1}{\gamma}$ и $z_2 + \frac{p_2}{\gamma}$ – показания пьезометров соответственно до и после сопротивления;

$\frac{\alpha v_1^2}{2g}$ и $\frac{\alpha v_2^2}{2g}$ – скоростные напоры до и после сопротивления.

4. Определите коэффициент местного сопротивления на основании данных опытов исходя из формулы Вейсбаха

$$\zeta_{\text{оп}} = \frac{h_m}{v_1^2 / 2g}.$$

5. Определите расхождение в процентах между коэффициентами сопротивления, определенными на основании экспериментальных данных и коэффициентами, определенными из справочной литературы [2].

6. Постройте напорную и пьезометрическую линии на основании данных опытов для одного расхода.

Работа 6

ИЗУЧЕНИЕ ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ И НАСАДКИ

Задачи работы - визуальное наблюдение явления истечения жидкости через отверстия и насадки; закрепление полученных навыков определения расхода объёмным способом; получение практических навыков определения координат струи; вычисление на основании экспериментальных данных коэффициентов расхода, скорости и сжатия струи; экспериментальная проверка зависимости коэффициента расхода от числа Рейнольдса; экспериментальная проверка теоретической зависимости для определения времени опорожнения резервуара при свободном истечении воды из него через отверстие в тонкой стенке и внешний цилиндрический насадок.

Описание экспериментальной установки

Установка, схема которой представлена на рис.10, имеет замкнутую систему водоснабжения. Вода из резервуара *1* подается насосом *2* через вентиль *3* в напорный бак *4*. Для поддержания постоянного уровня воды в напорном баке имеется холостой слив *5*. В боковой стенке напорного бака имеется резьбовое отверстие, в котором крепятся диафрагмы с отверстиями и насадками. Струя, вытекающая из отверстия или насадка, попадает в мерный бак *9*, оборудованный двумя сбросными вентилями *7*. К этой же стенке сбросного бака крепится кронштейн *6* с пятью измерительными иглами, служащими для измерения координат струи *x* и *z*. Лицевая стенка напорного бака выполнена из органического стекла, что позволяет следить за уровнем воды в нем. Кроме того на этой стенке нанесены риски, отстоящие на определенную высоту от оси отверстия (насадка), что позволяет фиксировать начальный (H_1) и конечный (H_2) напоры в процессе опорожнения напорного бака.

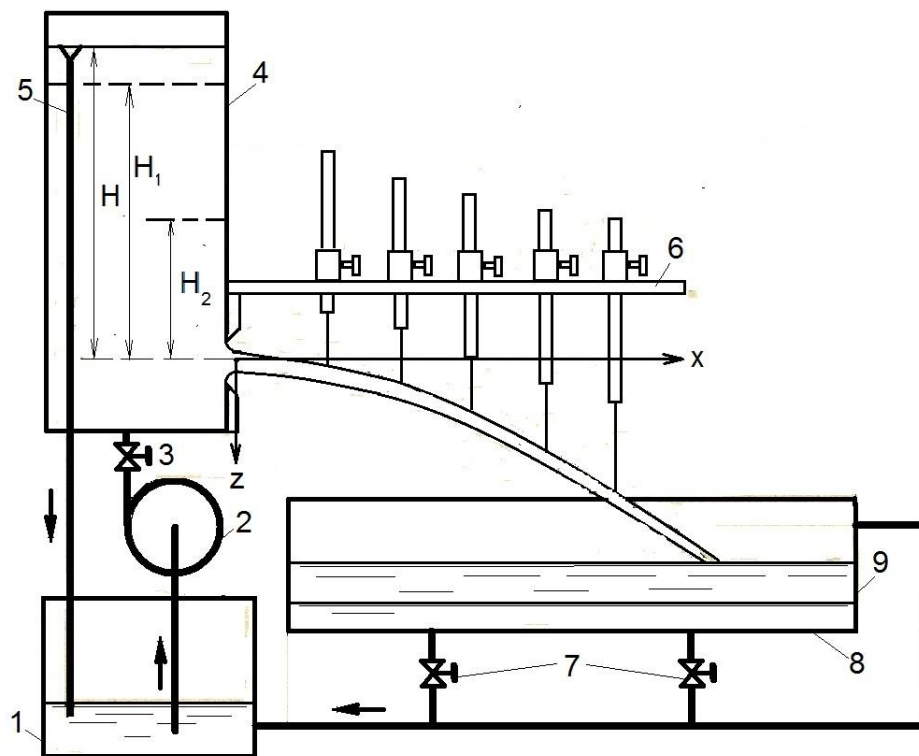


Рис 10.

Содержание работы

1. Проведение опытов с истечением воды через круглое отверстие. Экспериментальное определение коэффициента расхода отверстия μ_0 и измерение координат струи с целью дальнейшего вычисления коэффициентов скорости φ_0 и сжатия ε .

2. Проведение опытов с треугольным отверстием. Наблюдение явления инверсии струи.

3. Проведение опытов с истечением воды через насадки различных типов (цилиндрического, сходящегося и расходящегося). Наблюдение особенностей истечения жидкости через насадки, определение их коэффициентов расхода μ_n .

4. Проведение опытов по определению времени опорожнения резервуара при истечении воды через круглое отверстие и внешний цилиндрический насадок. Сопоставление времени опорожнения, полученного в опыте, с расчетным значением.

Порядок проведения опытов

1. Убедитесь, что напорный бак опорожнен, и установите в резьбовом отверстии диафрагму с круглым отверстием.

2. Откройте сбросные вентили 7, включите насос 2 и полностью откройте вентиль насоса 3. Будет наполняться напорный бак.

3. Убедитесь, что напорный бак наполнен полностью, уровень воды в нем стабилизировался и приступайте к измерению расхода объёмным способом.

4. Определите температуру воды с помощью термометра.

5. Определите с помощью измерительных игл координаты оси струи, вытекающей из круглого отверстия. Обратите внимание на форму струи, вытекающей из отверстия.

Первый опыт завершен.

6. Выключите электродвигатель насоса (при этом напорный бак будет опорожняться как через насос, так и через отверстие), дождитесь полного опорожнения напорного бака 4, контролируя уровень воды в нем через прозрачную переднюю стенку.

7. Выверните из резьбового соединения диафрагму с отверстием и замените её на диафрагму с насадком, являющимся предметом исследований в следующем опыте.

8. Включите электродвигатель насоса и повторите операции пунктов 2, 3,6.

Аналогичные опыты проведите для других типов насадков.

Опыты по определению времени опорожнения резервуара необходимо провести для круглого отверстия и внешнего цилиндрического насадка.

Для этого необходимо:

1. При выключенном насосе и полностью опорожненном напорном баке

установите диафрагму с круглым отверстием.

2. Убедитесь, что вентили 3 и 7 полностью открыты, после чего включите насос.

3. После того как напорный бак заполнится и уровень воды в нем стабилизируется, закройте вентиль 3 и выключите насос. Напорный бак начнет опорожняться только через отверстие в стенке бака.

4. Определите с помощью секундомера время опорожнения объема жидкости напорного бака, заключенного между рисками на его лицевой стенке, отвечающими H_1 и H_2 .

Повторите опыт с внешним цилиндрическим насадком.

Обработка экспериментальных данных

Определение коэффициентов расхода, скорости и сжатия

1. Вычислите расход жидкости Q , среднюю скорость движения v жидкости и число Рейнольдса Re_D . Для насадка все параметры вычисляем для выходного сечения;

2. Определите косвенным путем опытные значения коэффициентов расхода отверстия и насадков, используя формулы

$$Q = \mu_0 \omega \sqrt{2gH}, \quad Q = \mu_n \omega \sqrt{2gH},$$

где μ_0 и μ_n коэффициенты расхода отверстия и насадка; H – напор над центром тяжести выходного сечения отверстия или насадка.

3. Вычислите на основании экспериментальных данных коэффициент скорости φ_0 для отверстия по формуле

$$\varphi_0 = \frac{x}{z} \sqrt{\frac{2gH}{H_2}}.$$

где x и z – координаты струи.

4. Вычислите коэффициент сжатия струи ε по формуле

$$\mu_0 = \varepsilon \varphi.$$

Сопоставьте коэффициенты μ_0 , μ_n , φ и ε , определенные на основании опытных данных, с найденными по справочной литературе [2].

5. Сопоставьте продолжительность опорожнения резервуара, измеренную при проведении опытов, с определенным по формуле

$$T = \frac{2F}{\mu \omega \sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}),$$

где F — площадь горизонтального сечения напорного бака;
коэффициент расхода μ для отверстия принять равным 0,62, а для насадка
0,82.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.Д.Гиргидов. Механика жидкости и газа (гидравлика).СПб2.
- 2.Е.Н.Кожевникова, А.И.Лаксберг, Е.А.Локтионова. Механика жидкости и газа (гидравлика), Краткий справочник.: Изд-во Политехнического университета, 2007.72 с.

Содержание

Введение.....	3
Экспериментальное определение основных гидравлических параметров.....	3
Р а б о т а 1 Изучение способов измерения гидростатического давления.	4
Р а б о т а 2 Изучение относительного покоя жидкости во вращающемся сосуде.....	11
Р а б о т а 3 Изучение режимов движения жидкости	15
Р а б о т а 4 Изучение потерь напора по длине.....	17
Р а б о т а 5 Изучение местных потерь напора.....	21
Р а б о т а 6 Изучение истечения жидкости через отверстия и насадки..	22
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	. 30
БЛАНКИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	31

6. Вычисление абсолютного давления в замкнутой области

№ опы- тов	Абсолютное давление			
	Больше атмосферного		Меньше атмосферного	
	вода	спирт	вода	спирт
	Н/см ²		Н/см ²	
1				
2				
3				
4				

Примечания:

При вычислении атмосферного давления в замкнутой области использовать показания U – образных пьезометров и принимать атмосферное давление $p_a = 10 \text{ Н/см}^2$.

САНКТ- ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Инженерно-строительный факультет

Кафедра гидравлики

Факультет _____

Группа _____

Студент _____

ОТЧЁТ

о лабораторной работе №1

Изучение способов измерения гидростатического давления

1. Схема экспериментальной установки

Работа выполнена
«__» _____ 20__ г.

Студент _____

Работа принята
«__» _____ 20__ г.

Руководитель _____

2. Исходные данные

Вес единицы объема воды $\gamma = 0,01 \text{ Н/см}^3$

Вес единицы объема спирта $\gamma = \quad \text{ Н/см}^3$

3. Величины, измеренные при проведении опытов

а) для определения избыточного давления

№ опы- тов	Отсчеты по шкале, соответствующие горизонтам жидкости в пьезометрах					
	U – образный пьезометр				Пьезометр в точке А	
	вода		спирт		вода	
	левое колено	правое колено	левое колено	правое колено	при p_a	при $p > p_a$
	см		см		см	
1						
2						
3						
4						

б) для определения величины вакуума

№ опы- тов	Отсчеты по шкале, соответствующие горизонтам жидкости в пьезометрах					
	U – образный пьезометр				Обратный пьезометр	
	вода		спирт		вода	
	левое колено	правое колено	левое колено	правое колено	при p_a	при $p < p_a$
	см		см		см	
1						
2						
3						
4						

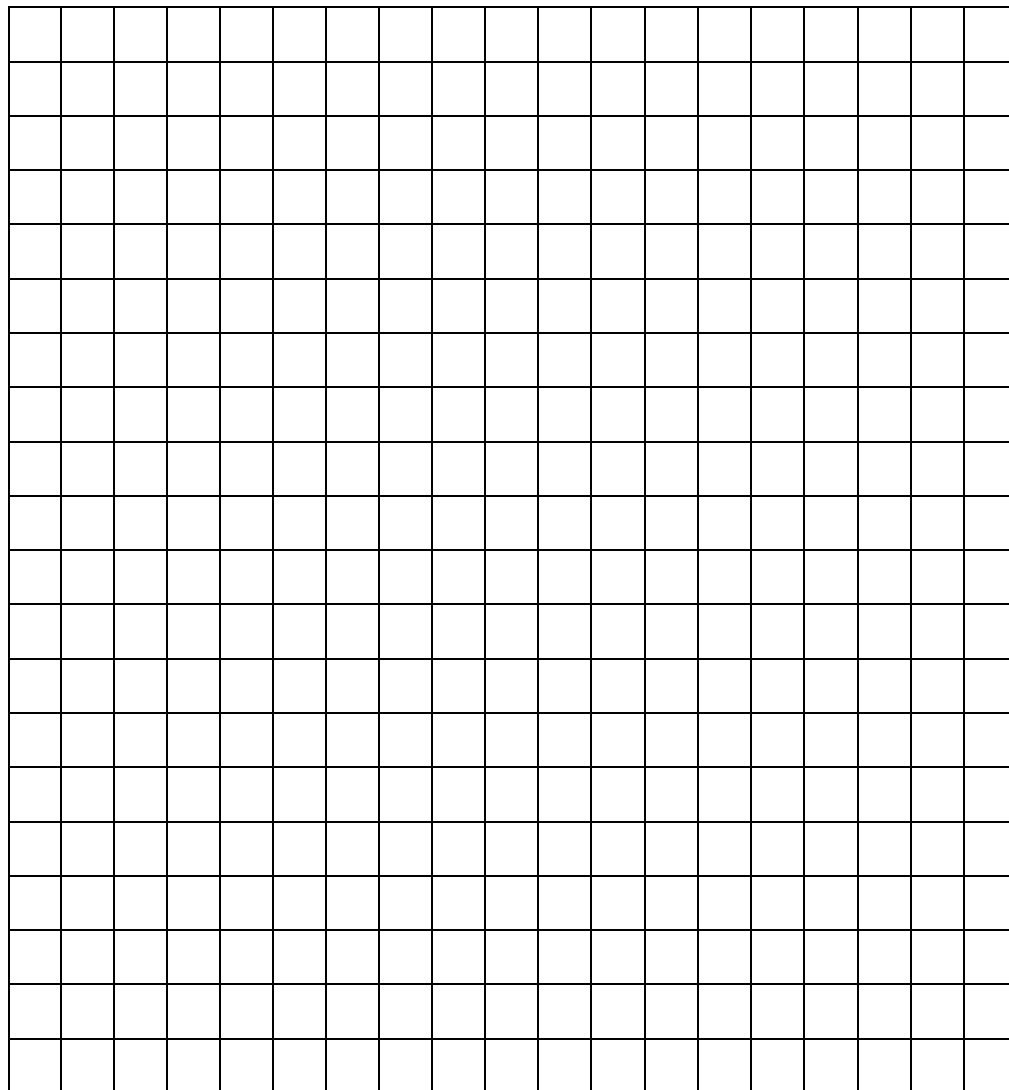
4. Вычисление избыточного давления в замкнутой области

№ опы- тов	Разность отсчетов показаний пьезометров				Избыточное давление		
	U – образный пьезометр		Пьезометр в точке А		U – образный пьезометр		Пьезометр в точке А
	вода	спирт	вода	вода	спирт	вода	
	см		см		Н/см ²		Н/см ²
1							
2							
3							
4							

5. Вычисление величины вакуума в замкнутой области

№ опы- тов	Разность отсчетов показаний пьезометров				Величина вакуума		
	U – образный пьезометр		Обратный пьезометр		U – образный пьезометр		Обратный пьезометр
	вода	спирт	вода	вода	спирт	вода	
	см		см		Н/см ²		Н/см ²
1							
2							
3							
4							

6. Опытные точки и теоретические кривые свободной поверхности



Работа выполнена
«___» _____ 20__
Студент _____

Работа принята
«___» _____ 20__
Преподаватель _____

САНКТ- ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Инженерно-строительный факультет

Кафедра гидравлики

Факультет _____
Группа _____
Студент _____

ОТЧЁТ
о лабораторной работе №2
Изучение относительного покоя жидкости

1. Схема экспериментальной установки

2. Исходные данные

Отсчет по горизонтальной шкале на оси сосуда..... см

Радиус сосуда R =см.

3. Величины, измеренные при проведении опытов

Отметка уровня жидкости в неподвижном сосуде.....

Отметка дна сосуда.....

№ опы-тов	Угловая скорость	Отсчет по нониусу измерительной иглы на расстоянии r(см) от оси сосуда									
		0,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,5
	об/мин	см									
1											
2											

4. Результаты обработки экспериментальных данных

№ опы-тов	Угловая скорость	Ордината z _{оп} на расстоянии r(см) от оси сосуда									
		0,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,5
	рад/с	см									
1											
2											

5. Вычисление ординат z_{теор} точек свободной поверхности

№ опы-тов	Угловая скорость	Ордината z _{теор} на расстоянии r(см) от оси сосуда									
		0,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,5
	рад/с	см									
1											
2											

Примечание: 1. Ордината z_{теор} вычисляется по формуле $Z_{\text{теор}} = \frac{\Omega^2}{2g} r^2$

Инженерно-строительный факультет

Кафедра гидравлики

Факультет _____

Группа _____

Студент _____

ОТЧЁТ

о лабораторной работе №3

Изучение режимов движения жидкости

1. Схема экспериментальной установки

2. Исходные данные

При проведении опытов в качестве жидкости используется вода.

Вода движется по стеклянной трубке диаметром $D = \dots\dots\dots$ см.

Способ измерения расхода – объемный.

Температура воды $t = \dots\dots\dots$ °С.

Кинематический коэффициент вязкости воды $\nu = \dots\dots\dots$ см²/с.

3. Величины, измеренные при проведении опытов

№ опыта	Режим движения жидкости (оценивается визуально)	Отсчеты по указателю уровня воды в мерном баке		Объемы воды в баке по тарировочной кривой		Время наполнения мерного бака Т
		начальный ∇_1	конечный ∇_2	начальный ∇_1	конечный ∇_2	
		см		см ³		с
1						
2						
3						
4						

4. Определение чисел Рейнольдса для исследованных потоков

№ опыта	Режим движения жидкости	Разность объемов воды в баке $\nabla_2 - \nabla_1$	Расход Q	Средняя скорость течения в трубке v	Число Рейнольдса Re_D
		см ³	см ³ /с	см/с	
1					
2					
3					
4					

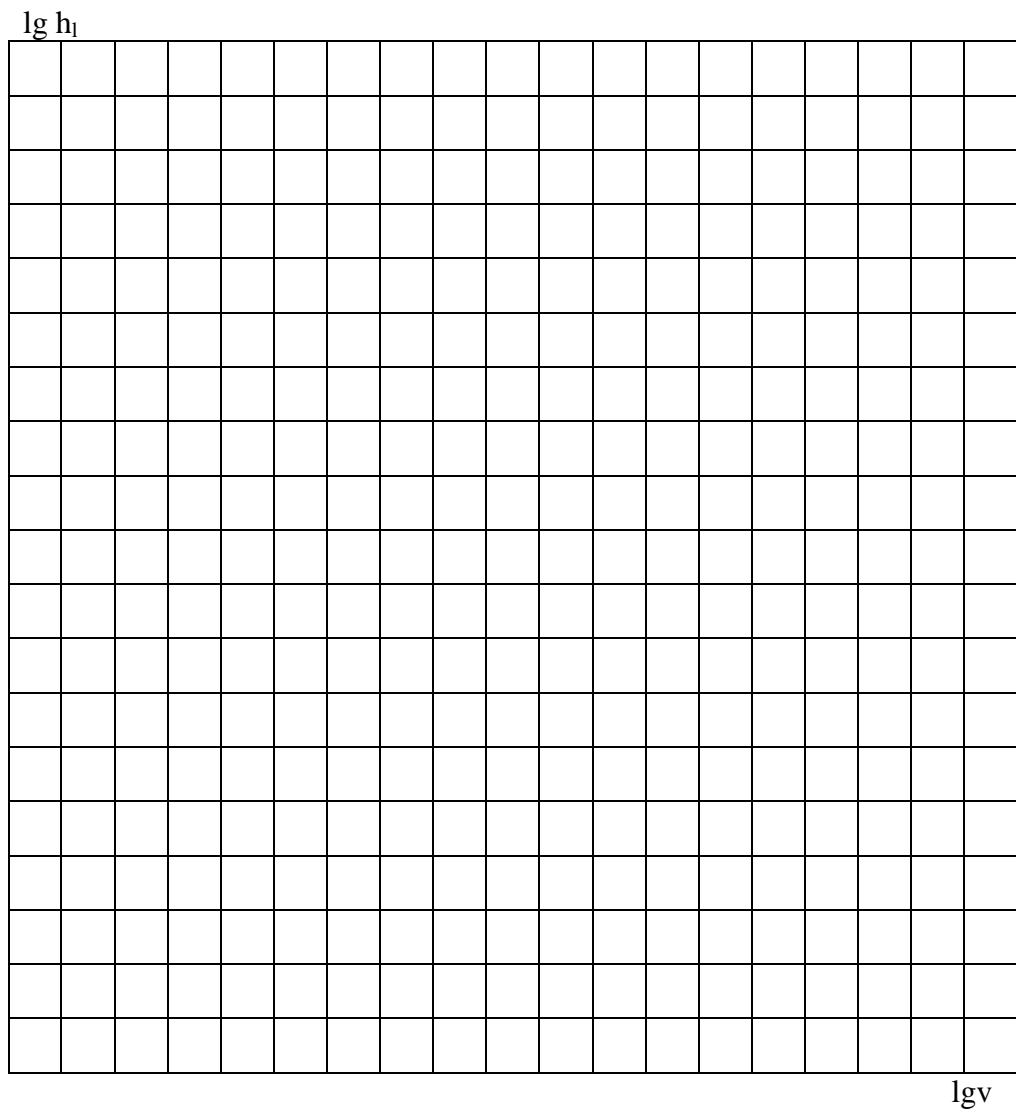
Работа выполнена
"___" _____ 201_ г.

Студент _____

Работа принята
"___" _____ 201_ г.

Руководитель _____

4. График $\lg h_1 = f(\lg v)$ для определения показателя степени m в зависимости $h_1 = k v^m$



Кафедра гидравлики

Факультет _____
 Группа _____
 Студент _____

ОТЧЁТ
 о лабораторной работе №4

Изучение потерь напора по длине при установившемся равномерном движении жидкости

Работа выполнена
 «___» _____ 20__
 Студент _____

Работа принята
 «___» _____ 20__
 Преподаватель _____

2. Исходные данные

При проведении опытов в качестве жидкости используется вода.
 Способ измерения расхода объёмный.
 Мерный объём $W = \dots \text{см}^3$.
 Вода движется по трубе $D = \dots \text{см}$.
 Длина участка $L = \dots \text{см}$.
 Высота выступов шероховатости $\Delta = \dots \text{мк}$.

3. Результаты измерений и обработки экспериментальных данных

Относительная шероховатость $= \dots / \dots = \dots$

Пределные числа Рейнольдса:

$(Re_D)_{пр=10} = \dots$; $(Re_D)_{пр=500} = \dots$; $(Re_D)_{пр=500} = \dots$

№ опыта	Время Наполне-ния мерного бака	Расход Q_v , $\text{см}^3/\text{с}$	Средняя скорость v , $\text{см}/\text{с}$	Показания пьезометров, см		Потеря напора h_f , см	Число Рейнольдса Re_D	Коэффициент Гидравлического трения		$lg v$	$lg h_f$
				Π_1	Π_2						
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

**5. Построение напорной и пьезометрической линий
для расхода $Q = \dots\dots\dots \text{см}^3/\text{с}$**

Работа выполнена
" " _____ 201_ г.
Студент _____

Работа принята
" " _____ 201_ г.
Руководитель _____

Кафедра гидравлики

Факультет _____
Группа _____
Студент _____

ОТЧЁТ
о лабораторной работе №5

Изучение потерь напора на местных сопротивлениях

1. Схема экспериментальной установки

2. Исходные данные

Меньший диаметр трубопровода $D_1 = \dots\dots\dots$ см;
 больший диаметр трубопровода $D_2 = \dots\dots\dots$ см.
 Площади сечений: $A_1 = \dots\dots\dots$ см²; $A_2 = \dots\dots\dots$ см².
 Способ измерения расхода - объемный.
 Мерный объем $W = \dots\dots\dots$ см³.
 Номера рабочих пьезометров:

- резкий поворот на 180° № 2 и № 3;
- резкое расширение № 4 и № 7;
- резкое сужение № 8 и № 9.

3. Величины, измеренные при проведении опытов

№ опыта	Время наполнения мерного бака Т, с	Расход Q, см ³ /с	Показания пьезометров, см											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1														
2														
3														

№ пьезометров	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расстояние между пьезометрами, см										

4. Определение коэффициентов сопротивления

№ опыта	Вид местного сопроти- вления	До сопротивления				После сопротивления				Потери напора h _j , см	Коэффициент сопротивления		Рас- хожде- ние между $\zeta_{оп}$ и $\zeta_{лит}$	
		Средняя скорость v, см/с	Скоростной напор $\alpha v^2/2g$, см	Потенциальн ый напор H, см	Полный напор H _с , см	Средняя скорость v, см/с	Скоростной напор $\alpha v^2/2g$, см	Потенциальн ый напор H, см	Полный напор H _с , см		$\zeta_{оп}$	$\zeta_{лит}$		
1	Резкий													
2	поворот													
3	на 180°													
1	Резкое													
2	расши-													
3	рение													
1	Резкое													
2	сужение													
3														

Примечания: 1. Величины $\zeta_{оп}$ относятся к скорости до местного сопротивления.

2. Расхождение между $\zeta_{оп}$ и $\zeta_{лит}$ находится по формуле $\Delta\zeta = \frac{\zeta_{оп} - \zeta_{лит}}{\zeta_{оп}} \cdot 100\%$

5. Определение продолжительности опорожнения напорного бака

Тип отверстия и насадка	Начальный напор, см	Конечный напор, см	Время опорожнения, с	
			опытн.	теор.
Круглое отверстие				
Внешний цилиндрический насадок				

Факультет _____

Группа _____

Студент _____

ОТЧЁТ

о лабораторной работе № 6

Изучение истечения жидкости через отверстия и насадки

Работа выполнена
«___» _____ 20__

Работа принята
«___» _____ 20__

Студент _____

Преподаватель _____

САНКТ- ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра гидравлики

1. Схема экспериментальной установки

2. Исходные данные

Способ измерения расхода объёмный.

Мерный объём $W = \dots\dots\dots \text{см}^3$.

Напор над центром отверстия или выходного сечения насадка.

Площадь горизонтального сечения напорного бака

Круглое отверстие: диаметр

Внешний цилиндрический насадок:

диаметр

длина

Конический сходящийся насадок:

диаметр входного сечения

диаметр выходного сечения

длина

Конический расходящийся насадок:

диаметр входного сечения

диаметр выходного сечения

длина

3. Определение коэффициента расхода μ для отверстий и насадков

Типы отверстий и насадков	Время наполнения мерного бака, с	Расход $\text{см}^3/\text{с}$	Скорость истечения, $\text{см}/\text{с}$	Число Re	Коэффициент расхода μ	
					опытн.	лит.
Круглое отверстие						
Внешний цилиндрический насадок						
Конический сходящийся насадок						
Конический Расходящийся насадок						

4. Определение коэффициентов скорости φ и сжатия ε для случая истечения воды через круглое отверстие в тонкой стенке

№ точки вдоль траектории струи	Координаты струи, см		$\overline{H_z}$, св	Коэффициент скорости		Коэффициент Расхода μ_0	Коэффициент сжатия, ε	
	x	z		опытн.	лит.		опытн.	лит.
1								
2								
3								
4								
5								