

18/26/12

**Одобрено кафедрой
«Теплоэнергетика и водоснабжение
на железнодорожном транспорте»**

ГИДРАВЛИКА

**Руководство к выполнению лабораторных работ
для студентов III курса**

специальностей

**270112.65 ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ (ВК)
270204.65 СТРОИТЕЛЬСТВО ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ,
ПУТЬ И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО (ЖД)
270102.65 ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО (ГС)
270201.65 МОСТЫ И ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ (МТ)**

Р О А Т

Москва – 2011

С о с т а в и т е л и : канд. техн. наук, доц. Кадыков В.Т.
канд. воен. наук, проф. Кузьминский Р.А.

Рецензент – канд. техн. наук, доц. Сокольский А.К.

ВВЕДЕНИЕ

В данных методических указаниях к лабораторным работам по учебной дисциплине «Гидравлика» даются общие теоретические сведения по темам, описания лабораторных установок и методика проведения работ.

Общие теоретические сведения, представленные в каждой работе, даны кратко и освещают содержание темы только в пределах данной лабораторной работы.

В описаниях лабораторных установок приведены их схемы и порядок работы на установках.

В методике установлен порядок выполнения лабораторных работ, приведены журналы измерений и порядок обработки получаемых данных. Методика составлена с учетом самостоятельного выполнения студентами лабораторных работ на установках под руководством преподавателя.

Работы рекомендуется выполнять в той последовательности, в которой они написаны, потому что некоторые работы основываются на данных, полученных в предыдущей работе.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ ПОТОКОВ КАПЕЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ

1. УСТРОЙСТВО ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Лабораторные работы по «Гидродинамике» выполняются на нескольких лабораторных установках.

1. Гидравлическая установка «Переносная гидравлическая лаборатория» (ПГЛ).

С использованием лабораторной установки «Переносная гидравлическая лаборатория» (ПГЛ) выполняются лабораторные работы № 1-6. Могут также выполняться лабораторные работы № 7-8.

Внешний вид «ПГЛ» в рабочем положении представлен на рис. 1.1.1, а ее схема приведена на рис. 1.1.2.

ПГЛ состоит из напорного резервуара с панелью 2 на шарнирах, на которой располагаются шкала 3 и пьезометры 4.

Внутри резервуара имеется водосливная перегородка 18, разделяющая резервуар на две части: рабочую и сливную. К рабочей части подводится вода от водопроводного крана через штуцер 19, из сливной части резервуара вода отводится через трубку 20 к стоку.

В одной стенке резервуара имеются 5 патрубков, к ним при помощи коротких резиновых трубок (длиной 4-5 см) присоединяются рабочие трубки: стеклянная 6, в патрубок которой вставляется тонкая трубка с цветной жидкостью для подкрашивания воды; металлическая переменного сечения 7; металлическая постоянного сечения 8; разъемная 9, состоящая из двух коротких трубок, между которыми помещается плексигласовый патрон 10 со вставленной в него диафрагмой с отверстием малого диаметра.

На трубках 7, 8, 9 имеются штуцера 11 для присоединения их к пьезометрам посредством резиновых трубок 12. Все рабочие трубки опираются на подставку 13 и заканчиваются пробковыми кранами 14.

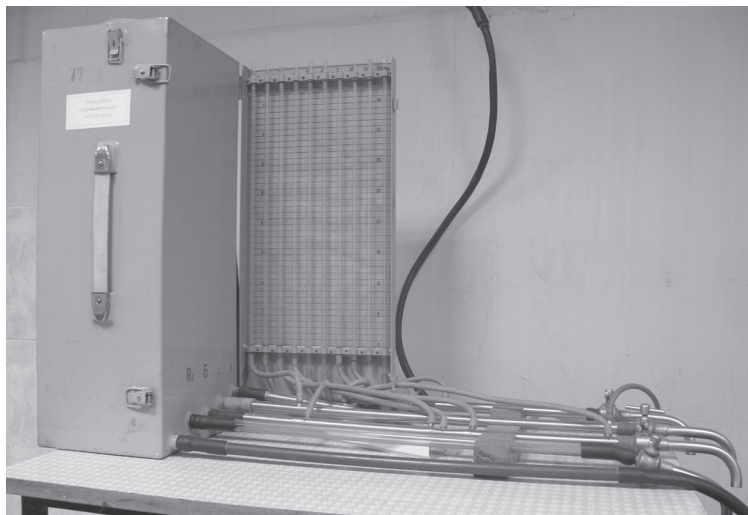


Рис. 1.1.1. Переносная гидравлическая лаборатория (ПГЛ)

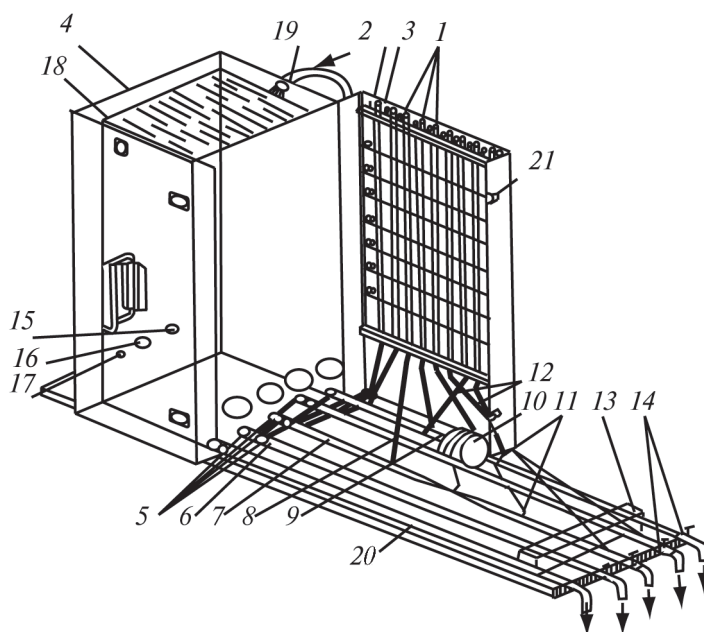


Рис. 1.1.2. Схема переносной гидравлической лаборатории (ПГЛ)

В другой стенке резервуара имеются отверстие 17 и насадки 15 и 16, закрываемые резьбовыми крышками.

2. Гидравлическая установка «Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли».

С использованием лабораторной установки «Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли» могут выполняться лабораторные работы № 2-4.

Внешний вид лабораторной установки «Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли» в рабочем положении представлен на рис. 1.2.

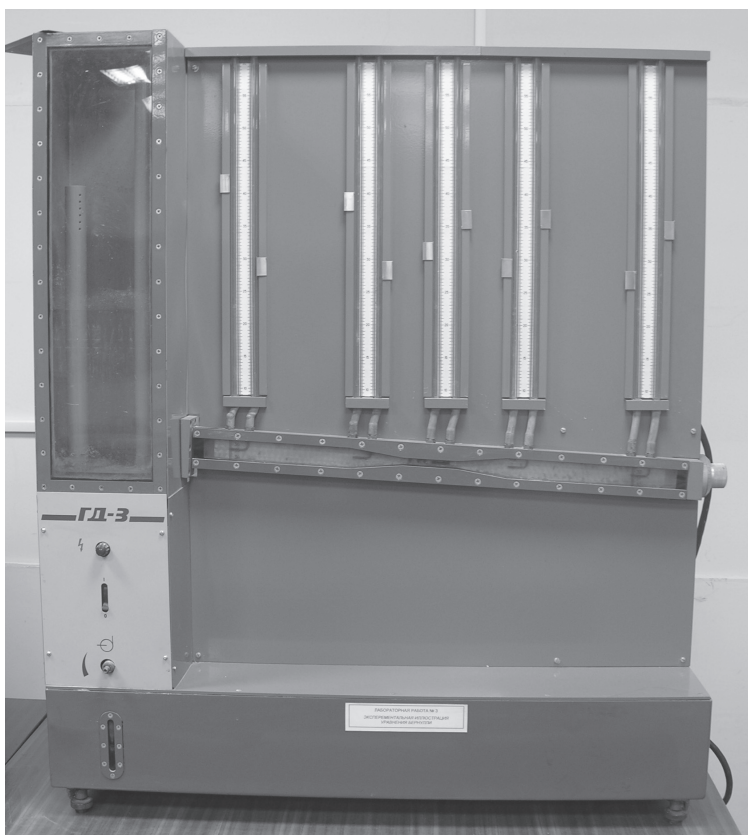


Рис. 1.2. Лабораторная установка «Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли»

Лабораторная установка «Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли» состоит из напорного резервуара 1, каналов переменного сечения 2 с пьезометрами 3 и трубками Пито 4.

Напорный резервуар наполняется водой насосом, который подает воду из внутреннего автономного резервуара. В правой стенке резервуара имеется отверстие, к которому подсоединен канал переменного сечения, закрепленный наклонно.

В пяти сечениях канала подсоединены по две стеклянные трубки (6, 7). Левая трубка (6) является пьезометром, предназначенным для измерения пьезометрического напора $\left(\frac{P}{\gamma}\right)$

(удельной потенциальной энергии давления), правая – трубкой полного гидродинамического напора (7), предназначенной для измерения суммы удельной потенциальной и кинетической энергии потока $\left(\frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}\right)$ в рассматриваемом сечении.

Разность уровней подъема жидкости в этих трубках будет равна удельной кинетической энергии или скоростному напору $\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right)$, зная который можно вычислить скорость движения

потока в рассматриваемом сечении. Все трубки смонтированы на щите. Вдоль трубок имеются шкалы для определения с помощью кареток δ уровней подъема жидкости в них.

Все отсчеты ведутся от горизонтальной плоскости сравнения, каковой является плоскость крышки напорного резервуара 1.

Для измерения геометрической высоты расположения над плоскостью сравнения центров тяжести сечений канала z имеются в каждом сечении линейки 5.

Визуализация потока жидкости, протекающей в канале переменного сечения, достигается за счет прозрачной стенки, выполненной из органического стекла.

Создание в канале переменного сечения установившегося движения жидкости достигается поддержанием постоянного уровня воды в напорном резервуаре 1 с помощью сливной тру-

бы 9 для сброса избыточной жидкости. Регулирование скорости в канале осуществляется краном 10.

Органы управления лабораторной установкой расположены на передней панели и включают:

- маховичок регулирования подачи воды в напорный резервуар;
- маховичок регулировочного крана перелива воды;
- маховички кранов для слива воды из мерного бачка;
- глазок контроля уровня воды в баке;
- шкала наполнения мерного бака;
- маховичок крана на выходе из канала переменного сечения;
- каретки для фиксирования положений линии гидродинамического напора и пьезометрической линии;
- кран слива жидкости из бака;
- сигнальная лампочка сети;
- рычажок автомата включения насоса.

3. Гидравлическая установка «Определение коэффициентов гидравлического трения».

С использованием лабораторной установки «Определение коэффициентов гидравлического трения» может выполняться лабораторная работа № 6.

Внешний вид лабораторной установки «Определение коэффициентов гидравлического трения» в рабочем положении представлен на рис. 1.3.

Лабораторная установка «Определение коэффициентов гидравлического трения» состоит из напорного резервуара 1, трубки постоянного сечения 2, панели пьезометров 3, мерной емкости 4.

Напорный резервуар наполняется водой насосом, который подает воду из внутреннего автономного резервуара. При работе насос через кран перекачивает рабочую жидкость в напорный бак. В напорном баке уровень контролируется сливной трубой, через которую избыточная рабочая жидкость сливается в бак. Слив рабочей жидкости из бака — через кран.

С передней стороны напорный бак закрыт прозрачной стенкой, которая позволяет визуально наблюдать уровень воды.

В правой стенке резервуара имеется отверстие, к которому подсоединена трубка постоянного сечения. На трубке постоянного сечения имеются штуцера для присоединения их с помощью резиновых трубок к пьезометрам. Пьезометры (10 шт.) установлены на панели, где закреплены мерные линейки для определения уровней воды.

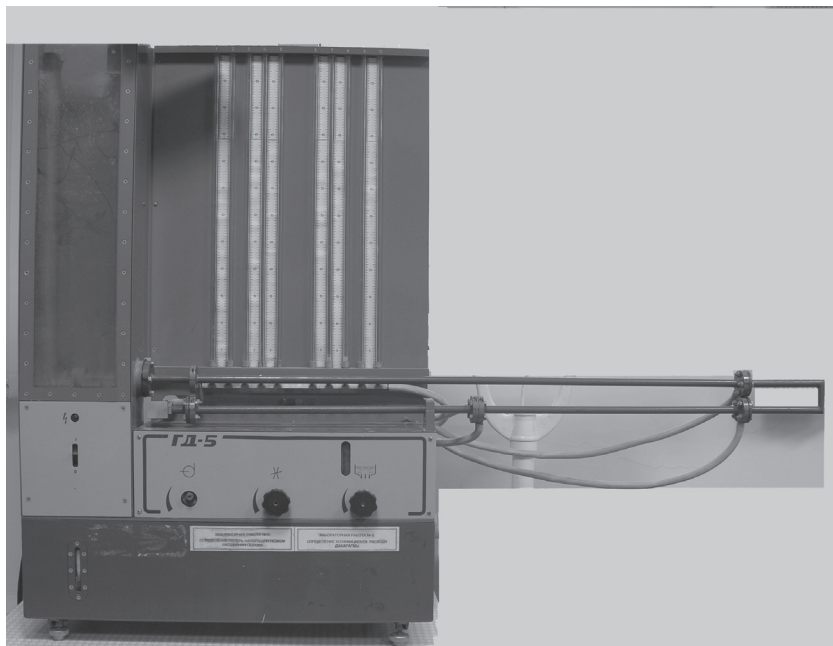


Рис. 1.3. Лабораторная установка «Определение коэффициентов гидравлического трения»

На передней панели размещены маховики управления краном подвода, краном слива из мерного бачка и краном слива воды из исследуемой трубы.

Мерный бачок имеет перегородку, контролирующую сливной уровень, через который вода по трубе сливается в бак. Рабочий уровень в мерном бачке контролируется визуально по шкале. Слив из трубопровода осуществляется через трубу в мерный бачок.

4. Гидравлическая установка «Истечение жидкости из отверстий и насадок».

С использованием лабораторной установки «Истечение жидкости из отверстий и насадок» выполняются лабораторные работы № 7-8.

Внешний вид лабораторной установки «Истечение жидкости из отверстий и насадок» в рабочем положении представлен на рис. 1.4.

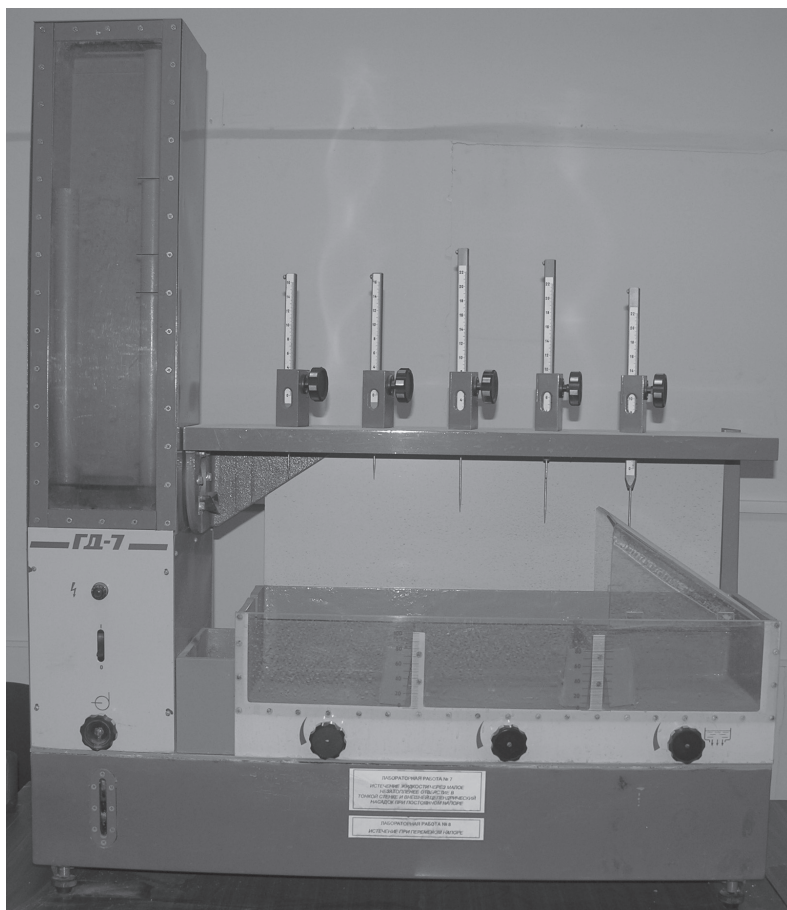


Рис. 1.4. Лабораторная установка «Истечение жидкости из отверстий и насадок»

Лабораторная установка «Истечение жидкости из отверстий и насадок» состоит из напорного резервуара 1, мерной емкости 2, расположенной в нижней части установки, кронштейна с уровнемерами 3.

Напорный резервуар наполняется водой насосом, который подает воду из внутреннего автономного резервуара. В правой стенке резервуара имеется резьбовое отверстие, куда ввинчиваются сменные насадки.

Напорный резервуар имеет переливную трубу, обеспечивающую наибольший напор (500 мм), и прозрачную стенку с четырьмя рисками, предназначенными для проведения опытов при четырех различных напорах. Высота уровня жидкости, соответствующая этим рискам, составляет 250, 300, 400 и 500 мм. Кроме того, эта стенка снабжена непрерывной вертикальной шкалой для фиксации любого уровня. Постоянство напора может быть обеспечено регулировкой краном δ подачи жидкости в бак, равной истечению из отверстия или насадки.

Мерная емкость имеет три резервуара прямоугольной формы с мерными линейками, которые позволяют определять уровни воды в соответствующем резервуаре.

Уровнемеры для замера траекторий струи выполнены в виде измерительных игл,двигающихся с помощью резьбовой линейки в вертикальной плоскости. Уровнемеры имеют мерную шкалу, что позволяет определять высоту отклонения струи жидкости от горизонтальной оси при ее истечении из напорного резервуара.

Органы управления насосной установкой расположены на передней панели и включают: маховики кранов для слива воды из мерного бачка; маховик регулирования подачи воды в напорный резервуар; глазок контроля уровня воды в баке; винты регулирования горизонтального уровня воды в баке; шкала наполнения мерного бака; маховики управления мерными иглами; кран слива жидкости из бака; сигнальная лампочка сети; рычажок автомата включения насоса.

2. РУКОВОДСТВО К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Теоретическое обоснование

При протекании жидкости по трубам и каналам могут иметь место два различных по своему характеру режима течения: ламинарный и турбулентный.

Ламинарный – это режим, при котором поток жидкости движется отдельными струйками или слоями, и траектории отдельных частиц жидкости не пересекаются, линии тока совпадают с траекториями частиц. Ламинарный режим наблюдается преимущественно при течении жидкости с малыми скоростями, или при течении жидкости повышенной вязкости (масло, мазут), а также при движении грунтовых вод.

Турбулентный – это режим, при котором струйки жидкости перемешиваются, и траектории отдельных частиц представляют собой сложные линии, пересекающиеся между собой. В большинстве случаев инженерной практики при течении воды имеет место турбулентный режим течения.

Наличие ламинарного или турбулентного режима зависит от скорости течения жидкости, вязкости жидкости и от геометрических размеров живого сечения потока, а также от шероховатости стенок. Опыты О. Рейнольдса и других ученых показали, что при постепенном увеличении скорости течение ламинарный режим сохраняется лишь до какой-то определенной скорости, после которой наступает турбулентный режим. При проведении опытов в обратном порядке, то есть при уменьшении скорости, турбулентный режим сохраняется также до какой-то определенной скорости, после чего переходит в ламинарный.

Режим движения жидкости определяется безразмерным числом Рейнольдса, которое для напорной трубы круглого сечения имеет вид

$$Re = vd/\nu,$$

где v – средняя скорость течения жидкости; d – линейный размер живого сечения потока (для трубы – внутренний диаметр трубы); ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости.

Критерий Рейнольдса выражает отношение сил инерции частиц жидкости к силам вязкости. Следует ожидать, что при малых числах Re , когда силы вязкости больше, будет ламинарный характер течения.

Скорость, при которой происходит смена режимом течения, называется *критической скоростью*. Число Рейнольдса, соответствующее критической скорости, называется *критическим* и обозначается $Re_{кр} = 2320$.

При $Re < Re_{кр}$ имеет место ламинарный режим течения, при $Re > Re_{кр}$ – турбулентный; при $Re_{кр} \leq Re \leq Re_{кр}$ – область переходного режима течения.

Цель работы

Визуальное наблюдение ламинарного и турбулентного режимов течения воды в стеклянной трубке и экспериментальное определение критериев Рейнольдса, соответствующих указанным режимам движения.

Порядок проведения работы и обработки результатов

Лабораторная работа проводится на лабораторной гидравлической установке «Переносная гидравлическая лаборатория (ПГЛ)». Опыты проводятся на трубке Re . На рис. 2.1 приведена гидравлическая схема установки.

Для выполнения работы нужны мензурки объемом $W = 100 \text{ см}^3$ и $W = 1000 \text{ см}^3$, секундомер и термометр.

Работа выполняется при постоянном уровне воды в резервуаре. Поэтому вначале поворотом рукоятки открыть кран и пустить водопроводную воду в напорный бак. Добиться постоянного уровня воды в баке. Измерить температуру в напорном баке. Наполнить воронку цветной жидкостью.

Затем легким поворотом рукоятки немного приоткрывается пробковый кран (вода должна литься очень тонкой струйкой, при этом вода начнет протекать по стеклянной трубке с малой

скоростью). При малых скоростях движения воды струйка, окрашенная розовым цветом, не будет перемешиваться с соседними слоями. Наблюдаемое струйчатое движение подкраски свидетельствует о ламинарном режиме течения. Объемным способом измерить расход воды в стеклянной трубке. Для этого следует измерить объем воды W , наполнивший мензурку емкостью 100 см^3 за время $t = 30$ сек. Данные занести в табл. 2.1.

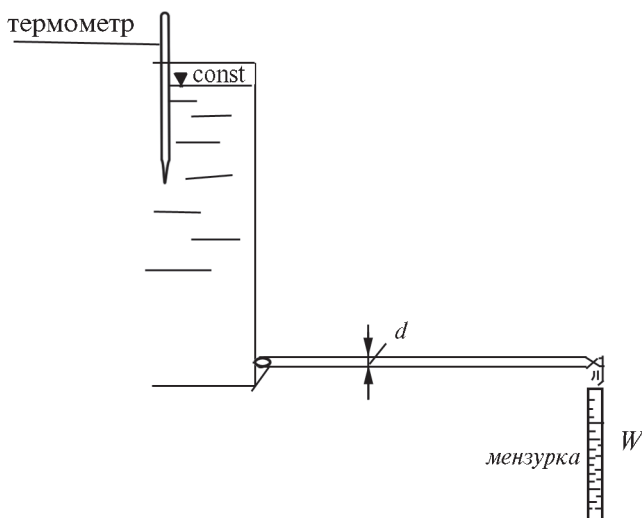


Рис. 2.1. Схема установки для определения режимов движения жидкости

При некотором дальнейшем открытии крана струйка подкраски начнет колебаться, приобретая волнистый характер с местными разрывами. Такое поведение струйки соответствует переходу ламинарного режима в турбулентный. Дальнейшее открытие крана приводит к резкому изменению характера течения: струйка подкраски полностью размывается – в трубке устанавливается турбулентный режим течения.

При этом режиме также произвести измерения объема воды W , наполнившей мензурку емкостью 1000 см^3 за время $t = 10$ сек. Данные занести в табл. 2.1.

По измеренной температуре воды в напорном баке определить кинематический коэффициент вязкости воды по табл. 1.1, приведенной в Приложении.

По измеренному объему воды, поступившей в мерный бак, для каждого опыта подсчитать секундный объемный расход воды в стеклянной трубке Q и среднюю скорость течения воды v .

По приведенной выше формуле для каждого опыта подсчитать число Рейнольдса. Значение Re , соответствующее критической скорости течения воды $v_{кр}$, является критическим числом Рейнольдса.

Таблица 2.1

Данные измерений режимов движения жидкости

№ п/п	Измеряемые и расчетные величины	Опыты	
		1	2
1	Режим движения по данным визуальных наблюдений		
2	Внутренний диаметр трубки d , см		
3	Площадь живого сечения трубки $\omega = \pi d^2/4$, см ²		
4	Объем воды в мензурке W , см ³		
5	Время наполнения мензурки t , с		
6	Расход воды $Q = W/t$, см ³ /с		
7	Средняя скорость воды в трубе $V = Q/\omega$, см/с		
8	Температура воды t , °С		
9	Кинематический коэффициент вязкости ν , см ² /с (табл. 1.1 приложения)		
10	Число Рейнольдса $Re = vd/\nu$,		
11	Режим движения, установленный путем сравнения Re с $Re_{кр} = 2320$		

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ИЛЛЮСТРАЦИЯ УРАВНЕНИЯ БЕРНУЛЛИ

Теоретическое обоснование

Уравнение Бернулли представляет собой закон сохранения энергии применительно к движущемуся потоку жидкости.

Движущаяся жидкость обладает определенной механической энергией. Энергия, отнесенная к единице веса жидкости, называется *полной удельной энергией жидкости*, или *полным напором H* . три-

Полный гидродинамический напор H равен сумме геометрического z , пьезометрического $\frac{p}{\gamma}$ и скоростного напоров $\frac{\alpha v^2}{2g}$

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g},$$

где z — удельная потенциальная энергия положения жидкости или расстояние от центра тяжести поперечного сечения потока до произвольно выбранной горизонтальной плоскости сравнения;

$\frac{p}{\gamma}$ — удельная потенциальная энергия давления или пьезометрическая высота, равная расстоянию от уровня поднятия жидкости в пьезометре до оси потока жидкости;

$\frac{\alpha v^2}{2g}$ — удельная кинетическая энергия жидкости или скоростная высота;

v — средняя по сечению скорость движения жидкости;

α — коэффициент кинетической энергии (Кориолиса), принимаемый в опытах $\alpha \approx 1,0$;

p — избыточное давление;

γ — удельный вес жидкости.

При движении жидкости из-за сил сопротивления происходит потеря энергии, поэтому гидродинамический напор по направлению движения потока всегда уменьшается. Разность

полных удельных энергий в двух рассматриваемых сечениях равна потере напора h .

Величина h представляет собой удельную энергию, затраченную на преодоление гидравлических сопротивлений и сил внутреннего трения в жидкости.

Уравнение, связывающее между собой полные удельные энергии двух сечений одного и того же потока жидкости с учетом потерь напора между этими сечениями, называется **уравнением Д. Бернулли**

$$H_1 = H_2 + h_{1-2},$$

где $H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g}$ – полный гидравлический напор (полная удельная энергия) в 1-м сечении;

$H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g}$ – полный гидродинамический напор (полная удельная энергия) во 2-м сечении;

h_{1-2} – потери напора между сечениями 1 и 2.

Таким образом, $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_{1-2}$.

График изменения полной удельной энергии (полного гидравлического напора) по длине потока называется *напорной линией*. Так как гидродинамический напор по направлению движения потока непрерывно уменьшается из-за потерь напора, то напорная линия всегда будет падающей.

Причем, на тех участках, где скорость протекания потока больше, падение напорной линии будет круче и наоборот.

В зависимости от изменения живого сечения вдоль потока происходит перераспределение удельной потенциальной энергии давления $\frac{p}{\gamma}$ и удельной кинетической энергии $\frac{\alpha v^2}{2g}$. При уменьшении площади живого сечения потока увеличивается средняя скорость и соответственно увеличивается удельная кинетическая энергия $\frac{\alpha v^2}{2g}$, а удельная потенциальная энергия

давления $\frac{p}{\gamma}$ соответственно уменьшается.

График изменения удельной потенциальной энергии давления называется *пъезометрической линией*. Пъезометрическая линия отстоит вниз от напорной линии на величину скоростного напора $\frac{\alpha v^2}{2g}$. На участках, где сечение потока остается по-

стоянным, напорная и пъезометрическая линии будут параллельны друг другу. На тех участках, где скорость возрастает, расстояние между напорной и пъезометрической линиями будет увеличиваться, они будут расходиться, а там, где скорость убывает, расстояние между ними уменьшается, эти линии будут сходиться.

Цель работы

Построить пъезометрическую и напорную линии по опытным данным для трубы переменного сечения. Изучить, как изменяется удельная потенциальная энергия $z + \frac{p}{\gamma}$, удельная кинетическая энергия $\frac{\alpha v^2}{2g}$ и полная удельная энергия $z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}$, по длине трубы в зависимости от изменения живого сечения потока.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа проводится на лабораторной гидравлической установке «Переносная гидравлическая лаборатория (ПГЛ)».

Опыты проводятся на металлической трубке переменного сечения *Б*. На рис. 2.2.1 приведена гидравлическая схема установки. Лабораторная работа может проводиться также на лабораторной гидравлической установке «Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли».

Заполнить напорный резервуар водой до заданного уровня. При этом уровень избыток воды переливается в сливную трубу. После заполнения напорного резервуара следует плавно приоткрыть регулировочный кран на выходе из трубы. Режимы

опытов рекомендуется выбирать такими, чтобы пьезометрический напор в наиболее узком сечении канала (показание трубки 4) находился не ниже оси трубки.

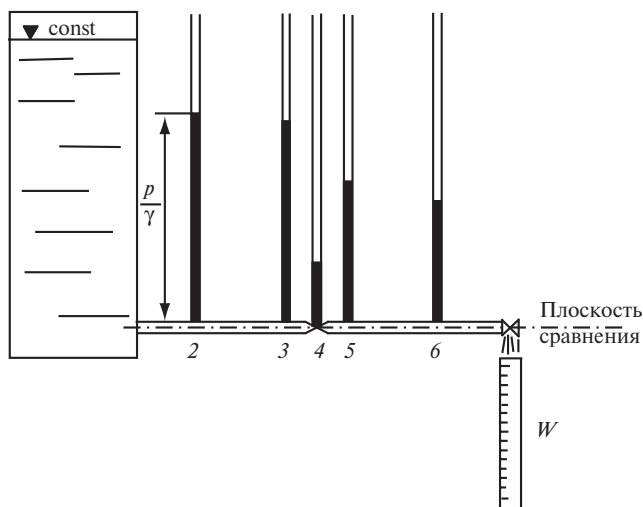


Рис. 2.2.1. Схема установки для измерения составляющих уравнения Бернулли

После установления режима фиксируются уровни воды (пьезометрические напоры) в заданных сечениях (показания нужно снимать по нижнему мениску). Одновременно объемным способом измерить расход воды в трубке. Для этого следует измерить объем воды W , наполнивший мензурку емкостью 1000 см^3 за время $t = 10\text{-}30$ сек. Данные занести в табл. 2.2.

После чего строится график напорной и пьезометрической линий (рис 2.2.2).

Таблица 2.2

Данные измерений, составляющих уравнение Бернулли

№ п/п	Измеряемые и расчетные величины	Номера сечений				
		2	3	4	5	6
1	Диаметр трубок d , см					
2	Площадь сечения ω , см ²					
3	Геометрический напор (удельная потенциальная энергия положения) z , см					
4	Пьезометрический напор (удельная потенциальная энергия давления) $\frac{p}{\gamma}$, см					
5	Объем воды в мензурке W , см ³					
6	Время наполнения объема t , с					
7	Расход воды $Q = W/t$, см ³ /с					
8	Средняя скорость в сечении $v = Q/\omega$, м/с					
9	Скоростной напор (удельная кинетическая энергия) $\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right)^*$, см					
10	Сумма пьезометрического и скоростного напоров $\left(\frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}\right)$, см					
11	Полный гидродинамический напор (полная удельная энергия) $z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}$, см					
12	Потеря напора на участке от предыдущего сечения до рассматриваемого сечения (потеря полной удельной энергии) h_w , см					
*Примечание. При вычислении $\alpha v^2/(2g)$ следует пользоваться табл. 1.2, приведенной в Приложении						

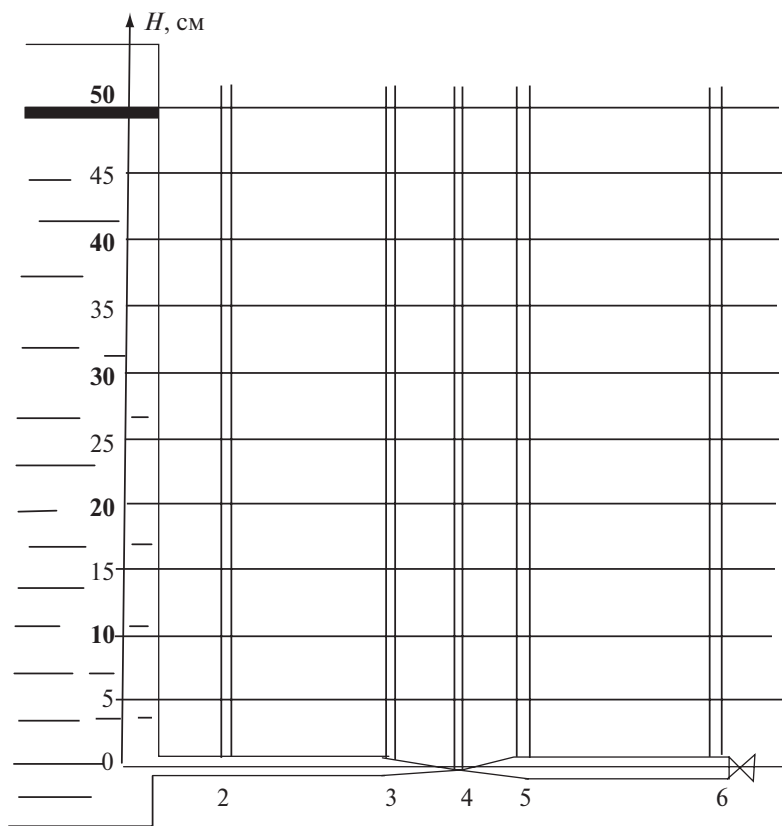


Рис. 2.2.2. График напорной и пьезометрической линий

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ
СОПРОТИВЛЕНИЙ КОНФУЗОРА, ДИФFUЗОРА
И ВОДОМЕРА ВЕНТУРИ

Потеря напора в местных сопротивлениях определяется по формуле

$$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g},$$

где ζ – безразмерный коэффициент, характеризующий данное местное сопротивление; v – средняя скорость в трубе за сопротивлением.

Коэффициент местного сопротивления может быть определен из формулы

$$\zeta = \frac{h_m}{\frac{v^2}{2g}}.$$

Цель работы

Определить опытным путем величины коэффициентов местных сопротивлений конфузора (постепенное сужение потока), диффузора (постепенное расширение потока), водомера Вентури и сопоставить их числовые значения.

Порядок выполнения работы

При выполнении работы используются данные, полученные в работе 2, и схема установки, изображенная на рис. 2.3.

Данные измерений заносят в табл. 2.3.

Чтобы определить коэффициент местного сопротивления, нужно знать потерю напора (потерю полной удельной энергии) в местном сопротивлении h_m и величину скоростного напора (удельной кинетической энергии) $\frac{v^2}{2g}$ за местным сопротивле-

нием. Потеря напора в местном сопротивлении определяется как разность полных удельных энергий в сечении перед сопротивлением и в сечении после сопротивления. Такими сечениями будут: для конфузора сечения 3 и 4; для диффузора – сечения 4 и 5; для водомера Вентури, являющегося комбинацией диффузора и конфузора, – сечения 3 и 5.

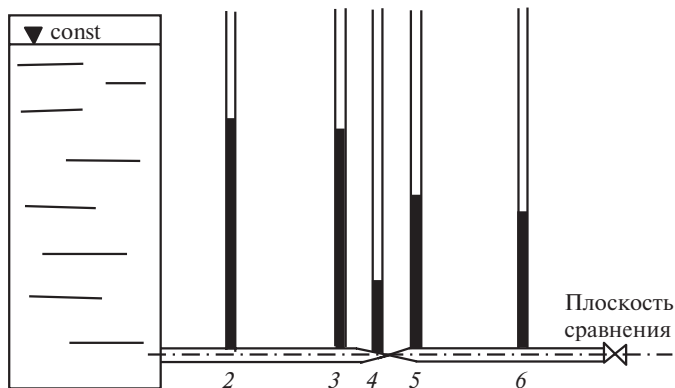


Рис. 2.3. Схема установки для определения коэффициентов местных сопротивлений конфузора, диффузора и водомера Вентури

Значения скоростных напоров $\frac{v^2}{2g}$ (удельных кинетических энергий) берутся в сечениях за местным сопротивлением. Для конфузора – сечение 4; для диффузора – сечение 5; для водомера Вентури – сечение 6.

Таблица 2.3

**Данные измерений коэффициентов местных сопротивлений
конфузора, диффузора и водомера Вентури**

№ п/п	Измеряемые и расчетные величины	Местные сопротивления		
		Конфузор	Диффузор	Водомер Вентури
1	Полная удельная энергия в сечении перед местным сопротивлением, см			
2	Полная удельная энергия в сечении после местного сопротивления, см			
3	Потеря полной удельной энергии (потеря напора) h_m , см			
4	Удельная кинетическая энергия (скоростной напор) в сечении после местного сопротивления $\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right)^*$, см			
5	Коэффициент местного сопротивления $\left(\zeta = \frac{h_m}{\frac{v^2}{2g}}\right)$			
*Примечание. При вычислении скоростного напора использовать данные табл. 1.2, приведенной в Приложении				

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСХОДА
ВОДОМЕРА ВЕНТУРИ

Теоретическое обоснование

Водомер Вентури применяется для измерения расхода воды в напорном трубопроводе (рис. 2.4).

При переходе жидкости из широкого сечения 3 в узкое сечение 4 увеличивается скорость, а давление соответственно уменьшается. На практике измеряют разницу h пьезометрических высот в широком и узком сечениях и по ней судят о величине проходящего расхода.

Зависимость между показаниями пьезометров и расходом воды выводится из уравнения неразрывности и уравнения Бернулли, написанного для сечений 3 и 4 относительно плоскости сравнения, проходящей по оси трубопровода

$$Q = v_3 \omega_3 = v_4 \omega_4; z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2g} = z_4 + \frac{p_4}{\gamma} + \frac{\alpha_4 v_4^2}{2g} + h_{3-4}.$$

Если принять, что $\alpha_3 = \alpha_4 = 1$, учитывая, что $z_3 = z_4$ (так как плоскость сравнения проходит по оси трубопровода), $\frac{p_3}{\gamma} - \frac{p_4}{\gamma} = h$ (по показанию пьезометров), $v_3 = v_4 \frac{\omega_4}{\omega_3}$ (по уравнению неразрывности расхода), уравнение Бернулли может быть написано в виде

$$h = \frac{v_4^2}{2g} \left(1 - \frac{\omega_4^2}{\omega_3^2} \right) + h_{3-4}.$$

Если принять потерю напора $h_{3-4} = 0$, величина скорости приближенно определится выражением

$$v_4 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\omega_4^2}{\omega_3^2}}} \sqrt{2gh},$$

а величина расхода

$$Q = v_4 \omega_4 = \omega_4 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\omega_4^2}{\omega_3^2}}} \sqrt{2gh} = A\sqrt{h}.$$

Величина $\frac{\omega_4}{\sqrt{1 - \frac{\omega_4^2}{\omega_3^2}}} \sqrt{2g} = A$ зависит от соотношения площа-

дей широкой и узкой частей водомера и называется *постоянной водомера*.

Фактический расход Q_ϕ через водомер с учетом потерь напора на сопротивления при движении воды из широкой части в горловину ($h_1 \neq 0$) будет меньше, чем расход $Q = A\sqrt{h}$, полученный без учета потерь

$$Q_\phi = \mu A\sqrt{h},$$

где μ – коэффициент расхода водомера, $\mu < 1$.

Если фактический расход в трубопроводе замерить объемным способом, то можно определить коэффициент расхода водомера

$$\mu = \frac{Q_\phi}{A\sqrt{h}}.$$

Цель работы

Определить коэффициент расхода водомера. Вычислить расход воды в трубопроводе при различных показаниях пьезометров.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа проводится на лабораторной гидравлической установке «Переносная гидравлическая лаборатория (ПГЛ)». Опыты проводятся на металлической трубке переменного сечения B . На рис. 2.5 приведена гидравлическая схема установки. Лабораторная работа может проводиться также на лабораторной гидравлической установке «Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли».

Для выполнения лабораторной работы нужны мензурка объемом $W = 1000 \text{ см}^3$ и секундомер.

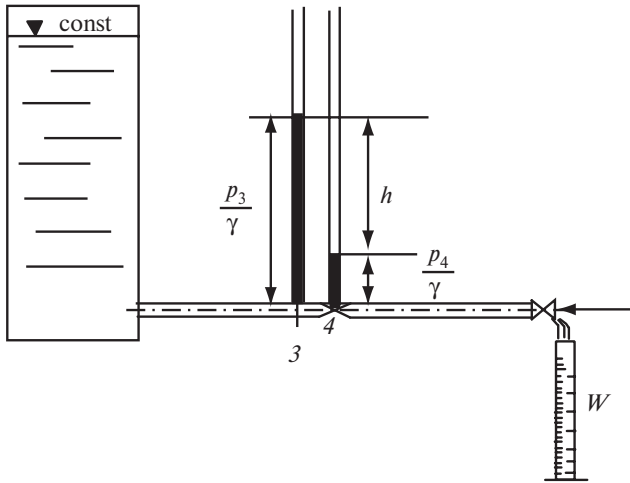


Рис. 2.4. Схема установки для определения коэффициента расхода водомера Вентури

Предварительно вычисляется постоянная водомера

$$A = \frac{\omega_4}{\sqrt{1 - \frac{\omega_4^2}{\omega_3^2}}} \sqrt{2g},$$

где ω_4 – площадь сечения в узкой части водомера; ω_3 – площадь сечения в широкой части водомера; g – ускорение силы тяжести. Следует обратить внимание, что A величина размерная ($\text{см}^{2,5}/\text{с}$).

После открытия пробкового крана на трубке B и установления уровней воды в пьезометрах 3 и 4 замеряют их разность h , время t наполнения W мензурки и вычисляют расход воды $Q = W/t$.

Измерения и вычисления следует произвести 4-5 раз, (каждый раз открывая кран на разную величину). Получают 4-5 значений коэффициента расхода μ . Окончательная величина $\mu_{\text{ср}}$ выводится, как среднее арифметическое значение.

Для измерения расхода воды водомером при произвольно открытом пробковом кране замеряется ось уровней воды в пьезометрах h . При вычисленном значении постоянной водомера A и полученном из опытов среднем значении вычисляется фактический расход воды.

Все данные измерений и вычислений записываются в журнал (табл. 2.4).

Вычисление постоянной водомера Вентури:

диаметр широкой части $d_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ см;

площадь сечения широкой части $\omega_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ см²;

диаметр горловины $d_4 = \underline{\hspace{2cm}}$ см;

площадь сечения горловины $\omega_4 = \underline{\hspace{2cm}}$ см².

Вычисление постоянной водомера Вентури (при вычислениях принять $g = 981 \text{ см/с}^2$)

$$A = \omega_4 \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{1 - \frac{\omega_4^2}{\omega_3^2}}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см}^{2.5}/\text{с}.$$

Таблица 2.4

Данные измерений коэффициента расхода водомера Вентури

№ п/п	Измеряемые и расчетные величины	Опыты				
		1	2	3	4	5
1	Показание пьезометра 3 $\frac{P_3}{\gamma}$, см					
2	Показание пьезометра 4 $\frac{P_4}{\gamma}$, см					
3	Разность показаний пьезометров 3 и 4 $h = \frac{P_3 - P_4}{\gamma}$, см					
4	Объем воды в мензурке W , см ³					
5	Время наполнения объема t , с					
6	Расход воды $Q_{\phi} = W/t$, см ³ /с					
7	Коэффициент расхода $\mu = \frac{Q_{\phi}}{A\sqrt{h}}$					
8	Средний коэффициент расхода $\mu_{cp} = \frac{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5}{5}$					
9	Расчетный расход $Q_p = \mu_{cp} A \sqrt{h}$, см ³ /с					

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ТАРИРОВАНИЕ ДИАФРАГМЫ

Теоретическое обоснование

Расходомеры переменного перепада давления с сужающим устройством получили очень широкое применение в различных отраслях промышленности.

Из всех сужающих устройств для измерения расхода жидкости наиболее простым является диафрагма. Она представляет собой тонкий диск с концентрическим отверстием, имеющим острую кромку со стороны входа воды и применяется для измерения расхода на напорном трубопроводе.

Принцип работы такого расходомера основан на связи между скоростью и давлением. Чтобы определить расход при помощи диафрагмы, необходимо измерить разность h пьезометрических высот в сечениях до диафрагмы и после нее. Зависимость между перепадом h и расходом Q можно представить в виде соотношения

$$Q = c\sqrt{h},$$

где c – коэффициент расхода данной диафрагмы, который определяют опытным путем.

Кроме того, с помощью диафрагмы можно определить расход и по графику. Для этого строят график зависимости

$$Q = f(h).$$

Сущность тарировки заключается в замере разности h пьезометрических высот в сечениях до диафрагмы и после нее при различных значениях расхода Q воды, проходящей через диафрагму.

По результатам тарировки строят график $Q = f(h)$, который после установки диафрагмы на напорный трубопровод используется для определения расхода воды только по замеру h .

Цель работы

Замерить разность пьезометрических высот в сечениях до диафрагмы и после нее при различных расходах и построить график зависимости $Q = f(h)$.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа проводится на лабораторной гидравлической установке «Переносная гидравлическая лаборатория (ПГЛ)». Опыты проводятся на разъемной трубке, состоящей из двух коротких трубок, между которыми помещается плексиглазовый патрон со вставленной в него диафрагмой с отверстием малого диаметра. На рис. 2.5.1 приведена гидравлическая схема установки.

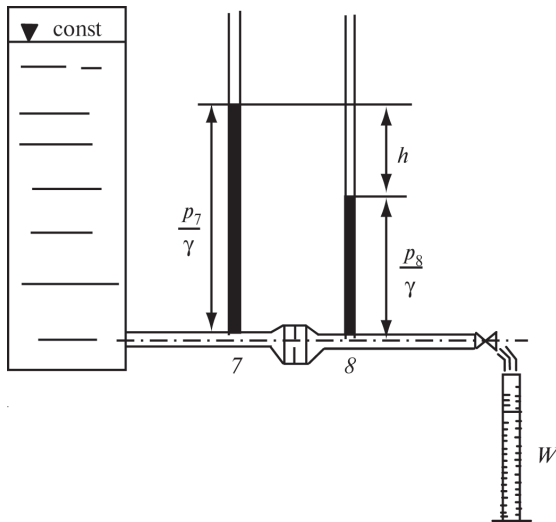


Рис. 2.5.1. Схема установки для тарирования диафрагмы

Для выполнения работы нужны мензурка объемом $W = 100 \text{ см}^3$ и секундомер.

Пробковый кран открывается 8-10 раз на разную величину так, чтобы h равнялась примерно: 2, 4, 6, 8, 10, 16, 20, 24, 30 см. При этом не следует добиваться установления уровня воды в пьезометре δ на высоту, соответствующую целому числу сантиметров, но нужно снимать его показания с точностью до 1 мм. При каждом положении крана определяется Q объемным способом $Q = W/t$. Все данные измерений и вычислений записываются в журнал (табл. 2.5). Затем следует построить график $Q = f(h)$, который приведен на рис. 2.5.2.

Таблица 2.5

Данные измерений для тарирования диафрагмы

№ п/п	Измеряемые и расчетные величины	Опыты							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Показание пьезометра перед диафрагмой $7 \frac{p_7}{\gamma}$, см								
2	Показание пьезометра после диафрагмы $8 \frac{p_8}{\gamma}$, см								
3	Разность показаний пьезометров 7 и 8 $h = \frac{p_7 - p_8}{\gamma}$, см								
4	Объем воды в мензурке W , см ³								
5	Время наполнения объема t , с								
6	Расход воды $Q_{\text{ф}} = W/t$, см ³ /с								

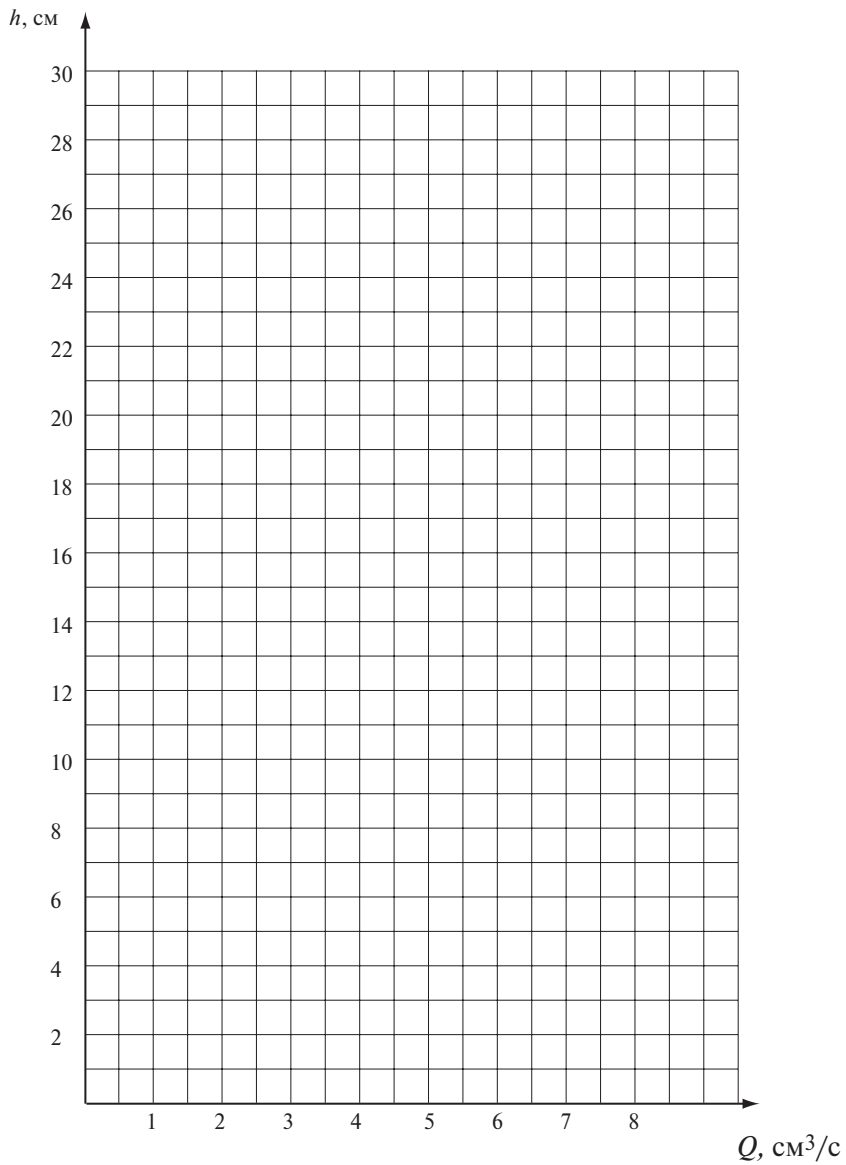


Рис. 2.5.2. График $Q = f(h)$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕРЬ НАПОРА ПО ДЛИНЕ ПРИ УСТАНОВИВШЕМСЯ РАВНОМЕРНОМ ТУРБУЛЕНТНОМ ДВИЖЕНИИ ЖИДКОСТИ

Теоретическое обоснование

При движении реальных жидкостей возникают силы сопротивления. На их преодоление затрачивается часть энергии, которой обладает движущаяся жидкость.

Потеря энергии (напора) по длине h_f при движении вязкой жидкости в напорном трубопроводе определяются по формуле Дарси

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g},$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси); l , d – длина и диаметр трубопровода; v – средняя скорость движения жидкости; g – ускорение свободного падения.

Коэффициент λ является безразмерной переменной величиной, зависящей от ряда характеристик: диаметра и шероховатости трубы, вязкости и скорости жидкости.

Влияние этих характеристик на величину λ проявляется по-разному при различных режимах движения жидкости. В одном диапазоне чисел Рейнольдса на величину λ влияют в большей степени скорость и вязкость жидкости, в другом диапазоне преобладающее воздействие оказывают геометрические характеристики: диаметр и шероховатость трубы (высота выступов шероховатости Δ).

В связи с этим различаются четыре области сопротивления, в которых изменения λ имеют свою закономерность.

Первая область ламинарного режима. Она ограничивается значениями $Re < 2320$. В этой области сопротивления λ не зависит от высоты выступов шероховатости, а зависит только от числа Рейнольдса Re и определяется по формуле

$$\lambda_{\text{лам}} = 64/Re,$$

где $Re = vd/\nu$.

Потери напора в этой области пропорциональны скорости в первой степени

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = \frac{64\nu}{vd} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = f(v).$$

Все остальные области сопротивления находятся в зоне турбулентного режима с различной степенью турбулентности.

В общем случае турбулентного режима можно выделить турбулентное ядро потока, в пределах которого поток действительно движется в турбулентном режиме, и небольшой толщины ламинарный пристенный слой, в пределах которого из-за малых скоростей движения у стенок трубы поток движется в ламинарном режиме. Толщина ламинарного пристенного слоя δ уменьшается с увеличением числа Рейнольдса. В зависимости от соотношения толщины ламинарного пристенного слоя δ и высоты выступов шероховатости стенок трубы Δ различают следующие три области сопротивления.

Вторая область — гидравлически гладкие трубы. Она имеет место тогда, когда толщина ламинарного слоя δ больше высоты Δ выступов шероховатости. В этом случае шероховатость стенок трубы спрятана под ламинарным слоем и никакого влияния на потерю напора не оказывает.

В этой области λ , как и при ламинарном режиме, зависит только от числа Рейнольдса и определяется по формуле Блазиуса $\lambda = 0,3164/\text{Re}^{0,25}$.

Потери напора пропорциональны скорости в степени 1,75, так как

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = \frac{0,3164v^{0,25}}{v^{0,25}d^{0,25}} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = f(v^{1,75}).$$

Третья область — переходная от области гидравлически гладких труб к квадратичной. Здесь толщина ламинарного слоя δ равна или меньше выступов шероховатости Δ , которые в этом случае выступают как препятствия у стенок, увеличивая турбулентность, а следовательно, и сопротивления в потоке. В этой области величина λ зависит не только от числа Рейнольдса Re ,

но и от относительной шероховатости трубы Δ/d (где d – диаметр трубопровода) и может быть определена по формуле Альтшуля

$$\lambda = 0,11(\Delta/d + 68/Re)^{0,25}.$$

Потери напора по длине в переходной области сопротивления пропорциональны скорости в степени от 1,75 до 2,0.

Четвертая область – область гидравлически шероховатых труб или квадратичного сопротивления. Пристенного ламинарного слоя в этой области нет. Основное влияние на сопротивление потоку оказывает шероховатость трубы. Чем больше выступы шероховатости, тем большую турбулентность они вызывают и тем больше будут затраты энергии в потоке на преодоление сопротивлений. В квадратичной области сопротивления коэффициент λ не зависит от скорости (числа Рейнольдса), а зависит только от относительной шероховатости трубы Δ/d и может быть определен по формуле Шифринсона

$$\lambda = 0,11(\Delta/d)^{0,25}.$$

Так как в этой области λ не зависит от скорости, то его величина остается постоянной для данной трубы, а потери напора пропорциональны квадрату скорости

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = f(v^2).$$

Поэтому эта область сопротивления названа квадратичной.

Для целенаправленного выполнения лабораторной работы рассмотрим некоторые расчетные зависимости.

Напишем уравнение Бернулли для сечения I , расположенного в начале трубки λ , и сечения 10 , расположенного в конце трубки, (в этих сечениях присоединяются к трубке пьезометры I и 10).

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_{10} + \frac{p_{10}}{\gamma} + \frac{\alpha_{10} v_{10}^2}{2g} + h_{1-10}.$$

Так как трубопровод горизонтальный и постоянного сечения, то $z_1 = z_{10}$ и $v_1 = v_{10}$. Уравнение Бернулли примет вид

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_{10}}{\gamma} = h_{1-10}$$

т. е. потеря напора на участке между сечениями 1 и 10 равна разности показаний пьезометров. С другой стороны потеря напора

$$h_{1-10} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g},$$

отсюда коэффициент λ определится следующим образом

$$\lambda = \frac{d \cdot h_{1-10}}{l \frac{v^2}{2g}}.$$

Из выведенной формулы следует, что для определения λ нужно замерить диаметр трубы, длину трубы l (расстояние между пьезометрами), потерю напора h_{1-10} по показаниям пьезометров при нескольких произвольных открываниях пробкового крана.

Цель работы

Изучение потерь напора по длине при установившемся равномерном турбулентном движении жидкостей и проверки расчетных зависимостей для определения потерь.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа проводится на лабораторной гидравлической установке «Переносная гидравлическая лаборатория (ПГЛ)». Опыты проводятся на металлической трубке λ . На рис. 2.6.1 приведена гидравлическая схема установки. Лабораторная работа может также проводиться на гидравлической установке «Определение коэффициентов гидравлического трения».

Перед началом опытов записать исходные данные в журнал отчета (табл. 2.6): l , d , t °C и v (при определении кинематического коэффициента вязкости ν использовать табл. 1.1, приведенную в приложении).

Для выполнения работы нужны мензурка объемом $W = 1000 \text{ см}^3$ и секундомер.

Пробковый кран открывается 8-10 раз на разную величину так, чтобы h равнялась примерно: 2, 4, 6, 8, 10, 12 см и т. д. При этом не следует добиваться установления уровня воды в пьезометре 10 на высоту, соответствующую целому числу сантиметров, но нужно снимать его показания с точностью до 1 мм. Последний замер следует сделать при максимально возможном открытии крана.

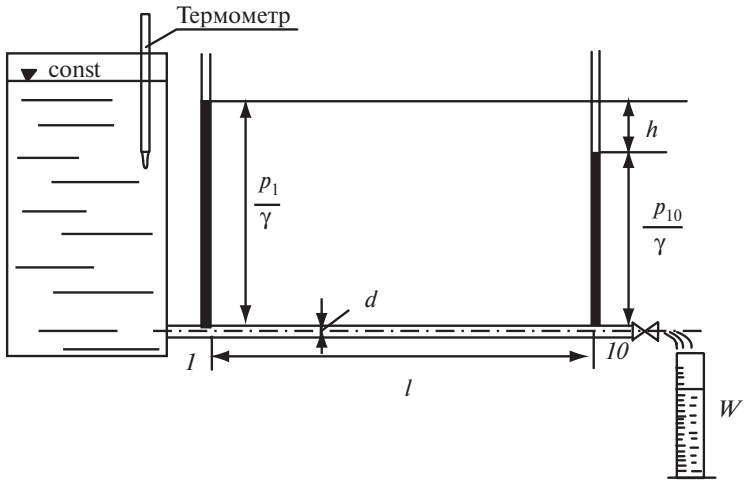


Рис. 2.6.1. Схема установки для определения потерь напора по длине

При каждом положении крана определяется Q объемным способом $Q = W/t$. Все данные измерений и вычислений записываются в журнал (табл. 2.6).

Затем следует построить график $\lambda = f(\text{Re})$, выражающий зависимость λ от числа Рейнольдса $\lambda = f(\text{Re})$, на бланке, который приведен на рис. 2.6.2.

Таблица 2.6

Данные измерений для определения потерь напора по длине

№ п/п	Измеряемые и расчетные величины	Опыты							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Диаметр трубки d , см								
2	Площадь сечения трубки ω , см ²								
3	Длина трубки l , см								
4	Температура воды t , °С								
5	Кинематический коэффициент вязкости ν , см ² /с								
6	Показание пьезометра $I \frac{p_1}{\gamma}$, см								
7	Показание пьезометра $IO \frac{p_{10}}{\gamma}$, см								
8	Разность показаний пьезометров I и IO $h_{1-10} = \frac{p_1 - p_{10}}{\gamma}$, см								
9	Объем воды в мензурке W , см ³								
10	Время наполнения объема t , с								
11	Расход воды $Q = W/t$, см ³ /с								
12	Средняя скорость воды в трубке $v = Q/\omega$, см/с								
13	Скоростной напор $\left(\frac{v^2}{2g}\right)^*$, см								
14	Коэффициент Дарси $\lambda = \frac{h_{1-10}d}{l \frac{v^2}{2g}}$								
15	Число Рейнольдса Re $Re = \frac{vd}{\nu}$								
*Примечание. При вычислении скоростного напора использовать данные табл. 1.2, приведенной в приложении									

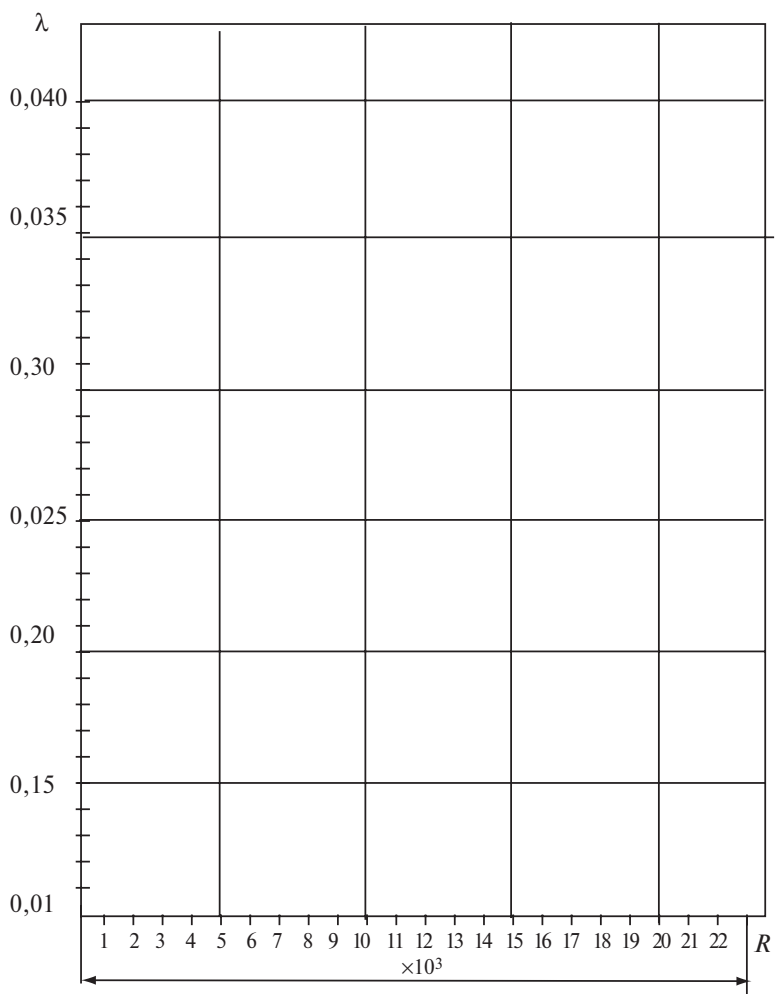


Рис. 2.6.2. График $\lambda = f(Re)$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ИСТЕЧЕНИИ ВОДЫ ИЗ НЕЗАТОПЛЕННОГО ОТВЕРСТИЯ В ТОНКОЙ СТЕНКЕ И ИЗ ВНЕШНЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ НАСАДКИ

Теоретическое обоснование

При истечении жидкости из отверстия в тонкой стенке на расстоянии $0,5d$ от плоскости круглого отверстия диаметром d происходит сжатие струи. Оно оценивается коэффициентом сжатия ε

$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega},$$

где ω_c – площадь сжатого сечения струи; ω – площадь сечения отверстия.

Для определения скорости при истечении жидкости через незатопленное отверстие в тонкой стенке используется уравнение Бернулли, написанное для двух сечений. Одно выбираем на свободной поверхности жидкости (сечение 1-1), другое – в сжатом сечении струи (сечение 2-2), относительно плоскости сравнения, проходящей через центр отверстия (плоскость 0-0), уравнение Бернулли может быть написано в виде

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{1-2}.$$

Учитывая, что $z_1 = H$; $z_2 = 0$; $p_1 = p_2 = p$; $v_1 = 0$; $h_m = \zeta \frac{v^2}{2g}$, уравнение Бернулли может быть написано в виде

$$H = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \zeta \frac{v_2^2}{2g},$$

откуда $v_2 = \frac{1}{\sqrt{\alpha_2 + \zeta}} \sqrt{2gH}$.

Выражение $\frac{1}{\sqrt{\alpha_2 + \zeta}}$ обозначают φ и называют *коэффициентом скорости*

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha_2 + \zeta}}.$$

Тогда скорость истечения воды через незатопленное отверстие в тонкой стенке определится по формуле

$$v_2 = \varphi \sqrt{2gH}.$$

Расход воды, с учетом последнего выражения может быть определен по формуле

$$Q = v_2 \omega_2 = v_2 \omega_c = \varepsilon \varphi \omega \sqrt{2gH}.$$

Произведение коэффициентов ε и φ принято обозначать μ и называть коэффициентом расхода

$$\mu = \varepsilon \varphi.$$

Тогда формулу расхода окончательно можно записать в виде

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}.$$

При истечении воды из внешней цилиндрической насадки для определения скорости и расхода используются выше приведенные формулы, однако принимаются другие по величине коэффициенты скорости и расхода.

Так, коэффициент φ для цилиндрической насадки определяется по формуле

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha_2 + \zeta_{ac} + \zeta_{ep} + \zeta_{dl}}},$$

где $\zeta_{ac} + \zeta_{ep} + \zeta_{dl}$ — коэффициенты сопротивления внезапно-го сужения, расширения струи, длины насадки.

Сжатие и расширение струи происходит внутри насадки, струя из насадки вытекает полным сечением, следовательно, коэффициент сжатия для насадка $\varepsilon = 1$, а коэффициент расхода $\mu = \varphi$.

При свободном истечении траектория струи имеет форму параболы (рис. 2.7.1).

Координаты параболы:

$$x = vt,$$
$$y = gt^2 / 2,$$

где v – горизонтальная скорость движения струи; g – ускорение силы тяжести; t – время.

Решив приведенные уравнения относительно t

$$t = x / v,$$
$$t = \sqrt{2y / g},$$

и приравняв их, получим

$$\frac{x}{v} = \sqrt{\frac{2y}{g}},$$

откуда

$$v = x \sqrt{\frac{g}{2y}}.$$

Скорость, как отмечено выше, определяется по формуле $v = \varphi \sqrt{2gH}$. Тогда, подставив в последнее уравнение значение скорости, найдем

$$\varphi = \frac{x}{\sqrt{2yH}}.$$

Иными словами, если измерить абсциссу x и ординату y какой-либо точки, то можно определить коэффициент скорости φ .

Цель работы

Определить опытным путем числовые значения коэффициентов расхода μ , скорости φ , сжатия ϵ и сопротивления ζ для отверстия в тонкой стенке и внешней цилиндрической насадки.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа проводится на лабораторной гидравлической установке «Переносная гидравлическая лаборатория

(ПГЛ)». Опыты проводятся при истечении жидкости из отверстия и насадки на левой стенке напорного резервуара при снятых резьбовых крышках, закрывающих эти отверстия. На рис. 2.7.1 приведена гидравлическая схема установки.

Лабораторная работа может также проводиться на гидравлической установке «Истечение жидкости из отверстий и насадок».

Для выполнения работы нужны: мензурка объемом $W = 1000 \text{ см}^3$, секундомер, масштабные угольник и линейка.

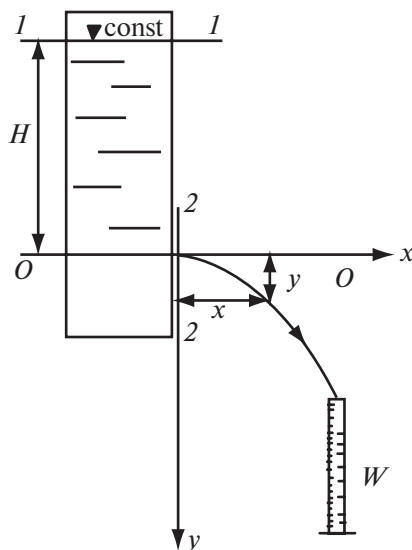


Рис. 2.7.1. Схема установки для определения гидравлических характеристик при истечении воды через отверстие

Сначала исследуется истечение из отверстия в тонкой стенке. Для этого отвинчивается крышка, закрывающая отверстие.

Коэффициент расхода μ определяют из формулы расхода

$$\mu = \frac{Q}{\omega\sqrt{2gH}}.$$

При этом значение расхода Q устанавливается объемным способом ($Q = W/t$).

Для определения коэффициента скорости φ следует замерить координаты x и y траектории вытекающей струи в любой одной точке и по значению координат вычислить φ

$$\varphi = \frac{x}{\sqrt{2yH}}$$

Координаты точек струи замеряются масштабными линейкой и угольником, как показано на рис. 2.7.2 ($x = a$, $y = b - k$, где a , b и k – отсчеты по линейке и угольнику, см).

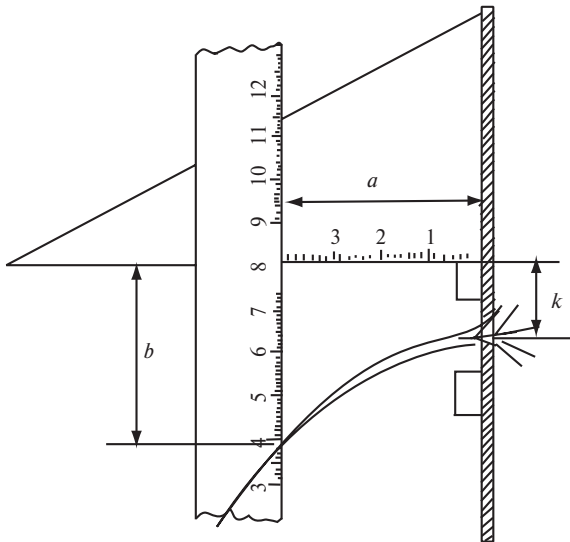


Рис. 2.7.2. Схема для определения координаты точек струи

Коэффициент сжатия струи ε определяется на основе опытных данных μ и φ

$$\varepsilon = \frac{\mu}{\varphi}$$

Коэффициент сопротивления определяется на основе опытных данных по формуле

$$\zeta = \frac{1}{\varphi^2} - 1.$$

При исследовании истечений из внешней цилиндрической насадки отвинчивается колпачок, закрывающий насадок.

Таким же порядком, как и при истечении из отверстия в тонкой стенке, определяется коэффициент расхода

$$\mu = \frac{Q}{\omega\sqrt{2gH}}.$$

Расход Q при истечении из внешней цилиндрической насадки устанавливается объемным способом.

При истечении из внешней цилиндрической насадки коэффициент $\varphi = \mu$, так как $\varepsilon = 1$. Коэффициент сопротивления внешнего цилиндрического насадка определяется так же, как и для отверстия в тонкой стенке по формуле

$$\zeta = \frac{1}{\varphi^2} - 1.$$

Все измеренные и вычисленные величины записываются в журнал работы (табл. 2.7).

Таблица 2.7

**Данные измерений истечения воды из отверстия в тонкой
стенке и из внешней цилиндрической насадки**

№ п/п	Измеряемые и расчетные величины	Круглое отверстие	Внешняя цилиндрическая насадка
1	Диаметр отверстия d , см		
2	Площадь отверстия ω , см ²		
3	Напор над центром отверстия H , см		
4	Объем воды в мензурке W , см ³		
5	Время наполнения мензурки t , с		
6	Расход $Q = \frac{W}{t}$, см ³ /с		
	Коэффициент расхода $\left(\mu = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gH}} \right)^*$		
7	Коэффициенты струи при истечении из отверстия: x , см		-
	y , см		-
8	Коэффициент скорости отверстия $\varphi = \frac{x}{2\sqrt{yH}}$		-
9	Коэффициент сжатия отверстия $\varepsilon = \frac{\mu}{\varphi}$		-
10	Коэффициент скорости насадка $\varphi = \mu$	-	
11	Коэффициент сжатия насадка ε	-	
12	Коэффициенты сопротивления отверстия и насадка $\zeta = \frac{1}{\varphi^2} - 1$.		
*Примечание. При вычислении учесть, что $g = 981$ см/с ²			

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИСТЕЧЕНИЕ ИЗ ОТВЕРСТИЯ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАПОРЕ

Теоретическое обоснование

Истечение воды при переменном напоре относится к области неустановившегося движения, когда характеристики потока (скорость, расход, давление) изменяются во времени.

При отсутствии притока воды в призматический резервуар время изменения напора от H_1 до H_2 определяется по формуле

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

где Ω – площадь поперечного сечения призматического резервуара; μ – коэффициент расхода; ω – площадь поперечного сечения отверстия; g – ускорение силы тяжести; H_1 – начальный напор воды над центром отверстия в резервуаре; H_2 – конечный напор воды над центром отверстия в резервуаре.

Цель работы

Измерить время, в течение которого напор над центром отверстия в резервуаре изменится от H_1 до H_2 при отсутствии притока воды в резервуар. Сравнить замеренное время с вычисленным по приведенной выше формуле.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа проводится на лабораторной гидравлической установке «Переносная гидравлическая лаборатория (ПГЛ)». Опыты проводятся при истечении жидкости из насадки на левой стенке напорного резервуара при снятой резьбовой крышке, закрывающей насадку.

На рис. 2.8 приведена гидравлическая схема установки.

Лабораторная работа может также проводиться на гидравлической установке «Истечение жидкости из отверстий и насадок».

После наполнения резервуара водой следует закрыть водопроводный кран и снять резьбовую крышку, закрывающую отверстие. Об изменении напора воды в резервуаре будем судить

по показанию первого пьезометра. При некотором значении напора H_1 нужно включить секундомер и затем выключить его при значении напора H_2 . Удобнее фиксировать величины напора по шкале, выражающиеся целыми числами, например 40, 30, 20 см. Измерение времени следует выполнить два раза при различных интервалах изменения напоров (замер рекомендуется производить не менее трех минут).

Полученные данные заносятся в журнал работ (табл. 2.8).

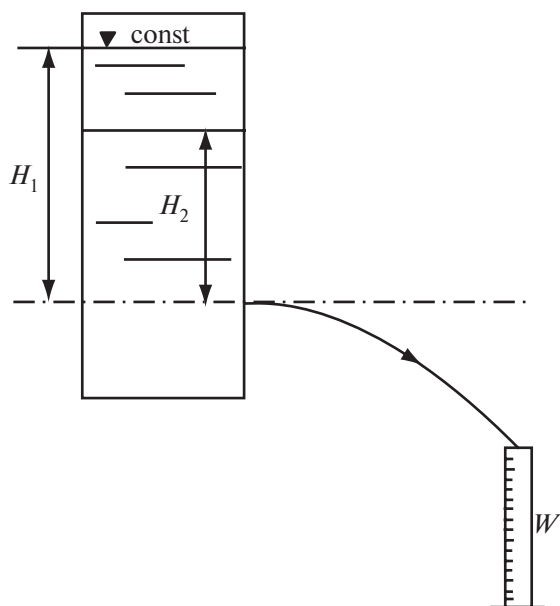


Рис. 2.9. Схема установки для определения гидравлических характеристик при истечении воды из отверстия при переменном напоре

Таблица 2.8

**Данные измерений истечения воды из отверстия
при переменном напоре**

№ п/п	Измеряемые и расчетные величины	Опыты	
		1	2
1	Диаметр отверстия d , см		
2	Площадь отверстия ω , см ²		
3	Коэффициент расхода μ^*		
4	Начальный напор H_1 , см		
5	Конечный напор H_2 , см		
6	Площадь резервуара Ω , см ²		
7	Время истечения от H_1 до H_2 (замеренное) $t_{оп}$, с		
8	Время истечения от H_1 до H_2 , вычисленное по формуле $t_{расч}, с \quad t = \frac{2\Omega}{\mu\omega\sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})^{**}$		
9	Относительная ошибка $\delta = \frac{ t_{расч} - t_{оп} }{t_{расч}} 100, \%$.		
Примечания. *Взять из работы 7 **При вычислении учесть, что $g = 981 \text{ см/с}^2$			

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Штеренлихт А. Б. Гидравлика: Учеб. – М.: Колосс, 2009.
2. Кузьминский Р. А. Гидрогазодинамика: Уч. пос. – М.: РГОТУПС, 2010.

Дополнительная

1. Большаков В. А., Константинов Ю. М. и др. Сборник задач по гидравлике. – Киев: Вища школа, 1979.
2. Константинов Ю. М. Гидравлика. – Киев: Вища школа, 1981.
3. Михайлов К. А. Гидравлика. – М.: Стройиздат, 1972.
4. Примеры гидравлических расчетов. / Под ред. Н. М. Константинова. Изд. 3-е. – М.: Транспорт, 1987.
5. Чугаев Р. Р. Гидравлика. – Л.: Энергия, 1982.
6. Елманова В. И., Кадыков В. Т. Примеры гидравлических расчетов. – М.: ВЗИИТ, 1988.
7. Елманова В. И. Гидравлика и гидропривод. Гидравлика и гидропневмопривод. Гидравлика и теплотехника. Гидравлика. Руководство к выполнению лабораторных работ. – М.: РГОТУПС, 2002.

Справочно-информационная

1. Большаков В. А., Константинов Ю. М. и др. Справочник по гидравлике. – Киев: Вища школа, 1977.
2. Журнал. Водоснабжение и санитарная техника.
3. Журнал. Вода и экология: Проблемы и решения.

Приложение

Таблица 1.1

Значения кинематического коэффициента вязкости

$t, ^\circ\text{C}$	ν $\text{см}^2/\text{с}$	$t, ^\circ\text{C}$	ν $\text{см}^2/\text{с}$	$t, ^\circ\text{C}$	ν $\text{см}^2/\text{с}$	$t, ^\circ\text{C}$	ν $\text{см}^2/\text{с}$	$t, ^\circ\text{C}$	ν $\text{см}^2/\text{с}$
13	0,0121	16	0,0112	19	0,0104	22	0,0099	25	0,0090
14	0,0118	17	0,0109	20	0,0101	23	0,0094	26	0,0088
15	0,0115	18	0,0106	21	0,0100	24	0,0092	27	0,0086

Таблица 1.2

Значения $\frac{v^2}{2g}$, см

v , см/с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
20	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
30	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8
40	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2
50	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8
60	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,4
70	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,2
80	3,3	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	3,9	4,0
90	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	6,0
100	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	6,9	6,1
110	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,9	7,0	7,1	7,2
120	7,3	7,5	7,6	7,7	7,8	8,0	8,1	8,2	8,4	8,5
130	8,6	8,7	8,9	9,0	9,2	9,3	9,4	9,6	9,7	9,8
140	10,0	10,1	10,3	10,4	10,6	10,7	10,9	11,0	11,2	11,3
150	11,5	11,6	11,8	11,9	12,1	12,2	12,4	12,6	12,7	12,9
160	13,0	13,2	13,4	13,5	13,7	13,9	14,0	14,2	14,4	14,6
170	14,7	14,9	15,1	15,3	15,4	15,6	15,8	16,0	16,1	16,3
180	16,5	16,7	16,9	17,1	17,3	17,4	17,6	17,8	18,0	18,2
190	18,4	18,6	18,8	19,0	19,2	19,4	19,6	19,8	20,0	20,2
200	20,4	20,6	20,8	21,0	21,2	21,4	21,6	21,8	22,0	22,3
210	22,5	22,7	22,9	23,1	23,3	23,6	23,8	24,0	24,2	24,4
220	24,7	24,9	25,1	25,3	25,6	25,8	26,0	26,3	26,5	26,7
230	27,0	27,2	27,4	27,7	27,9	28,1	28,4	28,6	28,9	29,1
240	29,4	29,6	29,8	30,1	30,3	30,6	30,8	31,1	31,3	31,6
250	31,9	32,1	32,4	32,6	32,9	33,1	33,4	33,7	33,9	34,2
260	34,5	34,7	35,8	35,3	35,8	35,8	36,1	36,3	36,6	36,9
270	37,2	37,4	37,7	38,0	38,3	38,5	38,8	39,1	39,4	39,7

Пример. Дано $v = 66$ см/с. Ответ $\frac{v^2}{2g} = 2,2$ см.

ГИДРАВЛИКА

Руководство к выполнению лабораторных работ

Редактор *Г.В. Тимченко*
Корректурa *Д.Н. Тихоньчев*
Компьютерная верстка *А.Ю. Байкова*

Переиздание

Тип. зак.	Изд. зак. 43	Тираж 500 экз.
Подписано в печать 28.05.11	Гарнитура NewtonC	
Усл. печ. л. 3,5		Формат 60×90 ¹ / ₁₆

Редакционный отдел
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2