

Министерство образования и науки Кыргызской Республики

Кыргызский Государственный Технический Университет

Кафедра "Возобновляемые источники энергии"

ГИДРАВЛИКА

**МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ГИДРАВЛИКА» ДЛЯ СТУДЕНТОВ
ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ОЧНОЙ И ЗАОЧНОЙ ФОРМ
ОБУЧЕНИЯ**

Бишкек 2012

Составитель: ЕРЕМЕНКО Е. А.

УДК 532

Гидравлика: Метод, руководство к лабораторным работам I - VII для студентов инженерных специальностей /Кыргыз. Гос. техн. ун-т. Сост. Е.А.Еременко; Бишкек, 2012. 40 с.

Изложена методика выполнения лабораторных работ по гидравлике.

Предназначено для студентов инженерных специальностей.

Табл. 7. Ил. 10. Библиогр.: 9 назв.

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Цель работы

1. Усвоить основные понятия:

- режим движения - (ламинарный, турбулентный);
- число Рейнольдса;
- средняя скорость;
- коэффициент кинематической вязкости;
- переходная область;
- критические значения числа Рейнольдса (верхнее, нижнее, расчетное).

2. Определить режимы движения жидкости (экспериментально, путем визуального наблюдения, расчетным путем, по числу Рейнольдса).

Краткие теоретические сведения

1. В инженерной деятельности приходится производить гидравлические расчеты различных трубопроводов, водопроводных линий, открытых русел и т.д.

При движении потока жидкости происходит потеря энергии на преодоление различных гидравлических сопротивлений. Экспериментальные исследования показывают, что потеря энергии существенно зависит от характера движения частиц жидкости, т.е. от режима движения.

При движении жидкости наблюдается два режима движения - ламинарный, когда вся масса жидкости устойчиво движется параллельными несмешивающимися слоями, и турбулентный, когда происходит непрерывное, интенсивное перемешивание частиц. Вид режима определяет величину потерь энергии. Поэтому необходим метод, позволяющий заранее знать, какой режим движения ожидается при движении потока жидкости. Для этого нужен критерий, позволяющий установить вид режима.

Совокупность параметров потока жидкости, определяющих режим его движения, называется числом Рейнольдса (обозначается Re) и определяется по формуле

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad (1)$$

где V - средняя скорость потока в см/с, равная отношению расхода жидкости Q к площади поперечного сечения ω ;

$$V = \frac{Q}{\omega},$$

где d – диаметр трубы, см; ν - коэффициент кинематической вязкости потока, см²/с.

Для воды при температуре 20°C коэффициент кинематической вязкости $\nu = 0,01$ см²/с. Если в выражение (1) подставить размерности величин правой части, то легко убедиться, что Re - безразмерно.

2. При каких значениях Re будет наблюдаться ламинарный режим и при каких турбулентный? Естественно предположить, что при малых скоростях (а значит и при малых значениях Re) для одной и той же жидкости будет наблюдаться ламинарный режим, а при больших - турбулентный.

Опытами было установлено следующее.

Если величина Re будет больше 13800, то движение всегда будет турбулентным. Из сказанного видно, что в промежутке между $Re = 2320$ и $Re = 13300$ может наблюдаться либо ламинарный, либо турбулентный режим. Этот интервал называется переходной областью. Значения же числа Re , при которых происходит переход одного режима в другой, называется критическим значением числа Рейнольдса. Таким образом, имеется два критических значения Re :

$Re = 2320$ - нижнее критическое значение;

$Re = 13800$ - верхнее критическое значение.

3. Когда в переходной области будет наблюдаться ламинарный режим и когда турбулентный? Опыты показали, что если турбулентный режим

наступил после ламинарного, то в переходной области наблюдается ламинарный режим. Иными словами, если постепенно увеличивать скорость потока (т.е. увеличивать число Re), то наступление турбулентного, режима можно задержать до $Re = 13800$. И наоборот, если ламинарный режим наступил после турбулентного, то в переходной зоне наблюдается турбулентный режим. Образование ламинарного режима при этом происходит при $Re = 2320$.

В переходной области ламинарный режим менее устойчив, чем турбулентный и достигается только в лабораторных условиях при соблюдении медленного повышения скорости отсутствия колебаний и вибрации установки, плавного входа в трубу и т.д. На практике в этой области почти всегда наблюдается турбулентный режим. Принято считать, что при $Re > 2320$ будет наблюдаться только турбулентный режим. Поэтому во всех практических расчетах за расчетное критическое значение Re принимается только его нижнее значение, то есть $Re=2320$.

Описание установки

Существование двух режимов движения было обосновано английским физиком О.Рейнольдсом. Он создал экспериментальный прибор для визуального определения режима движения жидкости.

Лабораторная установка аналогична прибору Рейнольдса и служит для демонстрации режимов движения (рис.1). Она состоит из резервуара 1 с водой, в котором поддерживается постоянный напор H путем перелива излишней воды через стенку на слив. К резервуару присоединена прозрачная труба 2 с краном 3 для регулирования скорости движения воды. Из малого бачка 4 окрашенная жидкость по тонкой трубке 5 подводится в трубу.

Открывая кран 3, и подавая окрашенную жидкость в трубу 2, можно заметить следующее. При ламинарном режиме частицы окрашенной жидкости движутся тонкой неразрываемой струйкой по всей длине потока. При турбулентном режиме струйка окрашенной жидкости, войдя в поток, разбивается на отдельные части и перемешивается с основной массой потока.

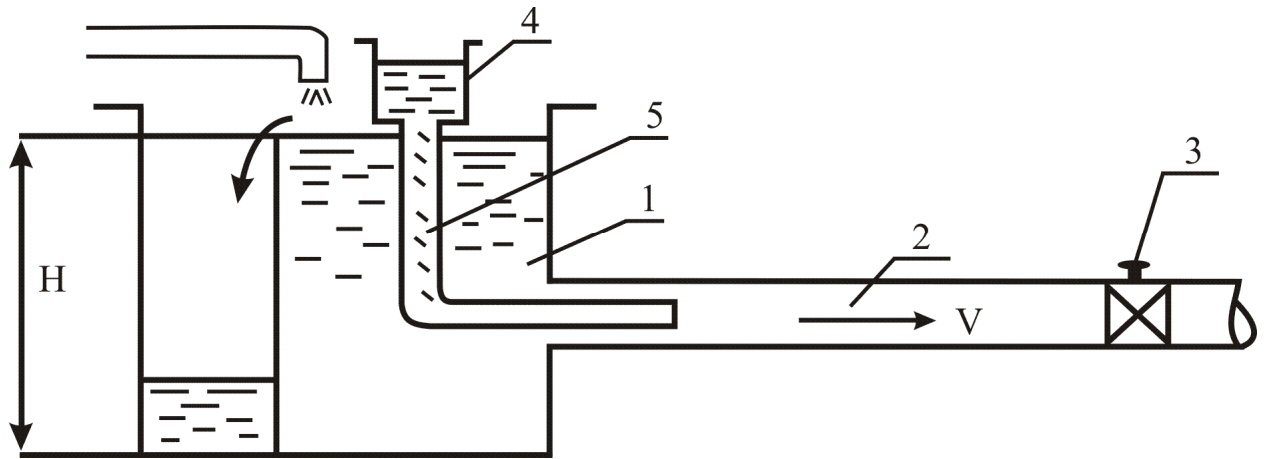


Рис. 1. Установка Рейнольдса для исследования режимов движения жидкости

Порядок выполнения работы

Измерения

На лабораторной установке при постоянном расходе измерить следующие данные и занести в таблицу 1:

- 1) диаметр d (см) и площадь поперечного сечения трубы см^2 ;
- 2) высоту уровня вода по линейке на водосливе y (см) с точностью до 2 мм;
- 3) по величине y определить величину расхода Q ($\text{см}^3/\text{с}$) по таблице водослива;
- 4) записать режим движения, который наблюдался визуально при данном расходе;
- 5) количество опытов задается преподавателем.

Вычисления

По измеренным данным вычислить следующие параметры и занести в табл.1:

- 1) среднюю скорость воды в трубе по формуле (2) с точностью до 1 см/с;
- 2) число Рейнольдса по формуле (1).

Таблица 1

Результаты измерений параметров

№	Наименование	Обозначение	Размерность	Опыты		
				1	2	3
1	2	3	4	5	6	7
1	Диаметр трубы	d	см			
2	Площадь сечения	ω	см ²			
3	Расход	Q	см ³ /с			
4	Высота уровня воды по линейке водослива	y	см			
5	Кинематический коэффициент вязкости (при 20°C)	ν	см ² /с	0,01	0,01	0,01
6	Режим движения визуально по опыту	-	-			
7	Средняя скорость воды в трубе	V	см/с			
8	Число Рейнольдса	Re	-			
9	Режим движения по числу Рейнольдса	-	-			

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЯ БЕРНУЛЛИ

Цель работы

1. Усвоить следующие основные понятия:

- закон сохранения энергии потока жидкости (уравнение Бернулли);
- удельная энергия положения (геометрический напор);
- удельная потенциальная энергия состояния (статический напор);
- удельная кинетическая энергия (скоростной напор);
- пьезометр, трубка Пито;
- плоскость сравнения;
- потери напора;
- напорная линия;
- пьезометрическая линия;
- гидравлический уклон.

2. Практически измерить составляющие напора в поперечных сечениях горизонтального трубопровода, определить потери напора на участках трубопровода между сечениями и графически построить напорную и пьезометрическую линии.

Краткие теоретические сведения

1. Закон сохранения энергии для установившегося потока вязкой несжимаемой жидкости между двумя произвольно выбранными сечениями потока выражается уравнением Бернулли:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + h_{1-2} \quad (1)$$

где Z - удельная энергия положения;

$\frac{P_1}{\gamma}$ - удельная потенциальная энергия состояния;

$\frac{\alpha V_2^2}{2g}$ - удельная кинетическая энергия;

h_{1-2} - потеря энергии при движении жидкости от сечения 1-1 к сечению 2-2.

Величина удельной энергии применительно к потоку жидкости измеряется напором. Поэтому с гидравлических позиций:

Z - геометрический напор;

$\frac{P}{\gamma}$ - статический напор;

$\frac{\alpha V^2}{2g}$ - скоростной напор;

h_{1-2} - потеря напора между рассматриваемыми сечениями.

Поскольку напоры измеряются линейной величиной, то их можно представить графически (рис.1)

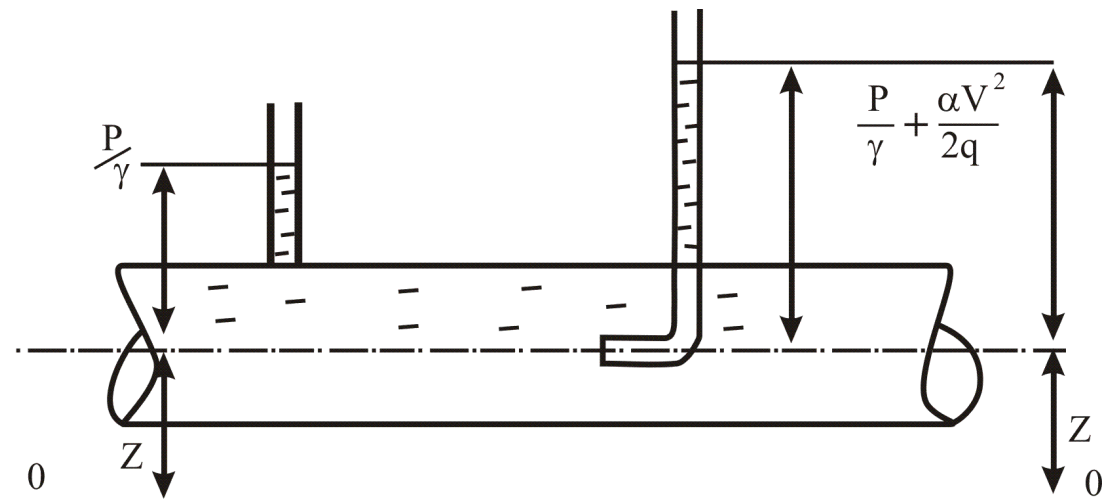


Рис. 1. Измерение напоров

Если в рассматриваемом сечении поместить пьезометр (левая трубка), то он покажет величину статического напора в сечении. Этот напор в сечении действует во все стороны одинаково. Физическая сущность напора - избыточное давление в трубопроводе (давление сжатия жидкости). Правая трубка с повернутым навстречу потоку открытым концом (трубка Пито) воспринимает не только статический, но и скоростной напор. Разность показаний трубки Пито и пьезометра выражает, таким образом, величину скоростного напора.

Геометрические напор (удельная энергия положения) измеряется превышением центра рассматриваемого сечения над горизонтальной плоскостью сравнения. Плоскость сравнения проводится на произвольной высоте, поскольку геометрический напор измеряется превышением одного сечения над другим. При наклонном потоке ее обычно проводят ниже сечения, а при горизонтальном потоке ее можно провести через ось потока. В этом случае геометрический напор одинаков во всех сечениях и его можно исключить из рассмотрения.

Сумма трех напоров в данном сечении называется полным напором:

$$H_1 = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2q}; \quad (2)$$

$$H_2 = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V_2^2}{2q}. \quad (3)$$

Движение вязкой жидкости сопровождается неизбежными потерями энергии (напора). Тогда потеря напора между двумя выбранными сечениями потока будет

$$h_{1-2} = H_1 - H_2.$$

Потерей напора, таким образом, называется разность полных напоров. Уравнение Бернулли для вычисления потерь напора будет иметь вид:

$$h_{1-2} = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2q} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V_2^2}{2q} \right)$$

или

$$h_{1-2} = (Z_1 - Z_2) + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{\alpha(V_1^2 - V_2^2)}{2q}$$

Для горизонтального потока при $Z_1 - Z_2$ потеря напора будет определяться как разность статических и скоростных напоров:

$$h_{1-2} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{\alpha(V_1^2 - V_2^2)}{2q}$$

Только в случае горизонтального потока ($Z_1 = Z_2$) с постоянным поперечным сечением ($\omega_1 = \omega_2$), при котором $V_1 = V_2$, потеря напора определяется как разность статических напоров:

$$h_{1-2} = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}$$

Составляющие полного напора и величину потерь напора между сечениями для наглядности можно представить графически (рис.2).

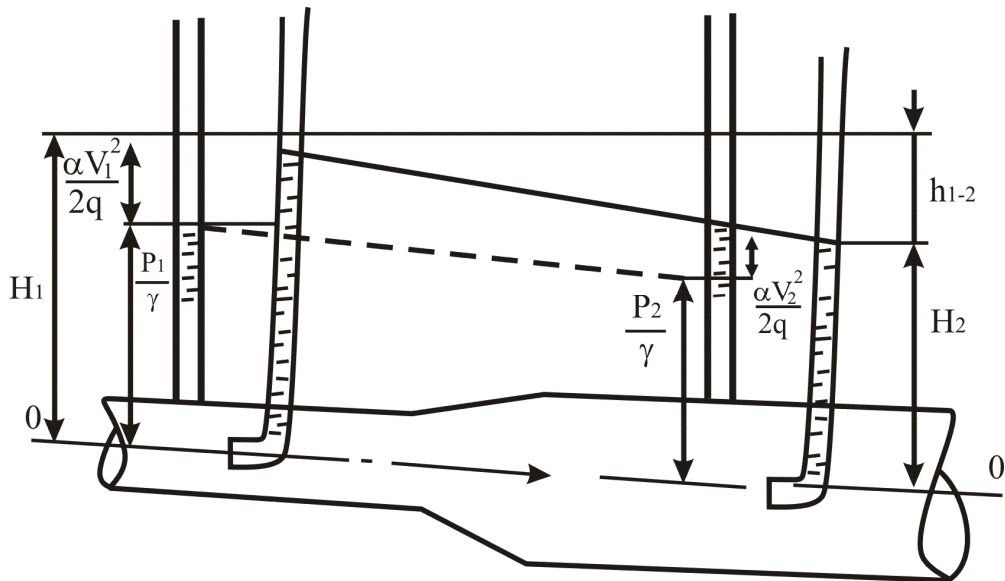


Рис.2. Потеря напора между сечениями

Линия, соединяющая показания трубок Пито, насыпается напорной линией (сплошная), а показания пьезометров (пунктирная) - пьезометрической линией. Напорная линия всегда имеет наклон в сторону движения, поскольку полный напор (энергия) вдоль потока может только убывать. Наклон пьезометрической линии может быть любым, он измеряется гидравлическим уклоном:

$$i = \frac{h_{1-2}}{l_{1-2}}$$

где l_{1-2} - расстояние между сечениями.

Описание установки

Установка представляет собой горизонтальный трубопровод (рис. 3) с четырьмя участками различного диаметра, на каждом из которых установлен пьезометр. Для удобства измерений пьезометры расположены рядом на одном стенде, а подключение их к соответствующим участкам осуществлено с помощью резиновых трубок. Трубопровод снабжен дроссельным водомером ДВ, до и после которого установлены пьезометры. По разности их показаний $\Delta h = h_n - h_{п}$ по таблице определяется величина расхода Q . Для регулирования, скорости воды в трубопроводе установлен регулировочный вентиль РВ.

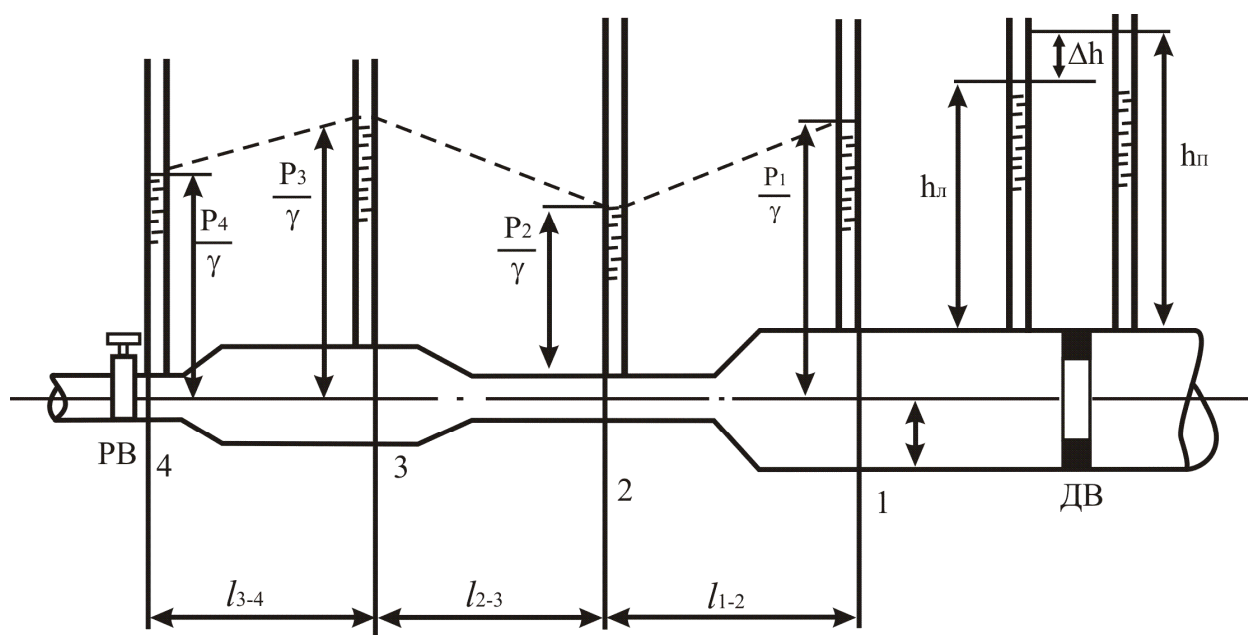


Рис. 3. Схема установки для исследования уравнения Бернулли

Порядок измерений

На лабораторной установке при постоянном расходе измерить следующие данные и результаты занести в таблицу 1:

- 1) диаметры d (см) и площади ω (см²) поперечных сечений;
- 2) показания левой h_n и правой $h_{п}$ трубок водомера с точностью до 1,0 см;
- 3) по разности показаний $\Delta h = h_n - h_{п}$ по таблице водомера определить величину расхода Q (см³/с);

4) определить показания пьезометров в сечениях с точностью до 0,5 см.

Порядок вычислений

По измеренным данным вычислить следующие параметры и занести результаты в таблицу 1:

1) среднюю скорость в каждом сечении с точностью до 0,1 см/с:

$$V = \frac{Q}{\omega};$$

2) скоростной напор в каждом сечении с точностью до 0,01 см:

$$\frac{\alpha \cdot V^2}{2g}, \text{ где } \alpha = 1, g = 980 \text{ см/с}^2;$$

3) полный напор в сечениях, см ;

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V^2}{2g};$$

4) потерю напора между сечениями, см;

$$h_{1-2} = H_1 - H_2; \quad h_{2-3} = H_2 - H_3; \quad h_{3-4} = H_3 - H_4;$$

5) гидравлический уклон с точностью до 0,001:

$$i_{1-2} = \frac{h_{1-2}}{l_{1-2}}; \quad i_{2-3} = \frac{h_{2-3}}{l_{2-3}}; \quad i_{3-4} = \frac{h_{3-4}}{l_{3-4}};$$

6) построить график пьезометрической и напорной линий в следующем масштабе: горизонтальный 1:20 (1 см - 2 мм), вертикальный 1:10 (1 см - 1 мм). По горизонтали откладываются расстояния между 4 сечениями, в сечениях по вертикали откладываются величины статического и полного напоров. Пьезометрическая линия выполняется пунктиром, а напорная сплошной линией. Все напоры в сечениях следует обозначить.

Таблица 1

Таблица результатов

№	Наименование	Обозначение	Размерность	Номера сечений			
				1	2	3	4
1	Напор в баке	H	см				
2	Диаметр сечения	d	см				
3	Площадь сечения	ω	см ²				
4	Показания левой трубки водомера	$h_{л}$	см				
5	Показание правой трубки водомера	$h_{п}$	см				
6	Разности показаний трубок водомера	Δh	см				
7	Расход по таблице водомера	Q	см ³ /с				
8	Средняя скорость в сечениях	V	см/с				
9	Скоростной напор в сечениях	$\frac{\alpha V^2}{2g}$	см				
10	Статический напор в сечениях	P/γ	см				
11	Полный напор	H	см				
12	Потеря напора между сечениями	h	см				
13	Расстояние между	l	см				

	сечениями						
14	Гидравлический уклон	i	-				

Лабораторная работа 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ НАПОРА ПО ДЛИНЕ

Цель работы

- Усвоить следующие основные понятия:
 - потери напора по длине;
 - формула Дарси-Вейсбаха;
 - коэффициент гидравлического трения;
 - эквивалентная шероховатость;
 - порядок расчета потерь напора.
- Определить экспериментальным путем величину потерь напора по длине для заданного расхода.
- Вычислить величину потерь напора по длине по формуле Дарси-Вейсбаха для тех же условий.
- Сравнить экспериментальные и расчетные данные.

Краткие теоретические сведения

1. Движение жидкости, как и движение любых тел, происходит под действием сообщаемой ей энергии. В реальных условиях всякое движение сопровождается появлением сил, препятствующих ему (силы трения, силы сопротивления среды и т.п.). Поэтому часть сообщенной телу энергии расходуется на преодоление этих сил. Энергия движущейся жидкости измеряется напором. Израсходованная часть напора на преодоление сопротивления называется "потерей напора" и обозначается h . Потеря напора при движении по трубопроводу происходит вследствие вязкости жидкости и шероховатости стенок. Это и естественно: чем более вязкая жидкость и чем больше шероховатость стенок, тем больше будут и потери напора на

преодоление сил вязкости и сил трения о стенки. Этот вид потерь напора прямо пропорционален длине трубопровода и распределен равномерно по всей его длине. Поэтому эти потери называются "потерями напора по длине". При решении инженерных задач часто возникает необходимость рассчитать величину ожидаемой потери напора по длине в проектируемом трубопроводе.

Потери напора по длине определяются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{dV^2}{2q} \quad (1)$$

где λ - коэффициент гидравлического трения или коэффициент Дарси;

l - длина участка трубопровода, на котором определяется потеря напора;

d - внутренний диаметр трубопровода;

V - средняя скорость потока жидкости в трубопроводе;

q - ускорение силы тяжести.

2. Обычно в гидравлических расчетах при определении потерь напора по длине все величины, входящие в формулу Дарси-Вайсбаха (кроме коэффициента гидравлического трения) известны, поэтому задача сводится к определению его численного значения.

В курсе гидравлики приводятся различные формулы для определения коэффициента гидравлического трения. Из них наиболее простой и дающей сравнительно точные результаты является универсальная формула Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_{\text{э}}}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} \quad (2)$$

где $K_{\text{э}}$ - эквивалентная шероховатость;

Re - число Рейнольдса.

Эквивалентная шероховатость характеризует среднюю высоту выступов шероховатости внутренней поверхности трубопровода, их форму и

распределение по поверхности. Численное его значение зависит от материала и состояния труб и приводится в справочниках.

Вторая величина, входящая в формулу Альтшуля, характеризует режим течения и определяется

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad (3)$$

где ν - коэффициент кинематической вязкости жидкости, зависит от рода жидкости и ее температуры, и приводятся в справочниках.

Из двух слагаемых в скобках в формуле Альтшуля (2) величина $K\varepsilon/d$ постоянна для данного трубопровода. Второе слагаемое $68/Re$ зависит от скорости: чем скорость больше, тем оно меньше и наоборот. Если они отличаются на два порядка и больше, то меньшим слагаемым можно пренебречь.

Описание установки

Опытное определение потерь напора по длине проводится на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис.1.

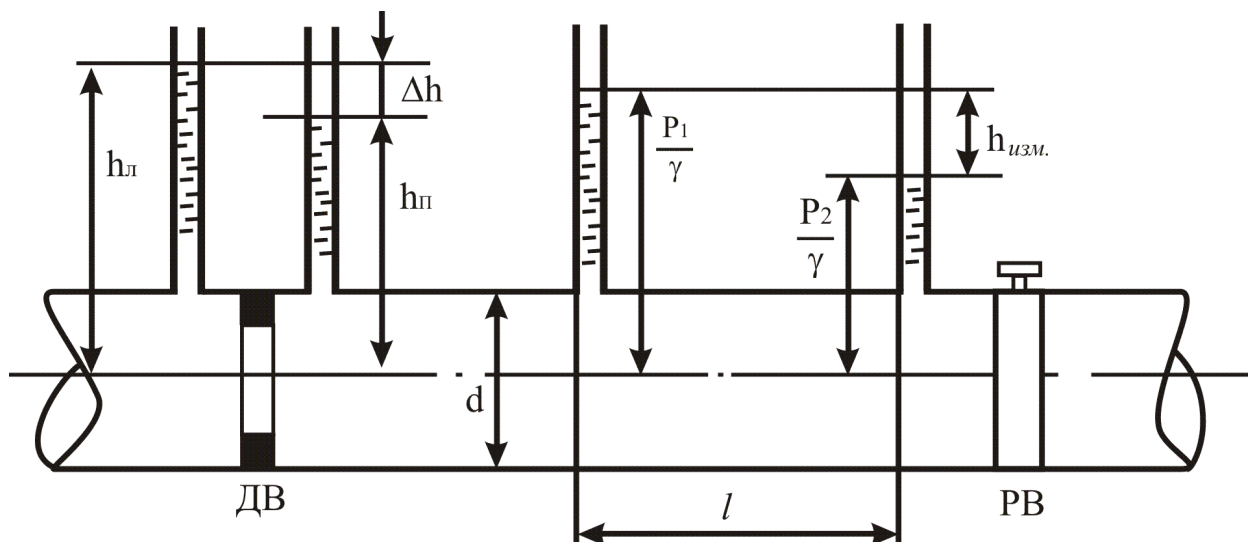


Рис. 1. Схема установки для определения

- а) потерь напора по длине;
- б) коэффициента гидравлического трения;
- в) коэффициента Шези;
- г) расходной характеристики трубы.

Установка представляет собой прямолинейный горизонтальный участок трубопровода постоянного диаметра, по которому от насоса подается вода. Установка оснащена следующими приборами:

1, 2 - пьезометры, по которым определяются потери напора по длине трубопровода;

3, 4 - пьезометры, установленные до и после дроссельного водомера ДВ, по разности показаний которых Δh по таблице определяется расход воды Q ; РВ - регулировочный вентиль, с помощью которого в трубопроводе устанавливаются различные расходы.

Порядок измерений

При постоянном расходе воды в трубопроводе измерить и занести в таблицу 1 следующие данные:

1) диаметр трубопровода d , площадь поперечного сечения ω , длину трубопровода l и эквивалентную шероховатость k_s , которые приведены в таблице у установки:

2) показания пьезометров h_n и h_{II} с точностью до 1 см;

3) показания пьезометров P_1/γ и P_2/γ с точностью до 1 см;

4) по разности показания $\Delta h = h_n - h_{II}$ по таблице (установки) определить расход Q .

Порядок вычислений

По измеренным данным вычислить следующие параметры и занести в таблицу 1:

1) измеренные потери напора по длине в см;

$$h_{изм} = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma};$$

2) среднюю скорость потока с точностью до 1,0 см/с;

$$V = \frac{Q}{\omega};$$

3) число Рейнольдса с точностью 1000 по формуле (3), коэффициент кинематической вязкости воды можно принять равный 0,01 см²/с;

4) коэффициент гидравлического трения с точностью до 0,001 по формуле Альштуля (2);

5) потери напора по длине с точностью до 1,0 по формуле (1). Ускорение свободного падения принять равным 980 см²/с;

6) коэффициент расхождения между измеренными и вычисленными потерями напора с точностью до 0,1%:

$$\delta_{\%} = \frac{h_{изм.} - h_{выч.}}{h_{изм.}} \cdot 100\%.$$

Таблица 1

Таблица результатов

№	Наименование	Обозначение	Размерность	Опыты		
				1	2	3
1	2	3	4	5	6	7
1	Диаметр трубы	d	см			
2	Площадь поперечного сечения	ω	см ²			
3	Длина участка	l	см			
4	Эквивалентная шероховатость	k_{Σ}	см			
5	Показания первого пьезометра	P_1 / γ	см			
6	Показания второго пьезометра	P_2 / γ	см			
7	Измеренные потери напора	$h_{изм.}$	см			
8	Показания левого пьезометра	$h_{л}$	см			
9	Показания правого пьезометра	$h_{п}$	см			
10	Разность показаний	Δh	см			
11	Расход	Q	см ³ /с			
12	Средняя скорость	V	см/с			
13	Число Рейнольдса	Re	-			
14	Коэффициент гидравлического трения	λ	-			
15	Вычисленные потери напора	$h_{выч.}$	см			
16	Коэффициент	δ	%			

	расхождения					
--	-------------	--	--	--	--	--

Лабораторная работа 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Цель работы

1. Усвоить следующие основные понятия:
 - два вида потерь напора;
 - местные сопротивления;
 - формула Вейсбаха;
 - коэффициент местного сопротивления;
2. Определить экспериментальным путем коэффициент местных сопротивлений для различных гидравлических устройств.

Краткие теоретические сведения

1. Определение потерь напора (энергии) при движении жидкости по трубопроводам является одним из основных вопросов гидравлики. Различают два вида потерь напора:

- а) потери напора по длине;
- б) потери напора в местных сопротивлениях.

Первый вид потерь напора происходит из-за вязкости жидкости и шероховатости стенок и поэтому он равномерно распределен по всей длине потока.

Второй вид потерь напора вызывается "местными сопротивлениями", которыми называются такие участки трубопроводов (повороты, колена, внезапные расширения и т.п.) и гидравлические устройства (вентили, задвижки, краны, измерительные приборы и т.п.), в которых происходит изменение скорости по величине, направлению или величине и направлению одновременно.

Движение жидкости через местные сопротивления имеет довольно сложный характер. Поток жидкости, проходя через местные сопротивления, деформируется. Возникавшие при этом гидравлические удары и завихрения вызывают потери энергии, которые необратимо теряются.

Потери напора определяются по формуле Вейсбаха:

$$h = \zeta \cdot \frac{V^2}{2g},$$

где ζ - коэффициент местного сопротивления;

V - средняя скорость потока в трубопровода за местным сопротивлением.

2. Обычно при расчете потерь напора величина средней скорости потока известна, поэтому задача сводится к определению численного значения коэффициента местного сопротивления. Естественно предположить, что чем сложнее местное сопротивление, тем более значительные деформации будут происходить в нем и тем больше будут потери напора, вызванные им. Поэтому и величина коэффициента местного сопротивления у него будет больше, что следует из формулы (1).

Теоретически рассчитать величину коэффициента местного сопротивления обычно не предоставляется возможным. Поэтому для каждого вида местного сопротивления коэффициент определяется опытным путем и приводится в гидравлических справочниках.

Целью работы является определение опытным путем на экспериментальной установке численного значения коэффициентов местных сопротивлений.

Описание установки

Экспериментальная установка для определения коэффициентов местных сопротивлений представляет собой горизонтальный участок трубопровода постоянного диаметра (рис.1) на котором, четыре местных сопротивления: вентиль (В), кран (К), задвижка(З) и крыльчатый водомер (КВ). До и после каждого местного сопротивления установлены пьезометры,

по разности показаний которых определяется потеря напора на местное сопротивление.

Для изменения расхода в трубопроводе установлен регулировочный вентиль (РВ). Измерение расхода производится дроссельным водомером (ДВ). По разности показаний пьезометров дроссельного водомера по таблице определяется расход.

Порядок измерений

При постоянном расходе вода в трубопроводе измерить и занести в таблицу (1) следующие данные:

- 1) диаметр трубопровода d , площадь поперечного сечения;
- 2) показания левого $h_{л}$ и $h_{п}$ правого пьезометров водомера с точностью до 1 см;
- 3) по разности показания $\Delta h = h_{л} - h_{п}$ по таблице у установки определить расход Q ;
- 4) показания всех пьезометров до и после местных сопротивлений с точностью до 1 см;

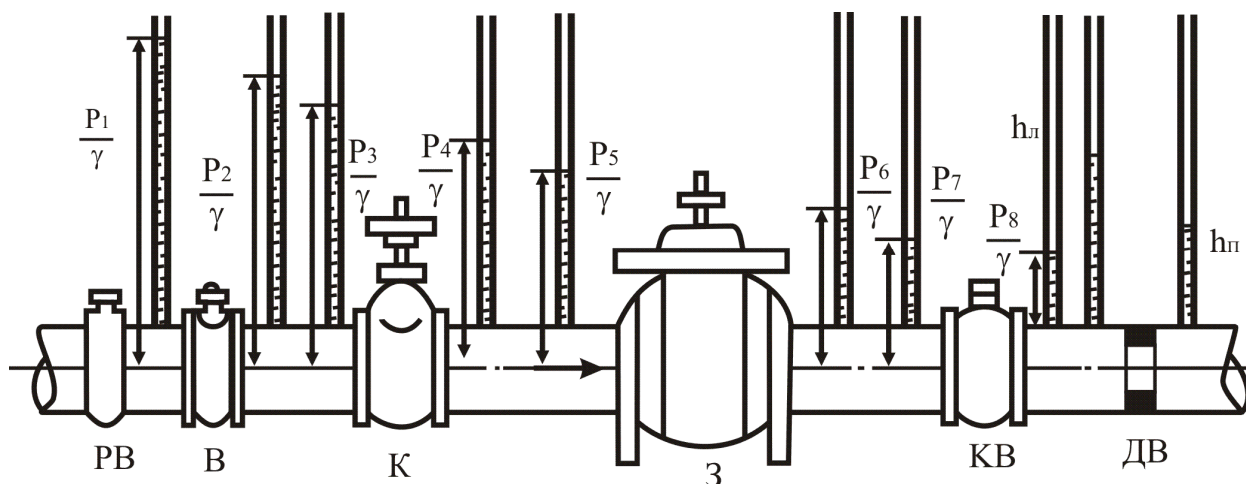


Рис. 1. Схема установки для определения коэффициентов местных сопротивлений

Порядок вычислений

По измеренным данным вычислить следующие параметры и занести в таблицу 1:

- 1) среднюю скорость потока с точностью до 1 см/с

$$V = \frac{Q}{\omega};$$

2) потеря напора в местном сопротивлении вычисляется как разность показаний пьезометров установленных до и после сопротивлений;

$$h_{1-2} = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}; \quad h_{3-4} = \frac{P_3}{\gamma} - \frac{P_4}{\gamma}; \quad \text{и т.д.};$$

3) коэффициент местного сопротивления по преобразованной формуле Вейсбаха с точностью до 1,0 см:

$$\zeta = \frac{2 \cdot q \cdot h}{V^2}.$$

Таблица 1

Таблица результатов

№	Наименование	Обозначение	Размерность	Виды местного сопротивления			
				В	К	З	КВ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Диаметр трубы	d	см				
2	Площадь поперечного сечения	ω	см ²				
3	Показания левого пьезометра	$h_{л}$	см				
4	Показания правого пьезометра	$h_{п}$	см				
5	Разность показаний	Δh	см				
6	Расход	Q	см ³ /с				
7	Средняя скорость	V	см/с				
8	Показания пьезометра до местного сопротивления	$\frac{P_{д}}{\gamma}$	см				
9	Показания пьезометра после местного сопротивления	$\frac{P_{п}}{\gamma}$	см				
10	Потери напора в местном	$h_{изм.}$	см				

	сопротивлении						
11	Коэффициент местного сопротивления	ζ	-				

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЕ В ТОНКОЙ СТЕНКЕ

Цель работы

1. Усвоить основные, понятия:

- малое отверстие;
- отверстие в тонкой стенке;
- коэффициент сжатия;
- совершенное сжатие;
- скорость истечения;
- коэффициент скорости;
- коэффициент расхода;
- расходная формула.

2. Определить экспериментальным путем коэффициенты сжатия и расхода через малое отверстие в тонкой стенке при совершенном сжатии и постоянном напоре.

Краткие теоретические сведения

1. В гидравлике принято считать "малым отверстием" такое, у которого вертикальные размеры, например, диаметр d не более $0,1$ напора H , под действием которого происходит истечение. При этом скорости во всех точках поперечного сечения струи практически одинаковы.

Если отверстие в стенке выполнено таким образом, что струя касается только его острых кромок, то такая стенка называется "тонкой".

Струя, вытекая через такое отверстие, на некотором удалении от него будет сжиматься, а затем постепенно расширяться. Сжатие струи происходит

из-за того, что струйки жидкости, двигающиеся вдоль стенки резервуара, при входе в отверстие изменяют направление своего движения, а это вызывает центробежные силы. Эти силы и сжимают струю. Сжатие струи характеризуется коэффициентом сжатия ε , представляющим собой отношение площади сжатого сечения струи к площади отверстия.

$$\varepsilon = \frac{\omega_{сж}}{\omega} \quad (1)$$

Сжатие происходит на расстоянии $l=(0,5-1,0) \cdot d$ от плоскости отверстия, но для данного отверстия коэффициент сжатия считается постоянным. Так, например, для круглого отверстия в тонкой стенке при совершенном сжатии диаметр струи в наиболее сжатом сечении составляет примерно $d_{сж} \approx 0,8d$, а коэффициент сжатия $\varepsilon \approx 0,62 \div 0,64$.

На характер сжатия могут влиять боковые стенки и дно резервуара. Если расстояние до ближайшей стенки или дна больше трех размеров отверстия, то они практически не будут влиять на характер истечения и такое сжатие называется "совершенным". Если же это-расстояние будет меньше, то сжатие называется "несовершенным", то есть положение боковых стенок или дна существенно влияет на форму вытекающей струи, а следовательно на ее форму и расход.

Скорость в сжатом сечении струи V зависит от напора H , под действием которого происходит истечение;

$$V = \varphi \sqrt{2gH} \quad (2)$$

где φ - коэффициент скорости, характеризующей уменьшение действительной скорости V по сравнению с теоретической V_m .

$$\varphi = \frac{V}{V_m} = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}} \quad (3)$$

где ζ - коэффициент местного сопротивления, зависящий от формы и вида отверстия. Для круглого отверстия коэффициент скорости $\varphi = 0,97 \div 0,98$.

Расход жидкости Q через отверстие будет равен

$$Q = V \cdot \omega_{сж} = V \cdot \varepsilon \cdot \omega = \omega \cdot \varepsilon \cdot \varphi \sqrt{2qH}.$$

Произведение $\varepsilon \cdot \varphi$ является постоянной величиной для данного отверстия, называется коэффициентом расхода и обозначается буквой μ .

$$\mu = \varepsilon \cdot \varphi \quad (2)$$

С учетом понятия коэффициента расхода расчетная зависимость определения расхода примет вид

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2qH}.$$

Зависимость (5) называется "расходной формулой". Для малого отверстия в тонкой стенке при совершенном сжатии коэффициент расхода $\mu = 0,62$.

Отметим, что выражение (5) является универсальной расчетной формулой для отверстий и насадков любой формы, поскольку для каждого случая определяется экспериментально и его значения приводятся в гидравлических справочниках.

Описание установки

Экспериментальная установка (рис.1) состоит из напорного бака НБ с отверстием в боковой стенке, закрываемым клапаном, приводимым в действие рукояткой. Для поддержания постоянного напора в баке установлена воронка со сливной трубой СТ. В бак вода поступает по питающей трубе ПТ, причем поступает воды больше, чем выливается через отверстие, и излишек сливается через воронку в сливную трубу СТ. Этим методом поддерживается постоянство напора в баке. Напор измеряется пьезометром. Вода из отверстия поступает в мерный бак, установленный на весах В. По окончании опыта вода из мерного бака выпускается через сливной кран СК. На расстоянии $l=d$ от кромки отверстия установлены измерительные иглы, предназначенные для фиксирования толщины струи в сжатом сечении. Расстояние между концами игл ($d_{сж}$) измеряется с помощью штангенциркуля после закрытия клапана.

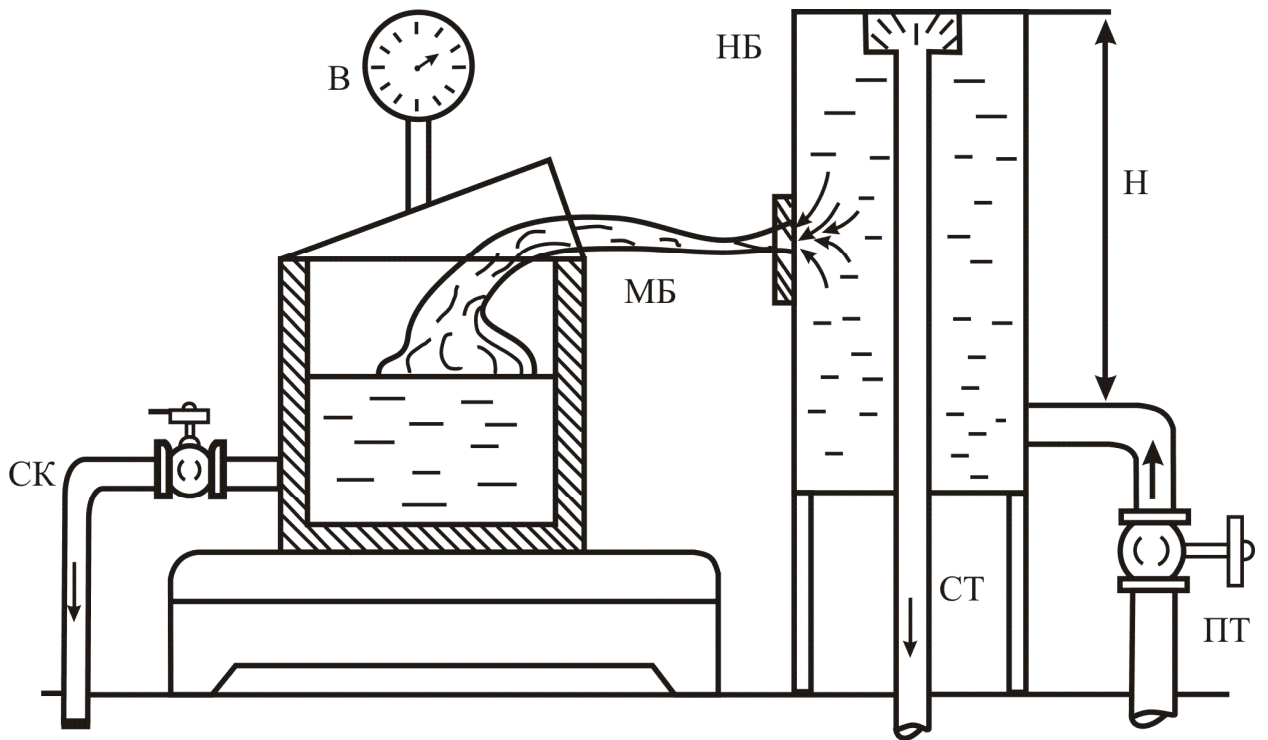


Рис.1. Схема установки для исследования истечения жидкости через отверстие в тонкой стенке

Измерения

1. Полностью открыть задвижку на питающей трубе ПТ и занести в табл. 1 значение напора в баке H (см) и диаметр отверстия (см).
2. Открыть сливкой кран мерного бака СК, затем поворотом рукоятки открыть отверстие, установить измерительные иглы таким образом, чтобы их концы слегка касались поверхности струи.
3. Закрывать сливной кран СК, записать начальные показания весов G (кг) в табл.1 и одновременно включать секундомер.
4. Набрав в бак 50 кг воды, остановить секундомер и записать в табл. 1 время наполнения t (с) с точностью до 1 секунды.
5. Закрывать отверстие рукояткой и слить воду из мерного бака через сливной кран СК.

6. Измерить штангенциркулем расстояние между концами измерительных игл (с точностью до 0,01 см) и полученные значения занести в таблицу 1.

7. Количество опытов задается преподавателем.

Вычисления

По данным измерений вычислить следующие параметры и результаты занести в табл. 1:

1) площадь отверстия ω и площадь сжатого сечения струи $\omega_{сж}$ с точностью до 0,01 см²;

2) коэффициент сжатия ε с точностью до 0,01:

$$\varepsilon = \frac{\omega_{сж}}{\omega};$$

3) расход воды Q с точностью до 10 см³/с;

$$Q = \frac{G}{t\gamma};$$

где $G = G_K - G_M$, $\gamma = 0,001$ кг/см³;

4) экспериментальное значение расхода μ с точностью до 0,01;

$$\mu = \frac{G}{\omega\sqrt{2q \cdot H}}, \text{ где } q = 980 \text{ см/с}^2;$$

5) коэффициент расхождения между экспериментальным и справочными значениями коэффициента расхода с точностью до 0,1%:

$$\delta\% = \frac{\mu_{\text{э}} - \mu_{\text{с}}}{\mu_{\text{э}}} \cdot 100\%.$$

Таблица результатов

№	Наименование	Обозначени е	Размерность	Опыты		
				1	2	3
1	Диаметр отверстия	d	см			
2	Площадь отверстия	ω	см ²			
3	Диаметр сжатого сечения струи	$d_{сж}$	см			
4	Площадь сжатого сечения струи	$\omega_{сж}$	см ²			
4	Коэффициент сжатия	ε	-			
5	Начальный вес воды в мерном баке	G_H	кг			
	Конечный вес воды в мерном баке	G_K	кг			
	Вес воды в баке	G	кг			
	Время истечения	t	сек			
6	Расход воды	Q	см ³ /с			
7	Напор перед отверстием	H	см			
10	Экспериментальное значение коэффициента расхода	μ_{ε}				
11	Справочное значение коэффициента расхода	μ_c				
12	Коэффициент расхождения	δ	%			

Лабораторная работа 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ НАСАДКИ

Цель работы

1. Изучить устройство, работу и назначение следующих насадков:

- цилиндрического внешнего;
- конически расходящегося;
- конически сходящегося;
- коноидального.

2. Усвоить основные понятия:

- насадок;
- коэффициент расхода;
- расходная формула.

3. Определить экспериментально коэффициенты расхода насадков и сравнить их со справочными значениями.

Краткие теоретические сведения

Насадками называются короткие трубы длиной (3 ÷ 4) d различной формы, присоединяемые к отверстию в стенке резервуара или к концу трубы с целью изменения характера истечения (например, для увеличения расхода, увеличения дальности полета струи, уменьшения или увеличения скорости истечения и так далее).

Различают следующие виды насадков (рис.1):

- 1) цилиндрический (внешний или внутренний);
- 2) конический расходящийся;
- 3) конический сходящийся;
- 4) коноидальный.

Внешний цилиндрический насадок присоединяют к отверстию в стенке резервуара для увеличения расхода. При истечении жидкости в начальном участке насадка образуется зона отжима потока от стенок (сжатое сечение струи). Сжатие струи происходит из-за того, что струйки,двигающиеся вдоль стенки резервуара, при входе в отверстие насадка изменяют направление

своего движения, а это вызывает появление центробежных сил. Эти силы и сжимают струю, в сжатом сечении скорость струи увеличивается, а это приводит к понижению давления в зоне отжима и оно становится меньше атмосферного, то есть образуется вакуум. Наличие вакуума повышает величину напора H , действующего перед насадком (за счет появления подсоса) и это приводит к увеличению расхода. Поэтому расход при равных условиях через внешний цилиндрический насадок больше, чем через отверстие того же диаметра. При длине насадка больше $4d$ эффект вакуума снижается из-за возрастающего сопротивления трубы, а при длине насадка меньше $3d$ атмосферный воздух может прорваться через выходное отверстие насадка и произойдет "срыв" вакуума. При этом эффект вакуума вообще исчезнет и расход через насадок станет даже меньше, чем через обычное отверстие. Поэтому оптимальной считается длина насадка, равная $l_H = (3 \div 4)d$.

Конически расходящиеся насадки (диффузоры) (рис.1) применяют для преобразования скоростного напора в статический, когда нужно уменьшить скорость выхода жидкости при одновременном увеличении расхода или увеличить давление запоров и др. Он работает подобно цилиндрическому насадку, однако величина вакуума в зоне сжатого сечения у него больше, поэтому больше будет и расход. Постепенное расширение насадка снижает скорость истечения и вызывает повышение статического давления. Эти насадки применяются также в устройствах для создания вакуума, например, в карбюраторах двигателей внутреннего сгорания, эжекторах, водоструйных насосах и др. В этих устройствах используется способность насадка создавать значительный вакуум в зоне сжатия струи. Угол конусности (раскрытия) насадка не превышает $7^\circ - 8^\circ$.

Если угол будет больше, то возможен срыв вакуума, и насадок будет работать как отверстие (без вакуума).

Конически сходящиеся насадки (рис.1) широко используется в инженерной практике для преобразования сжатия струи. Их применяют в

случаях, когда необходимо увеличить скорость истечения, дальность полета струи и силу ее удара (например, в пожарных гидрантах, гидромониторах, фонтанах и др.).

Коноидальные насадки (см.рис.1) предназначены для тех же целей, что и конически сходящиеся, но по сравнению с ними обладают лучшими гидродинамическими свойствами. Это достигается за счет того, что внутренний профиль насадка выполняется по профилю вытекавшей струи, при этом потери напора в насадке уменьшаются. Выходной участок насадка имеет цилиндрический профиль, этим достигается более гладкая поверхность выходящей струи. Однако коноидальные насадки более трудоемки в изготовлении и поэтому применяются реже конических сходящихся.

Расход жидкости через любые насадки определяется зависимостью

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g \cdot H}, \quad (1)$$

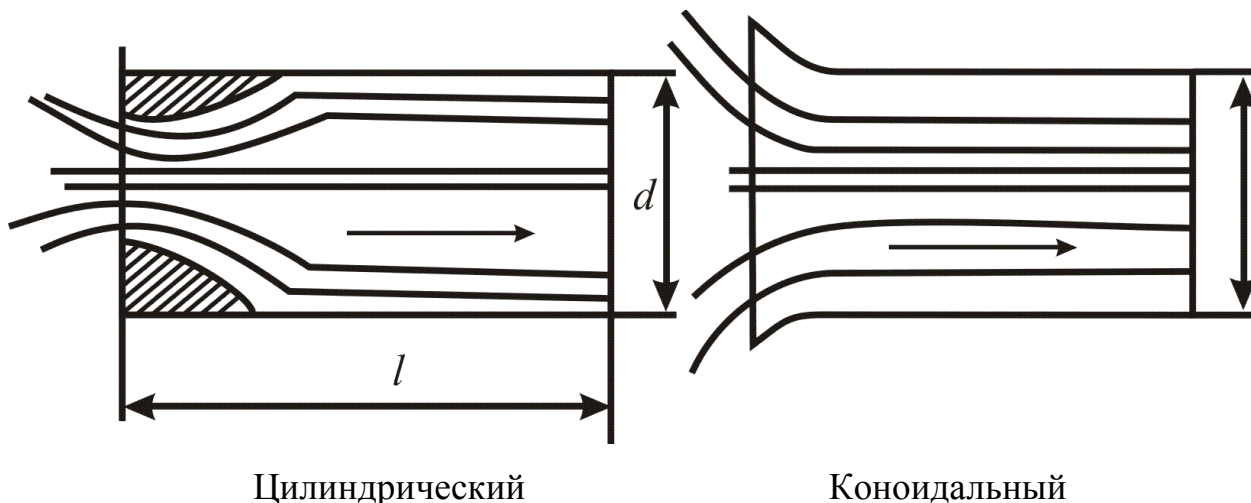
где μ - коэффициент расхода насадка;

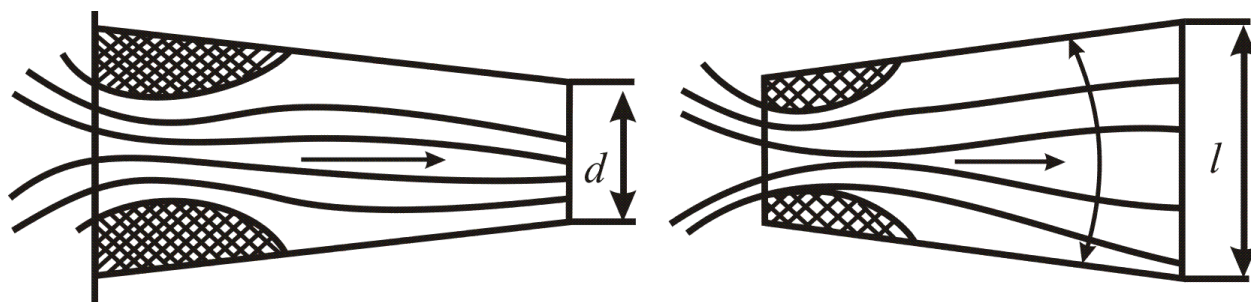
ω - площадь выходного сечения насадка;

H - статический напор перед выходом а насадок.

Формула (1) имеет универсальный характер и называется "расходной формулой".

Коэффициент расхода μ зависит от формы насадка и определяется опытным путем. Средние справочные значения для рассмотренных выше насадков следующие:





Конический сходящий

Конический расходящийся

Рис.1. Насадки

Вид насадки	Коэффициент расхода
Цилиндрический внешний	0,82
Конический расходящийся	0,50
Конический сходящий	0,94
Коноидальный	0,97

"Следует отметить, что хотя у конических расходящегося насадка коэффициент расхода меньше, чем у цилиндрического, однако расход у него больше, так как площадь его выходного сечения также больше.

Описание установки

Экспериментальная установка (рис.2) состоит из напорного бака НБ, на передней стенке которого на вращающемся диске установлены различные насадки. Насадки могут попеременно устанавливаться против отверстия в стенке бака. Это отверстие закрывается клапаном, приводимым в действие рукояткой. Для поддержания постоянного напора в баке установлена воронка со сливной трубой СТ. Вода в бак поступает по питающей трубе ПТ, причем воды поступает больше, чем вытекает через насадок, а излишек сливается через воронку в трубу СТ. Этим методом поддерживается постоянство напора в баке. Статический напор H перед насадком измеряется пьезометром. Вода из насадка поступает в мерный бак МБ, в котором

объемным способом измеряется расход через насадок. По окончании опыта вода из мерного бака выпускается через сливной кран СК.

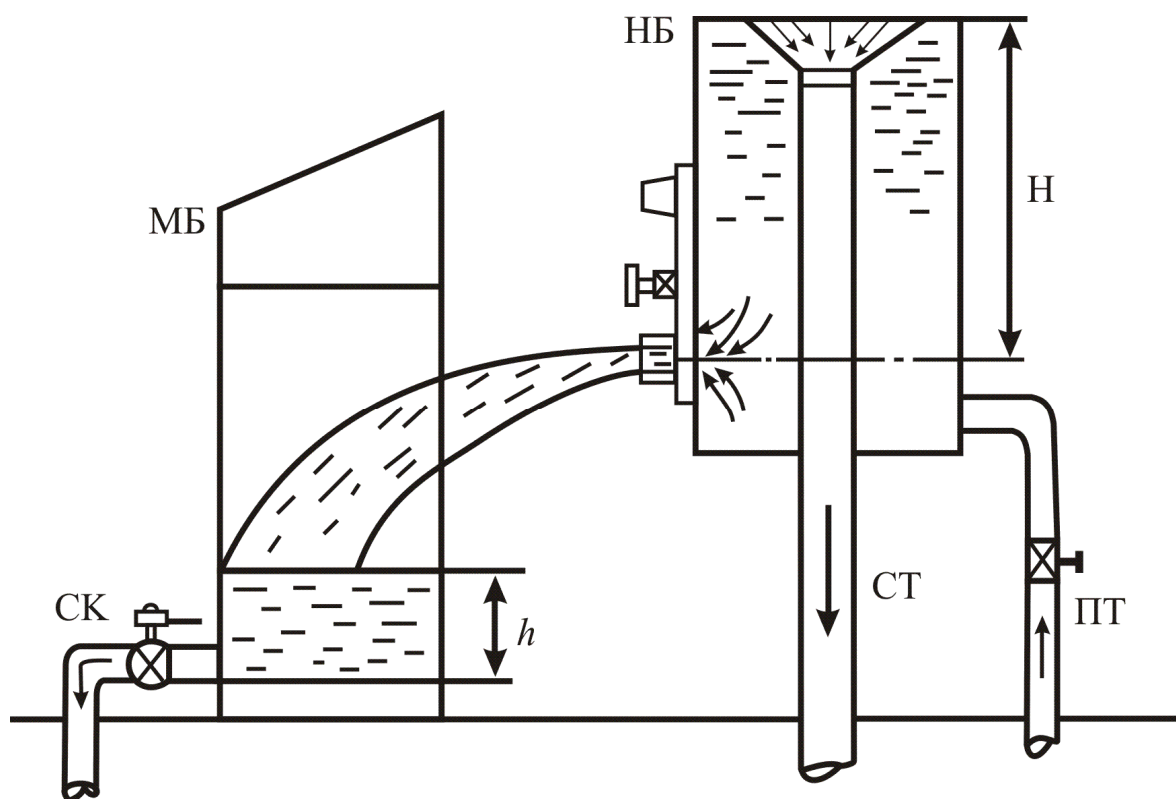


Рис. 2. Схема установки для исследования истечения жидкости через насадок

Порядок измерений

1. Полностью открыть задвижку на питающей трубе ПТ и занести в табл. 1 значения статического напора в баке H (см), диаметр выходного сечения насадка d (см), площадь поверхности мерного бака S (см²) и справочные значения коэффициентов расходов насадков.

2. Установить перед отверстием цилиндрический насадок и закрыть сливной кран СК мерного бака.

3. Плавно повернуть рукоятку клапана, пустить воду через насадок, заметить начальное значение уровня воды в мерном баке h_H и одновременно включить секундомер.

4. При повышении уровня воды в мерном баке приблизительно на 20 см относительно первоначального уровня, остановить секундомер и записать в табл. 1 конечную высоту h_K (см) и время наполнения t (с).

5. Установить перед отверстием последовательно коноидальный, конически сходящийся и расходящийся насадки и с каждым из них, повторить операции пункта 3 и 4.

6. После окончания опыта с каждым насадком воду из мерного крана слить через кран СК.

7. По окончании опытов закрыть задвижку по питающей трубе ПТ и открыть сливной кран СК мерного бака.

Порядок вычислений

По измеренным данным вычислить для каждого насадка следующие параметры и результаты занести в табл. 1.

1) площадь выходного сечения с точностью до 0,01 см²;

2) объем воды, поступившей в мерный бак с точностью до 1000 см³:

$$W = S \cdot h;$$

3) расход воды через насадок с точностью до 10 см³/с:

$$Q = \frac{W}{t};$$

4) экспериментальное значение коэффициента расхода насадка с точностью до 0,01

$$\mu_{\text{э}} = \frac{Q}{\omega \sqrt{2q \cdot H}}, \text{ где } q = 980 \text{ см/с}^2;$$

5) коэффициент расхождения между экспериментальным и справочным значениями коэффициента расхода с точностью до 0,1%:

$$\delta\% = \frac{\mu_{\text{э}} - \mu_{\text{с}}}{\mu_{\text{э}}} \cdot 100\%.$$

Таблица результатов

№	Наименование	Обозначение	Размерность	Насадки			
				Цилиндрический	Конический расход.	Конический сходящ.	Конический
1	Диаметр выходного сечения	d	см				
2	Площадь выходного сечения	ω	см ²				
3	Напор в баке перед насадком	H	см				
4	Конечная высота воды в мерном баке	h_k	см				
5	Начальная высота воды в мерном баке	h_n	см				
6	Высота подъема воды в мерном баке	h	см				
7	Площадь поверхности мерного бака	S	см ²				
8	Объем воды в мерном баке	W	см ³				
9	Время заполнения мерного бака объемом	t	сек				
10	Расход через насадок	Q	см ³ /с				
11	Экспериментальное значение коэффициента расхода	$\mu_{\text{э}}$					
12	Справочный коэффициент расхода	$\mu_{\text{с}}$					
13	Коэффициент расхождения	δ	%				

Лабораторная работа 7

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАПОРЕ

Цель работы

1. Усвоить основные понятия:

- неустановившееся движение;
- истечение без притока;
- время истечения;

2. Определить экспериментальным и расчетным путем время понижения уровня и время опорожнения резервуара. Сравнить экспериментальным и расчетным путем время понижения уровня и время опорожнения резервуара. Сравнить экспериментальные и расчетные результаты.

Краткие теоретические сведения

Истечение жидкости при переменном напоре является неустановившемся. При этом характеристики потока - скорость, расход и напор - меняются во времени. Если изменение напора происходит относительно медленно, то инерционным напором можно пренебречь и использовать зависимости, полученные для установившегося движения.

Основной задачей истечения жидкости при переменном напоре является определение времени изменения напоров от H_1 до H_2 или времени опорожнения резервуара ($H_2 = 0$).

При таком истечении возможны два случая. В первом истечении происходит при наличии постоянного притока. Во втором - без притока, то есть при понижении уровня с H_1 до H_2 или от H_1 до 0 (опорожнение).

При истечении без притока время понижения уровня от H_1 до H_2 определяется по выражению

$$t = \frac{2S}{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad (1)$$

где S - площадь поверхности резервуара;

μ - коэффициент расхода отверстия (0,62);

ω - площадь отверстия.

При понижении уровня от H_2 , до нуля время опорожнения определяется по выражению:

$$t = \frac{2S}{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}} \cdot \sqrt{H_2} \quad (1)$$

Для призматических резервуаров S постоянно при изменении уровня. Для непризматических изменяется и в расчетах это необходимо учитывать. Формулы для определения t приводятся для различных резервуаров в справочниках

Описание установки

Экспериментальная установка (см. лаб. раб. 8, рис.1) состоит из напорного бака НБ с отверстием в боковой стенке, закрываемым клапаном, приводимым в действие рукояткой. В бак вода поступает по питающей трубе ПТ, и ее излишек сливается через воронку в трубу СТ. Напор H измеряется пьезометром. Вода из отверстия поступает в мерный бак, установленный на весах В. Во время всего опыта сливной кран мерного бака должен быть открыт.

Порядок измерений

Внести в табл. 1, следующие данные: диаметр отверстия d , площадь поверхности напорного бака S .

1) открыть вентиль постоянного уровня H_1 , после чего вентиль закрыть, занести в табл. 1 значение H_1 ;

2) плавно повернуть рукоятку клапана, пустить воду через отверстие в мерный бак и одновременно включить секундомер;

3) когда уровень в баке снизится наполовину, закрыть клапан отверстия, остановив при этом секундомер. Занести в табл.1 уровень H_2 и время снижения уровня t ;

4) снова открыть клапан отверстия, включив при этом секундомер;

5) при полном опорожнении резервуара ($H = 0$) остановить секундомер и записать время в табл.1.

Порядок вычислений

По измеренным данным вычислить следующие параметры и занести в табл. 1:

- 1) площадь отверстия ω с точностью до 0,1 см;
- 2) расчетное время t_p снижения уровня с H_1 до H_2 с точностью до 1 с по формуле (1);
- 3) расчетное время t_p снижения уровня с H_2 до 0 с точностью до 1 с по формуле (2);
- 4) коэффициент расхождения между экспериментальным и расчетным временем для снижения уровня с H_1 до H_2 и с H_2 до 0 с точностью до 0,1%

$$\delta = \frac{t_{\text{э}} - t_p}{t_p} \cdot 100\%.$$

Таблица 1

Таблица результатов

№	Наименование	Обозначение	Размерность	Опыты	
				С H_1 до H_2	С H_2 до 0
1	Диаметр отверстия	d	см		
2	Площадь отверстия	ω	см ²		
3	Площадь поверхности напорного бака	S	см ²		
4	Начальный напор	H_1	см		
5	Промежуточный напор	H_2	см		
6	Время истечения по опыту	$t_{\text{э}}$	сек		
7	Время истечения по расчету	t_p	сек		
8	Коэффициент расхождения	δ	%		

Библиографический список

1. Чугаев Р.Р. Гидравлика. "Л.; Энергия, 1975.
2. Богомоллов А.И., Михайлов К.А. Гидравлика. М.; Стройиздат, 1972.
3. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика. М.: Машиностроение, 1971.
4. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. М.: Стройиздат, 1975.
5. Теплов А.В. Основы гидравлики. М.: Энергия, 1965.
6. Юшкин В.В. Гидравлика и гидравлические машины. Минск Высшэйшая школа, 1974.
7. Рабинович К.З. Гидравлика. М.; Недра, 1977.
8. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередач. /Под ред. С.С.Руднева./ Машиностроение, 1974.
9. Вильнер Я.М. и др.: Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. Минск: Высшэйшая школа, 1976.

ГИДРАВЛИКА

Методическое руководство для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Гидравлика» для студентов инженерных специальностей очной и заочной форм обучения

Составитель: Еременко Елена Андреевна