

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологический институт

Кафедра технологического оборудования
животноводства и перерабатывающих производств

РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ

для выполнения лабораторных работ
по курсу «Гидрогазодинамика»
для бакалавров очного и заочного направлений
20.03.01 - Техносферная безопасность
Профиль - Пожарная безопасность

Студент

Группа

Брянская область – 2016

УДК 532.5 (076)

ББК 22.253

С 49

Случевский, А. М. Рабочая тетрадь для выполнения лабораторных работ по курсу «Гидрогазодинамика» для бакалавров очного и заочного направлений 20.03.01 - Техносферная безопасность профиль - Пожарная безопасность / А. М. Случевский. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2016. - 52 с.

Рабочая тетрадь содержит необходимый инструментарий, для выполнения лабораторных работ по курсу гидрогазодинамика, методические указания, вопросы для контроля текущих знаний, что позволит систематизировать материал в единое целое для каждого конкретного занятия.

Рецензент: доцент кафедры ТЛЖПП, к.т.н., Чащинов В.И.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского аграрного университета, протокол № 6 от 26 сентября 2016 года.

© ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 2016

© Случевский А.М., 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания к выполнению лабораторных работ.....	4
Лабораторная работа № 1 Исследование режимов движения жидкости.....	7
Лабораторная работа № 2 Определение силы давления на плоскую стенку	13
Лабораторная работа № 3 Опытная иллюстрация уравнения Бернулли.....	19
Лабораторная работа № 4 Определение потерь в местных сопротивлениях.....	25
Лабораторная работа № 5 Определение потерь на трение по длине.....	33
Лабораторная работа № 6 Тарирование расходомерных устройств.....	38
Лабораторная работа № 7 Истечение через отверстия и насадки при постоянном напоре.....	45

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные работы выполняются в соответствии с программой, утвержденной для сельскохозяйственных высших учебных заведений.

Гидрогазодинамика, как наука, в большой степени опирается на экспериментальные исследования. Целью наших лабораторных работ является опытное подтверждение некоторых теоретических положений или определение опытных коэффициентов.

В состав методических указаний входит семь лабораторных работ. Методика всех выполняемых работ построена по одному плану. Сначала указывается цель, приборы и оборудование, применяемые при выполнении работы. Далее поставлены вопросы, на которые студент должен ответить при домашней самостоятельной подготовке к лабораторной работе, приводится описание опытной установки, порядок проведения работы и обработки опытных данных.

Основным требованием при проведении лабораторных работ является самостоятельность при подготовке и проведении всего комплекса работы в лаборатории. Для этого студентам необходимо тщательно готовиться к каждому занятию. Перед занятием необходимо письменно ответить на вопросы, поставленные в каждой работе, изучить опытную установку, порядок проведения работы и обработки опытных данных.

Каждое занятие начинается с проверки подготовленности студентов к проведению работы. Студенты, не подготовленные к занятию, отрабатывают его в дополнительное время.

Оформление отчетов по каждой лабораторной работе производится в часы, отведенные на выполнение работы. Работы принимаются при полностью оформленном отчете.

*Список литературы, которую необходимо использовать
при подготовке к лабораторным работам:*

1. Гусев А.А. Гидравлика. Теория и практика. М.: Юрайт, 2015. 285 с.
2. Кудинов А.А. Газодинамика. М.: Инфра-М, 2014.
3. Основы газодинамики в примерах и задачах. М.: Академия. Л.: Энергоиздат, 1982. 671 с.
4. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / З.В. Костюченко и др. Минск: Ураджай, 1991. 272 с.
5. Куколевский И.И. Сборник задач по машиностроительной гидравлике. М.: Машиностроение, 1981. 464 с.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ И ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

A - постоянная расходомерного устройства;

a - ширина дна мерного бака;

b - длина дна мерного бака;

$b_{ш}$ - ширина щели мерного водослива;

$d(D)$ - диаметр трубопровода (внутренний);

$d_э$ - эквивалентный (гидравлический) диаметр;

g - ускорение свободного падения;

H_i - полный напор в i -м сечении трубопровода (потока);

$$h = \frac{P}{\rho g} \quad - \quad \text{пьезометрическая высота;}$$

$$h = z + \frac{P}{\rho g} \quad - \text{показания пьезометра;}$$

$$h_0 = \frac{V^2}{2g} \quad - \quad \text{скоростной напор;}$$

k - поправочный коэффициент для определения потерь на начальном участке трубопровода;

l - линейный размер (длина участка трубопровода, высота подъема уровня воды в мерном баке);

m - тарировочный коэффициент (коэффициент расхода щели);

P - пьезометрическое давление;

Q - действительный расход;

Q_t - теоретический расход жидкости;

R - радиус закругления трубы;

Re - число Рейнольдса;

V - средняя скорость движения жидкости;

W - объем жидкости;

$X; Y$ - координаты струи;

z - геометрическая высота центра сечения трубопровода в i -м сечении;

$\Delta_э$ - эквивалентная шероховатость трубопровода;

Δ_x - абсолютная ошибка (погрешность) определения величины;

Δ_x - относительная ошибка (погрешность) определения величины x ;

ε - коэффициент сжатия струи;

ζ - коэффициент местных потерь;

μ - коэффициент расхода;

ν - кинематическая вязкость;

ρ - плотность;

Лабораторная работа № 1

Исследование режимов движения жидкости

Цель работы: *Визуальное определение характерных режимов движения жидкости и установление соответствующих этим режимам чисел Рейнольдса.*

Приборы и оборудование: *Установка для определения режимов движения, термометр, секундомер, жидкость для подкрашивания воды.*

При подготовке к проведению работы ответьте на следующие вопросы:

1. Какие режимы движения жидкости существуют в природе? Чем они характерны?

2. От чего зависит режим движения?

3. Что такое верхняя и нижняя критические скорости? Напишите формулы для их вычисления и приведите определения.

4. По какой формуле определяется число Рейнольдса?

5. При каких значениях числа Рейнольдса будет иметь место ламинарный режим движения?

6. При каких значениях числа Рейнольдса будет иметь место устойчивый турбулентный режим движения?

7. Как зависят потери напора от режима движения жидкости?

8. Почему критерий, характеризующий режим движения, назван числом Рейнольдса?

9. Какова размерность числа Рейнольдса? Докажите это.

10. Меняются ли критические числа Рейнольдса от вида жидкости?

1. Схема установки

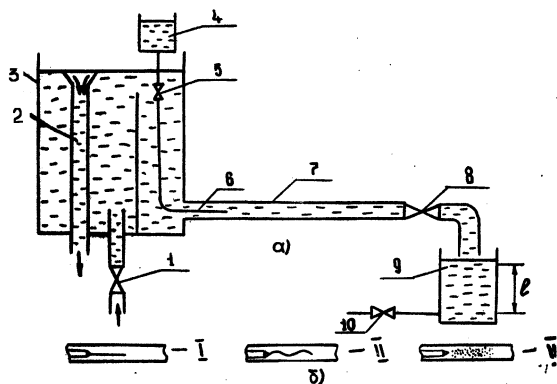


Рисунок 1 - Схема установки

а) 1 – вентиль подвода воды от сети; 2 – водослив для поддержания постоянного уровня воды в напорном баке; 3 – напорный бак; 4 – сосуд с окрашенной жидкостью; 5 – вентиль подачи окрашенной жидкости; 6 – капилляр подвода окрашенной жидкости; 7 – стеклянная трубка; 8 – вентиль регулирования расхода воды в стеклянной трубке; 9 – мерный бак.

б) Наблюдаемый режим движения окрашенной жидкости:

I - ламинарный режим;

II - переходный режим;

III – развитый турбулентный режим.

2. Рабочие формулы

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

$$Q_g = \frac{S * l}{\tau} ; \quad (2)$$

$$V = \frac{4 * Q_g}{\pi * d^2} ; \quad (3)$$

$$d = 27 \text{ мм}; \quad S = 200 \text{ см}^3.$$

3. Обработка опытных данных

Таблица 1 - Результаты измерений и вычислений

Параметры	Номер опыта		
	1	2	3
1. Объем воды в мерном баке ($S_0^* l$), см			
2. Время наполнения мерного бака τ , с			
3. Действительный расход, Q , $\text{см}^3/\text{с}$			
4. Скорость воды в трубке V , см/с			
5. Число Рейнольдса Re			
6. Режим движения жидкости			

Расчеты:

Студент:

Группа:

Работу принял:

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Экспериментальная установка состоит из напорного бака 3 и присоединенной к нему стеклянной трубки 7, имеющей внутри подвод окрашенной жидкости. Вода поступает в напорный бак через вентиль 1. Для поддержания постоянного напора служит водослив 2. Расход воды регулируется вентилем 8 и измеряется мерным баком 9.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ

1. Открыть кран 1 и наполнить бак 3 до постоянного уровня.
2. Открыть кран 5, обеспечивающий поступление подкрашенной жидкости.
3. С помощью крана 8 установить в трубке постоянный расход жидкости (до получения определенного режима).
4. Определить время заполнения мерного бака на высоту l (при закрытом кране 10).
5. Повторить пункты 2-4 при других расходах воды.
6. В целях экономии окрашенной жидкости пункт 2 выполнять за короткий промежуток времени.

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

1. Определить расход (Q) воды в стеклянной трубке по формуле (1)
2. Определить скорость (V) течения воды в трубке по формуле (2)
3. Вычислить число Рейнольдса (Re) по формуле (3) .
4. Определить режим движения жидкости в трубке.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТЕ

1. Какими характерными параметрами определяется различие между ламинарным и турбулентным течением жидкости?
2. Что такое гидравлически гладкие и гидравлически шероховатые трубы?
3. Как влияет изменение режима движения от ламинарного к турбулентному на гидравлические сопротивления, на условия теплоотдачи?
4. Физический смысл критерия Рейнольдса. При каком режиме, какие силы преобладают?
5. Что такое эквивалентный диаметр (гидравлический радиус) и как они определяются?

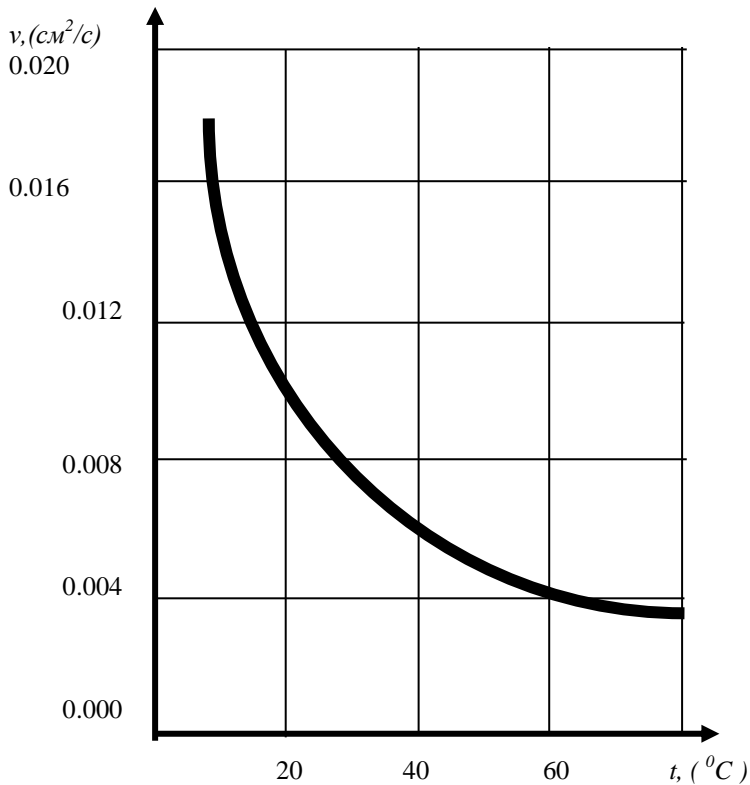


Рисунок 2 - Зависимость кинематического коэффициента вязкости ν воды от температуры t

Лабораторная работа № 2

Определение силы давления на плоскую стенку

Цель работы: *Экспериментальное и теоретическое определение силы давления жидкости на плоскую поверхность.*

Приборы и оборудование: *Установка для определения силы давления жидкости на плоскую стенку, мерный стакан, линейка.*

При подготовке к проведению работы ответьте на следующие вопросы.

1. Запишите определение давления.
2. Приведите единицы измерения гидростатического давления и их соотношение.
3. Запишите формулу для определения суммарного гидростатического давления на плоскую поверхность и расшифруйте составляющие.
4. Что называется центром давления?
5. Приведите формулу для определения положения центра давления.
6. Чем отличаются формулы для определения центра давления плоской прямоугольной поверхности от плоской круглой поверхности?

7. Постройте эпюры давления на выделенные плоские поверхности для следующих случаев.

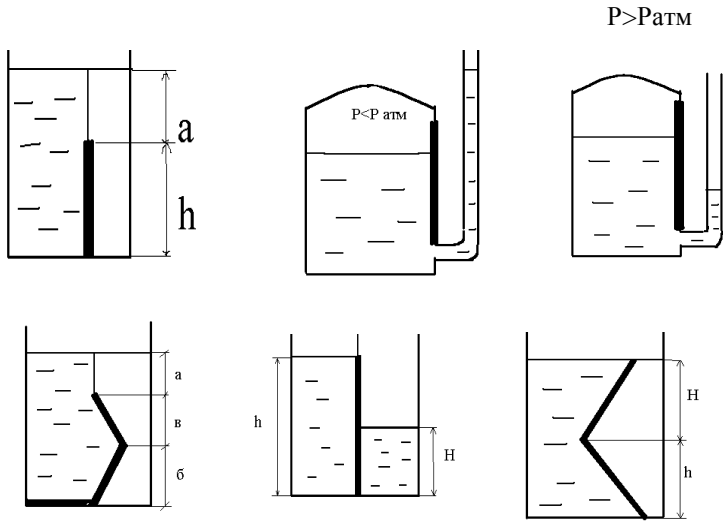
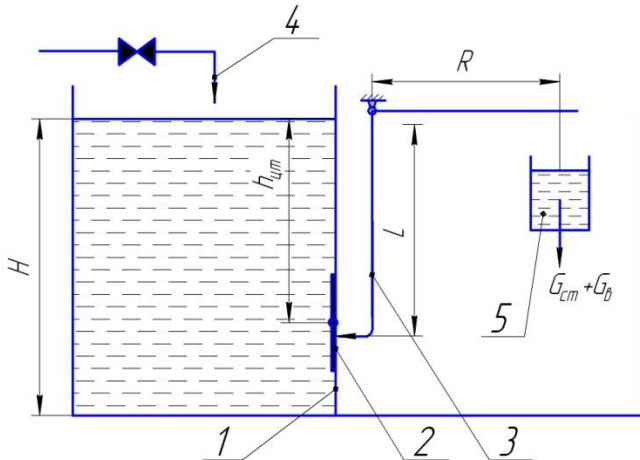


Рисунок 3. Эпюры суммарного гидростатического давления

1. Схема лабораторной установки



1 – перегородка; 2 – поверхность давления (щит); 3 – двуплечий рычаг; 4 кран; 5 – груз.

Рисунок 4 – Схема лабораторной установки

Таблица 2 - Результаты опытов

Параметры	Номер опыта			
	1	2	3	4
1. Напор H , см				
2. Расстояние до центра тяжести $h_{ц.м}$, см				
3. Сила давления жидкости P , Н				
4. Вес груза G_n , Н				
5. Расчетное значение груза G_p , Н				
6. Не баланс δG , Н				

2. Рабочие формулы:

$$h_{ц.о.} = h_{ц.м.} + \frac{Y_0}{h_{ц.м.}\omega}; \quad (4) \quad P = \rho g h_{ц.м.} F; \quad (5) \quad Y_0 = \frac{1}{12} \rho h^3; \quad (6)$$

3. Результаты измерений и вычислений

Расчетное значение груза $G_p =$

Практическое значение груза $G_n =$

$$\text{Не баланс} \quad \delta G = \frac{G_p - G_n}{G_p} \cdot 100 \% \quad (7)$$

4. Расчеты:

Студент:

Группа:

Работ принял:

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Экспериментальная установка состоит из напорного бака 1, разделенного перегородкой на две половины. Левая половина заполняется водой на высоту H . Прямоугольное отверстие в вертикальной перегородке напорного бака закрыто плоским щитом 2 размером $b \times h$, который прижимается к стенке под действием груза 5 массой G , расположенном на плече r .

ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТОВ

1. Открыть кран 3 и наполнить левую половину бака на уровень H .
2. Опытным путем определить массу груза G , при котором прямоугольное отверстие открывается.
3. Повторить опыт при других значениях.

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

1. Определить силу давления жидкости P на щит (теоретически).
2. Определить точку приложения этой силы.
3. Составить уравнение моментов относительно оси коромысла.
4. Из уравнения моментов определить теоретическое значение груза G_p , при котором щит начнет открываться.
5. Сравнить расчетное значение груза с полученным опытным путем.
6. Заполнить таблицу 1.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТЕ

1. Запишите основные уравнения гидростатики и объясните его схемой.
2. Что такое поверхность равного давления?

3. Дайте определение закона Паскаля.
4. Назовите единицы измерения давления и приведите переводные коэффициенты.
5. Что такое гидростатический парадокс?
6. Приведите эпюры давления на:
 - а) плоскую прямоугольную вертикальную стенку в открытом и закрытом резервуаре;
 - б) плоскую прямоугольную вертикальную стенку, частично заглубленную в жидкость;
 - в) вертикальную прямоугольную стенку при двухстороннем давлении жидкости.
7. Запишите и объясните, как определяется сила давления на произвольную криволинейную поверхность.

Лабораторная работа № 3

Опытная иллюстрация уравнения Бернулли

Цель работы: *Установление опытным путем характера изменения полного напора и отдельных его составляющих по длине потока в трубопроводе переменного сечения и сложной формы*

Приборы и оборудование: *Установка для исследования уравнения Бернулли, термометр, секундомер.*

При подготовке к проведению работы ответьте на следующие вопросы:

1. Запишите уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости.

2. Что значат все члены уравнения с точки зрения геометрической? Приведите рисунок.

3. Что значат все члены уравнения с точки зрения физической?

4. С какой целью в уравнение Бернулли для элементарной струйки реальной жидкости вводится h_w ?

5. Какова физическая суть величины α ?

6. На основании какого закона выводится уравнение Бернулли? Запишите его.

7. Чем можно измерить высоту скоростного напора? Зарисуйте необходимую схему.

8. Что такое расход жидкости? Какие способы определения расхода Вы знаете?

9. Перечислите примеры, где бы Вы могли применить уравнение Бернулли.

1. Схема установки

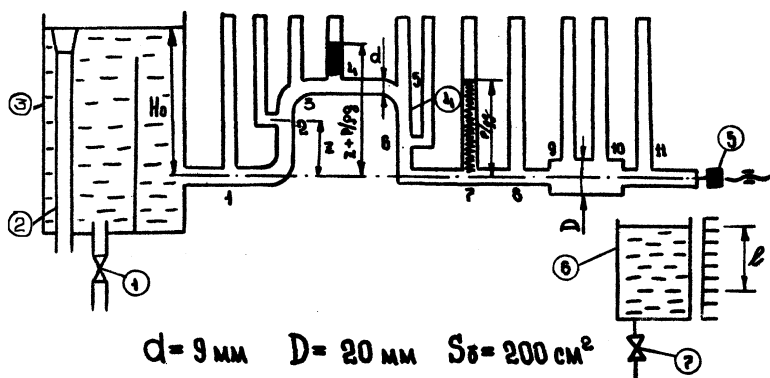


Рисунок 5 - Схема экспериментальной установки

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка состоит из напорного бака 3 и присоединенной к нему латунной трубы 4 с запорным устройством 5 на конце. Труба имеет переменное сечение по длине и различного рода местные сопротивления. Пьезометрический напор в отдельных точках по длине трубы измеряется открытыми пьезометрами, выведенными на общий щит.

Расход воды через трубу измеряется объемным методом с помощью мерного бака 6.

Напорный бак заполняется водой через кран до установления постоянного уровня в правой половине бака посредством переливной трубы 2.

2. Рабочие формулы:

$$H = z + \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g}; \quad (8) \quad V = \frac{Q}{\omega}; \quad (9) \quad Q = \frac{W}{\tau}; \quad (10)$$

3. Результаты измерений и вычислений:

Время заполнения мерного бака $\tau =$ с ;
 Объем воды в мерном баке $W = S_0 l =$ м³ ;

Расход воды в трубопроводе

$$Q = \frac{W}{\tau} = \quad \text{м}^3/\text{с};$$

Начальный напор

$$H_0 = \quad \text{см.}$$

Таблица 3 - Результаты опытов

Пьезометры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Показания пьезометра, см $z_i + \frac{P_i}{\rho g}$											
Скорость V_i , см/с											
Скоростной напор, см $\frac{V^2}{2g}$											
Полный напор H , см											
Геометрический напор z , см											
Пьезометрический напор, см $\frac{P_i}{\rho g}$											

Графики полного и пьезометрического напоров

Студент:

Группа:

Работу принял:

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТА

1. Открыть кран 1 и наполнить бак до постоянного уровня.
2. Открывая кран 5, установить постоянный расход воды в трубе.
3. Записать показания пьезометров 1-11 при данном расходе жидкости.
4. Определить время заполнения мерного бака на высоту l (при закрытом кране 7).
5. После завершения замеров закрыть кран 1.

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

1. Определить расход жидкости в трубе.
2. Определить скорость воды и скоростной напор в сечениях под пьезометрами.
3. Определить полный напор в сечениях 1-11.

4. Построить график изменения полного и пьезометрического напоров по длине трубы.
5. Составить отчет по прилагаемой форме.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТЕ

1. Объясните физический смысл уравнения Бернулли и каждого из его членов.
2. Чем отличаются уравнения Бернулли для потоков идеальной и реальной жидкости.
3. Может ли возрастать пьезометрический напор жидкости по ходу потока?
4. Как изменится скорость движения жидкости в трубе постоянного диаметра, если при неизменном расходе реальную жидкость заменить идеальной?
5. Какая составляющая полной энергии потока расходуется на преодоление путевых сопротивлений?
6. Приведите примеры использования уравнения Бернулли в технических устройствах.

Лабораторная работа № 4

Определение потерь в местных гидравлических сопротивлениях

Цель работы: *Экспериментальное определение коэффициентов местных потерь в сопротивлениях различного вида при установившемся режиме движения жидкости.*

Приборы и оборудование: *Установка для определения коэффициентов местных сопротивлений, секундомер.*

При подготовке к проведению работы ответьте на следующие вопросы:

1. Где возникают местные сопротивления?

2. Для чего нужно знать величины коэффициентов местных сопротивлений?

3. По какой формуле определяются потери в местных сопротивлениях? Что значат все члены выражения?

4. С помощью какого прибора можно определить потери в местном сопротивлении? Нарисуйте схему прибора.

5. Каким образом определяют коэффициент местного сопротивления, зная величину потерь энергии в нем?

6. Как влияет на показание приборов близкое расположение местного сопротивления?

7. Какие способы определения коэффициентов местного сопротивления вы знаете? Нарисуйте схемы, запишите необходимые формулы.

8. Как определяется скорость воды в наших опытах?

9. Как определить местные потери по всей трубе, имеющей несколько местных сопротивлений?

10. Почему всасывающую линию насосной установки рекомендуют делать как можно короче и с меньшим количеством изгибов?

1. Схема установки

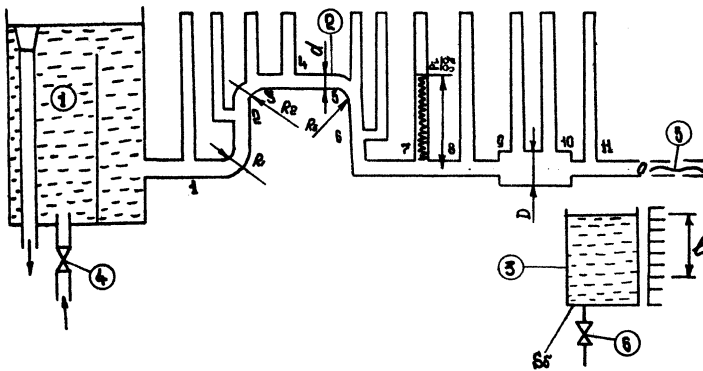


Рисунок 6 - Схема экспериментальной установки

$$d = 9 \text{ мм}; \quad D = 20 \text{ мм}; \quad S = 200 \text{ см}^2; \quad R^1 = 8 \text{ см};$$

$$R^2 = 11 \text{ см}; \quad R^3 = 28 \text{ см}.$$

2. Рабочие формулы:

$$\Delta H = H_i - H_{i+1} = \left(z_i + \frac{P_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} \right) - \left(z_{i+1} + \frac{P_{i+1}}{\rho g} + \frac{V_{i+1}^2}{2g} \right); \quad (11)$$

$$\Delta h_{mp} = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}; \quad (12) \quad \Delta h_m = \Delta H - \Delta h_{mp}; \quad (13); \quad V = \frac{Q}{\omega}; \quad (14)$$

3. Результаты измерений и вычислений:

Время заполнения бака $\tau =$ с ;
 Объем воды в мерном баке $W=S_oL=$ см³ ;

Расход воды $Q = \frac{W}{\tau} =$ см³/с .

Таблица 4 - Результаты опытных данных

Пьезометры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Показания пьезометров $(z_i + \frac{p_i}{\rho g})$, см											
2. Скорость V_i , см/с											
3. Скоростной напор $\frac{V_i^2}{2g}$, см											
4. Полный напор $(z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g})$, см											

Расчетные коэффициенты местных потерь:

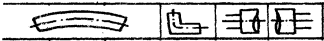
а) плавный поворот на 90° $\xi = 0,051 + 0,19 \frac{d}{R}$; (16)

б) внезапный поворот $\xi = 1$; (17) в) внезапное

расширение $\xi = (\frac{D}{d^2} - 1)^2$; (18) г) внезапное суже-

ние $\xi = 0,5 (1 - \frac{d^2}{D^2})$; (19)

Таблица 5 - Результаты опытных данных

Сопротивления						
	R1	R2	R3	4	5	6
1. Потери напора в сопротивлении (общие) ΔH_i , см						
2. Потери напора на трение Δh_{mp} , см						
3. Потери напора в местном сопротивлении Δh_{mi} , см						
4. Расчетный скоростной напор $\frac{V_i^2}{2g}$, см						
5. Коэффициент местных потерь из опыта ξ_o						
6. Коэффициент местных потерь по расчету ξ_p						

РАСЧЕТЫ:

Студент:

Группа:

Работу принял:

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Установка состоит из напорного бака 1, разделенного на две части перегородкой. К напорному баку присоединен трубопровод 2 сложной формы, включающий в себя шесть различных местных сопротивлений: три отвода с различными радиусами закруглений, колено без закругления, внезапное расширение и внезапное сужение. Для измерения величины падения напора перед каждым местным сопротивлением и после него присоединены пьезометры. Расход воды измеряется объемным способом с помощью мерного бака 3.

ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТОВ

1. Заполнить напорный бак водой.
2. Открыть кран 4 и установить постоянный напор воды в напорном баке.
3. Открыть игольчатый вентиль 5 и установить постоянный расход жидкости через трубопровод.
4. Записать показания пьезометров 1-2 при данном расходе жидкости.
5. Определить время заполнения мерного бака на высоту (при закрытом кране 6).
6. После окончания работ закрыть кран 4 и вентиль 5.

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

1. Определить расход жидкости.
2. Определить скорость воды и скоростной напор в сечениях под пьезометрами.
3. Определить полный гидродинамический напор в тех же сечениях.
4. Вычислить величину гидравлических потерь в каждом местном сопротивлении, учитывая потери по длине трубопровода.
5. Найти коэффициент местных потерь каждого сопротивления.
6. Определить, пользуясь приведенными формулами, расчетные значения коэффициентов местных потерь.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТЕ

1. Дайте определение коэффициента местных потерь.
2. Зависят ли коэффициенты местных потерь от рода протекающей жидкости? От скорости жидкости? От размеров и формы сопротивления?
3. Что такое эквивалентная длина трубопровода? Зависит ли она от скорости жидкости?
4. Существуют ли местные потери напора при течении идеальной жидкости?
5. Может ли возрастать давление в жидкости при прохождении ее через местные сопротивления?
6. Какая составляющая полной энергии потока затрачивается на преодоление местных сопротивлений?
7. Зависят ли местные потери напора от режима движения жидкости? Зависит ли коэффициент местных потерь от режима движения?

Лабораторная работа № 5

Определение потерь на трение по длине трубопровода

Цель работы: *Экспериментальное определение коэффициента путевых потерь и его зависимости от режима движения жидкости.*

Приборы и оборудование: *Установка для определения коэффициента сопротивления трения по длине трубы, секундомер, термометр.*

При подготовке к проведению работы ответьте на следующие на следующие вопросы:

1. В результате чего возникает сопротивление трения?
2. В каких трубопроводах учитывают потери по длине и в каких не учитывают?
3. По какой формуле определяют потери по длине? Что значат в этой формуле все ее составляющие?
4. По какой формуле определяется величина коэффициента сопротивления λ при ламинарном режиме движения?

5. Какие трубы называют гидравлически гладкими? (нарисуйте схему) По какой формуле определяется λ при гидравлически гладких трубах?

6. Как зависят потери напора от скорости при ламинарном и турбулентном режимах движения жидкости?

7. Что такое абсолютная шероховатость?

8. Что такое относительная шероховатость?

1. Схема установки

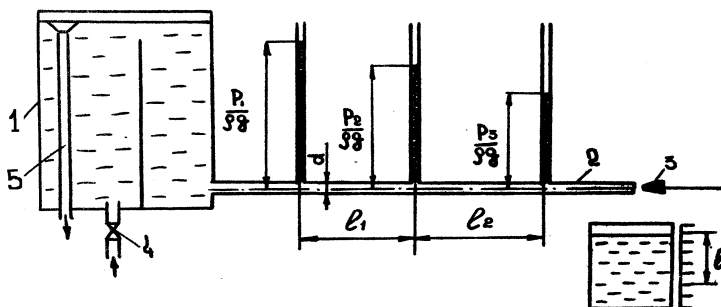


Рисунок 5 - Схема опытной установки

$$D=13(\pm 0,1) \text{ мм}; \quad l^1=30(\pm 0,1) \text{ см}; \quad l^2=80(\pm 0,1) \text{ см}; \quad \Delta_3=0,02 \text{ мм};$$

$$S_0 = a * b = (10(\pm 0,1)) * (20(\pm 0,1)) \text{ см}^2.$$

2. Рабочие формулы:

$$\text{Re} = \frac{vd}{\nu}; \quad (16) \quad v = f(t); \quad (17) \quad \Delta h = h_1 - h_j = \frac{P_i}{\rho g}; \quad (18)$$

$$\chi = \frac{\Delta h}{l/d \times v^2 / 2g}; \quad (19) \quad W = S_0 l; \quad (20) \quad Q = \frac{W}{\tau}; \quad (21) \quad V = \frac{4 \times Q}{\pi d^2}; \quad (22)$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \text{ если } \text{Re} \geq 2320; \quad (23) \quad \lambda = \frac{64}{\text{Re}}, \text{ если } \text{Re} \leq 2320; \quad (24)$$

3. Результаты измерений и вычислений

Таблица 6 - Результаты опытов

Параметры	1	2	3	4
1. Время заполнения бака τ , с				
2. Объем воды в баке W , см ^ε				
3. Показания пьезометров h , см				
4. Расход воды Q , см ³ /с				
5. Скорость воды в трубе V , см/с				
6. Потери напора по длине Δh , см				
7. Коэффициент λ из опыта				
8. Число Рейнольдса Re				
Коэффициент λ по расчету				

График:

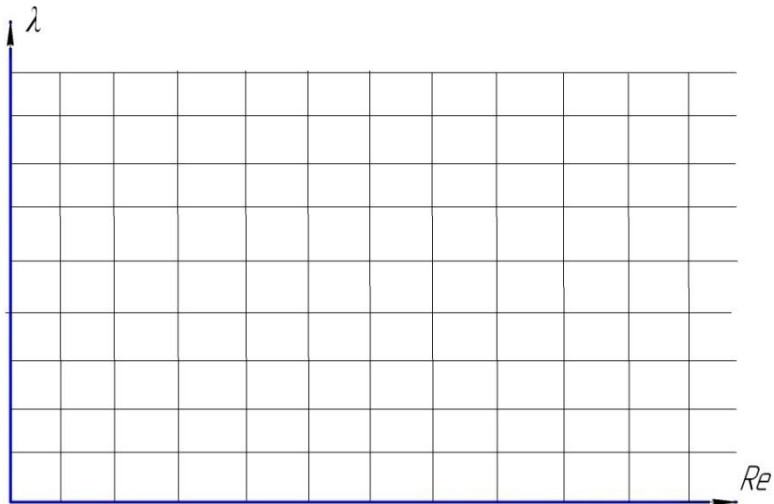


Рисунок 7- График зависимости $\lambda = f(Re)$

Расчеты:

Студент:

Группа:

Работу принял:

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Экспериментальная установка состоит из напорного бака 1 и присоединенной к нему латунной трубки 2 с запорным устройством 3 на конце. Напорный бак заполняется водой через кран 4 до установления постоянного уровня в правой половине бака посредством перелива 5. На трубе установлены три открытых пьезометра. Расход через латунную трубку измеряется объемным способом с помощью мерного бака.

ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТОВ

1. Открыть кран 4 и наполнить напорный бак до постоянного напора.
2. С помощью вентиля 3 установить в трубе определенный расход воды.
3. Записать показания пьезометров. Определить время заполнения мерного бака на высоту l .
4. Повторить пункты 2-4 для других расходов.
5. После окончания работы закрыть кран 4 и вентиль 3.

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

1. Определить расход воды в трубе.
2. Определить скорость воды в трубе.
3. Определить коэффициент путевых потерь по опытным данным.
4. Вычислить число Рейнольдса (учитывая зависимость коэффициента кинематической вязкости от температуры воды).
5. Определить коэффициент путевых потерь расчетным путем и сопоставить его с опытным значением.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТЕ

1. Дайте определение коэффициента путевых потерь λ .
2. Зависит ли коэффициент путевых потерь от диаметра трубы? Длины трубы? Скорости жидкости? Температуры жидкости?
3. Может ли одна и та же труба быть и гидравлически гладкой и гидравлически шероховатой?
4. Как зависят потери напора и коэффициент путевых потерь от рода протекающей жидкости?
5. Как изменится пропускная способность трубы, если – при заданном напоре – вдвое уменьшится ее диаметр? Вдвое увеличить длину трубы? Рассмотреть ламинарный и турбулентный (квадратичный) режим движения.
6. Объясните влияние шероховатости стенок трубы на коэффициент путевых потерь.
7. При заданном расходе следует уменьшить потери напора в трубе. Какой способ целесообразнее – увеличить диаметр трубы или уменьшить ее длину?
8. Как изменится коэффициент путевых потерь в трубе, если круглое сечение ее заменить квадратным? Как при этом изменяются потери напора? Рассмотреть ламинарный и турбулентный режимы течения.

Лабораторная работа № 6

Тарирование расходомерных приборов

Цель работы: *Экспериментальное определение коэффициентов расхода для трубы Вентурри и диафрагмы и построение для них тарировочных графиков.*

При подготовке к проведению работы ответьте на следующие вопросы:

1. Запишите уравнение неразрывности для потока жидкости.
2. Приведите вывод (см. лекцию) для определения расхода воды при прохождении ее через водомер.
3. С какой целью вводится в формулу коэффициент расхода?
4. Запишите формулу для определения коэффициента расхода μ , которая выходит из формулы расхода.
5. Какие величины в этой формуле постоянны для данного расходомера?

6. В результате чего в показаниях пьезометров возникает разность показаний?

7. С какой целью строится тарировочная кривая водомера?

1. Схема установки

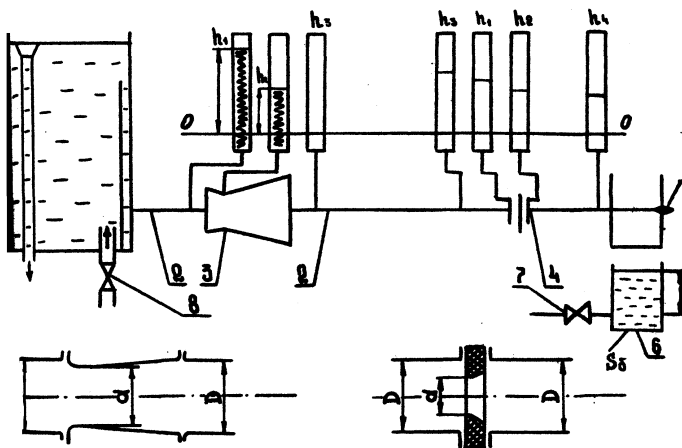


Рисунок 7 – Схема лабораторной установки
 $D = 16 \text{ мм}$, $d = 10 \text{ мм}$; $D = 16 \text{ мм}$, $d = 6,5 \text{ мм}$;
 Труба Вентури Диафрагма

2. Рабочие формулы:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2q}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}} \quad (25);$$

$$Re = \frac{V \cdot d \rho}{\nu} \quad (18);$$

$$Q_m = A \sqrt{h_1 - h_2} \quad (26);$$

$$Q = \frac{S_0 l}{\tau} \quad (27);$$

$$\mu = \frac{Q_0}{Q_m} \quad (28);$$

$$\xi_B = \frac{h_3 - h_4}{V^2 / 2g} \quad (29);$$

3. Результаты измерений и вычислений.

Таблица 7 - Результаты опытов

Параметры	Труба Вентури			Диафрагма		
	1	2	3			
1. Объем воды в мерном баке $S_0 \cdot l$, см ³						
2. Время наполнения мерного бака τ , с						
3. Действительный расход Q_a , см ³ /с						
4. Скорость воды в трубе V , см/с						
5. Скоростной напор, см $\frac{V^2}{2g}$						
6. Показания пьезометра: h1, см; h2, см; h3, см; h4, см.						
7. Теоретический расход Q , см ³ /с						

Продолжение таблицы 7

8. Коэффициент расхода μ						
9. Коэффициент сопротивления ξ						

Средние значения коэффициентов расхода

$$\bar{\mu} = \frac{\sum_{l=1}^3 \mu_l}{3} ; \quad (30)$$

Тарировочные графики

$Q, \text{ см}^3/\text{с}$

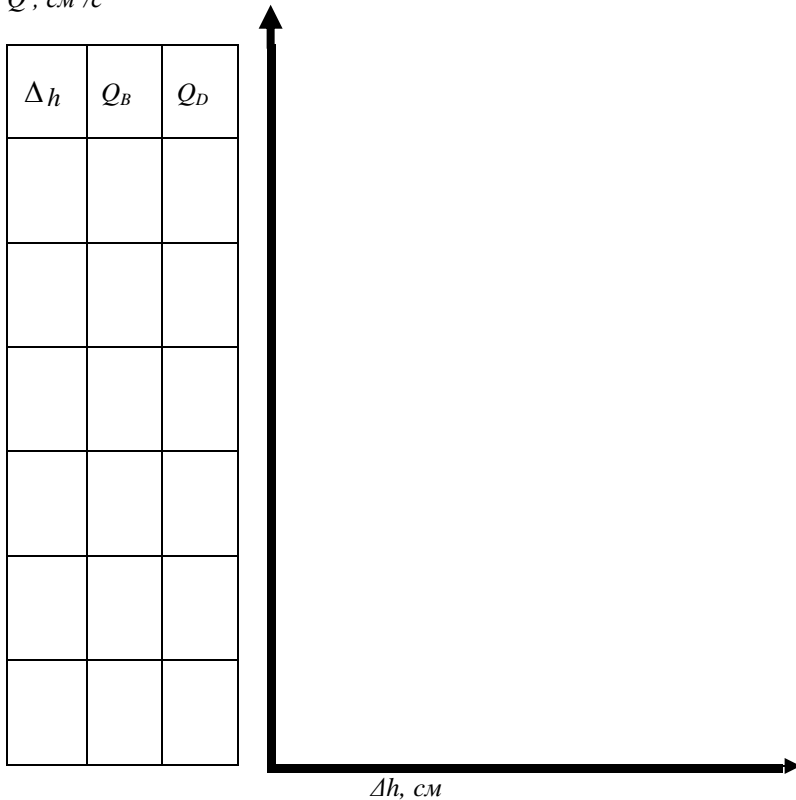


Рисунок 8- Тарировочный график $Q=f(\Delta h)$

Расчеты:

Студент:

Группа:

Работу принял:

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Экспериментальная установка состоит из напорного бака *1* и присоединенных к нему труб *2* постоянного диаметра с вентилем *5* на конце. В трубках установлены расходомерные устройства: труба Вентури *3* и диафрагма *4*.

Вода поступает в напорный бак через кран *8*, проходит по трубе и сливается в мерный бак *6*. Расход регулируется вентилем *5*.

ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТОВ

1. Открыть кран *8* и наполнить бак *1* до постоянного уровня.
2. С помощью вентиля *5* установить в трубе определенный расход воды.
3. Записать показания пьезометров.
4. Определить время τ заполнения мерного бака на высоту *1* (при закрытом кране *7*).
5. Повторить пункты 2-4 при других расходах.

РАЧЕТНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

1. Определить постоянные расходомерных устройств.
2. Определить действительный расход воды в трубе.
3. Определить перепад $\Delta h = h_1 - h_2$ для каждого расходомера.
4. Вычислить теоретический расход для каждого расходомера.
5. Найти коэффициент расхода для каждого расходомера.
6. Определить скорость движения воды в трубе.
7. Определить скоростной напор $\frac{v^2}{2g}$.
8. Вычислить коэффициент сопротивления расходомерного устройства.
9. Определить среднее значение коэффициента расхода для каждого расходомера.
10. Построить тарировочные графики для каждого из приборов, для чего задаться рядом значений $\Delta h = h_1 - h_2$, вычислить расход $Q = \bar{\mu} \cdot A \sqrt{\Delta h}$

и представить в виде графика $Q = f(\Delta h)$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТЕ

1. Что учитывает коэффициент расхода расходомерного устройства?
2. В каком из устройств потери гидродинамического напора больше?
3. Как зависит коэффициент расхода расходомера от степени сжатия потока? (от отношения D/d).
4. Зависит ли разность показаний пьезометров Δh от рода жидкости?
5. Почему диафрагма и водомер Вентури устанавливаются, так как на рисунке, а не наоборот?
6. Какие соображения могут быть положены в основу выбора того или иного расходомерного устройства?

Лабораторная работа №7

Истечение через отверстия и насадки при постоянном напоре

Цель работы: *Экспериментальное определение коэффициентов скорости, сжатия струи и коэффициента расхода для отверстия и различных насадок при постоянном напоре.*

Приборы и оборудование : *Лабораторная установка для исследования истечения жидкости, секундомер, измерительный инструмент.*

При подготовке к проведению работы ответьте на следующие вопросы:

1. Что называется отверстием в тонкой стенке?

2. Что называется отверстием в толстой стенке? Нарисуйте схему истечения жидкости через отверстие в толстой стенке.

3. Что такое коэффициент сжатия, как он определяется? На каком расстоянии от стенки располагается сжатое сечение?

4. Что такое инверсия? Нарисуйте схемы.
5. Что такое насадок? Перечислите и нарисуйте схемы насадков.
6. Что такое коэффициент скорости? Запишите формулу скорости истечения жидкости.
7. Запишите формулу для определения расхода жидкости через отверстие. Что означают все ее составляющие?

8. Запишите формулу для определения коэффициента расхода. Можно ли определить величину μ из формулы расхода? Если да, то как?

9. Запишите формулу для определения коэффициента сопротивления.

10. Запишите уравнения, которыми описывается траектория струи.

1. Схема установки

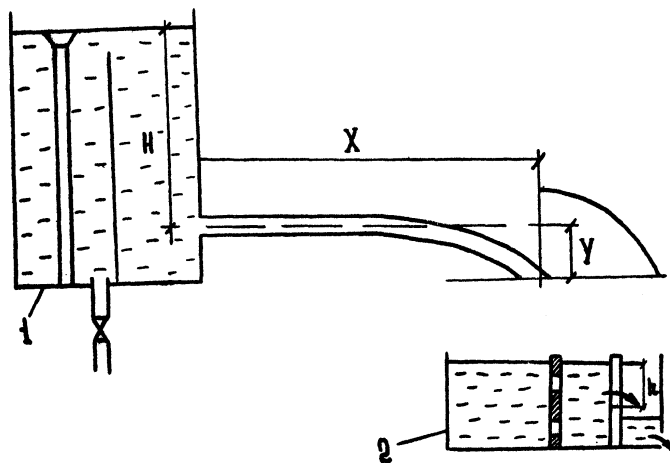


Рисунок 9 - Схема опытной установки

$$b = 2(\pm 0,1) \text{ мм} ; m = 0,5 ;$$

$$d_0 = 9(\pm 0,1) \text{ мм} ;$$

2. РАБОЧИЕ ФОРМУЛЫ:

$$\mu = \frac{Q}{\omega \cdot \sqrt{2gH}}; \quad (30); \quad Q = b \cdot m \cdot h^{3/2} \cdot \sqrt{2g}; \quad (31);$$

$$\varepsilon = \frac{\mu}{\varphi}; \quad (32); \quad d_c = \sqrt{\varepsilon \cdot d_0} \quad (33);$$

$$\zeta = \frac{1}{\varphi^2} - 1 \quad (34).$$

3. Результаты измерений и вычислений

Таблица 10 - Результаты опытов

П а р а м е т р ы	Вид насадка		
Напор над центром насадок H , см			
Координаты струи $\frac{x}{y}$, см			
Напор жидком водосливе h , см			
Диаметр струи d_c , см			
Расход воды Q , см ³ /с			
Коэффициент скорости φ			
Коэффициент сжатия струи ε			
Коэффициент сопротивления ζ			
Вакуум в насадке h_n , см			
Давление в сжатом сечении насадки P_n , Па			
Коэффициент расхода μ			
Ошибка δ_μ			
Ошибка δ_φ			

Расчеты:

Студент:

Группа:

Работу принял:

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Установка состоит из напорного бака 1 и мерного водослива. В передней стенке бака вырезано резьбовое отверстие, в котором устанавливаются исследуемые насадки. Для измерения расхода жидкости, протекающей через насадки, используется расходомерный водослив 2, установленный в нижней части установки.

ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТОВ

1. Установить исследуемую насадку.
2. Заполнить напорный бак водой до обеспечения постоянного напора.
3. Изменить напор (расстояние от центра отверстия насадки до свободной поверхности воды в напорном баке) H .
4. Открыть запорное устройство насадки.
5. Измерить уровень h в расходомерном водосливе.
6. Измерить координаты струи (x , y).

7. Измерить вакуум в сжатом сечении струи (для цилиндрической насадки).
8. Закрыть запорное устройство насадки и сменить насадку.
9. Выполнить работы согласно пунктам 4-8 для другой насадки.
10. Перекрыть подвод воды к напорному баку.

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

1. Определить расход воды Q .
2. Вычислить коэффициент расхода μ .
3. Вычислить коэффициент скорости φ .
4. Вычислить коэффициент сопротивления ζ .
5. Рассчитать давление в сжатом сечении струи цилиндрической насадки.
6. Определить максимально возможную систематическую относительную ошибку при определении μ и φ .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТЕ

1. Что такое коэффициент расхода и коэффициент скорости при истечении? Чему равны эти коэффициенты при истечении идеальной жидкости через отверстие в тонкой стенке и через насадку?
2. В каких насадках и почему возникает вакуум?
3. Какие существуют виды истечения жидкости через цилиндрическую насадку?
4. Как изменяется коэффициент расхода с увеличением длины насадки?

Учебное издание

Случевский Александр Михайлович

РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ

для выполнения лабораторных работ
по курсу «Гидрогазодинамика»
для бакалавров очного и заочного направлений
20.03.01 - Техносферная безопасность
Профиль - Пожарная безопасность

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 29.03.2018 г. Формат 60х84. 1/16.
Бумага офсетная. Усл. п. 3,02. Тираж 50 экз. Изд. № 5649.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ