

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл,
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.
Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Московский государственный агроинженерный университет
им. В. П. Горячкина

**ГИДРАВЛИКА, ГИДРОМАШИНЫ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ
ВОДОСНАБЖЕНИЕ**

*Методические указания по выполнению лабораторных работ
Часть 1*

Москва 2001

УДК 621.22

Рецензент:
Кандидат технических наук Московского государственного университета
природообустройства
Ю. Г. Ревин

Составители: Исаев А. П., Кожевникова Н. Г., Бекишев Б. Т.

Гидравлика, гидромашины и сельскохозяйственное водоснабжение. Методические указания по выполнению лабораторных работ. Разработаны с учетом требований Минобразования РФ." Предназначены для студентов факультетов ПРИМА, ТС в АПК, ИПФ, энергетического. М.: МГАУ им. В. П. Горячкина, 2001. 36 с.

В методических указаниях кратко изложен теоретический материал по гидравлике, гидромашинам и сельскохозяйственному водоснабжению. Указан порядок проведения лабораторных работ, представлена обработка опытных данных и др.

© Московский государственный
агроинженерный университет
имени В. П. Горячкина, 2001

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания по гидравлике и гидромашинам содержат: описание универсального лабораторного стенда по гидравлике, а также стендов по гидромашинам, водоснабжению и орошению; краткие теоретические сведения по темам и методику проведения лабораторных работ.

Дано подробное описание схемы каждого лабораторного стенда, приводится порядок выполнения работ, методика обработки опытных данных и журнал измерений, сформулирована цель лабораторной работы.

Методические указания составлены с учетом самостоятельного выполнения студентами полного объема работ на лабораторных установках. Для обеспечения самостоятельного проведения работы и хорошего усвоения материала группа, проводящая работу на универсальном стенде, должна быть разбита на подгруппы.

Перед началом лабораторной работы необходимо уяснять ее содержание и последовательность выполнения наблюдений и измерений. Если теоретический материал темы усвоен недостаточно полно, то рекомендуется перед началом лабораторной работы ознакомиться с ним подробнее по лекциям курса или соответствующим разделам учебников.

При проведении лабораторной работы студент должен иметь журнал для записи параметров лабораторных установок и данных наблюдений и измерений. В журнале прежде всего вычерчивается схема экспериментальной установки.

При вычислениях необходимо внимательно следить за правильной размерностью величин, подставляемых в формулы. Рекомендуется использовать размерность в международной системе единиц измерений (СИ).

Когда величина, определяемая опытным путем, может быть вычислена по теоретической или эмпирической формуле, то полученные опытный и расчетный результаты необходимо сравнивать друг с другом.

Наблюдения, измерения и вычисления при выполнении лабораторных работ осуществляются студентами самостоятельно. Преподаватель контролирует проведение опыта, обработку материалов и принимает выполненную работу.

Сдавая работы, студент должен дать качественную оценку полученных результатов.

Работы № 1-9 рекомендуется выполнять в той последовательности, в которой они представлены в данных указаниях, что соответствует последовательности изучения теоретического материала по курсу.

Работы № 10-13 относятся к разделам курса: «Сельскохозяйственное водоснабжение» и «Основы мелиорации» и могут выполняться в любой последовательности.

ОПИСАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ГИДРАВЛИКЕ

Универсальный лабораторный стенд представляет собой лабораторный стол, на котором установлено оборудование, позволяющее выполнять следующие лабораторные работы:

1. Исследование уравнения Бернулли.
2. Определение режимов движения жидкости на приборе Рейнольдса.
3. Определение коэффициента гидравлического трения по длине трубы.
4. Определение коэффициентов местных сопротивлений.
5. Определение коэффициентов расхода, сжатия и скорости при истечении из отверстия в тонкой стенке и насадков.

Принципиальная схема стенда и отдельных его узлов представлены на рис. 1, 2, 3, 4.

Система подводящих и отводящих трубопроводов смонтирована внизу стенда и закрыта стенками (рис. 1).

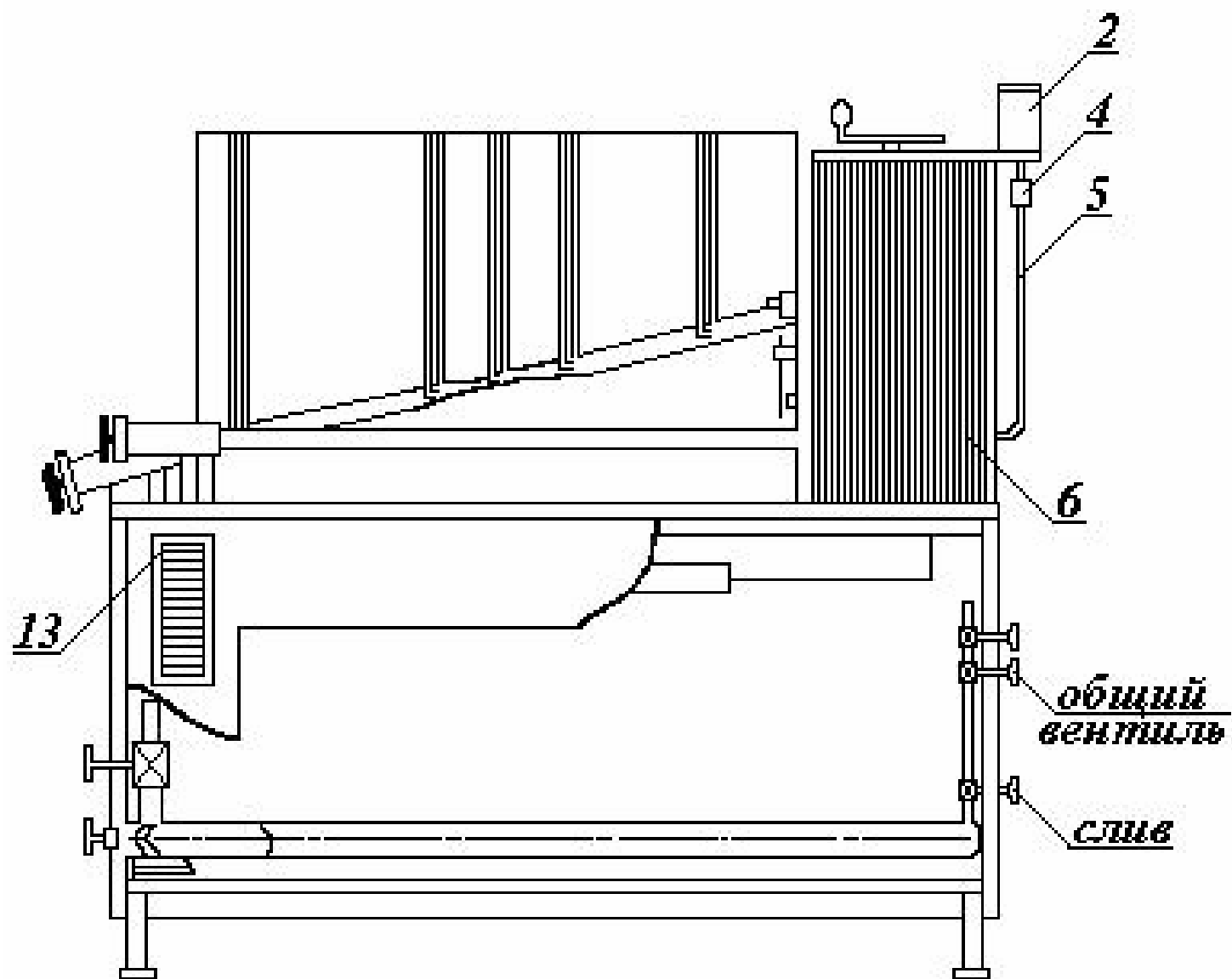
На правой боковой стенке стенда (рис. 2) установлены вентили управления: общий 7, через который осуществляется подвод воды к стенду от водопровода или из напорного резервуара; пять вентиля 8, которые осуществляют подвод соответственно: три вентиля к секциям бака и 2 вентиля к гидравлическим сопротивлениям; вентиль 10 слива воды из бака.

На левой боковой стенке стенда (рис. 1, 2) установлены следующие вентили: вентиль 14 для слива воды из установок Рейнольдса и Бернулли; вентиль 1, подводящий воду к ротаметру, вентиль 16, отводящий воду от местных сопротивлений.

На передней торцевой стенке стенда (рис. 1) слева установлен поплавковый ротаметр 13 для измерения расхода, со шкалой, протарированной в $\text{см}^3/\text{с}$, с пределами измерения расхода 0-160 $\text{см}^3/\text{с}$; отсчет берется по уровню нижнего основания поплавка. Включение и выключение ротаметра производится с помощью вентиля 15.

Напорный бак (рис. 3, 4) состоит из трех секций, отделенных друг от друга перегородками. Подвод воды в каждую секцию осуществляется через вентили 8 (рис. 2), находящиеся на правой боковой стенке стола. От 1-й секции бака вода подводится к лабораторным установкам: «Исследование уравнения Бернулли» и «Определение режимов движения жидкости на приборе Рейнольдса»; от 2-й секции бака – к лабораторным установкам: «Определение коэффициента гидравлического трения по длине трубы» и «Определение коэффициентов местных сопротивлений», от 3-й секции – к лабораторной установке «Определение коэффициентов расхода, сжатия и скорости при истечении из отверстия в тонкой стенке и насадков». После наполнения секций бака вода поступает через переливную емкость на слив. Уровень в каждой секции бака контролируется пьезометрами 6 (рис. 1), которые смонтированы на передней стенке напорного бака.

На левой стенке напорного бака I установлена турель II (рис. 3) с отверстиями различной формы, в также цилиндрическими и коническими насадками.



шРис.1. Схема универсального лабораторного стенда (вид спереди)

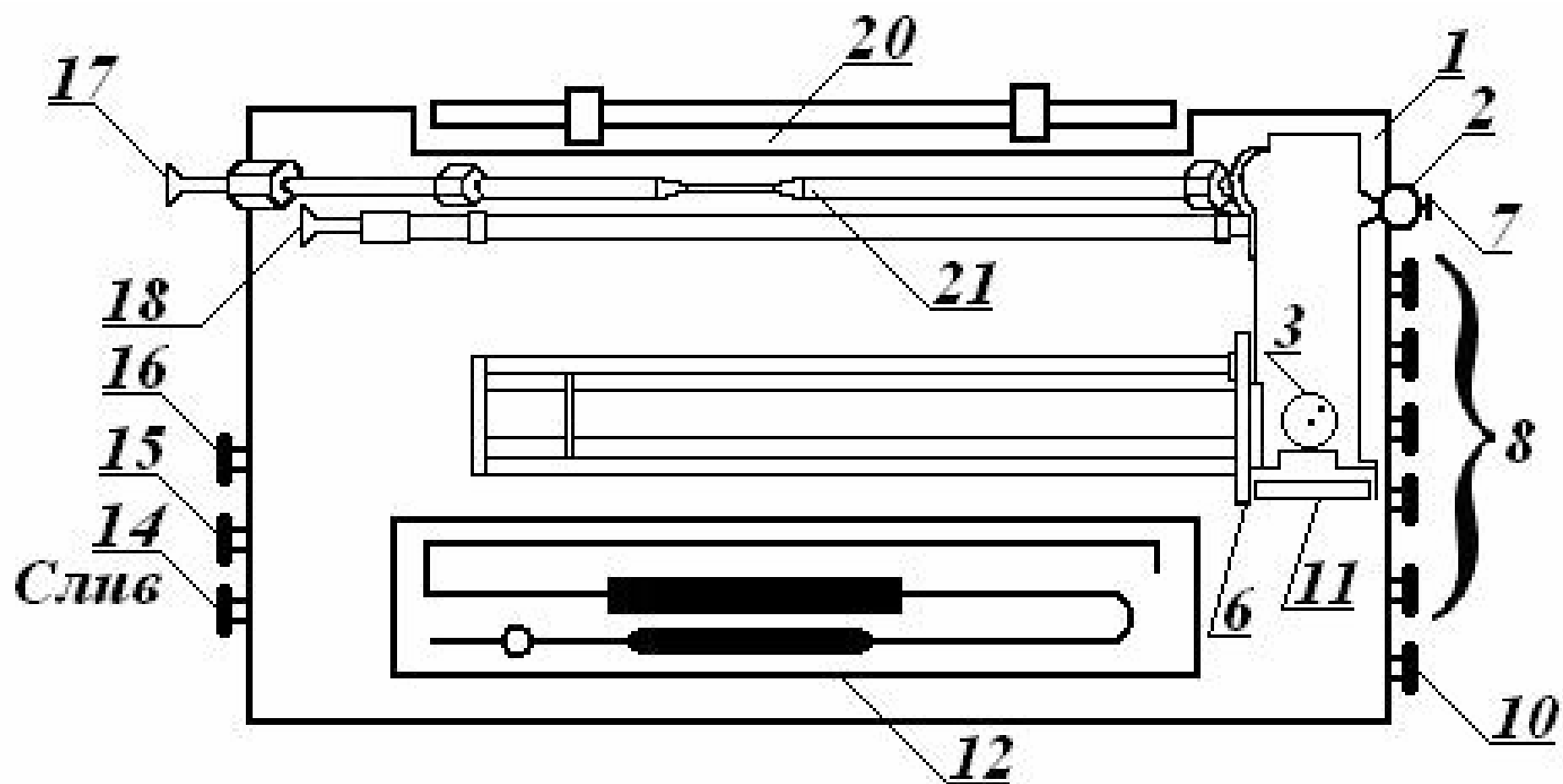


Рис.2. Схема универсального лабораторного стенда (вид сверху)

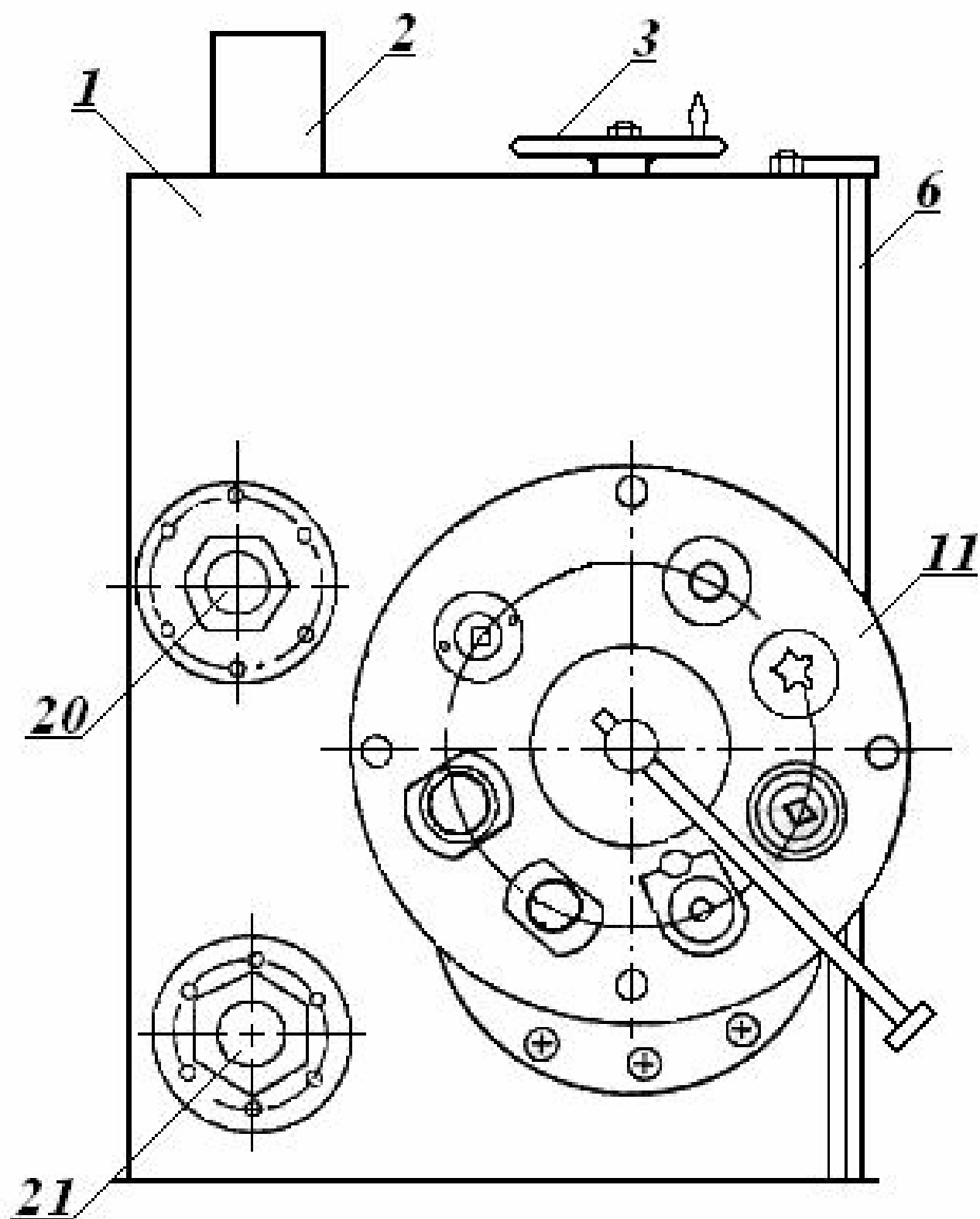


Рис.3. Напорный бак (левая стенка напорного бака)

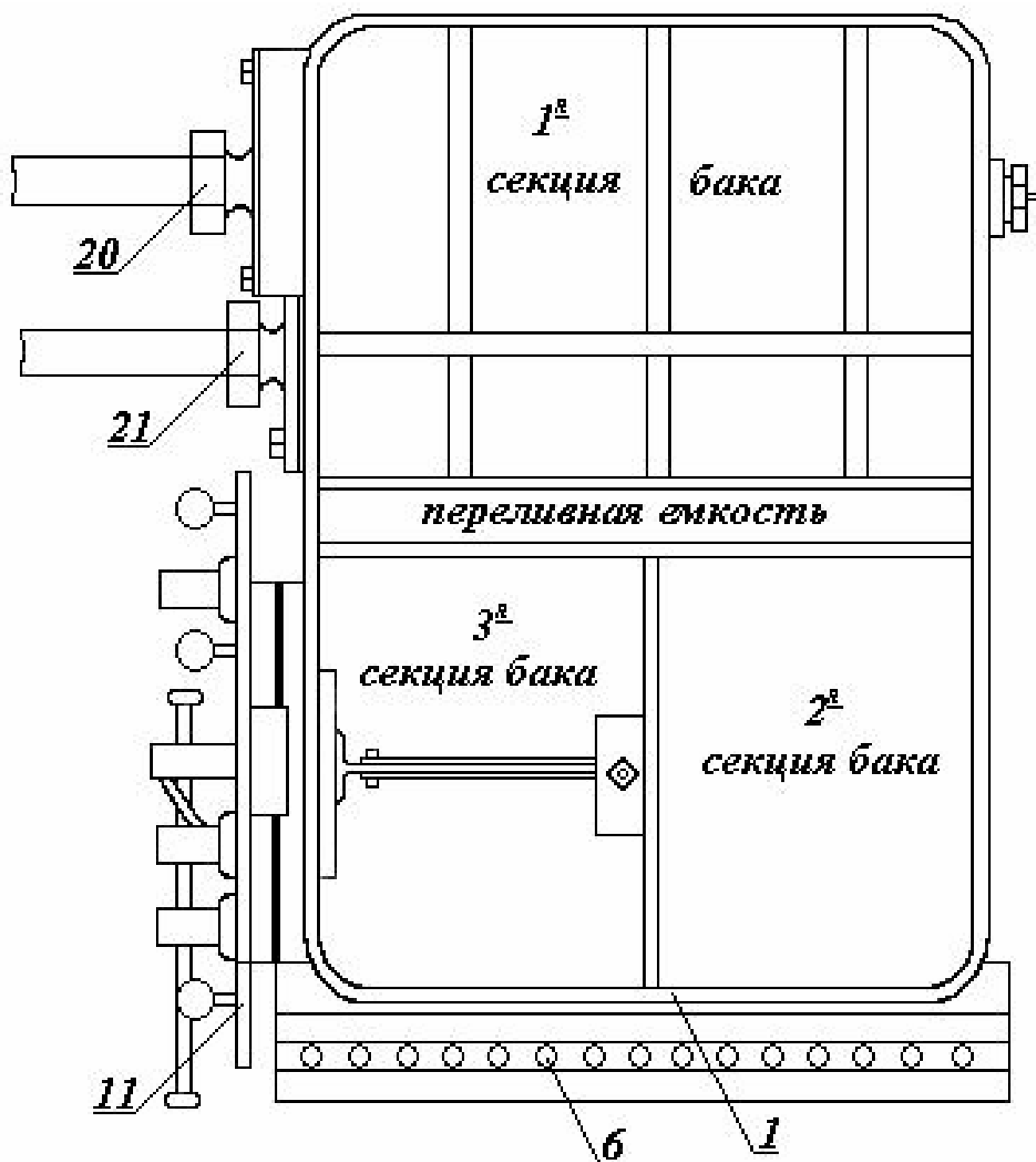


Рис.4. Напорный бак (вид сверху)

Установка нужного для испытания отверстия или насадка осуществляется поворотом турели и фиксацией ее посредством гайки с рычагом. Пуск воды через отверстия и насадки производится вращением установленного на крышке напорного бака штурвала 3 (рис. 3).

Модель гидравлических сопротивлений (рис. 2) предназначена для выполнения лабораторных работ: «Определение коэффициента гидравлического трения по длине трубы» и «Определение коэффициентов местных сопротивлений». Установленная на стенде модель гидравлических сопротивлений 12 выполнена в виде вырезанных в оргстекле каналов прямоугольного сечения. Она включает: прямой участок, резкий поворот на 90° , плавный поворот, внезапное расширение и сужение, постепенные расширение и сужение и модель вентиля. Сечения выхода и входа каждого сопротивления соединены с пьезометрами 6 (рис. 1), расположенными на передней стенке напорного бака.

Установка Рейнольдса и Бернулли. При проведении лабораторных работ «Исследование уравнения Бернулли» и «Определение режимов движения жидкости на приборе Рейнольдса» используются соответственно трубки 20, 21 (рис. 1,2).

Трубка Рейнольдса 21, расположенная горизонтально, для удобства наблюдения режимов движения выполнена из стекла. Расход воды через трубку регулируется вентилем 18, расположенным в конце экспериментального участка трубки. Струйка подкрашенной жидкости вводится в горловину трубки Рейнольдса по трубочке 5 (рис. 1), с концом, выполненного в виде иглы шприца. Расход краски, поступающей из бачка 2, регулируется с помощью крана 4 (см. также рис. 8).

Трубка Бернулли 20 выполнена из органического стекла, имеет в середине суженное сечение с коническими переходами для изменения скоростного напора протекающей жидкости. Трубка Бернулли установлена под углом к плоскости стола с различными значениями геодезических высот центров сечений трубки. Для замеров пьезометрического напора установлены пьезометры, а для замера полного напора в центрах этих сечений установлены трубки полного напора 19. Пьезометры и трубки полного напора оборудованы шкалой. Расход воды через трубку Бернулли регулируется вентилем 17, расположенным в конце трубки.

Лабораторная работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЯ БЕРНУЛЛИ

Краткие теоретические сведения

Уравнение Бернулли для сечений I и 2 установившегося, плавно изменяющегося потока жидкости имеет вид

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w \quad (1.1)$$

где z_1 и z_2 – высота положения центров тяжести сечений I и 2, м;

p_1 и p_2 – давление в центрах тяжести сечений I и 2, Па;

α_1 и α_2 – коэффициенты Кориолиса в сечениях I и 2;

h_w – потери напора между сечениями I и 2, м;

γ – удельный вес жидкости, Н/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

v_1 и v_2 – средние скорости потока в сечениях I и 2, определяются по формуле:

$$v = \frac{Q}{F}, \text{ м/с}, \quad (1.2)$$

где Q – расход жидкости, м³/с,

F – площадь живого сечения потока, м².

Коэффициент Кориолиса ($\alpha > 1$) представляет собой отношение действительной кинетической энергии потока, вычисленной по местным скоростям, к кинетической энергии потока, вычисленной по средней скорости.

Уравнение Бернулли можно применять к сечениям потока, течение в которых является плавно изменяющимся.

Уравнение Бернулли выражает собой закон сохранения энергии для установившегося потока несжимаемой жидкости.

Трехчлен $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$ называется напором потока в сечении и представляет собой полную удельную (отнесенную к единице веса рассматриваемой жидкости), механическую энергию потока в сечении.

Слагаемые трехчлена означают:

z – геодезический напор или удельная потенциальная энергия положения, м;

p/γ – пьезометрический напор или удельную потенциальную энергию давления, м;

$\alpha v^2/2g$ – скоростной напор или удельную кинетическую энергию потока в данном сечении, м.

Слагаемое h_w в уравнении (1.1) представляет собой затраты удельной механической энергии потока на преодоление сил трения и называется потерями напора между сечениями I и 2.

Потери напора h_w включают в себя потерю напора по длине и местные потери

$$h_w = h_\ell + \sum h_{м.п.}$$

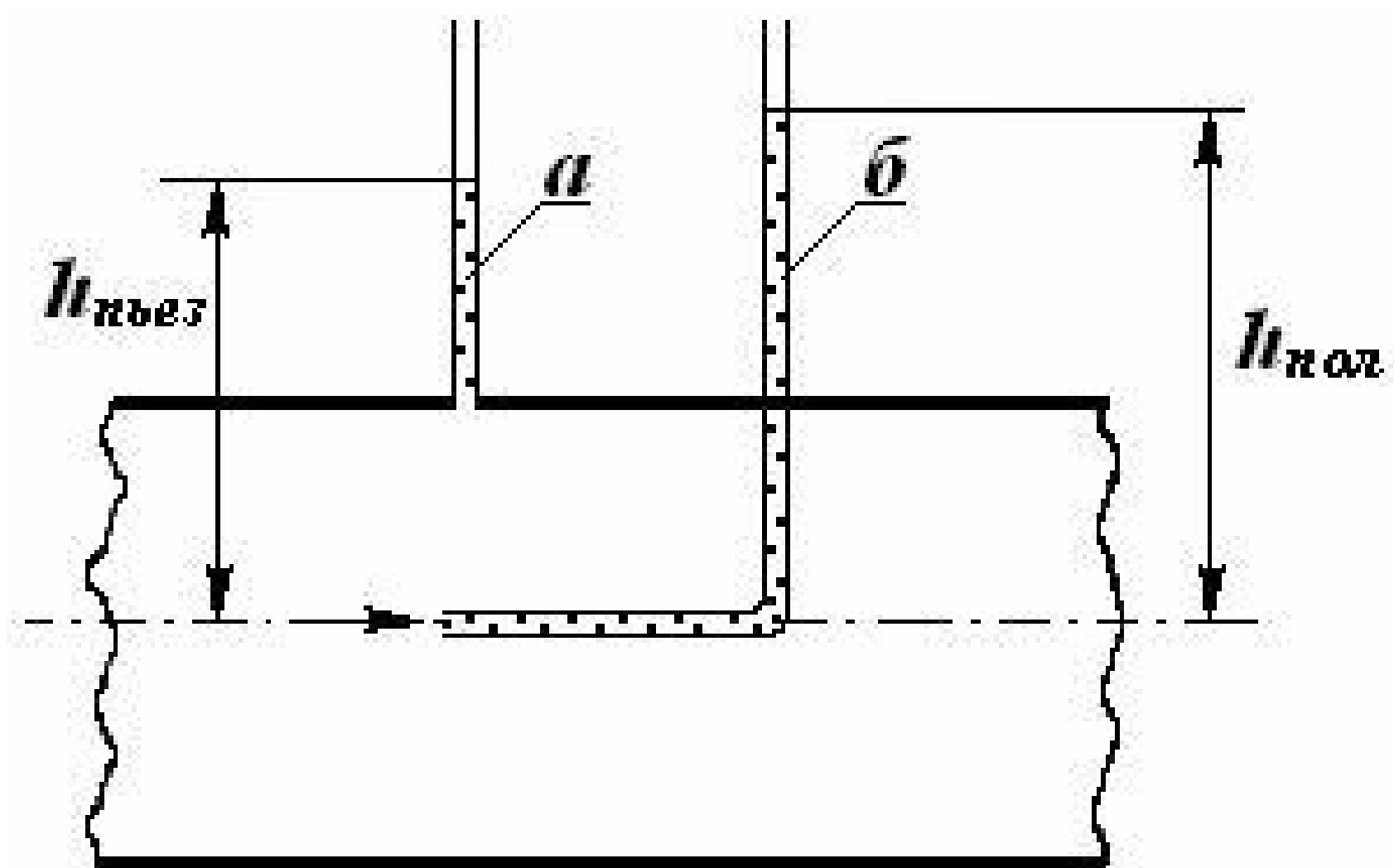


Рис. 5. Схема установки:
а) пьезометра; б) трубки полного напора

Если на участке трубопровода уменьшается скорость потока (т.е. уменьшается удельная кинетическая энергия), то согласно уравнения Бернулли на этом участке соответственно возрастает давление (т.е. возрастает удельная потенциальная энергия). Именно этот принцип используется в лабораторной работе.

На напорном трубопроводе переменного сечения (рис. 1) в характерных сечениях установлены пьезометры и трубки полного напора.

Пьезометр (рис. 5) представляет собой стеклянную трубку с открытым сверху концом, которая присоединяется к верхней точке сечения напорного трубопровода.

Пьезометр измеряет пьезометрический напор в данном сечении потока $h = \frac{P_{изб}}{\gamma}$, а в данной работе шкала пьезометра учитывает также высоту положения центра сечения трубки над плоскостью сравнения, т. е. шкала пьезометра показывает гидростатический напор $\left(z + \frac{P_{изб}}{\gamma}\right)$ в каждом сечении.

Трубка полного напора (рис. 5) представляет собой изогнутую трубку, один конец которой помещен в поток так, что его входное сечение находится на оси потока и ориентировано перпендикулярно скорости навстречу потоку; другой конец трубки открыт в атмосферу.

В такой трубке жидкость поднимается на высоту H , называемую полным напором, равным $z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g}$, u – скорость в центре сечения трубы.

При движении воды по расширяющейся части трубопровода происходит увеличение давления и снижение скоростного напора, что фиксируется пьезометрами и трубками, полного напора, установленными по длине трубопровода.

Цель лабораторной работы

1. Наблюдать с помощью приборов изменение полной удельной энергии по длине потока в напорном трубопроводе переменного сечения и переход потенциальной энергии в кинетическую и обратно в соответствии с уравнением Бернулли.
2. Построить по данным измерений пьезометрическую и напорную линии.
3. Сравнить измеренный скоростной напор в сечениях с вычисленным по средней скорости.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка смонтирована на универсальном лабораторном стенде и состоит из напорного бака 1(1) и наклонного трубопровода 2 (20) переменного сечения, изготовленного из органического стекла (см. рис. 6).

В пяти характерных сечениях к трубопроводу присоединены пьезометры и трубки полного напора 3 (19).

Шкалы пьезометров и трубок полного напора учитывают высоту положения центра сечения над горизонтальной плоскостью стенда (ноль шкалы совпадает с

горизонтальной плоскостью стенда), т. е. пьезометры измеряют гидростатический напор $\left(z + \frac{p_{изб}}{\gamma}\right)$ в сечении.

Трубки полного напора измеряют полный напор $z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g}$ в центрах сечений.

Расход воды в трубе устанавливается с помощью вентиля 4 (17) в конце трубопровода и измеряется ротаметром 5(13) (рис. 6).

Ротаметр (рис. 6.3) представляет собой прозрачную коническую трубку (обычно угол конусности ротаметра $35'..5^\circ 55'$) с помещенным внутри нее поплавком. Ротаметр устанавливается вертикально. Протекающая через ротаметр жидкость воздействует на поплавок снизу вверх, и поплавок всплывает. По мере подъема поплавок увеличивается площадь щели между поплавком и стенками трубки, при этом сила, действующая на поплавок со стороны жидкости уменьшается. Когда гидродинамическая сила становится равной весу поплавка, его всплывание прекращается. Измерение расхода ротаметром основано на использовании связи между расходом и положением поплавка в конической трубке. Ротаметр оборудован шкалой, протарированной в $\text{см}^3/\text{с}$.

На левой боковой стенке стола находятся вентили «ротаметр» 7(15) и «сброс» 6 (14) (рис. 6). Если открыть вентиль «сброс» и закрыть вентиль «ротаметр», поток из трубопровода будет направлен на сброс, минуя ротаметр. Эта линия используется для промывки трубки Бернулли и удаления воздуха. При закрытом вентиле «сброс» и открытом вентиле «ротаметр» поток из трубопровода следует через ротаметр.

Порядок проведения работы

1. Наполните бак, от которого питается трубка Бернулли, открытием «общего вентиля» и вентиля 1-й секции бака на правой боковой стенке стенда. Уровень в баке контролируется с помощью пьезометра «I секции бака». При достижении отметки 51 см в пьезометре «I» «вентиль общий» следует прикрыть, установив самый малый расход воды, пополняющий бак, при котором уровень воды в первой секции бака будет постоянен. Благодаря переливной стенке в баке устанавливается постоянный напор над центром входного сечения трубопровода, что обеспечивает установившееся движение воды в трубопроводе при открытых вентилях 4 (17) и 7 (15) (рис. 6).

2. После установления режима опыта необходимо выдержать 4–5 мин до полной стабилизации режима движения воды.

3. Прежде чем начать измерения необходимо убедиться, что в соединительных трубках пьезометров и трубок полного напора отсутствует воздух и они наполнены водой, в противном случае воздух надо удалить.

4. По показаниям пьезометров записать удельную потенциальную энергию $\left(z + \frac{p_{изб}}{\gamma}\right)$.

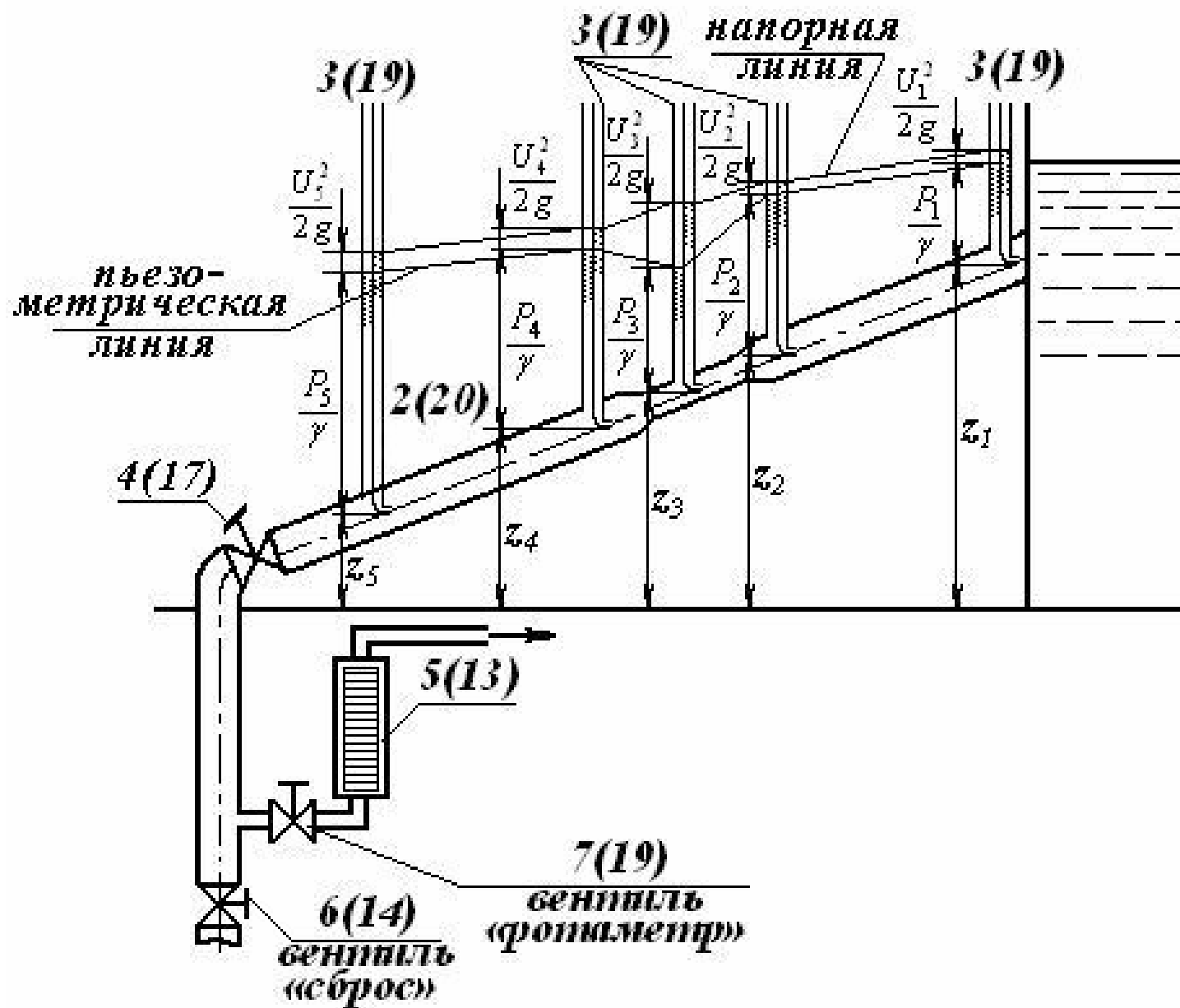


Рис. 6. Схема экспериментальной установки для исследования уравнения Бернулли

5. По показаниям трубок полного напора записать полную удельную энергию осевой струйки $z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g}$.
6. Ротаметром измерить расход.

Обработка опытных данных

1. По скоростной напор $-\frac{u^2}{2g}$, найти скорость осевой струйки потока u .
2. Определить средние скорости v в сечениях $v = \frac{Q}{F} = \frac{4Q}{\pi d^2}$,
где d – диаметр в разности показаний трубки полного напора и пьезометрической трубки определить сечениях трубопровода.
3. Сравнить среднюю v и осевую u скорости в сечениях потока.
4. Подсчитать удельную кинетическую энергию в каждом сечении $\frac{\alpha v^2}{2g}$;
принять $\alpha = 1,1$.
5. Построить пьезометрическую линию, отложив $z + \frac{p_{изб}}{\gamma}$ в каждом сечении, за плоскость сравнения принять горизонтальную поверхность стенда.
6. Построить напорную линию, отложив в каждом сечении $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$
7. Определить потерю напора между сечениями по формуле
- $$h_1 = \left(z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{\alpha v_i^2}{2g} \right) - \left(z_k + \frac{p_k}{\gamma} + \frac{\alpha v_k^2}{2g} \right).$$
- где i и k – номера сечений, для которых определяется потеря напора.

Таблица опытных данных

№ п/п	Показатель	Единица измерения	Опыт в сечениях				
			1	2	3	4	5
1	Диаметр трубы, d	см					
2	Площадь сечения, $F = \frac{\pi d^2}{4}$	см ²					
3	Показание пьезометров, $z + \frac{p_{изб}}{\gamma}$	см					
4	Показания трубок полного напора, $z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g}$	см					
5	Скоростной напор, $\frac{u^2}{2g}$	см					
6	Скорость течения осевой струйки, u	см					
7	Расход воды, Q	см ³ /с					
8	Средняя скорость в сечении, $v = \frac{Q}{F}$	см/с					
9	Скоростной напор в сечении потока, $\frac{\alpha v^2}{2g}$	см					
10	Полная удельная энергия в сечении потока, $z + \frac{p_{изб}}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}$	см					
11	Потеря энергии от сечения 1 до рассматриваемого сечения, $h_1 = \left(z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{\alpha v_i^2}{2g} \right) - \left(z_k + \frac{p_k}{\gamma} + \frac{\alpha v_k^2}{2g} \right)$	см					

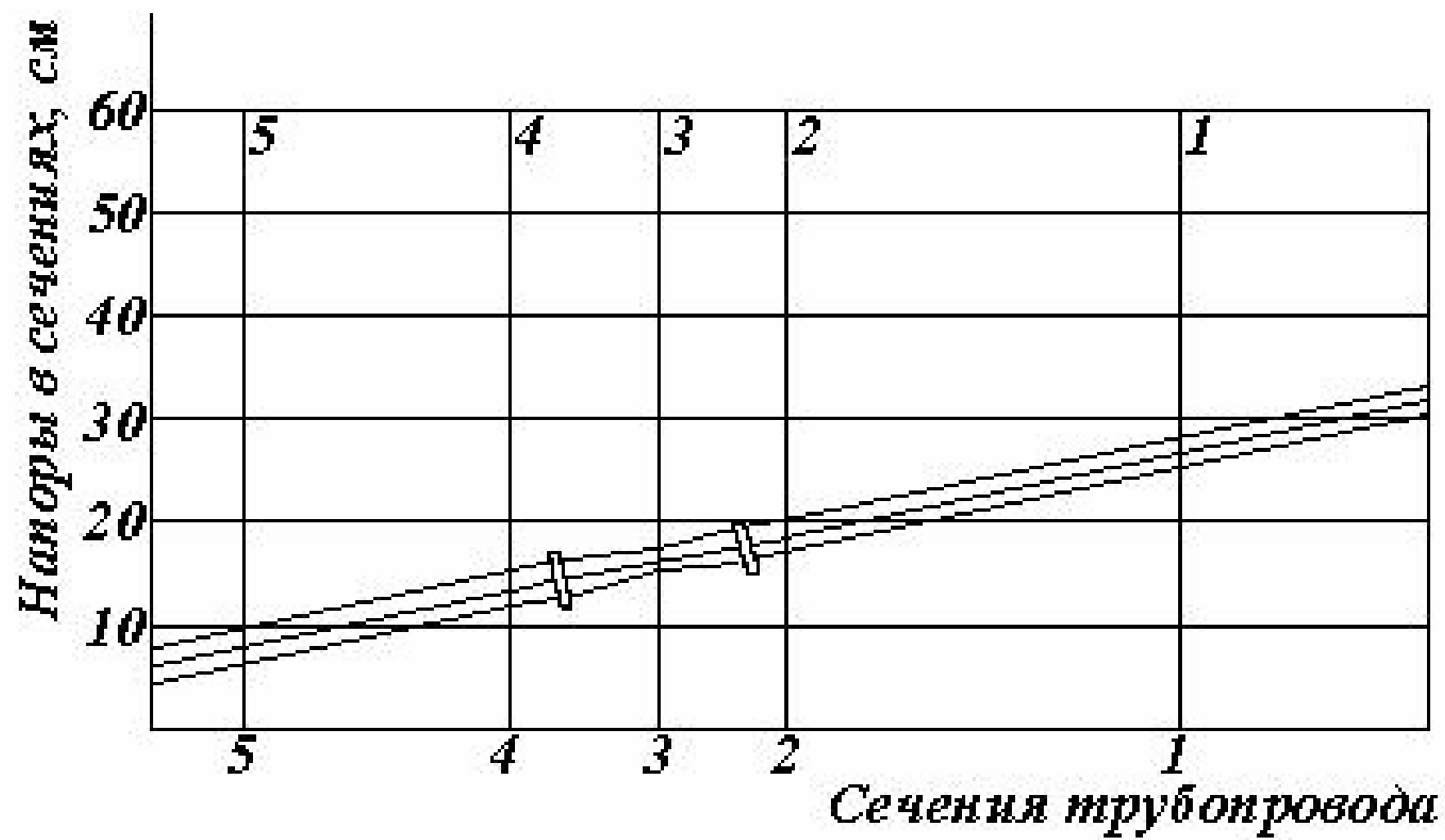


Рис. 7. Напорная и пьезометрическая линии потока

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ПРИБОРЕ РЕЙНОЛЬДСА

Краткие теоретические сведения

Существуют два режима движения жидкости: ламинарный и турбулентный.

Ламинарным называется режим, при котором частицы жидкости движутся по траекториям, параллельным стенкам трубы без перемешивания и обмена частицами между струйками. Движение в ламинарном режиме точно соответствует представлению о потоке как совокупности элементарных струек. Взаимодействие между собою отдельных струек и слоев проявляется в виде внутреннего трения по поверхности соприкосновения между ними.

Турбулентный режим движения характеризуется беспорядочным хаотическим движением частиц, сопровождающимся перемешиванием жидкости по всему сечению потока при общем направленном движении. Объясняется это возникновением вихревых движений, налагаемых на основной поток, что приводит к возникновению дополнительных сопротивлений движению потока. Следовательно, "потеря энергии при движении жидкости зависит от режима движения.

Для правильного определения потерь энергии потока необходимо знать режим движения жидкости.

Критерием режима движения жидкости служит безразмерное число Рейнольдса; для напорных труб круглого сечения число Рейнольдса записывается в виде

$$Re = \frac{vd}{\nu}, \quad (2.1)$$

где v – средняя скорость потока, м/с;

d – диаметр трубы, м;

ν – кинематическая вязкость, м²/с;

μ – динамическая вязкость, кг*с /м²;

ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Для поперечных сечений потока, отличных от круглого, число Рейнольдса записывается в виде

$$Re = \frac{vR}{\nu}, \quad (2.2)$$

где R – гидравлический радиус, $R = \frac{F}{\chi}$, м;

F – площадь живого сечения потока, м²;

χ – смоченный периметр сечения, м.

Число Рейнольдса, определяющее границу перехода ламинарного режима в турбулентный, называют критическим. Для круглых труб $Re_{кр} = 2300$.

При $Re_{кр} < 2300$ имеет место устойчивый ламинарный режим движения.

При $Re_{кр} > 2300$ режим движения может оставаться еще ламинарным, но неустойчивым и при малейшем возмущении, например сотрясении трубы, переходит в турбулентный.

Цель лабораторной работы

1. Провести опыты на установке Рейнольдса, позволяющие наблюдать ламинарный и турбулентный режимы движения, а также переход одного режима в другой.
2. Определить число Рейнольдса Re для каждого режима движения; сравнить Re с критическим числом Рейнольдса $Re_{кр}$.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка рис. 8. состоит из напорного бака 1 (1), стеклянной трубы 8 (21) с вентилем 9 (18) на конце, позволяющим изменять расход воды, протекающей по трубе. Над напорным баком 1 (1) помещается небольшой бачок 2 (2) с подкрашенной жидкостью, которая по тонкой трубке 4 (5) с иглой 6 на конце, подается в поток воды. Расход краски регулируется краном 3 (4). Расход воды в трубе измеряется ротаметром 10 (13). При открытом вентиле «сброс» 11 (14) и закрытом вентиле «ротаметр» 12 (15) поток из трубы будет направлен на сброс, минуя ротаметр. Эта линия используется для удаления воздуха из системы. Для подключения ротаметра необходимо закрыть вентиль «сброс» 11 (14) и открыть вентиль «ротаметр» 12 (15).

Порядок проведения работы

1. Открыть вентили 7 и 8 – первой секции бака (рис. 1), наполнить напорный бак 1.
2. Уровень воды в баке контролировать с помощью пьезометра № 1, расположенного на пьезометрическом щите; при достижении уровня воды в пьезометре 51 см вентиль 7 (рис. 1) закрыть, дать выдержку времени 1-2 мин для успокоения воды в баке.
3. Открыть вентиль 9 (18) на конце стеклянной трубы 8 (21) (рис. 8).
4. Открыть (очень немного) кран 3 (4) и ввести тонкую струйку краски в поток воды в стеклянной трубе 8 (21).
5. При малых скоростях воды в трубе вводимая в поток краска не будет перемешиваться с ней, что указывает на наличие ламинарного режима.
6. Измерить по ротаметру 10 (13) расход воды в стеклянной трубе 8 (21).
7. Измерить температуру воды с помощью термометра 7 (рис. 8).
8. При большем открытии крана 9(18) будет наблюдаться устойчивый турбулентный режим, характеризующийся интенсивным перемешиванием краски с водой. При этом следует повторить измерения расхода и температуры.
9. Закрыть кран 5 (4) бачка с подкрашенной жидкостью.
10. Открыть вентиль 11 (14) и произвести слив воды. Окончательный слив из бака 1 (1) в сливную магистраль производится через открытый вентиль 10 (рис. 1), находящийся на правой стенке стенда.

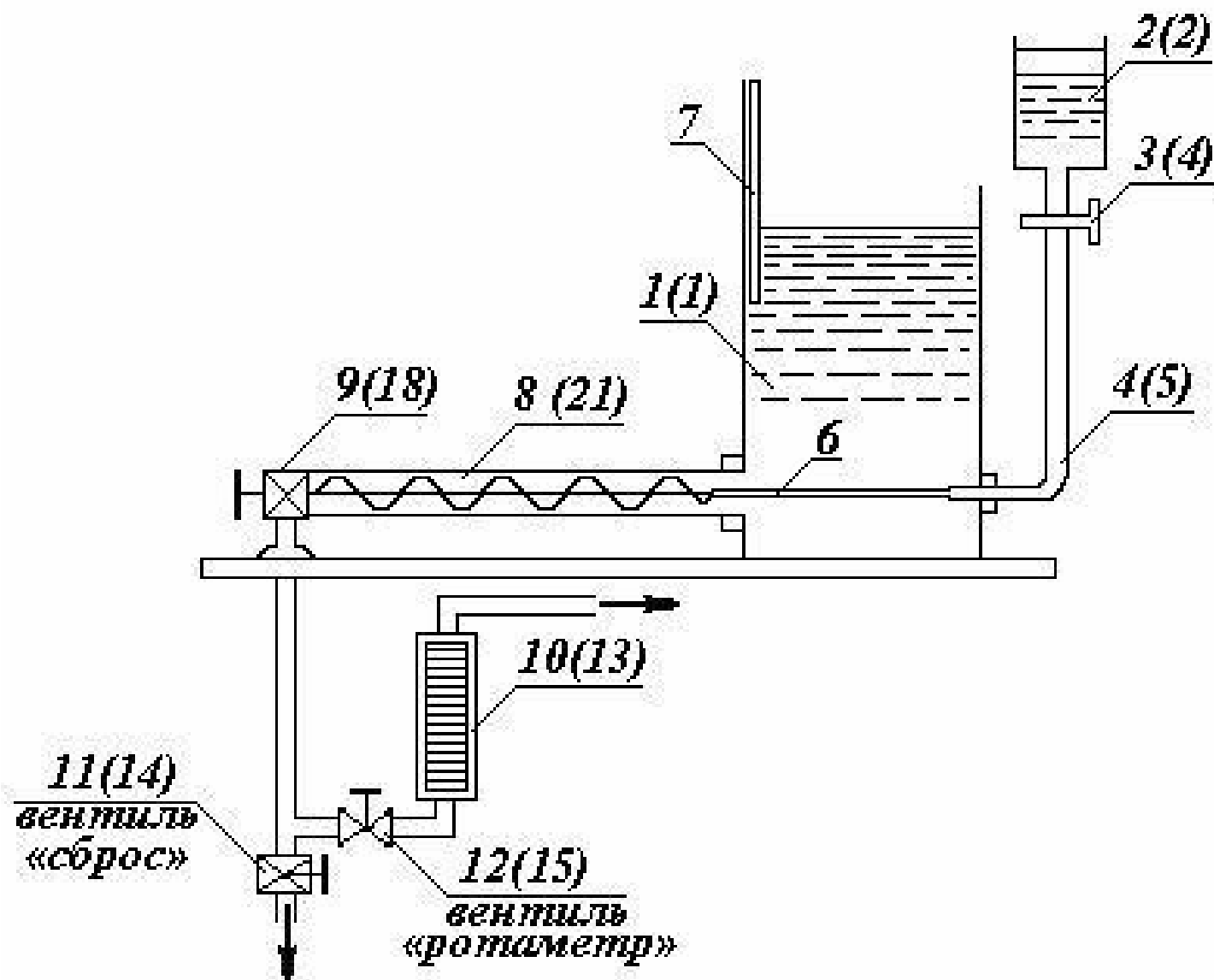


Рис. 8. Схема установки Рейнольдса

Обработка опытных данных

1. Определить площадь сечения трубы по формуле: $F = \frac{\pi d^2}{4}$.
2. Подсчитать среднюю скорость воды в трубе по формуле: $v = \frac{Q}{F}$.
3. Определить кинематический коэффициент вязкости, по графику зависимости $v = f(t^\circ)$ (рис, 9).
3. Вычислить значение числа Рейнольдса по формуле: $Re = \frac{vd}{\nu}$.

Все данные измерений и вычислений заносятся в таблицу опытных данных.

Таблица опытных данных

№ п/п	Показатель	Единица измерения	Опыт	
			1	2
1	Диаметр трубы, d	см		
2	Площадь сечения, $F = \frac{\pi d^2}{4}$	см ²		
3	Расход воды, Q	см ³ /с		
4	Средняя скорость течения воды, $v = \frac{Q}{F}$	см/с		
5	Температура воды, t	°С		
6	Кинематическая вязкость, ν	см ² /с		
7	Число Рейнольдса, Re			
8	Режим движения			

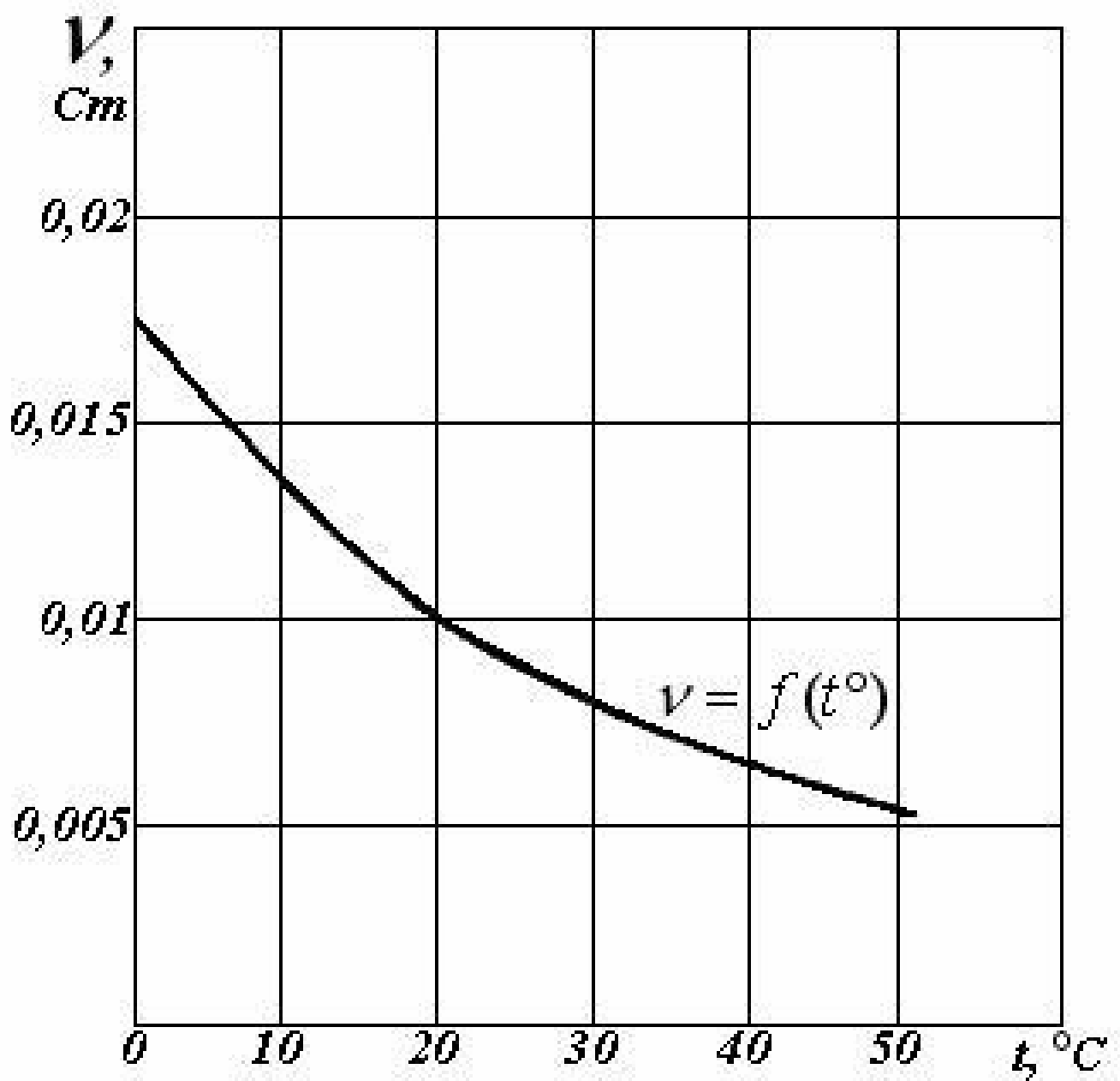


Рис. 9. График зависимости кинематической вязкости воды от температуры

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ ПО ДЛИНЕ ТРУБЫ

Краткие теоретические сведения

При движении жидкости часть механической энергии затрачивается на преодоление сил трения. Вследствие этого полная удельная энергия потока, т. е. энергия, отнесенная к единице веса, в направлении движения уменьшается. Часть полной удельной энергии потока, расходуемая на преодоление сил трения по длине плавно изменяющегося потока, обозначают h_ℓ и называют потерей напора по длине.

Для расчета потерь напора по длине при движении жидкости в напорном трубопроводе обычно используют формулу Дарси-Вейсбаха:

$$h_\ell = \lambda \frac{\ell}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (3.1)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения по длине;

ℓ – длина трубы, м;

d – диаметр трубы;

v – средняя скорость потока, м/с.

Для напорного трубопровода квадратного или прямоугольного сечения, заменяя $d = 4R$, формулу Дарси-Вейсбаха удобнее записать в виде

$$h_\ell = \lambda \frac{\ell}{4R} \frac{v^2}{2g}, \quad (3.2)$$

где R – гидравлический радиус, м, определяемый по формуле:

$$R = \frac{F}{\chi} = \frac{\pi d^2}{4\pi d} = \frac{d}{4}$$

где F – площадь живого сечения, м²;

χ – смоченный периметр, м.

Коэффициент λ является безразмерной величиной, зависящей в общем виде от числа Рейнольдса и шероховатости стенок трубы.

Эти характеристики влияют на величину λ по-разному при различных режимах движения жидкости. Поэтому выделяются четыре зоны сопротивления, для которых, определены свои зависимости $\lambda = f(Re \text{ и шероховатости})$.

Первая зона сопротивления – зона ламинарного режима движения – ограничена значениями, в которой λ зависит только от числа Рейнольдса:

$$\lambda = \frac{64}{Re}; \quad (3.3)$$

$$Re = \frac{4vR}{\nu}. \quad (3.4)$$

Потеря напора по длине в этой области сопротивления пропорциональна первой степени скорости:

$$h_\ell = \frac{64}{Re} \frac{1}{4R} \frac{v^2}{2g}. \quad (3.5)$$

Вторая зона сопротивления – зона гидравлически гладких труб – при турбулентном режиме движения ограничена значениями:

$$\text{Re}_{кр} < \text{Re} < \text{Re}_{пред}^1 ; \quad (3.6)$$

$$\text{Re}_{пред}^1 \approx \frac{10}{\Delta_r}, \quad (3.7)$$

где $\Delta_r = \frac{\Delta}{d}$ – относительная шероховатость;

Δ – высота выступов шероховатости или абсолютная шероховатость.

Понятие гидравлически гладких труб связано с тем, что при общем турбулентном движении потока у стенок трубы возникает ламинарный слой жидкости, толщина которого больше высоты выступов шероховатости. При этом выступы шероховатости покрываются ламинарным слоем и потери напора по длине не зависят от шероховатости стенок трубы.

Коэффициент λ для зоны гидравлически гладких труб может быть определен по формуле:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}. \quad (3.8)$$

Потери напора по длине в этом случае будут пропорциональны скорости в степени 1,75.

Третья зона – переходная от зоны гидравлически гладких труб к квадратичной зоне. В этом случае толщина ламинарного слоя меньше или равна высоте выступов шероховатости Δ , которые увеличивают сопротивление движения.

Переходная область ограничена значениями

$$\text{Re}_{пред}^1 < \text{Re} < \text{Re}_{пред}^{11} ; \quad (3.9)$$

$$\text{Re}_{пред}^{11} \approx \frac{500}{\Delta_r}. \quad (3.10)$$

Коэффициент λ в переходной области сопротивления может быть определен по формуле:

$$\lambda = 0,11 \left(\Delta_r + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}$$

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

Четвертая зона сопротивления – зона гидравлически шероховатых труб или квадратичного сопротивления. Толщина ламинарного слоя $\delta \ll \Delta$, выступы шероховатости оказывают основное влияние на сопротивление потоку, поэтому коэффициент λ зависит в квадратичной области сопротивления в основном от шероховатости стенок труб

$$\lambda \approx 0,11 \Delta_r^{0,25}, \quad (3.12)$$

а потери напора по длине пропорциональны квадрату скорости

$$h_\ell = \lambda \frac{\ell}{d} \frac{v^2}{2g} = 0,11 \Delta_r^{0,25} \frac{1}{4R} \frac{v^2}{2g}, \quad (3.13)$$

поэтому четвертая зона сопротивления называется квадратичной.

Для горизонтального, прямолинейного участка трубы постоянного сечения F потери напора по длине между сечениями 11–22 могут быть определены из уравнения Бернулли:

$$h_\ell = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} \quad (5.14)$$

Если установить пьезометры на трубопроводе в сечениях 11 и 22 на расстоянии ℓ один от другого и измерить высоты в пьезометрах $\frac{p_1}{\gamma}$ и $\frac{p_2}{\gamma}$, то разность показаний пьезометров определит потерю напора по длине h_ℓ . Подставив h_ℓ в формулу Дарси-Вейсбаха, можно определить значение коэффициента гидравлического трения:

$$\lambda = \frac{2gdh_\ell}{\ell v^2} = \frac{8gRh_\ell}{\ell v^2}. \quad (3.15)$$

Таким образом определяют опытное значение коэффициента и сравнивают его с расчетным, вычисленным по соответствующей формуле. Для этого следует определить числа Re , абсолютную и относительную шероховатость стенок трубы. Так как технические трубы обычно имеют разнотекстурную шероховатость (выступы шероховатости имеют неодинаковую форму и размеры), то вводится понятие эквивалентной шероховатости Δ_Σ , под которой понимают такую высоту выступов равнотекстурной шероховатости, которая дает одинаковую с заданной шероховатостью величину коэффициента λ . Эквивалентную шероховатость определяют обычно по справочным таблицам.

Цель лабораторной работы

1. Определить опытным путем значения коэффициента гидравлического трения λ по длине трубы при различных числах Рейнольдса.
2. Подобрать формулу, дающую наилучшую сходимость расчетного и опытного значения коэффициента λ .

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис. 11) смонтирована на горизонтальной плоскости универсального лабораторного стенда, крышка которого выполнена в виде плиты из органического стекла толщиной 40 мм. Трубопровод профрезерован в толще прозрачной крышке стенда и представляет прямоугольный канал сечением (10x10) мм. Трубопровод включает: различные местные сопротивления.

Пропускаемый по трубопроводу постоянный расход Q измеряется с помощью ротаметра 13.

На прямолинейном участке трубопровода измеряется потеря напора по длине между точками 1 и 2, расстояние между которыми $\ell = 1095$ мм. Разность показаний пьезометров, присоединенных к точкам 1 и 2, определяет потерю напора по длине на участке 1–2:

$$h_\ell = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}.$$

Порядок проведения работы

1. Наполнить водой напорный бак I (1) (рис. 11) открытием вентилей 7 и 8 («II-я секция бака») (рис. 1), расположены на правой стенке стенда.

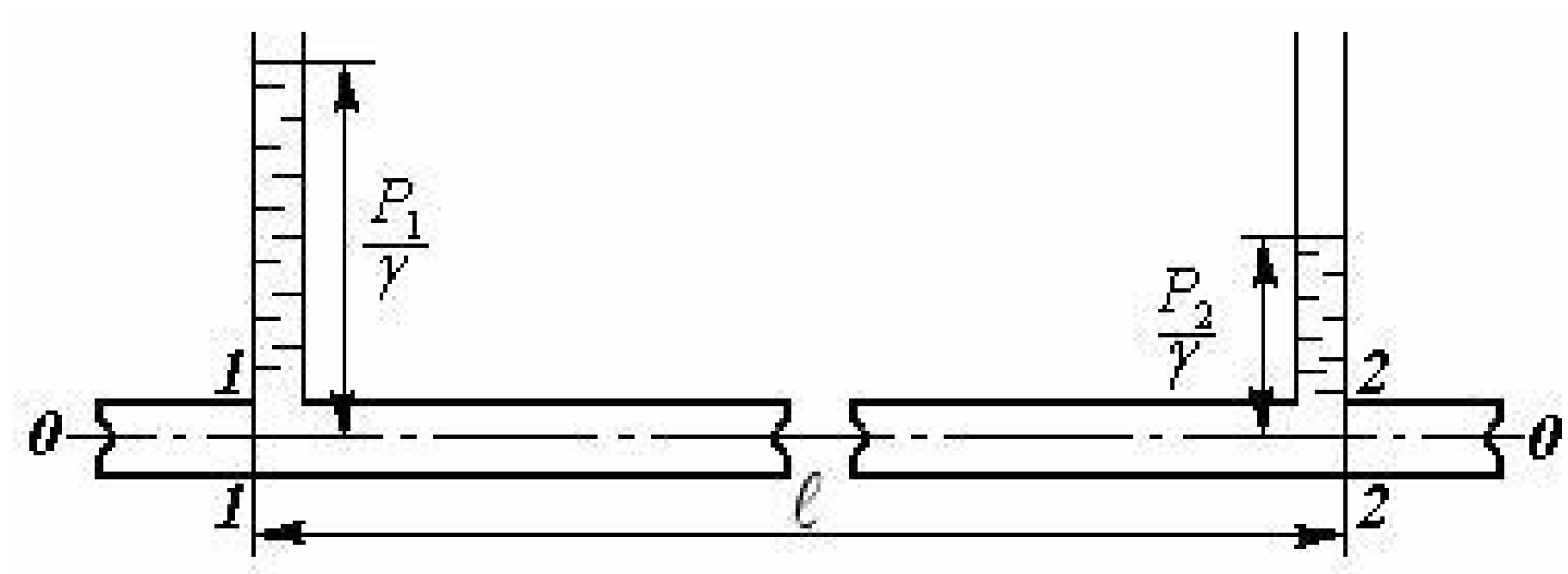


Рис. 10. Схема измерения потерь напора по длине горизонтального прямолинейного участка трубы

2. По пьезометру № 3, расположенному на пьезометрическом щите 6 зафиксировать постоянный уровень воды в баке на отметке около 50 см.
3. Открыть вентиль 8 местных сопротивлений на правой стенке стенда и вентиль слива 10 на левой стенке стенда.
4. Записать показание ротаметра.
5. Записать показания пьезометров № 1, 2.
6. Измерить температуру воды в напорном баке с помощью термометра.
7. Изменив расход воды открытием вентиля 8, повторить все замеры в указанном порядке.

Обработка опытных данных

1. Определить расход воды по ротаметру.
2. Определить среднюю скорость воды v по формуле

$$v = \frac{Q}{F}.$$

3. По графику зависимости $v = f(t^{\circ}\text{C})$ (рис. 9) определить кинематическую вязкость воды ν .

4. Определить число Рейнольдса по формуле

$$\text{Re} = \frac{4vR}{\nu},$$

где $R = \frac{F}{\chi}$ – гидравлический радиус, см;

χ – смоченный периметр, см.

5. Найти потерю напора по длине как разность показаний пьезометров

$$h_{\ell} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}$$

где $\frac{p_1}{\gamma}$ и $\frac{p_2}{\gamma}$ – показания пьезометров соответственно №1 и 2.

6. Рассчитать опытное значение коэффициента гидравлического трения по длине трубы:

$$\lambda_{on} = \frac{8gRh_{\ell}}{\ell v^2}$$

где $\ell = 109,5$ см – длина прямого участка трубы между точками 1, 2.

7. Приняв эквивалентную шероховатость трубы из оргстекла $\Delta = 0,0015$ мм, определить относительную шероховатость по формуле

$$\Delta_r = \frac{\Delta}{4R}.$$

8. Рассчитать предельные числа Рейнольдса по формулам:

$$\text{Re}_{пред}^I \approx \frac{10}{\Delta_r}; \quad \text{Re}_{пред}^{II} \approx \frac{500}{\Delta_r}.$$

9. Подобрать расчетную формулу для коэффициента гидравлического трения по длине трубы, сравнивая расчетное число Рейнольдса с критическим $\text{Re}_{кр} = 2300$ и предельными $\text{Re}_{пред}^I$ и $\text{Re}_{пред}^{II}$.

10. Определить расчетный коэффициент гидравлического трения $\lambda_{расч}$, сравнивая его с λ_{on}

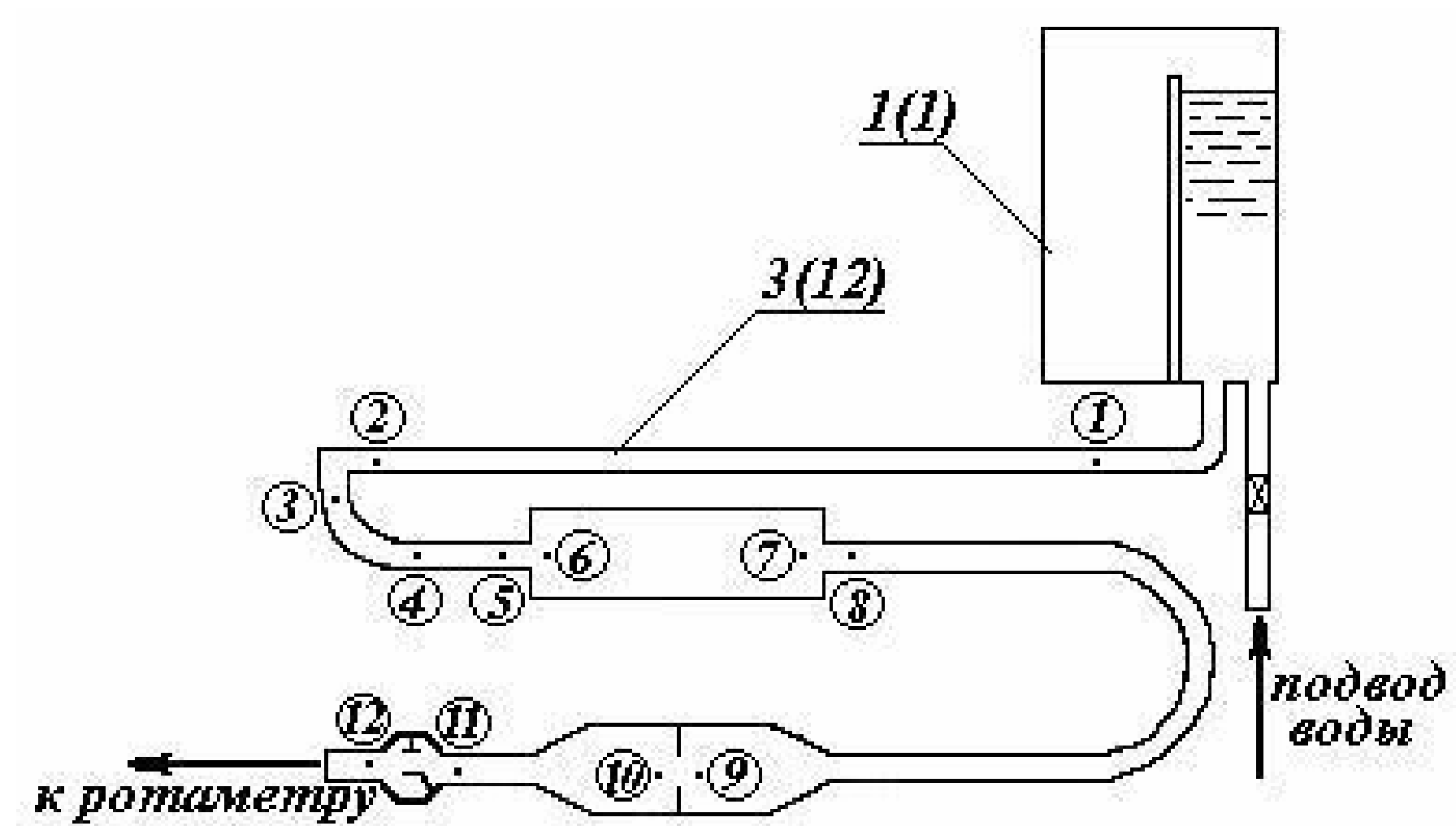


Рис. 11. Схема лабораторной установки для определения коэффициента гидравлического трения по длине трубы

Все данные вычислений и измерений заносятся в таблицу опытных данных.

Таблица опытных данных

Длина трубы $\ell = 100,5$ см; площадь: сечения трубы $F =$ см²;
 смоченный периметр $\chi =$ см; гидравлический радиус трубы $R = \frac{F}{\chi} =$ см;
 эквивалентная шероховатость стенок трубы $\Delta = 0,001$ см;
 относительная шероховатость $\Delta_r = \frac{\Delta}{R} =$;
 предельные числа Рейнольдса $Re_{пред}^I \approx \frac{10}{\Delta_r} =$; $Re_{пред}^{II} \approx \frac{500}{\Delta_r} =$;

Таблица опытных данных

№ п/п	Показатель	Единица измерения	Опыт	
			1	2
1	Показания пьезометров, № 1 $\frac{p_1}{\gamma}$ № 2 $\frac{p_2}{\gamma}$	см см		
2	Потеря напора по длине, $h_\ell = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}$	см		
3	Расход воды, Q , по ротаметру	см ³ /с		
4	Средняя скорость воды, $v = \frac{Q}{F}$	см/с		
5	Температура воды, t	°С		
6	Кинематическая вязкость, ν	см ² /с		
7	Число Рейнольдса, $Re = \frac{4vR}{\nu}$			
8	Коэффициент гидравлического трения по длине трубы, $\lambda_{он} = \frac{8gRh_\ell}{\ell v^2}$			
9	Предельные числа Рейнольдса, $Re_{пред}^I \approx \frac{10}{\Delta_r}$; $Re_{пред}^{II} \approx \frac{500}{\Delta_r}$.			
10	Режим и область сопротивления			
11	Коэффициент гидравлического трения по длине трубы по одной из следующих формул $\lambda_{расч} = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$ $\lambda_{расч} = 0,11 \left(\Delta_r + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$ $\lambda_{расч} \approx 0,11 \Delta_r^{0,25}$			

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Краткие теоретические сведения

Местные сопротивления представляют собой короткие фасонные участки трубопроводов (вход в трубу, задвижка, вентиль, колено, клапан, тройник и т.д.); они вызывают деформацию потока и являются причиной дополнительных потерь напора. В результате изменения размеров и формы сечения или направления продольной оси изменяются величина и направление скорости потока, происходит интенсивное вихреобразование в связи с отрывом потока от стенок, на что затрачивается дополнительная энергия.

Потери удельной энергии потока на преодоление местных сопротивлений выражаются в единицах измерения удельной энергии и называются местными потерями напора.

Местные потери напора существуют при напорном движении как в турбулентном, так и в ламинарном режиме. Однако при ламинарном режиме их относительная величина обычно очень мала и в расчете, как правило, не учитывается. При турбулентном режиме местные потери напора принято при любых числах Рейнольдса определять по формуле Вейсбаха:

$$h_{mn} = \xi \frac{v^2}{2g}, \quad (4.1)$$

где h_{mn} – местные потери напора, м;

ξ – безразмерный коэффициент местных сопротивлений;

v – средняя скорость потока в сечении, расположенном за данным местным сопротивлением, м/с.

Значение ξ при выполнении практических расчетов определяется по справочникам в зависимости от вида местного сопротивления. Для большинства местных сопротивлений ξ определяется экспериментально с помощью измерения разности показаний пьезометров, установленных в сечениях перед и за местным сопротивлением, где на поток не сказывается возмущение, налагаемое сопротивлением, т.е. поток в этих сечениях можно считать плавноизменяющимся.

Из уравнения Бернулли, записанного для указанных сечений, можно получить, что потеря напора на участка в общем случае равна

$$h_{mn} = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} \right). \quad (4.2)$$

Если местное сопротивление установлено на горизонтальном участке трубопровода постоянного сечения, то потеря напора на участке будет равна разности показаний пьезометров:

$$h_{mn} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}, \quad (4.3)$$

так как в этом случае в уравнении Бернулли $z_1 = z_2 = 0$ и скоростные напоры равны.

Если местное сопротивление установлено на вертикальном участке трубопровода постоянного диаметра, то потеря напора определяется из следующего выражения:

$$h_{mn} = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \quad (4.4)$$

При внезапном сужении и расширении горизонтального трубопровода скорости в широком и узком сечениях различны, поэтому потери напора в этих случаях равны:

$$h_{mn} = \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} \right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} \right) \quad (4.5)$$

Если местные сопротивления расположены на достаточно большом расстоянии друг от друга, более $(20 - 50)d$, то взаимным влиянием их друг на друга можно пренебречь. Общая величина местных потерь находится путем суммирования h_{mn} каждого сопротивления в отдельности:

$$h_{mn} = \sum \xi \frac{v^2}{2g}. \quad (4.5)$$

Цель лабораторной работы

Определить опытным путем величины коэффициентов следующих местных сопротивлений: резкого поворота на 90° , плавного поворота, внезапного расширения, внезапного сужения, диафрагмы, модели вентиля.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис. 11) смонтирована на универсальном лабораторном стенде и состоит из напорного бака 1 (1), модели местных сопротивлений и пьезометрического щита 6 (рис. 1).

Модель местных сопротивлений расположена на горизонтальной плоскости лабораторного стола, выполнена из органического стекла и состоит из последовательно расположенных местных сопротивлений; резкого поворота на 90° (участок 2–3), плавного поворота на 90° (участок 3–4), внезапного расширения (участок 5–6), внезапного сужения (участок 7–8), диафрагмы (участок 9–10), модели вентиля (участок 11–12).

Форма сечения напорных труб модели прямоугольная, размеры $(10 \times 10) \text{ мм}^2$ и $(50 \times 10) \text{ мм}^2$ на участке после расширения трубы. Плавный поворот выполнен радиусом закругления $R = 25 \text{ мм}$.

Сечения, где поток можно считать плавно изменяющимся, до и после каждого из сопротивлений соединен с пьезометрами, расположенными по порядку номеров на пьезометрическом щите 6 на передней стенке напорного бака I.

Порядковые номера пьезометров на пьезометрическом щите соответствуют нумерации точек на модели местных сопротивлений:

резкий поворот на 90°	пьезометры 2–3
плавный поворот на 90°	пьезометры 3–4
внезапное расширение	пьезометры 5–6
внезапное сужение	пьезометры 7–8
диафрагма	пьезометры 9–10
модель вентиля	пьезометры 11–12

Порядок проведения работы

1. Наполнить водой напорный бак открытием вентилей 7, 8 («П-я секция бака») (рис.2), расположенных на правой стенке станда.

2. После установления постоянного уровня воды в баке, что фиксируется по пьезометру № 3 на пьезометрическом щите «Секции бака», открыть вентиль местных сопротивлений 8 (рис. 2) на правой стенке станда и вентиль слива из местных сопротивлений 14.

3. Записать показания пьезометров № 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 1.1, 12, установленных до и после исследуемых местных сопротивлений.

4. Измерить расход с помощью ротаметра.

5. Измерить температуру воды с помощью термометра.

Изменив расход воды с помощью вентиля местных сопротивлений 8, повторить все замеры в указанном порядке.

Обработка опытных данных

1. Определить средние скорости воды в сечениях до и после местного сопротивления по формуле

$$v = \frac{Q}{F},$$

где Q – расход воды по ротаметру;

F – площадь сечения.

1 • \й

2. Вычислить значение числа Рейнольдса по формуле

$$Re = \frac{vd}{\nu},$$

где v – скорость потока;

d – диаметр трубы;

ν – кинематическая вязкость воды;

ν – определяется по графику $\nu = f(t \text{ } ^\circ\text{C})$ (рис. 9).

3. Рассчитать скоростной напор $\frac{v^2}{2g}$ в сечениях.

4. Определить потерю напора в местном сопротивлении по формуле

$$h_{mn} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma},$$

где $\frac{p_1}{\gamma}$ и $\frac{p_2}{\gamma}$ – показания пьезометров в сечениях до и после местного сопротивления.

5. Для внезапного расширения и сужения потерю напора определить по формуле

$$h_{mn} = \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \right)$$

где v_1 и v_2 – средние скорости в сечениях до и после местного сопротивления.

6. Опытные коэффициенты местных сопротивлений найти по формуле Вейсбаха:

$$\xi = \frac{h_{mn}}{v_2^2 / 2g}.$$

7. Сравнить коэффициенты ξ полученные из опыта с данными ξ справочных таблиц. Результаты измерений и расчетов поместить в таблицу опытных данных.

Таблица опытных данных

№ п/п	Показатель	Единица измерения	Опыт		
			Резкий поворот на 90°	й поворот	Модель вентилля
1	Площадь сечения: до сопротивления, F_1 после сопротивления, F_2	см ² см ²			
2	Расход воды по ротаметру	см ³ /с			
3	Средняя скорость в сечениях: до сопротивления, $v_1 = \frac{Q}{F_1}$ после сопротивления, $v_2 = \frac{Q}{F_2}$	см/с см/с			
4	Смоченный периметр, χ	см			
5	Гидравлический радиус, $R = \frac{F}{\chi}$	см			
6	Кинематическая вязкость воды, ν				
7	Число Рейнольдса, $Re = \frac{vR}{\nu}$				
8	Скоростной напор в сечениях: до сопротивления, $\frac{v_1^2}{2g}$ после сопротивления, $\frac{v_2^2}{2g}$	см см			
9	Показания пьезометров: до сопротивления после сопротивления	см см			
10	Потери напора из опыта $h_{mn} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}$ или $h_{mn} = \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \right)$	см см			
11	Коэффициенты местных сопротивлений из опыта				
12	Коэффициенты местных сопротивлений по справочнику				

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	3
Описание универсального лабораторного стенда по гидравлике	4
Работа № 1 Исследование уравнения Бернулли	10
Работа № 2 Определение режимов движения жидкости на приборе Рейнольдса	18
Работа № 3 Определение коэффициента гидравлического трения по длине трубы	23
Работа № 4 Определение коэффициентов местных сопротивлений	31

*Методические указания по выполнению
лабораторных работ*

ИСАЕВ

Алексей Павлович

КОЖЕВНИКОВА

Наталья Георгиевна

БЕКИШЕВ

Борис Тимофеевич

ГИДРАВЛИКА, ГИДРОМАШИНЫ
И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Редактор Кунахович Г.А.

Изд.лиц. ЛР №040374 от 03.04.1997

План 2001 г. п. 066

Подписано к печати 1.11.01

Формат 60 х 84/16

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Уч.изд.л. 2,4

Тираж 200 экз.

Заказ № 103

Цена 24 р.

Московский государственный
агроинженерный

университет им. В. П. Горячкина

Отпечатано в лаборатория
оперативной полиграфии

Московского государственного
агроинженерного университета
им. В. П. Горячкина

127550, Москва, Тимирязевская, 58