

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
имени В.П. Горячкина

**ГИДРАВЛИКА, ГИДРОМАШИНЫ
И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ**

Часть 2

Методические указания по выполнению лабораторных работ

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 2-3 курсов специальностей 311300 «Механизация сельского хозяйства», 150200 «Автомобили и автомобильное хозяйство», «Стандартизация и сертификация (в АПК)», 230100 «Сервис и техническая эксплуатация транспортных и технологических машин и оборудования», 311400 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», 100400 «Электроснабжение сельского хозяйства», 101600 «Энергообеспечение предприятий», 030500 «Профессиональное обучение». 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

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСХОДА, СЖАТИЯ И СКОРОСТИ ПРИ ИСТЕЧЕНИИ ИЗ ОТВЕРСТИЯ В ТОНКОЙ СТЕНКЕ И НАСАДКОВ

Краткие теоретические сведения

Отверстием в тонкой стенке называется отверстие, для которого имеет место следующее соотношение $\delta < 0,2d$, где δ - толщина стенки, d - диаметр отверстия. При истечении из отверстия в тонкой стенке (рис. 1) струя не соприкасается с внутренней поверхностью отверстия. На расстоянии равном приблизительно $0,5d$ от входной плоскости отверстия расположено сечение с наименьшим диаметром называемое “сжатым сечением” струи. Такое сжатие возникает вследствие инерции частиц жидкости, подтекающих к отверстию из резервуара по криволинейным траекториям. Сжатие струи оценивается коэффициентом сжатия ε равным

$$\varepsilon = F_{\text{сж}}/F,$$

где $F_{\text{сж}}$ - площадь сжатого сечения струи;

F - площадь сечения отверстия.

Сжатие струи может быть совершенным, несовершенным, полным и неполным. Совершенное сжатие наблюдается в случае, если боковые стенки, днище резервуара и свободная поверхность достаточно удалены от контура отверстия и не влияют на характер истечения, что имеет место при $l > 3d$ (рис. 1), если это условие не соблюдается, то сжатие называют несовершенным. Полное сжатие струи - сжатие всестороннее, если же часть периметра отверстия совпадает с боковой стенкой или днищем резервуара, то такое сжатие струи называется неполным.

Рассмотрим методику определения коэффициентов скорости, расхода и сжатия при истечении из круглого отверстия в тонкой стенке в случае полного и совершенного сжатия при постоянном напоре (рис. 1).

Составим уравнение Бернулли для сечений I-I и 2-2. Сечение I-I выбираем на свободной поверхности жидкости в резервуаре, сечение 2-2 - в сжатом сечении струи, плоскость сравнения проведем через центр тяжести отверстия (плоскость 0-0).

Учитывая, что $Z_1=H$, $Z_2=0$, $p_1=p_2=p_{\text{ат}}$, $V_1=0$, $h_w=h_{\text{мп}}=\zeta_{\text{отв}} \cdot V_2^2/2g$, уравнение Бернулли приобретает следующий вид

$$H = \alpha_2 V_2^2/2g + \zeta_{\text{отв}} \cdot V_2^2/2g$$

где H - напор над центром отверстия;

V_2 - средняя скорость в сжатом сечении струи;

$\zeta_{\text{отв}}$ - коэффициент местных потерь напора при истечении из отверстия.

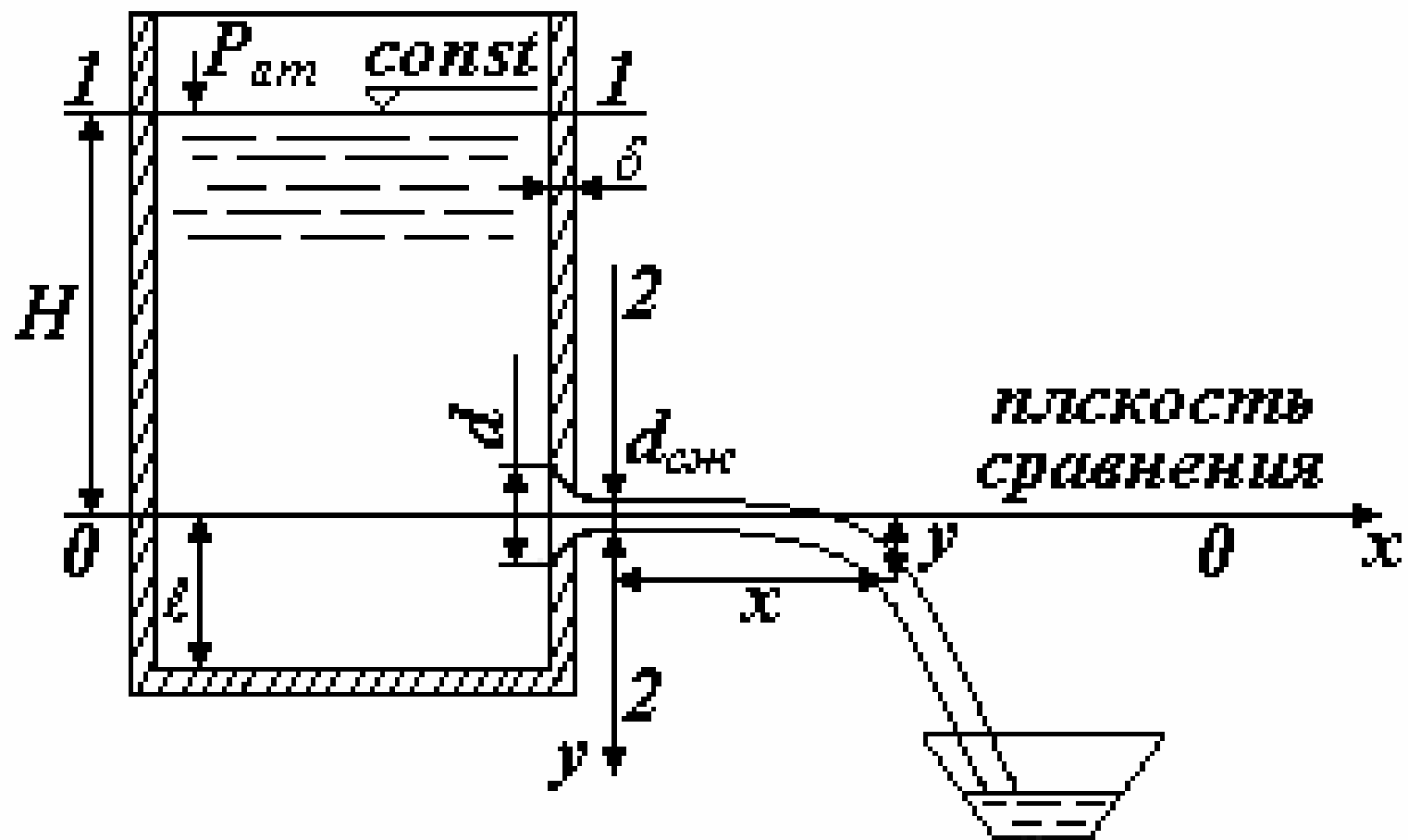


Рис.1. Схема истечения жидкости из отверстия в тонкой стенке

Откуда скорость в сжатом сечении определится как

$$V_2 = (1/\sqrt{\alpha_2 + \zeta_{отб}}) \cdot \sqrt{2gH}$$

Выражение $(1/\sqrt{\alpha_2 + \zeta_{отб}})$ называют коэффициентом скорости φ

$$\varphi = (1/\sqrt{\alpha_2 + \zeta_{отб}})$$

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

$$V_2 = \varphi \cdot \sqrt{2gH}$$

Расход воды $Q = V_2 \cdot F_{сж}$ с учетом выражений коэффициента сжатия ε и скорости V_2 может быть представлен в виде

$$Q = \varepsilon \varphi F \cdot \sqrt{2gH}$$

Произведение коэффициентов ε и φ принято называть коэффициентом расхода μ

$$\mu = \varepsilon \cdot \varphi$$

Тогда формулу расхода окончательно можно записать в виде:

$$Q = \mu F \cdot \sqrt{2gH}$$

При небольших скоростях истечения сопротивлением воздуха движению струи можно пренебречь, и траекторию струи можно считать параболической. В системе координат с началом в центре сжатого сечения координаты точек этой траектории определяются

$$x = V_2 \cdot t; \quad y = g \cdot t^2/2,$$

где V_2 - горизонтальная скорость движения струи в сжатом сечении;

t - время движения частицы жидкости от начала координат до соответствующего сечения струи жидкости.

Решив уравнение координат x и y относительно t , получим:

$$t = x/V_2; \quad t = \sqrt{2y/g}$$

Приравняв их, получим: $x/V_2 = \sqrt{2y/g}$, откуда

$$V_2 = x \sqrt{g/2y}$$

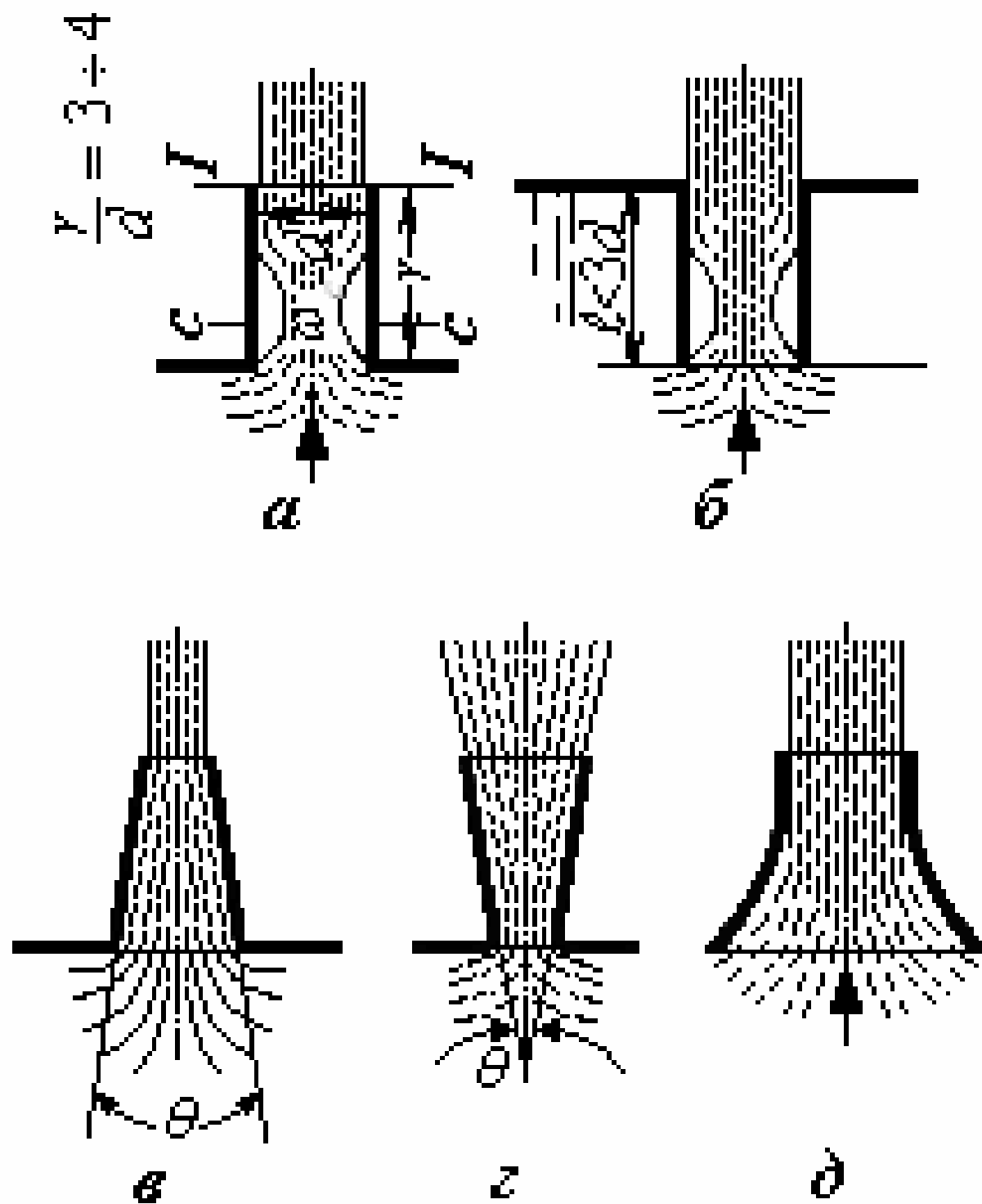


Рис.2. Основные формы насадков

Учитывая, что скорость в сжатом сечении $V_2 = \varphi \cdot \sqrt{2gH}$, получим

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

Таким образом, замеряя абсциссу “х” и ординату “у” какой-либо точки траектории и зная напор Н, можно определить коэффициент скорости.

Многочисленные измерения показывают, что коэффициент скорости при истечении через круглые отверстия при полном и совершенном сжатии равен $\varphi = 0,97$, коэффициент сжатия $\varepsilon = 0,64$ и коэффициент расхода $\mu = 0,62$.

На практике при истечении жидкости часто применяют насадки. Насадком называется приставленный к отверстию в стенке или в дне резервуара короткий патрубок, длина которого составляет $(3...5)d$, где d - диаметр отверстия.

Наиболее широкое применение находят следующие насадки (рис. 2 а, б, в, г, д): внешний цилиндрический - а; внутренний цилиндрический - б; конический сходящийся - в; конический расходящийся - г; коноидальный - д.

Насадки применяют для увеличения пропускной способности или для увеличения или уменьшения кинетической энергии вытекающей струи. Возрастание расхода жидкости наблюдается при истечении из цилиндрического и конического расходящегося насадков по сравнению с обычным отверстием того же диаметра объясняется возникновением вакуума в начале насадка, который образуется следующим образом. По условию неразрывности струи скорость ее выхода из насадка в сечении I-I (рис. 2 а) будет меньше скорости в сжатом сечении С-С. Поэтому гидродинамическое давление в сжатом сечении будет меньше давления на выходе. Но поскольку в выходном сечении I-I давление равно атмосферному, то в сжатом сечении оно будет меньше последнего, т.е. образуется вакуум.

Для внешнего цилиндрического насадка (рис. 2 а) струя жидкости непосредственно после входа в насадок образует сжатое сечение С-С, а вытекает из насадка полным сечением, т.е. коэффициент сжатия такого насадка $\varepsilon = 1$. Коэффициент расхода внешнего цилиндрического насадка $\mu = 0,82$, т.е. насадок увеличивает расход по сравнению с отверстием в тонкой стенке в 1,32 раза ($\mu_{от} = 0,62$). Вакуум в сжатом сечении насадка обуславливает подсос жидкости. Благодаря этой возрастает расход. Если к отверстию, сделанному в стенке насадка в сжатом сечении подсоединить жидкостный вакуумметр, то жидкость в трубке вакуумметра поднимется на высоту $0,75H$.

Внешние цилиндрические насадки находят применение в практике, как водовыпуски в плотинах, как короткие трубы под насыпями и т.д.

Внутренний цилиндрический насадок (рис. 2 б) имеет большее сопротивление на вход, чем внешний. Его коэффициент расхода $\mu = 0,707$, а коэффициент сжатия $\varepsilon = 1$.

Для конического сходящегося насадка (рис. 2 в) коэффициент расхода зависит от угла конусности. Наибольшее значение коэффициента расхода $\mu = 0,946$ имеет место при угле конусности $\theta = 13^\circ 24'$. Конические сходящиеся насадки дают струю с большими скоростями и применяют в соплах турбин, гидромониторах, брандспойтах и дождевальными аппаратах. Конический расходящийся насадок (рис. 2

г) характерен малой выходной скоростью. При угле конусности $5-7^\circ$ коэффициент расхода $\mu = 0,5$, а коэффициент сжатия $\varepsilon = 1$.

Конические расходящиеся насадки используются при сооружении дорожных труб, водовыпусков оросительных систем и отсасывающих труб турбин ГЭС. Коноидальный насадок (рис. 2. д) по форме внутренней поверхности близок к поверхности вытекающей струи, поэтому гидравлические сопротивления в нем малы, а коэффициент расхода наибольший из всех типов насадков и равен $0,97-0,98$.

При истечении из отверстий некруглой формы, поперечное сечение струи меняет свою форму по длине ее. Изменения формы сечения струи по длине при истечении из квадратного отверстия представлены на рис. 3. Штриховкой показаны сечения струи, наблюдаемые на разных расстояниях от плоскости отверстия.

Подобное явление, называемое инверсией струи, обусловлено влиянием непараллельности векторов скоростей отдельных частиц жидкости при выходе из резервуара и действием сил поверхностного натяжения.

Цель лабораторной работы

1. Определить коэффициенты расхода, скорости и сжатия при истечении воды из отверстия в тонкой стенке, цилиндрического внешнего насадка и конически сходящегося насадка с углом конусности $\theta = 13^\circ 24'$.
2. Наблюдать возникновение вакуума при истечении из цилиндрического насадка.
3. Изучить инверсию струи при истечении из квадратного отверстия.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис. 4) входит в универсальный стенд. Она смонтирована на базе второй секции бака 1(1), снабженной пьезометром 2(6), вентилем 3(7) для подвода воды, затвором 7, турелью 5(11) с насадками 5, рукояткой с резьбой 4 и сборным лотком 8. Установка укомплектована секундомером, угольником, линейкой и мерной емкостью для измерения расхода.

Порядок проведения работы

1. Проверить положение затвора 7 (должен быть закрыт - не вращается против часовой стрелки).
2. Открутить рукоятку 4 и установить поворотом турели 6 отверстие в тонкой стенке (нижнее вертикальное положение отверстия, при этом слышен щелчок фиксатора) и закрутить рукоятку до конца.
3. Наполнить 2-ю секцию бака открытием вентиля “общий” и “II-я секция” напорного бака, расположенных на парвой стенке лабораторного стола.
4. Вращая маховичок затвора 7 по часовой стрелке (5-6 оборотов), открыть его.
5. Регулировкой крана “II-я секция” установить постоянный уровень воды в пьезометре № 2 (6) на отметке около 50 см.

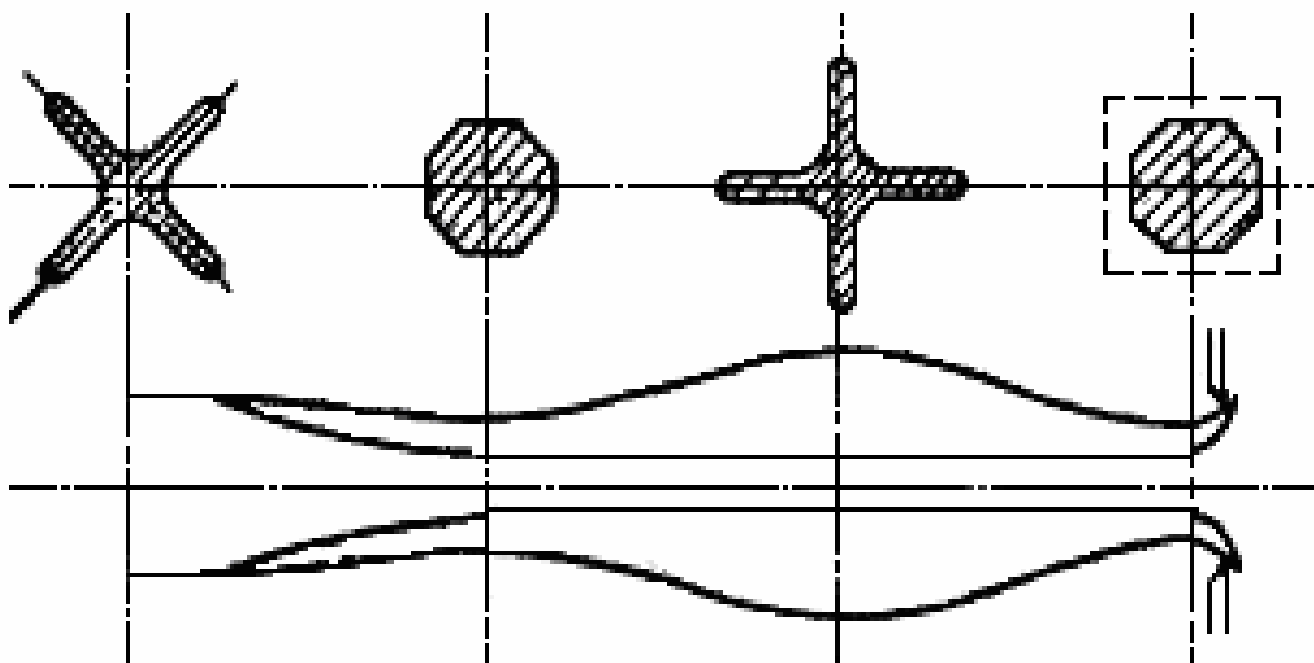


Рис.3. Инверсия струи

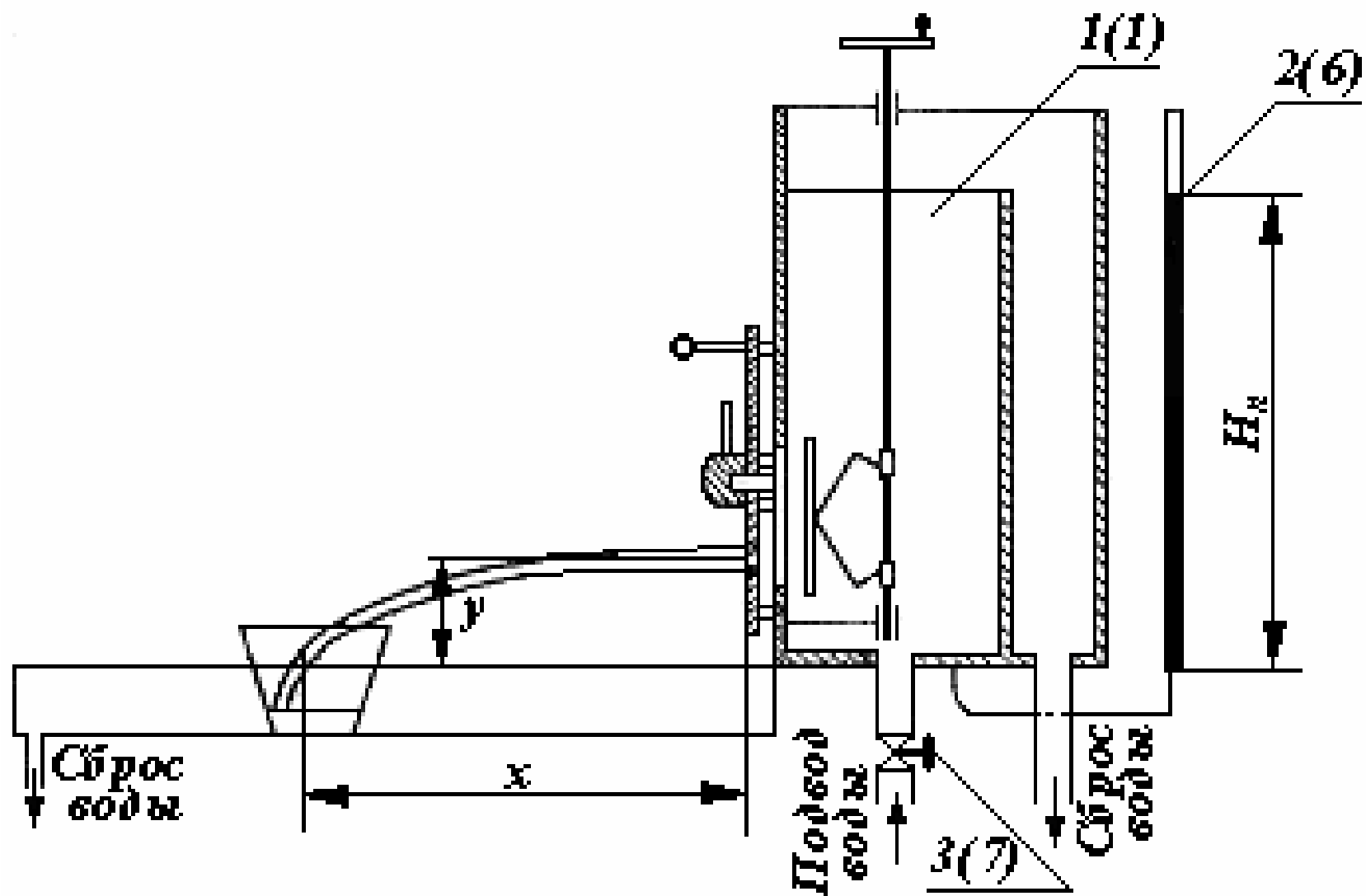


Рис. 4 Схема экспериментальной установки

6. Подставляя под струю протарированную емкость объемом $V = 2500 \text{ см}^3$, определить с помощью секундомера время ее наполнения.

7. Записать показания пьезометра № 2 (6).

8. Определить с помощью линейки и угольника координату струи “х” - т.е. дальность полета струи от кромки отверстия до поверхности стола; координата “у”, определяющая положение центра отверстия над столом, величина постоянная, равная $y = 17 \text{ см}$.

9. Закрыть вентиль “II-я секция” и затвор 7.

10. Отвернуть рукоятку 4 и установить турель 6 в положение, соответствующее истечению из цилиндрического насадка.

11. Закрутить рукоятку 4, открыть затвор 7 и вентиль II-й секции бака.

12. Повторить последовательно операции и измерения, описанные в пп. 5-9.

13. Подсоединить прозрачный шланг к штуцеру насадка, опустить его в емкость с чернилами и пронаблюдать подъем чернил, т.е. наличие вакуума на входе в насадок.

14. Закрыть кран “II-я секция” бака и затвор 7.

15. Отвернуть рукоятку 4 и установить турель в положение, соответствующее истечению из конического насадка.

16. Повторить последовательно операции и измерения, описанные выше и соответствующие пп. 4-9.

17. Установить турель в положение, соответствующее истечению из отверстия квадратной формы и выполнить наблюдения инверсии струй.

18. Закрыть кран “II-я секция” и затвор 7.

Обработка опытных данных

1. Подсчитать площадь выходного отверстия

$$F = \pi d^2 / 4,$$

где d - диаметр выходного отверстия, $d = 1 \text{ см}$.

2. Определить расход истечения по формуле

$$Q = V/t$$

где V - объем мерной емкости 2500 см^3 ;

t - время наполнения емкости, с (по секундомеру).

3. Определить коэффициент расхода μ

$$\mu = Q/F \sqrt{2gH},$$

где H - напор истечения, равный разности H_{Π} показания пьезометра высоты положения центра отверстия 17 см ($H = H_{\Pi} - 17$).

4. Найти коэффициент скорости

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

5. Коэффициент сжатия струи определить как

$$\varepsilon = \mu/\varphi$$

Результаты измерений и расчетов поместить в таблицу опытных данных.

Таблица опытных данных

№№ п/п	Показатели	Единица измерения	О п ы т		
			Отверстие в тонкой стенке	Цилиндриче ский насадок	Конический сходящийся насадок
1.	Диаметр выходного отверстия d	см	1	1	1
2.	Площадь выходного отверстия F	см ²			
3.	Показание пьезометра Н _п	см			
4.	Емкость мерного бака V	см ³			
5.	Время наполнения мерного бака t	с			
6.	Расход истечения Q=V/t	см ³ /с			
7.	Координаты струи y x	см см	17	17	17
8.	Напор над центром отверстия, Н Н=Н _п -17	см			
9.	Коэффициент расхода $\mu = Q/F \sqrt{2gH}$				
10.	Коэффициент скорости $\varphi = x/2\sqrt{yH}$				
11.	Коэффициент сжатия $\varepsilon = \mu/\varphi$				

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА И ОСНОВНЫХ ТИПОВ РАСХОДОМЕРОВ

Краткие теоретические сведения

Существуют следующие методы определения расходов жидкости: гидрометрические, гидравлические, физические.

К гидрометрическим методам относятся весовой или объемный, осуществляемый с помощью протарированных емкостей и механических водосчетчиков и отметчиков времени, метод “площадь-скорость”, основанный на непосредственных замерах местных скоростей в отдельных точках живого сечения потока с помощью гидродинамических трубок (“трубок Пито”) или микровертушек.

Гидравлические методы основаны на использовании зависимости перепада давления в сужающихся устройствах от расхода. Для этой цели используются: в напорных трубопроводах - диафрагмы, сопла Вентури, ротаметры, поплавки; в открытых потоках - различные водосливы, специальные лотки.

Физические методы определения расхода напорных потоков используют явления теплообмена, электромагнетизма, ультразвука.

Рассмотрим подробнее наиболее распространенные методы из числа указанных.

Объемный метод заключается в измерении объема жидкости, подаваемой в протарированный по объему сосуд, или протекающего через механический счетчик объема за некоторый фиксируемый промежуток времени. Тогда расход определится:

$$Q = V/t,$$

где V - заполненный объем сосуда или объем, протекающий через механический водосчетчик;

t - время измерения.

Принцип действия механических расходомеров - счетчиков - основан на том, что жидкость, протекающая через прибор, приводит во вращение крыльчатку или вертушку, частота вращения которой пропорциональна скорости потока и, следовательно, расходу. Ось крыльчатки или вертушки посредством передаточных механизмов соединена со счетчиком.

На рис. 5 показан крыльчатый водомер типа ВК. Он состоит из крыльчатки 1, закрепленной на трубчатой оси 2 и помещенной внутри корпуса 3, имеющего патрубки для входа и выхода жидкости. На корпусе установлена головка 4 с откидной крышкой 5. Крыльчатка 1 через валик 6, муфту 7 и передаточный механизм 8, связана со счетным механизмом 9, размещенным внутри головки. Передаточные и счетные механизмы представляют собой ряд шестерен, находящихся в зацеплении друг с другом. Шкала счетчика проградуирована в литрах или кубических метрах. Гидравлические методы замера рассмотрим на примере измерения расхода с помощью сопла Вентури и ротаметра.

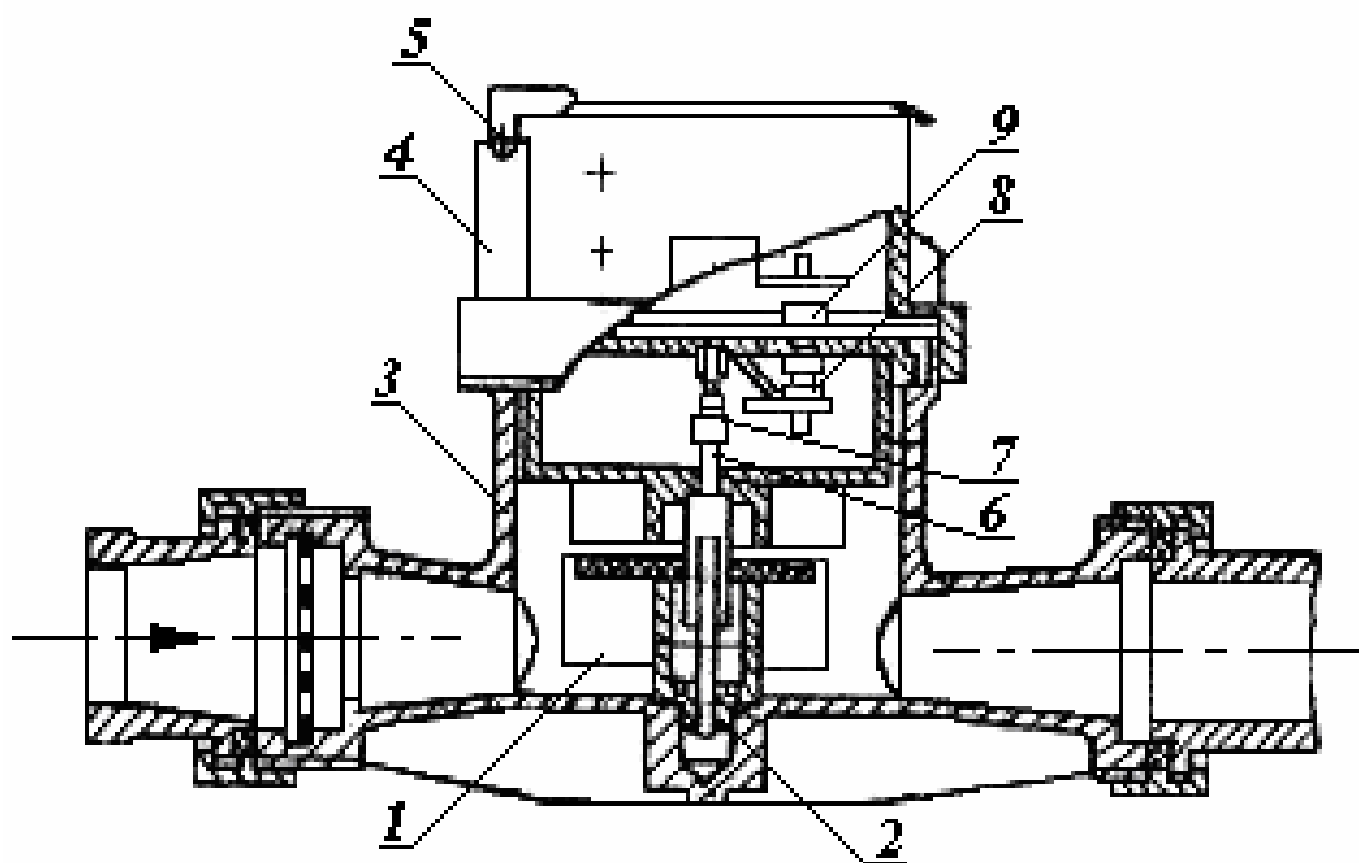


Рис. 5. Водомер с крыльчатой вертушкой

Применение сопла Вентури (рис. 6) основано на измерении вызываемого им перепада давлений перед сужением в сечении I-I и в сжатом сечении 2-2 (в горловине).

Введем обозначения:

ω_1 - площадь сечения трубопровода в сечении I-I;

ω_2 - площадь проходного сечения горловины сужающего устройства, сечение 2-2;

D - диаметр трубопровода;

d_b - диаметр горловины;

p_1 и p_2 - давления в центрах тяжести сечений I-I и 2-2;

α - коэффициент кинетической энергии потока в сечениях I-I и 2-2, принимаем его постоянным $\alpha = 1,05$;

V_1 - средняя скорость в сечении I-I;

V_2 - средняя скорость в сечении 2-2.

Запишем уравнение Бернулли для указанных сечений без учета потерь напора, выбрав в качестве плоскости сравнения плоскость О-О, проходящую через горизонтально расположенную ось сопла Вентури:

$$p_1/\gamma + \alpha V_1^2/2g = p_2/\gamma + \alpha V_2^2/2g$$

Из условия неразрывности потока $V_1 \cdot \omega_1 = V_2 \cdot \omega_2$ получаем

$$V_2 = V_1 \cdot (D/d_b)^2$$

Подставив значение скорости V_2 в уравнение Бернулли, находим скорость V_1

$$V_1 = \{ 1/\sqrt{\alpha[(D/d_b)^4 - 1]} \} \cdot \sqrt{2g/\gamma \cdot (p_1 - p_2)}$$

Тогда расход будет равен

$$Q = V_1 \omega_1 = \{ \pi D^2/4 : [\sqrt{\alpha[(D/d_b)^4 - 1]}] \} \cdot \sqrt{2g/\gamma \cdot (p_1 - p_2)}$$

Введем в формулу расхода коэффициент μ , учитывающий потери напора в сопле Вентури

$$Q = \mu \cdot \{ \pi D^2/4 : [\sqrt{\alpha[(D/d_b)^4 - 1]}] \} \cdot \sqrt{2g/\gamma \cdot (p_1 - p_2)}$$

Учитывая, что величина $\mu \cdot \{ \pi D^2/4 : [\sqrt{\alpha[(D/d_b)^4 - 1]}] \} \cdot \sqrt{2g} = A$ для данного сопла является постоянной, и, обозначая перепад показаний пьезометров $H = (p_1 - p_2)/\gamma$, формула расхода запишется:

$$Q = A \cdot \sqrt{H},$$

где A - постоянная водомера;

H - перепад показаний пьезометров.

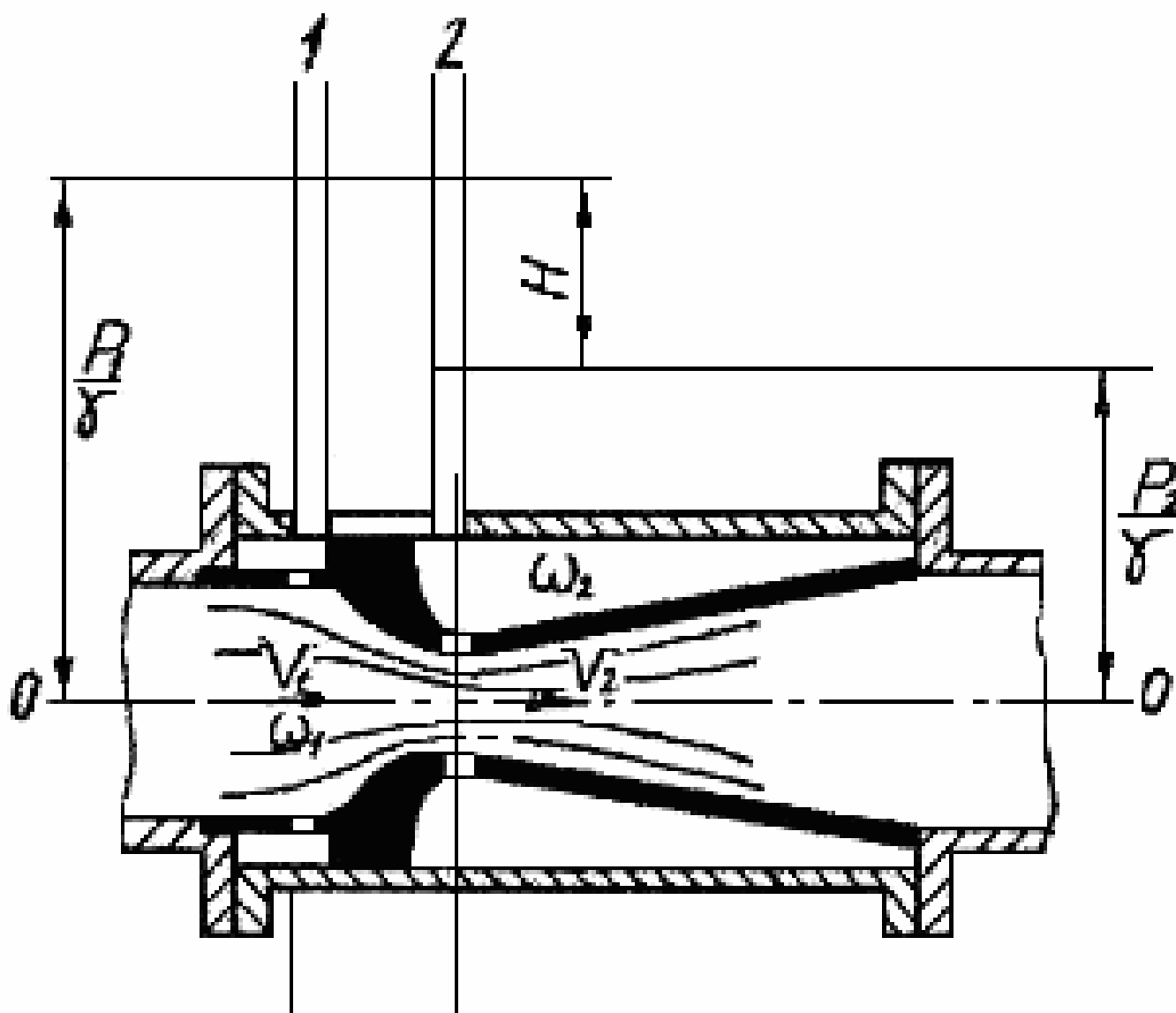


Рис. 6. Схема расходомера с соплом Вентури

Такая же формула для определения расхода будет получена, если вместо сопла Вентури для измерения расхода принять диафрагму или иное местное сопротивление. Естественно, что в этом случае значение A будет иное.

Ротаметр (рис. 7) представляет собой вертикально установленную конусную трубу 1, в которой помещен поплавок 2, удельный вес которого больше удельного веса протекающей жидкости. При движении жидкости по трубке снизу вверх поплавок поднимается вверх до тех пор, пока не займет такое положение, при котором перепад давления, обусловленный сопротивлением кольцевого сечения, образованного поплавком и трубкой, уравнивает разницу в весе самого поплавка и жидкости в объеме поплавка. Таким образом, определенному расходу жидкости соответствует определенная высота положения поплавка, которая определяется визуально по шкале прибора или с помощью датчиков, фиксирующих положение поплавка.

Физический метод измерения расхода жидкости рассмотрим на примере использования явления электромагнетизма в индукционном расходомере.

Индукционный расходомер (рис. 8) представляет собой участок трубы 2 (покрытый внутри изоляцией), который размещается между полюсами электромагнита 4 переменного тока. Участок трубы и магнит помещены в кожух 1. Электромагнит создает внутри трубы равномерное магнитное поле, которое пересекается жидкостью, движущейся через расходомер. Если жидкость электропроводна, то в ней, как в движущемся проводнике, возникает э.д.с., величина которой пропорциональна расходу. Для определения расхода снимают э.д.с., усиливают и регистрируют. Для съема э.д.с. в среднем сечении диаметрально противоположно друг другу помещены электроды 3, находящиеся в контакте с жидкостью, но изолированные от трубы. Сигнал с электродов поступает в катодный повторитель 5, где компенсируется э.д.с. помех, и оттуда через усилитель 6 - на вторичный регистрирующий прибор 7.

Цель лабораторной работы

Целью данной лабораторной работы является изучение описанных выше методов измерения расходов жидкости с применением протарированной емкости, механического водосчетчика, сопла Вентури, диафрагмы и индукционного расходомера.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка рис. 9 состоит из напорного трубопровода 1, соединенного через вентиль 2 с напорным баком 3. На напорном трубопроводе установлены последовательно сопло Вентури 4 с пьезометрами 5 и 6, индукционный расходомер 7 с вторичным прибором 8, крыльчатый водосчетчик 9, диафрагма 10 с пьезометрами 11 и 12. Выход напорного трубопровода расположен над перекидной воронкой 13 сливной бачка 14, разделенного на две секции: измерительную 15 и сливную 16. Измерительная секция 15 имеет вентиль 17, соединенный со сливной линией и пьезометр 18, шкала которого протарирована в литрах. Сливная секция 16 непосредственно соединена со сливным трубопроводом. При работе с установкой используется секундомер.

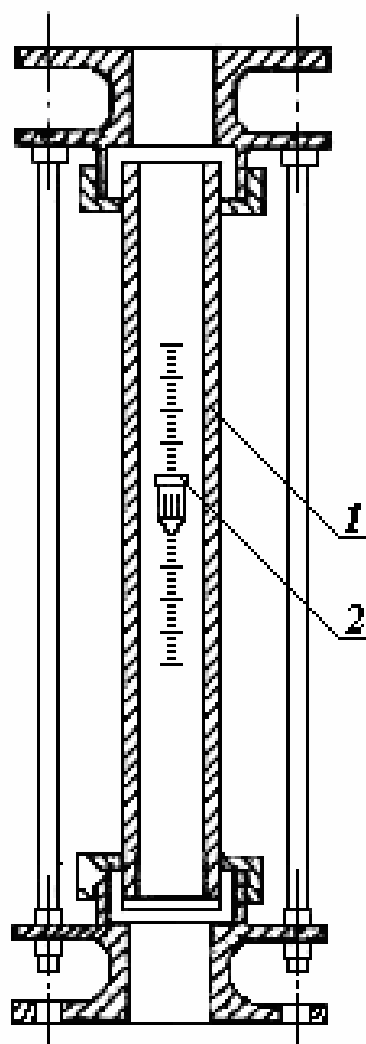


Рис. 7. Схема ротаметра

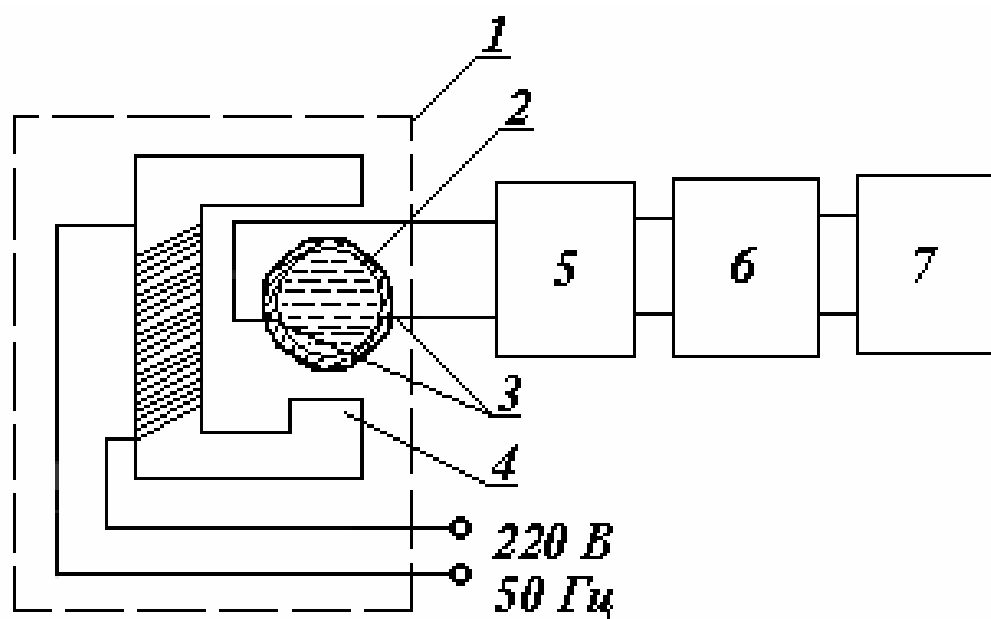


Рис. 8. Схема индукционного расходомера

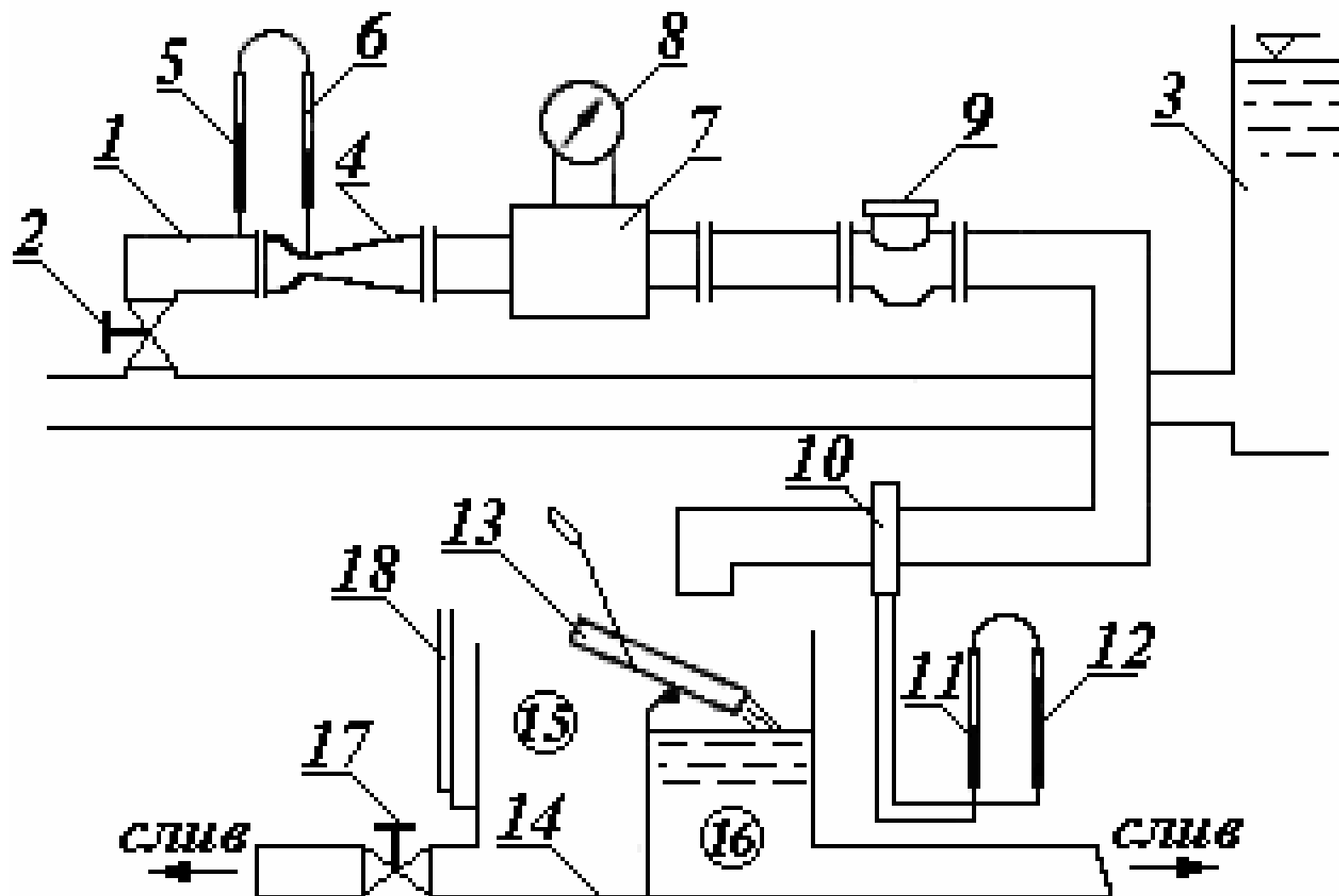


Рис. 9. Схема экспериментальной установки

Порядок проведения работы

1. Установить перекидную воронку 13 над сливной секцией 16 бака 14.
2. Открыть вентиль 17 и слить воду измерительной секции 15 бака 14, после чего закрыть вентиль 17.
3. Открыть вентиль 2 и установить максимальный расход в трубопроводе.
4. Замерить показания пьезометров 5, 6 сопла Вентури 4.
5. Замерить показания пьезометров 11, 12 диафрагмы 10.
6. Включить индукционный расходомер 7 и замерить показания вторичного прибора 8.
7. По команде перекинуть воронку 13 на измерительную секцию 15, включить секундомер и одновременно отметить положения большой и малой стрелок водосчетчика.
8. Наполнить измерительную секцию 15 и по команде перебросить воронку 13 на сливную секцию, одновременно отметить положения большой и малой стрелок водосчетчика.
9. Записать время наполнения, определяемое по секундомеру.
10. Записать показания пьезометра 18.
11. Закрыть вентиль 2.
12. Открыть вентиль 17.
13. Второй опыт проводится при среднем открытии вентиля 2 (средний расход) с указанной выше последовательностью.

Обработка опытных данных

1. Определить постоянную водомера сопла Вентури:

$$A_B = \mu \cdot \pi D^2 / 4 \cdot [\sqrt{(2g) / \alpha [(D / d_g)^4 - 1]}],$$

где $\mu = 0,95$; $\alpha = 1,05$;

d_B - диаметр горловины;

D - диаметр трубопровода.

2. Определить постоянную водомера диафрагмы:

$$A_d = \mu \cdot \pi D^2 / 4 \cdot [\sqrt{(2g) / \alpha [(D / d_g)^4 - 1]}]$$

где $\mu = 0,90$; $\alpha = 1,1$;

d_d - диаметр отверстия диафрагмы.

3. Определить разность показаний пьезометров сопла Вентури:

$$H_B = p_1 / \gamma - p_2 / \gamma,$$

где p_1 / γ - показание пьезометра 5, см;

p_2 / γ - показание пьезометра 6, см.

4. Определить разность показаний пьезометров диафрагмы

$$H_d = p_3/\gamma - p_4/\gamma,$$

где p_3/γ - показание пьезометра 12, см;

p_4/γ - показание пьезометра 11, см.

5. Определить расход по соплу Вентури

$$Q_v = A_v \sqrt{H_B}, \text{ л/с}$$

6. Определить расход по диафрагме

$$Q_d = A_d \sqrt{H_d}, \text{ л/с}$$

7. Определить расход по индукционному расходомеру $Q_{\text{инд}}$, л/с

8. Определить расход по водосчетчику

$$Q_{\text{вод}} = [(n_2 - n_1) \cdot 1000] / t,$$

где n_1 - число делений водосчетчика до опыта, м³;

n_2 - число делений водосчетчика после опыта, м³;

t - время опыта, с.

9. Определить расход объемным методом

$$Q_o = V/t,$$

где V - объем воды в измерительной секции бака, л;

t - время опыта, с.

10. Определить относительную ошибку при измерении расходов соплом Вентури, диафрагмой, индукционным расходомером, крыльчатым водосчетчиком по отношению к объемному способу:

$$\Delta_{\text{Вентури}} = (Q_o - Q_v) / Q_o \cdot 100 \%$$

$$\Delta_{\text{диаф}} = (Q_o - Q_d) / Q_o \cdot 100 \%$$

$$\Delta_{\text{инд}} = (Q_o - Q_{\text{инд}}) / Q_o \cdot 100 \%$$

$$\Delta_{\text{водосчет}} = (Q_o - Q_{\text{вод}}) / Q_o \cdot 100 \%$$

11. Результаты измерений и расчетов поместить в таблицу опытных данных.

Таблица опытных данных

№№ п/п	Показатели	Единицы измерений	Опыты	
			№ 1	№ 2
1	Диаметр трубопровод, D	см		
2	Диаметр суженного сечения сопла Вентури, d _в	см		
3	Диаметр суженного сечения диафрагмы, d _д	см		
4	Постоянная водомера A = μ · πD ² /4 · [√(2g)/α[(D/d) ⁴ - 1] а) для сопла Вентури, A _в б) для водомера диафрагмы, A _д			
5	Показания пьезометров а) водомера Вентури, № 5 - p ₁ /γ № 6 - p ₂ /γ б) диафрагмы, № 12 - p ₃ /γ № 11 - p ₄ /γ	см см см см		
6	Показания вторичного прибора индукционного водомера, Q _{инд}	л/с		
7	Объем воды в мерном баке, W	см ³		
8	Показания по водосчетчику до опыта, n ₁ осле опыта, n ₂	м ³ м ³		
9	Время опыта, t	с		
10	Разность показаний пьезометров сопла Вентури, H _в = p ₁ /γ - p ₂ /γ	см		
11	Разность показаний пьезометров диафрагмы H _д = p ₃ /γ - p ₄ /γ	см		
12	Расход, определенный объемным методом Q _о = V/t	л/с		
13	Расход, определяемый соплом Вентури Q _в = A _в √H _в	л/с		
14	Расход, определяемый диафрагмой Q _д = A _д √H _д	л/с		
15	Расход, определяемый по водосчетчику Q _{вод} = [(n ₂ - n ₁) · 1000]/t	л/с		
16	Относительная ошибка Δ = (Q _о - Q _{прибора})/Q _о · 100 а) сопла Вентури Δ _{Вентури} б) диафрагмы Δ _{диафр} в) индукционного расходомера Δ _{инд} г) крыльчатого водосчетчика Δ _{водосчет}	%		

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В НАПОРНОМ ТРУБОПРОВОДЕ

Краткие теоретические сведения

Гидравлическим ударом называется такое повышение давления, вызванное внезапным изменением скорости движения жидкости в напорном трубопроводе.

При внезапном (мгновенном) перекрытии трубопровода в остановившемся слое жидкости непосредственно у задвижки (клапана, крана, т.д.) повышается давление вследствие преобразования кинетической энергии остановившегося слоя жидкости в потенциальную энергию (энергию давления) жидкости. При этом жидкость сжимается, а сечение трубопровода расширяется.

По мере остановки последующих слоев жидкости увеличение давления будет распространяться по трубопроводу в сторону от задвижки, создавая волну повышенного давления, называемую ударной волной.

После того, как жидкость остановится по всей длине трубопровода до резервуара, давление в трубопроводе станет больше давления в резервуаре, и жидкость придет в движение в направлении к резервуару, создавая волну пониженного давления в трубопроводе, называемую обратной ударной волной.

Время пробега прямой ударной волны (повышения давления от задвижки до резервуара) и обратной ударной волны (понижения давления от резервуара до задвижки) называется фазой гидроудара и определяется по формуле:

$$T = 2L/C,$$

где L - длина трубопровода;

T - фаза удара;

C - скорость распространения ударной волны.

После прохождения обратной волны - волны протекания жидкости из трубопровода в резервуар - благодаря инерции жидкости, давление в трубопроводе станет ниже, чем в резервуаре, и начнется повторное движение жидкости по трубопроводу в сторону задвижки и повторный гидравлический удар, но с меньшим повышением давления, вследствие потерь энергии потока на трение и деформацию трубопровода, фазы гидроудара будут повторяться до полного затухания.

Повышение давления при гидравлическом ударе может во много раз превышать начальное давление в трубопроводе и может привести к разрушению трубопровода и арматуры.

Теория гидравлического удара разработана профессором Н.Е.Жуковским. При этом были получены, проверены и рекомендованы к практическому использованию формулы для определения величины повышения давления Δp при гидравлическом ударе и формулы для определения скорости C распространения ударной волны:

$$\Delta p = \rho C V$$

где ρ - плотность жидкости;

V - средняя скорость движения жидкости в трубопроводе до гидроудара;

C - скорость распространения ударной волны

$$C = \sqrt{E_0 / \rho} : \sqrt{1 + E_0 / E \cdot d / \delta},$$

где E_0 и E - модули упругости, соответственно жидкости и материала трубопровода;

d - внутренний диаметр трубопровода;

δ - толщина стенки трубопровода.

Если трубопровод стальной ($E = 19,62 \cdot 10^{10}$ н/м²), а жидкостью является вода ($E_0 = 19,62 \cdot 10^8$ н/м²), то формула для расчета C примет вид:

$$C = 1425 : \sqrt{1 + 0,01 \cdot d / \delta},$$

где $1425 = \sqrt{E_0 / \rho}$, м/с - скорость распространения звуковых волн в воде при 20° С.

Цель лабораторной работы

Исследование гидравлического удара в напорном трубопроводе. Демонстрация гидравлического удара; экспериментальное определение величины повышения давления при гидравлическом ударе в случае внезапного (мгновенного) закрытия крана; определение повышения давления при гидроударе по формуле Н.Е.Жуковского; сравнение теоретического и экспериментального значения повышения давления при гидравлическом ударе.

Описание экспериментальной установки

Установка (рис. 10) включает напорный бак 1, переливной бак 3, трубопровод 2 (длина трубопровода $L = 33,5$ м, внутренний диаметр $d = 53$ мм, толщина стенок $\delta = 3,5$ мм), манометр 4 для замера повышения давления при гидроударе, кран 5 для мгновенного перекрытия трубопровода, вентиль 6 для регулирования расхода воды, мерный бак 7, вентиль 8 для опорожнения мерного бака, сигнальную лампочку 10.

Мерный бак 7 состоит из мерной секции А, переливной секции Б и поворотного лотка 9, который служит для направления потока воды в мерную или переливную секцию бака.

Порядок проведения работы

1. Изучить настоящее методическое указание.
2. Начертить схему установки (рис. 10).
3. Распределить обязанности следующим образом:

- первый - руководитель работы, назначается преподавателем на предыдущем занятии;
- второй - работает краном 5 и вентилем 6;
- третий - управляет заполнением мерного бака, замеряет объем воды в мерном баке и время заполнения мерного бака;
- четвертый - управляет вентилем 8 слива из мерного бака;
- пятый - снимает показания манометра (Δp) при гидроударе.
4. Расставить людей по рабочим местам (первый).
 5. Проверить отсутствие воды в мерной секции А бака 7 и закрыть вентиль 8 (четвертый).
 6. Наклонить лоток 9 в сторону переливной секции Б мерного бака (третий).
 7. Открыть кран 5 и вентиль 6 (второй).
 8. Наклонить лоток в сторону мерной секции А бака и строго одновременно включить секундомер (третий).
 9. После наполнения мерной секции бака повернуть лоток в сторону переливной секции и одновременно выключить секундомер (третий).
 10. Записать в таблицу журнала объем V воды в мерном баке и время t заполнения мерного бака (третий).
 11. Резко перекрыть кран 5 (второй) и замерить давление по манометру.
 12. Открыть вентиль 8 и слить воду из мерного бака (четвертый).
 13. Выполнить второй опыт, повторив операции по пунктам 5...1.

Обработка опытных данных

1. Определить расход воды по формуле

$$Q = W/t, \text{ м}^3/\text{с}$$

2. Определить среднюю скорость воды в трубопроводе до гидроудара по формуле

$$W = Q/F, \text{ м/с}$$

3. Определить скорость распространения ударной волны по формуле

$$C = 1425 : \sqrt{1 + 0,01 \cdot d / \delta}, \text{ м/с}$$

4. Определить повышение давления при гидроударе по формуле Н.Е.Жуковского

$$\Delta p = \rho C V, \text{ мН/м}^2$$

5. Определить относительную ошибку

$$\delta p = (\Delta p_m - \Delta p) / \Delta p_m \cdot 100 \%$$

6. Оформить журнал лабораторной работы и представить на проверку преподавателю.

Таблица опытных данных

1. Длина трубопровода, L
2. Диаметр трубопровода, d
3. Толщина стенки трубопровода, δ

№№ п/п	Показатели	Единица измерения	Опыты	
			№ 1	№ 2
1	Объем воды в мерном баке, W	м^3		
2	Время наполнения мерного бака, t	с		
3	Расход воды, Q	$\text{м}^3/\text{с}$		
4	Площадь живого сечения трубопровода, F	м^2		
5	Скорость до закрытия крана, V	$\text{м}/\text{с}$		
6	Скорость распространения волны гидроудара, C	$\text{м}/\text{с}$		
7	Плотность воды, $\rho = \gamma/g$	$\text{кг}/\text{м}^3$		
8	Повышение давления по манометру, Δp_m	$\text{кг}/\text{см}^2$ (мПа)		
9	Повышение давления по формуле Н.Е.Жуковского, Δp	мПа		
10	Относительная ошибка, δp	$\%$		
11	Фаза гидравлического удара, T	с		

Техника безопасности

при выполнении лабораторных работ
на универсальном лабораторном стенде при изучении расходомеров
и исследовании гидравлического удара в напорном трубопроводе

1. Приступать к выполнению лабораторных работ на универсальном лабораторном стенде только после инструктажа преподавателя на рабочем месте.
2. Не допускать перелива воды в напорном баке стенда.
3. Быть предельно осторожным при использовании в работе приборов, выполненных из стекла.
4. При обнаружении трещин или нарушении целостности стеклянных приборов, поставить в известность об этом преподавателя.
5. В случае разбивания приборов, выполненных из стекла, осторожно, избегая порезов, собрать стекло.
6. При использовании в работе электрического тока:
 - не дотрагиваться к электрическим проводам, остерегаясь пробоя изоляции;
 - не дотрагиваться к оголенным электрическим проводам, в случае обнаружения таковых немедленно поставить в известность об этом преподавателя.
7. При выполнении лабораторной работы быть предельно внимательным, необходимые испытания выполнять согласно методике проведения.

Содержание

	Стр.
1. Лабораторная работа № 5	3
2. Лабораторная работа № 6	13
3. Лабораторная работа № 7	23
4. Техника безопасности	28

*Методические указания по выполнению
лабораторных работ*

ИСАЕВ
Алексей Павлович

КОЖЕВНИКОВА
Наталья Георгиевна

БЕКЕШЕВ
Борис Тимофеевич

**ГИДРАВЛИКА, ГИДРОМАШИНЫ
И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ**

Редактор Кунахович Г.А.

План 2002 г., п. 0,29, 0,30

Подписано к печати

Формат 60 x 84/16

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Уч.-изд. л. 3

Тираж 200 экз.

Заказ №

Цена 30 р.

Московский государственный
агроинженерный университет
имени В.П. Горячкина

Отпечатано в лаборатории
оперативной полиграфии

Московского государственного
агроинженерного университета имени
В.П. Горячкина

127550, Москва, Тимирязевская, 58