

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Для очной формы обучения

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по дисциплине
«ГИДРАВЛИКА»

Направление подготовки 170301 – Корабельное вооружение
Направленность (профиль) –
Морские информационные системы и оборудование
Квалификация (степень) – Бакалавр

Санкт-Петербург
РГГМУ
2018

УДК 556.536
ББК 22.253
Л12

Составители: Большаков В.А., канд. техн. наук, доцент;
 Векшина Т.В., канд. техн. наук;
 Саноцкая Н.А., канд. физ.-мат. наук.

Ответственный редактор: Исаев Д.И., канд. географ. наук, доцент, зав. кафедрой
 Гидрометрии РГГМУ

Лабораторный практикум по гидравлике. – СПб.: изд. РГГМУ, 2018 – 28 с.

Лабораторный практикум составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины «Гидравлика». Лабораторный практикум предназначен для студентов III и IV курсов очной формы обучения по направлению подготовки 170301 – Корабельное вооружение. Профиль – Морские информационные системы и оборудование. Для каждой лабораторной работы изложены цели и задачи, даны краткие теоретические основы, описание экспериментальных установок (приборов) и схемы водооборота, состав работы и порядок ее выполнения, формы журналов опытов, методика обработки и анализа результатов экспериментов, а также ссылки на рекомендуемую литературу.

© Большаков В.А., 2018
© Векшина Т.В., 2018
© Саноцкая Н.А. 2018
© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2018

Введение

Гидравлика является общетехнической дисциплиной, основной метод исследования в ней носит экспериментально-теоретический характер, поэтому для усвоения теоретических основ этого курса необходима постановка гидравлических лабораторных экспериментов.

Целью лабораторных работ является углубленная проработка наиболее сложных и практически важных разделов курса, посвященных режимам движения жидкости, интерпретации уравнения Бернулли, изучению истечения жидкости из отверстий и насадков, исследованию водосливов и процесса неустановившегося движения потока в открытом призматическом русле.

В заданиях всех лабораторных работ включены элементы научных исследований. Кроме того, в зависимости от заинтересованности студентов и их теоретической подготовки, в процессе выполнения лабораторных работ преподаватель может поставить дополнительные задачи, требующие для своего решения проведения самостоятельных экспериментальных исследований и обобщений.

Практические навыки и знания, приобретенные студентами в процессе учебных лабораторных работ, могут оказаться полезными при проведении экспериментальных работ, выполняемых по линии НИРС (научно-исследовательские работы студентов), для выполнения курсовых проектов и написания выпускной квалификационной работы (ВКР), а также в их последующей деятельности.

Из-за ограниченного учебного времени обычно лабораторные работы выполняются группами по 3–5 человек.

Общие указания

Перед тем как приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо полностью уяснить себе цель работы, ее содержание и порядок выполнения. Если теоретического материала, имеющегося в описании к работе, окажется недостаточно, необходимо воспользоваться рекомендуемой литературой.

В процессе подготовки к работе следует заготовить журнал опытов, там, где это необходимо, нарисовать принципиальную схему установки и водооборота, ознакомиться с измерительной аппаратурой. До выполнения отдельных измерений, определяющих изучаемый гидравлический процесс, надо уяснить физический смысл явлений, наблюдаемых на экспериментальной установке.

Данные экспериментов заносятся в журнал опытов, где они обрабатываются и анализируются. В каждом журнале опыта имеется строка размерности, заполнять которую нужно обязательно. При записи измеренных величин в ней указываются те единицы измерения, в каких производились измерения на экспериментальной установке. Например, известно, что отметки уровня воды в лаборатории обычно определяются мерными иглами в сантиметрах с точностью до сотых долей, расходы воды измеряются в литрах и т. д. При обработке результатов экспериментов все измеренные величины выражаются в системе СИ.

Одной из задач, проводимых в лаборатории занятий, является привитие студентам навыков самостоятельного выполнения экспериментальных исследований. Поэтому при бригадном способе выполнения лабораторных работ и коллективной подготовке отчета сдача зачета по лабораторной работе производится индивидуально каждым студентом путем ответа на вопросы по содержанию работы, усвоению ее теоретических основ, методам выполнения измерений, обработке и анализу экспериментального материала.

Во время выполнения лабораторных работ необходимо строго соблюдать правила техники безопасности, с которыми каждый студент должен ознакомиться у ответственного лица лаборатории.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Исследование режимов движения потока в круглой трубе

Непосредственной целью работы является наблюдение за характером перемещения отдельных частиц в потоке при ламинарном и турбулентном режимах, установление критического состояния потока, определение по результатам измерений значений числа Рейнольдса, характеризующих соответствующие режимы потока, и сопоставление найденных значений числа Рейнольдса с критическим значением, взятым из справочника.

Теоретические основы рассматриваемого вопроса изложены в учебнике [1], § 3-24 и справочнике [2], § 4-1.

Основная расчетная формула для определения числа Рейнольдса имеет вид:

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu}, \quad (1.1)$$

где V – средняя скорость потока;
 d – характерный линейный размер потока (диаметр трубы);
 ν – кинематический коэффициент вязкости.

Описание прибора и водооборота

Прибор состоит из двух резервуаров 1 и 2 (рис. 1), которые во избежание колебаний, вызываемых хождением по полу, с помощью кронштейнов укреплены на капитальной стене лаборатории. Резервуары соединены между собой стеклянной трубкой 3 с внутренним диаметром d . К входной части трубки присоединена воронка 4, к выходной части – воронка 5. Резервуар 1 имеет в верхней части воронку 6 для заливки жидкости. Резервуар 2 имеет в нижней части воронку 7 для слива жидкости. Резервуар 2 соединен с воронкой 8, которая в свою очередь соединена с воронкой 9. Воронка 9 соединена с воронкой 10, которая в свою очередь соединена с воронкой 11. Воронка 11 соединена с воронкой 12, которая в свою очередь соединена с воронкой 13. Воронка 13 соединена с воронкой 14, которая в свою очередь соединена с воронкой 15. Воронка 15 соединена с воронкой 16, которая в свою очередь соединена с воронкой 17. Воронка 17 соединена с воронкой 18, которая в свою очередь соединена с воронкой 19.

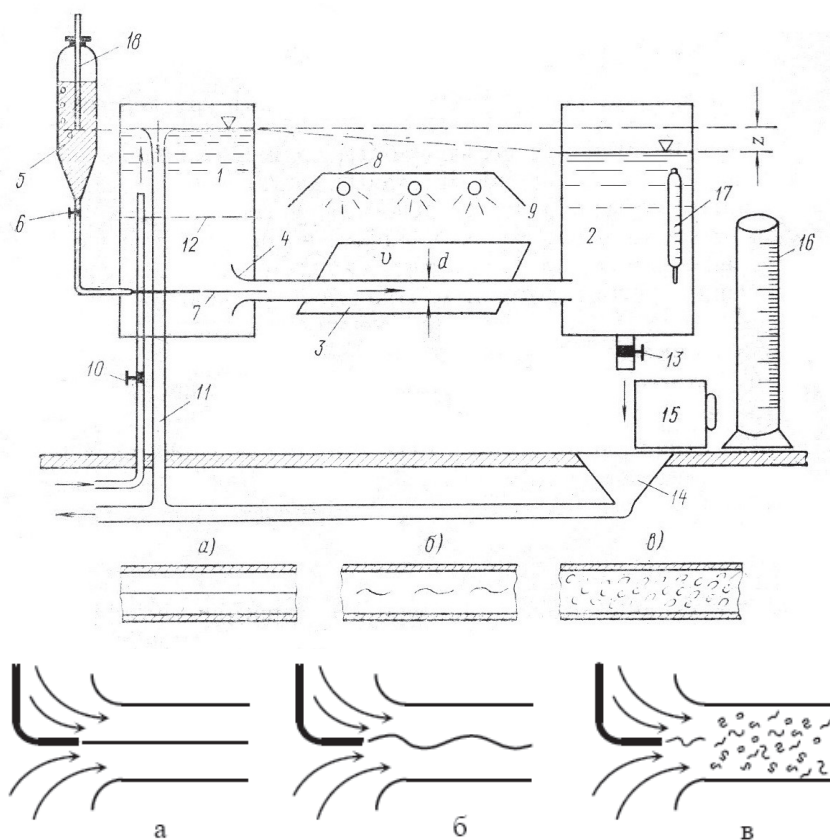


Рис. 1. Вид экспериментальной установки для изучения режимов движения жидкости

улучшающая условия входа воды из резервуара. К резервуару 1 прикреплен сосуд Мариотта 5, наполненный раствором краски темного цвета с объемным весом, близким объемному весу воды. Из этого сосуда раствор краски через кран 6 по тонкой трубке 7, заканчивающейся острым концом, попадает в центр начального участка трубки 3. Над трубкой установлен осветитель 8, благодаря которому на фоне белого экрана 9 четко просматривается поведение струек краски в потоке жидкости при различных режимах движения.

Питание прибора водой осуществляется из водопровода через кран 10. Вода подается в резервуар 1, который во избежание переполнения и для поддержания постоянного уровня имеет сбросную трубку 11. Для гашения возмущений в резервуаре установлена решетка 12.

При закрытом кране 13 уровни воды в резервуарах 1 и 2 устанавливаются на одинаковой отметке и вода в трубке 3 не движется. При открытом кране 13 уровень воды в резервуаре 2 понижается, создается перепад уровней z , от величины которого зависит скорость потока в трубке 3. Вода из резервуара 2 сливается в воронку 14.

Расход воды в трубке 3 при установившемся движении соответствует расходу через кран 13, который можно измерить объемным способом с помощью емкости 15 и мерного сосуда 16. Температура воды измеряется ртутным термометром 17, помещенным в резервуаре 2 у выхода воды из трубки 3.

Состав работы и порядок ее выполнения

Сначала в трубке 3 устанавливается ярко выраженный ламинарный режим, о чем можно визуальным образом судить по характеру перемещения подкрашенных частиц жидкости. Затем, увеличивая скорость v с помощью крана 13, ламинарный режим сменяют переходные формы движения, достигается критическое состояние, а при дальнейшем увеличении скорости устанавливается турбулентный режим движения жидкости в трубке. Различные режимы движения потока в трубке 3 показаны схемами *а*, *б* и *в* на рис. 1. Для каждого из характерных режимов по данным измерений в опытах определяются числа Рейнольдса по формуле (1).

Работа начинается с подготовки прибора, которая сводится к следующему.

1. Открыв кран 10, оба резервуара наполняются водой. Подача воды осуществляется в таком количестве, чтобы при наибольшем

расходе в трубке 3 холостой сброс воды 11 обеспечивал постоянную отметку воды в левом резервуаре 1.

2. Для обеспечения равенства скорости вытекания краски из сосуда Мариотта и скорости в трубке 3 необходимо следить, чтобы нижний конец трубки 18 находился на отметке уровня воды в резервуаре 1.

3. При изменении степени открытия крана 13 устанавливается требуемая скорость в трубке 3.

В условиях установившегося движения воды в трубке 3 выполняются измерения параметров потока в каждом опыте, величина которых записывается в соответствующие графы журнала опытов к л. р. № 1.

Расход воды, вытекающей из крана 13, измеряется объемным способом. Для этого под кран подставляется емкость 15 и одновременно включается секундомер. При наполнении некоторого объема воды емкость отводится в сторону и одновременно выключается секундомер. Объем набранной воды W измеряется мерным сосудом 16 и делится на время τ . Делением расхода воды Q на площадь сечения трубки ω получаем среднюю скорость потока v . Внутренний диаметр трубки 3 обычно известен.

ЖУРНАЛ ОПЫТОВ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1

Определение режима движения потока в круглой трубе

№ опы-тов	Характер режима, определенный визуально по окрашенной струе	Измеренные величины				Вычисленные значения				$Re = \frac{Vd}{\nu}$	Характер режима, определенный по числу Рейнольдса
		W	τ	t	d	Q	ω	V	v		
	Размерность										$Re_k = 2400$
1	Ламинарный										
2	Переходный										
3	Турбулентный										

Группа _____ Работу выполнили студенты: _____

Дата _____ Работу проверил _____

Значение кинематического коэффициента вязкости ν определяется из таблицы справочника [2, с. 13] по измеренной температуре воды t °С (температура отсчитывается с точностью до 0,1°).

Определив по данным измерений число Рейнольдса при одном режиме, приступить к выполнению второго опыта и т. д. Все измерения и расчеты повторяются в том же порядке.

После вычисления чисел Рейнольдса Re во всех опытах их значения сравнить с критическим числом Re_k , установленным в соответствии с характерным линейным размером потока, и сопоставить полученный результат с характером режима, определенным визуально. Об этом сделать отметку в соответствующей графе журнала опытов.

Литература

1. Чугаев Р.Р. Гидравлика: учебник для вузов, 4-е изд., доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат, 1982.
2. Справочник по гидравлическим расчетам: изд. 4-е, перераб. и доп. / под. ред. П.Г. Киселева. – М.: Энергия, 1972.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Интерпретация уравнения Бернулли для потока реальной жидкости в трубопроводе переменного сечения

В данной лабораторной работе ставится цель наглядно показать составляющие, входящие в уравнение Бернулли, и проследить, как изменение скорости потока по длине трубопровода приводит к преобразованию части потенциальной энергии в кинетическую и обратно.

Уравнение Бернулли относится к числу важнейших в гидравлике. Оно выражает связь между гидродинамическими элементами двух живых сечений, из которых первое расположено всегда выше по течению, чем второе. Для участка потока реальной жидкости уравнение Бернулли записывается в следующем виде:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f, \quad (2.1)$$

где z_1 и z_2 – возвышение двух рассматриваемых живых сечений потока над плоскостью сравнения OO (удельная энергия положения);

$\frac{p_1}{\gamma}$ и $\frac{p_2}{\gamma}$ – пьезометрическая высота, отвечающая гидродинамическому давлению в двух створах (удельная энергия давления);

$\frac{\alpha v_1^2}{2g}$ и $\frac{\alpha v_2^2}{2g}$ – скоростной напор (удельная кинетическая энергия) в сечениях потока;

h_f – потеря напора (энергии) на пути от первого до второго сечения за счет работы внутренних и внешних сил трения. Во всех случаях величина h_f пропорциональна скоростному напору (рис. 2.1).

Дополнительные теоретические сведения об уравнении Бернулли можно получить из учебника [1], § 3-12 – 3-16 и 4-1.

Описание экспериментального стенда

Экспериментальный стенд состоит из трубопровода переменного сечения, обеспечивающего установившееся движение воды в трубке при заданном расходе.

Автоматическое устройство 4 обеспечивает слив воды и позволяет поддерживать при неизменном напоре H постоянный во времени расход воды. Величина расхода регулируется краном 5.

По длине трубки в местах характерных изменений ее диаметра выбрано 4 створа, которые оборудованы пьезометрами открытого типа, показывающими величину гидродинамического давления $\frac{p}{\gamma}$.

Кроме того, в трех створах установлены скоростные трубки (трубки

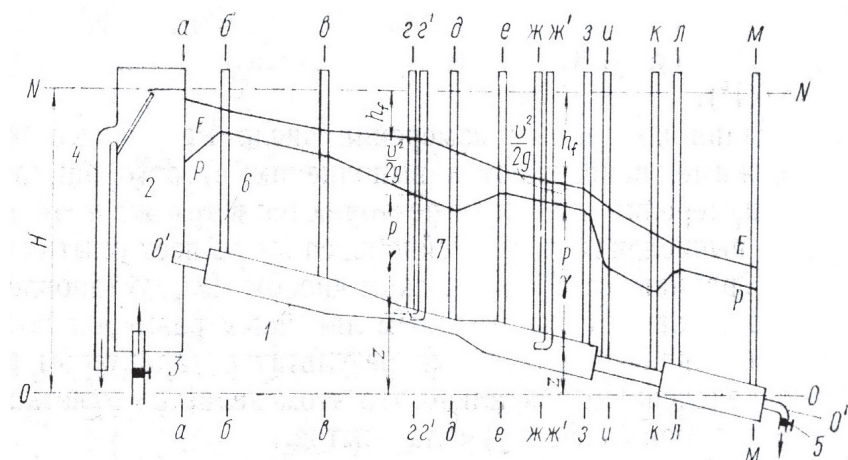


Рис. 2.1. Стенд для демонстрации геометрической интерпретации уравнения Бернулли

Пито), позволяющие производить измерение скоростного напора $\frac{v^2}{2g}$ в этих створах.

Состав работы и порядок ее выполнения

Вначале при закрытом кране 5 (скорость воды в трубке 1 равна нулю) вся система заполняется водой через кран 3 так, чтобы работал автоматический сброс. Уровень воды во всех пьезометрах устанавливается по напорной линии NN на расстоянии H от плоскости сравнения 00. В данном случае уравнение (2.1) для любого из участков по длине трубопровода записывается в виде:

$$H = z + \frac{p}{\gamma}, \quad (2.2)$$

где правая часть состоит только из двух членов, представляющих собой удельную потенциальную энергию. Кинетическая энергия потока и соответствующие ей потери энергии равны нулю.

При открытом кране 5 с помощью автоматического устройства 4 в трубопроводе устанавливается постоянный расход воды, при котором средняя скорость в каждом из створов будет зависеть от площади живого сечения потока, т. е. от диаметра трубки. В этом случае к любому участку трубопровода применимо уравнение (2.1) в виде:

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h_f. \quad (2.3)$$

При этом первые три слагаемых правой части уравнения (2.3) представляют собой полный напор или полную удельную энергию движущейся жидкости в створе, лежащем ниже по течению, а четвертое слагаемое есть доля кинетической энергии, теряемой в среднем единицей веса потока на рассматриваемом участке (потеря напора). Потери напора складываются из потерь напора по длине и потерь на местные сопротивления (на вход, на резкое расширение и сужение трубопровода, на плавное расширение и сужение).

Все четыре слагаемых правой части уравнения (2.3) можно увидеть на экспериментальном стенде. На стенде легко просматривается изменение составляющих уравнения Бернулли при переходе от одного створа к другому. Однако сумма их остается неизменной по длине трубопровода и равной величине H . Легко убедиться в том, что уравнение Бернулли является выражением закона сохранения энергии применительно к потоку движущейся жидкости.

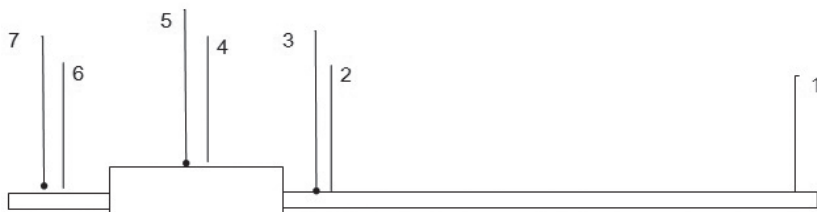
Если соединить уровни воды во всех пьезометрических трубках, то получается линия пьезометрического уклона PP . С энергетической точки зрения она отделяет потенциальную энергию потока от кинетической. В тех местах, где скорость потока увеличивается и имеет место переход части потенциальной энергии в кинетическую, пьезометрическая линия понижается. Там, где часть кинетической энергии переходит в потенциальную при уменьшении скорости, пьезометрическая линия повышается. Таким образом, пьезометрическая линия представляет собой кривую с рядом подъемов и спадов. Отсюда и пьезометрический уклон, равный элементарному падению пьезометрической линии, отнесенному к соответствующей элементарной длине, будет величиной переменной. Положительному пьезометрическому уклону соответствует падение линии PP , а отрицательному – подъем.

Линия EE , возвышающаяся над пьезометрической линией на величину скоростного напора, называется линией гидравлического уклона. Эта линия проходит по горизонтам жидкости в трубках Пито. Поскольку по длине потока потери все время увеличиваются, суммируются, линия гидравлического уклона понижается. Элементарное падение этой линии, отнесенное к соответствующей элементарной длине потока, отмеренной по его оси $O'O'$, называется гидравлическим уклоном. Величина гидравлического уклона в общем случае переменная, но в отличие от пьезометрического уклона, всегда положительная. По падению линии гидравлического уклона между двумя выбранными створами можно судить о потерях энергии потока, затрачиваемой на преодоление внешних и внутренних сил трения в движущейся жидкости.

ЖУРНАЛ ОПЫТОВ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 2

Изучение уравнения Бернулли

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f.$$



1. Определить расход воды в трубопроводе и средние скорости течения на отдельных участках:

$W_{\text{нач}} =$ $W_{\text{кон}} =$ $T, \text{ сек} =$ $Q, \text{ л/с} =$

Диаметр, мм		Длина, м		Площадь, $\text{м}^2 \cdot 10^{-3}$		Скорость, м/с	
d1		L1		W1		V1 =	
d2		L2		W2		V2 =	
d3		L3		W3		V3 =	

2. Снять показания пьезометров и рассчитать величину кинетической энергии для каждого участка:

	$h1$	$h2$	$h3$	$h4$	$h5$	$h6$	$h7$
м							
$\Delta h, \text{ м}$	-						
$V^2/2g, \text{ м}$	-						

3. Определить потери энергии по длине первого участка.

1) Для первого участка определить коэффициент гидравлического сопротивления λ по формуле Шевелева $\lambda = 0,021/d^{0.3}$.

2) Определить коэффициент гидравлического сопротивления λ из опытных данных, используя формулу Дарси–Вейсбаха:

$$h_f = \left(\frac{\lambda L}{d} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right).$$

Сравнить полученные результаты (все данные в формулы подставлять в метрах).

По формуле Шевелева	По опытным данным	Погрешность, %

Работу выполнили: _____

Литература

1. Чугаев Р.Р. Гидравлика: учебник для вузов, 4-е изд., доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат, 1982.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

Изучение истечения жидкости через отверстия в тонкой стенке и насадки при установившемся движении

Целью настоящей работы является ознакомление с явлениями, происходящими при истечении жидкости через отверстия в тонкой стенке и насадки различного типа. Кроме того, экспериментальным путем для некоторых из них необходимо определить коэффициенты расхода и сравнить их со справочными данными.

В инженерной практике отверстия и насадки применяются для определения расхода воды по измеренному напору воды. При этом используется формула вида:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}, \quad (3.1)$$

где H – напор над центром тяжести отверстия или насадка;

ω – площадь отверстия;

g – ускорение свободного падения;

μ – коэффициент расхода отверстия или насадка, равный произведению $\epsilon\phi$ (ϵ – коэффициент сжатия, ϕ – коэффициент скорости).

Дополнительные сведения по этому вопросу, можно найти в учебнике [1], § 10-1, 10-2, 10-6 – 10-9 и справочнике [2], § 5-1, 5-2, 5-6. С приборами и методикой измерения гидрометрических величин в лабораторных условиях можно ознакомиться в работе [3].

Описание установки и водооборота

Экспериментальная установка состоит из резервуара 1 (рис. 3.1), в передней стенке которого имеется круглое отверстие 2. К этому отверстию специальным винтом 3 присоединяются пластинки с отверстиями разной формы или насадки различного типа 4. Установка снабжается водой из замкнутого водооборота лаборатории. Вода из водосборного резервуара 5 центробежным насосом 6 подается в напорный резервуар 7. В напорном резервуаре благодаря автоматическому холостому сбросу 8 поддерживается постоянный уровень. Отсюда по трубопроводу через задвижку 9 вода поступает в резервуар экспериментальной установки 1. Дополнительный автоматический сброс 10 позволяет обеспечить установившееся истечение через отверстие или насадок исследуемой конструкции.

Вытекающая струя попадает в поддон установки 11, а из него в водосборный резервуар 5.

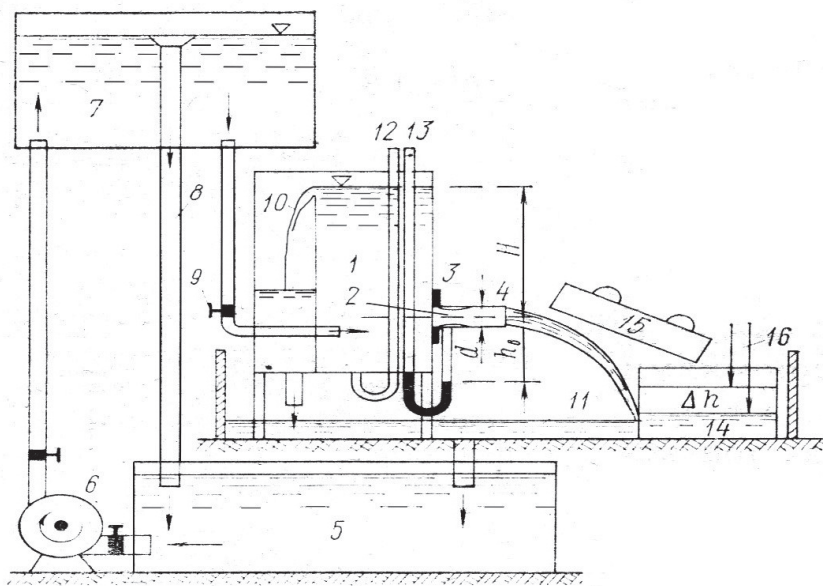


Рис. 3.1. Вид экспериментальной установки для изучения истечения жидкости через отверстия в тонкой стенке и насадки

Для определения напора над центром тяжести отверстия закреплена мерная линейка.

Расход вытекающей струи измеряется объемным способом с помощью протарированной емкости.

Состав работы и порядок ее выполнения

Через задвижку 9 в резервуар 1 подается такое количество воды, которое обеспечивало бы расход через отверстие или насадок с наибольшей пропускной способностью и автоматический сброс избыточного расхода через стенку 10, необходимый для поддержания установившегося движения.

Сначала демонстрируется работа различного типа отверстий и насадков, схематично представленных на рис. 3.2. При демонстрации необходимо особое внимание обратить на сжатие струи при выходе из круглого отверстия с острыми входными кромками (рис. 3.2-а), на отсутствие сжатия при истечении из отверстия с плавными входными кромками (рис. 3.2-б), на явление инверсии (изменение формы поперечного сечения струи по ее длине) при истечении из отверстий, имеющих некруглую форму. При работе

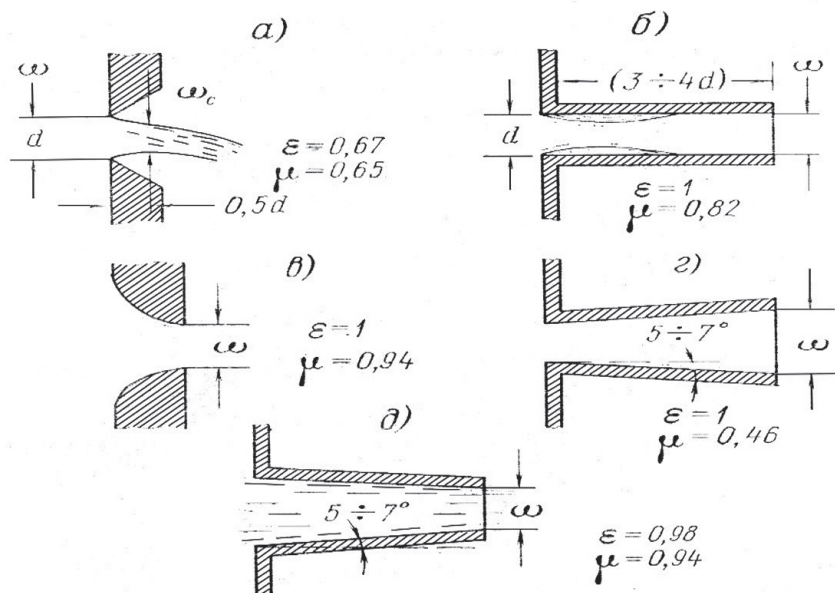


Рис. 3.2. Характер истечения жидкости из разного типа отверстий и насадок

внешнего цилиндрического насадка (рис. 3.2-б) необходимо обратить внимание на наличие вакуума внутри насадка и на отсутствие сжатия струи при выходе из насадки.

Следует сравнить также характер траектории струи, дальность ее падения при истечении через конически расходящийся насадок (рис. 3.2-в) и конически сходящийся (рис. 3.2-г).

Опытное определение коэффициента расхода μ выполняется для внешнего цилиндрического насадка, конически сходящегося и конически расходящегося насадков. Согласно формуле (3.1) для этого должна быть задана площадь выходного сечения отверстия или насадка ω (или диаметр d) и измерены напор воды H и расход Q .

Напор отсчитывается по мерной линейке. Измерение расхода воды выполняется объемным способом.

Зная расход, напор и площадь выходного сечения отверстия или насадка, по формуле (3.1) определяется коэффициент расхода μ . Полученные в опытах коэффициенты расхода сопоставляются между собой и сравниваются с аналогичными коэффициентами, приводимыми в справочнике [2] или представленными на рис. 3.2 для исследованных типов отверстий или насадков.

Литература

1. Чугаев Р.Р. Гидравлика: учебник для вузов, 4-е изд., доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат, 1982.
2. Справочник по гидравлическим расчетам: изд. 4-е, перераб. и доп. / под ред. П.Г. Киселева. – М.: Энергия, 1972.

ЖУРНАЛ ОПЫТОВ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 3

Истечение жидкости через отверстия в тонкой стенке и насадки при установившемся движении

№	Тип отверстия или насадка	Измеренные величины					Вычисленные значения					По справоч- нику μ
		h_1	h_2	τ	H	d	Δh	W	Q	ω	μ	
	Размерность											
1	Внешний цилиндрический насадок											
2	Конически сходящийся насадок											
3	Конически расходящийся насадок											

Группа _____ Работу выполнили студенты: _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Исследование прямоугольного тонкостенного водослива без бокового сжатия

Целью настоящей работы является ознакомление с различными формами струи на тонкостенном прямоугольном водосливе без бокового сжатия при неподтопленном и подтопленном истечении. Кроме того, необходимо экспериментальным путем определить коэффициент расхода при различных напорах над гребнем водослива, сопоставить полученные значения с коэффициентами расхода, вычисленными по эмпирическим формулам, и построить тарировочную кривую для испытываемого водослива.

Опытное значение коэффициента расхода может быть найдено из расчетной формулы:

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{3/2}, \quad (4.1)$$

где Q – расход воды, переливающийся через водослив;

H – напор на водосливе;

b – длина гребня водослива (ширина водосливного отверстия);

m – коэффициент расхода.

Существует несколько различных эмпирических формул для определения коэффициента расхода. В данной работе для проверки можно воспользоваться формулой, предложенной Р.Р. Чугаевым:

$$m = 0,40 + 0,05 \frac{H}{c_b}, \quad (4.2)$$

где c_b – высота стенки водослива со стороны верхнего бьефа.

Формула (4.2) применима, когда $c_b \geq 0,5H$ и $H \geq 0,1$ м.

Дополнительные сведения о тонкостенных водосливах можно получить из учебника [1], § 11-1 – 11-7, справочника [2], § 6-1 – 6-3 и рекомендаций [3], стр. 3–14.

Описание установки и водооборота

Испытываемый прямоугольный водослив с тонкой стенкой 1 (рис. 4.1) установлен в гидравлическом лотке 2. Стекланные боковые стенки лотка позволяют проследить за характером переливающейся струи. В стенке водослива устроено отверстие 3, через которое осуществляется подача атмосферного воздуха под струю.

Вода поступает на экспериментальную установку через задвижку 4 из замкнутого водооборота лаборатории. Для регулирования глубины потока в нижнем бьефе водослива в конце лотка имеется жалюзный затвор 5. Пройдя испытываемый водослив и затвор, вода стекает в водоприемный бак контрольного водослива, из которого возвращается в водосборный резервуар лаборатории. Контрольный водослив служит для измерения расхода воды.

Отметки уровня воды в лотке измеряются мерной иглой, установленной на тележке.

Состав работы и порядок ее выполнения

В начале работы на установку подается небольшой расход воды, при котором, ограничивая подачу воздуха под струю через отверстие 3, устанавливается поджатая струя (схема *а*, рис. 4.2), поджатая подтопленная снизу (схема *б*, рис. 4.2) и прилипшая (схема *в*, рис. 4.2). При неограниченной подаче воздуха под струю через резиновую трубку, соединенную с отверстием 3, на водосливе наблюдается свободное истечение (рис. 4.1).

воды на водосливе, а затвором 5 достигается неподтопленное истечение. Мерной иглой на тележке измеряется отметка гребня испытываемого водослива ∇_1 (см. рис. 4.1) и отметка воды перед ним ∇_2 на расстоянии (3–4) H от стенки водослива (перед снятием отсчета под струю через отверстие 3 подается воздух по резиновой трубке).

Расход воды на испытываемом водосливе измеряется с помощью контрольного водослива.

Данные измерений заносятся в соответствующие графы журнала опытов к л.р. № 4. Здесь же производится обработка результатов измерений и приводятся опытные значения коэффициента расхода $m_{\text{оп}}$, найденные из формулы (4.1). Кроме того, определяются значения коэффициента m по одной из эмпирических формул, например по формуле (4.2), и подсчитывается процентное отклонение вычисленных значений от опытных. Затем проводится анализ результатов сопоставления и по данным измерений напора и расхода на испытываемом водосливе строится тарировочная кривая $Q = f(H_{\text{исп}})$.

Величина длины гребня испытываемого водослива b , высота стенки c и отметка гребня контрольного водослива ∇_0 в работе обычно задаются.

Литература

1. Чугаев Р.Р. Гидравлика: учебник для вузов, 4-е изд., доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат, 1982.
2. Справочник по гидравлическим расчетам: изд. 4-е, перераб. и доп. / под. ред. П.Г. Киселева. – М.: Энергия, 1972.

ЖУРНАЛ ОПЫТОВ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 4 Исследование прямоугольного тонкостенного водослива без бокового сжатия

Запись наблюдаемых величин

№ опытов	Испытываемый водослив		Контрольный водослив		Примечание
	отметка гребня водослива ∇_1	отметка свободной поверхности ∇_2	отметка гребня водослива ∇_0	отметка свободной поверхности ∇_v	
Размерность					
1					Длина гребня водослива $b =$
2					
3					Высота стенки водослива $c =$
4					

Запись вычисленных величин

№ опытов	Напор на контрольном водосливе H_k	Расход Q	Напор на испытываемом водосливе $H_{исп}$	Опытный коэффициент расхода $m_{оп}$	Коэффициент расхода, вычисленный по формуле (4.2), m	Отклонение $\frac{\Delta m}{m_{оп}} 100 \%$
Размерность						
1						
2						
3						
4						

Группа _____ Работу выполнили: _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Исследование незатопленного водослива с широким порогом без бокового сжатия

Целью настоящей работы является ознакомление с различными режимами работы водослива с широким порогом при изменении напора воды. Кроме того, при неподтопленном истечении необходимо опытным путем определить коэффициент расхода водослива и сравнить его с вычисленным по теоретической формуле и найденным по справочнику.

Основной расчетной зависимостью в данной работе является формула:

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{3/2}, \quad (5.1)$$

где Q – расход воды, переливающийся через водослив;

H – напор на водосливе;

b – длина гребня водослива (ширина водосливного отверстия);

m – коэффициент расхода.

Дополнительные теоретические сведения и справочные нормативные данные можно получить в учебнике [1], § 11-8, 11-9, справочнике [2], § 6-5, рекомендациях [3], стр. 14–25.

Описание установки и водооборота

Исследуемый водослив с широким порогом 1 (рис. 5.1) установлен в гидравлическом лотке 2 с горизонтальным дном и стеклянными

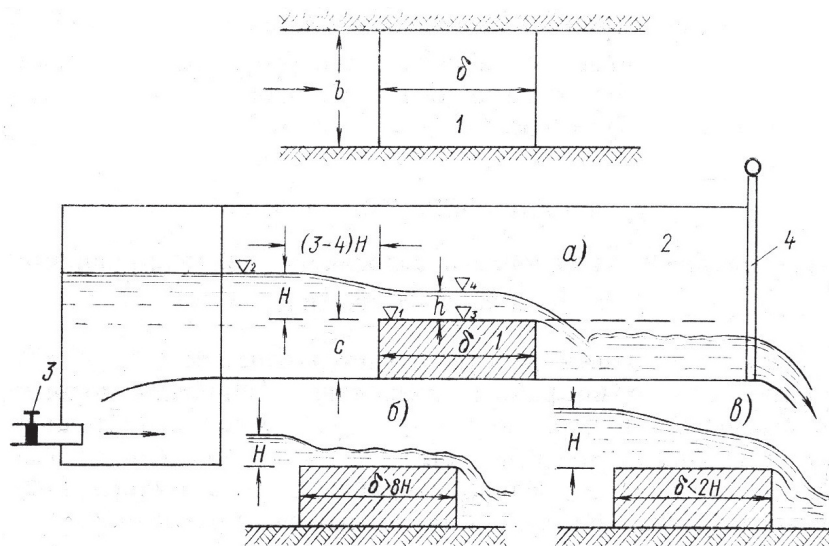


Рис. 5.1. Вид экспериментальной установки для исследования водослива с широким порогом и различные режимы работы модели

боковыми стенками, через которые хорошо просматривается переливающийся через водослив поток воды и форма его поверхности. Водослив без бокового сжатия, так как ширина гребня водослива b равна ширине подводящей части водотока (ширине лотка, рис. 5.1, вид в плане).

Питание установки водой осуществляется из замкнутого водооборота лаборатории через кран 3. В конце лотка предусмотрен затвор 4 для регулирования глубины воды в нижнем бьефе водослива. Пройдя экспериментальную установку и затвор 4, вода попадет в водоприемный бак контрольного водослива, который служит для измерения расхода воды.

Для измерения отметок уровня воды и порога водослива установка оборудована передвижной тележкой с водомерной иглой.

Состав работы и порядок ее выполнения

Сначала исследуются различные режимы работы модели водослива с широким порогом. На установку подается небольшой расход воды из расчета, чтобы длина порога водослива δ была больше $8H$ (см. рис. 5.1, схема б). В этом случае модель работает по типу короткого канала с горизонтальным дном. Затем с помощью крана 3

расход воды постепенно увеличивается и при $2H \leq \delta \leq 8H$ наблюдается режим работы модели по типу водослива с широким порогом (схема *a*). Дальнейшее увеличение расхода воды при $\delta < 2H$ приводит к тому, что модель работает в режиме водослива практического профиля (схема *в*).

При изменении расхода воды на установке и переходе от одного режима работы модели к другому необходимо обратить внимание на характер переливающейся струи (форму свободной поверхности). Для водослива с широким порогом характерны два перепада уровня воды, соединенные между собой почти горизонтальным участком, приходящимся на середину порога.

С помощью затвора 4 демонстрируется истечение через подтопленный водослив с широким порогом.

Определение опытным путем коэффициента расхода водослива с широким порогом выполняется для неподтопленного истечения при двух различных по величине расходах воды. С помощью водомерной иглы на испытываемом водосливе измеряется отметка порога водослива ∇_1 , отметка поверхности воды перед водосливом ∇_2 на расстоянии (3–4) H от его передней стенки. Над порогом водослива визуально выбирается участок с почти горизонтальной свободной поверхностью, и в середине этого участка (там, где меняется вид кривизны свободной поверхности) измеряется отметка порога водослива ∇_3 и отметка свободной поверхности ∇_4 . Результаты измерений заносятся в соответствующие графы верхней таблицы журнала опытов к л. р. № 5.

Расход воды на установке измеряется с помощью контрольного водослива.

Обработка полученных данных и их анализ выполняется в нижней таблице журнала опытов. Опытные значения коэффициента расхода $m_{\text{оп}}$ определяются из формулы (5.2):

$$m_{\text{оп}} = \frac{Q}{b\sqrt{2g}H_{\text{исп}}^{3/2}}, \quad (5.2)$$

а теоретические значения коэффициента расхода $m_{\text{т}}$ находятся по формуле:

$$m_{\text{т}} = \sqrt{\frac{k^3}{2}}, \quad (5.3)$$

где $k = h/H_{\text{исп}}$ – относительная глубина над порогом водослива.

Справочные значения коэффициента расхода $m_{\text{т}}$ выбираются из табл. 11-1 учебника [1] или табл. 6-26 справочника [2], зная отношение c/H . Ширина порога водослива b и его высота c обычно задаются.

Полученные три значения коэффициента расхода для каждого опыта сравниваются между собой.

Литература

1. Чугаев Р.Р. Гидравлика: учебник для вузов, 4-е изд., доп. и перераб. — Л.: Энергоиздат, 1982.
2. Справочник по гидравлическим расчетам: изд. 4-е, перераб. и доп. / под ред. П.Г. Киселева. — М.: Энергия, 1972.

ЖУРНАЛ ОПЫТОВ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 5

Определение коэффициента расхода для незатопленного водослива с широким порогом без бокового сжатия

Запись наблюдаемых величин

№ опытов	Испытываемый водослив				Контрольный водослив		Примечание
	отметка порога водослива ∇_1	отметка поверхности воды перед водосливом ∇_2	отметка порога водослива ∇_3	отметка поверхности воды над водосливом ∇_4	отметка гребня водослива ∇_0	отметка свободной поверхности $\nabla_в$	
Размерность							
1							Ширина порога водослива $b =$
2							Высота порога водослива $c =$

Запись вычисленных величин

№ опытов	Напор на контрольном водосливе H_k	Расход Q	Напор на испытываемом водосливе $H_{исп}$	Глубина над порогом испытываемого водослива h	Опытный коэффициент расхода $m_{оп}$	$k = \frac{h}{H_{исп}}$	Теоретический коэффициент расхода m_t	$\frac{c}{H_{исп}}$	Коэффициент расхода по справочнику m_c
Размерность									
1									
2									

Работу выполнили:

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Изучение гидравлического прыжка.

Проверка формул сопряженных глубин и определение потерь энергии в прыжке

При выполнении настоящей работы студенты знакомятся с явлением гидравлического прыжка, который возникает при истечении воды из-под щита, установленного в гидравлическом лотке прямоугольной формы сечения. Кроме того, они выполняют проверку формул сопряженных глубин и определяют величину потерь энергии в прыжке.

Формулы взаимных (сопряженных) глубин в гидравлическом прыжке, возникающем в русле прямоугольного сечения, записываются в виде:

$$h' = \frac{h''}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_k}{h''} \right)^3} - 1 \right], \quad (6.1)$$

$$h'' = \frac{h'}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_k}{h'} \right)^3} - 1 \right], \quad (6.2)$$

где h' и h'' – взаимные глубины;

h_k – критическая глубина.

Для русла прямоугольной формы сечения критическая глубина рассчитывается по формуле:

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}}, \quad (6.3)$$

где α – коэффициент неравномерности из уравнения Бернулли (для упрощения его значения можно принять $\alpha \approx 1,1$);

q – единичный расход воды;

g – ускорение свободного падения.

Потеря удельной энергии в прыжке будет:

$$E_n = \left(h' + \frac{\alpha v_1^2}{2g} \right) - \left(h'' + \frac{\alpha v_2^2}{2g} \right), \quad (6.4)$$

где v_1 и v_2 – средние по сечению скорости потока до и после гидравлического прыжка.

Дополнительные теоретические сведения о гидравлическом прыжке можно найти в [1], § 8-1 – 8-6 и [2], § 9-6.

Описание установки и водооборота

Гидравлический прыжок создается в лотке (рис. 6.1) прямоугольной формы сечения, шириной b . Дно лотка горизонтальное, боковые стенки стеклянные. Лоток перегороден плоским вертикальным щитом, за которым и возникает явление гидравлического прыжка.

Вода подается на экспериментальную установку через задвижку 3 из замкнутого водооборота лаборатории (см. рис. 6.1). При заданном расходе воды тип гидравлического прыжка и его местоположение в лотке изменяются путем маневрирования щитом 2 и жалюзийным затвором 4, установленным в конце лотка. Пройдя экспериментальную установку, вода попадает в водоприемный бак контрольного водослива, который служит для измерения расхода воды.

Отметки уровня воды и дна измеряются мерной иглой на тежке.

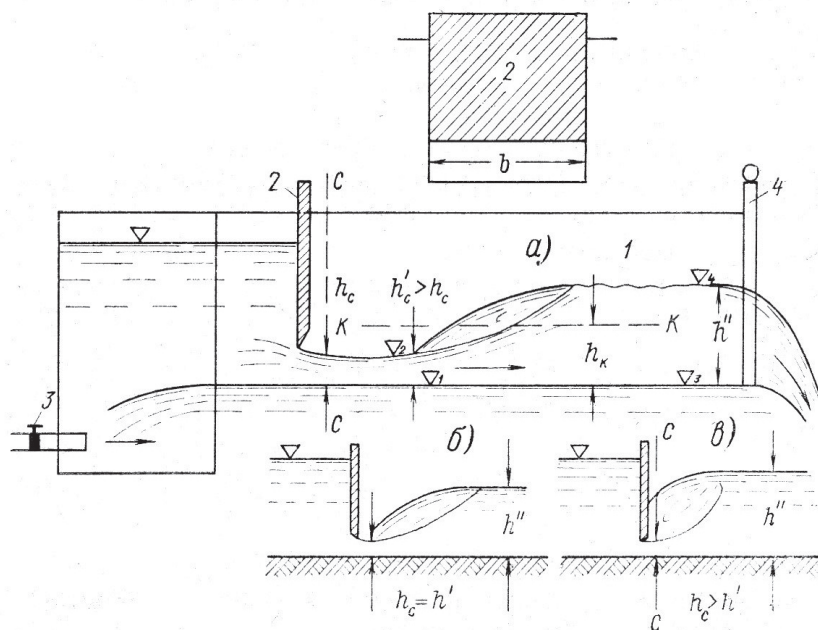


Рис. 6.1. Установка для изучения гидравлического прыжка и различные типы прыжка

Состав работы и порядок ее выполнения

При некотором расходе воды с помощью щита 2 и затвора 4 на экспериментальной установке демонстрируются гидравлические прыжки различных типов: отогнанный прыжок (схема *a*, рис. 6.1), прыжок в критическом состоянии, надвинутый, (схема *б*), затопленный прыжок (схема *в*). Обращается внимание на наличие сжатого сечения *СС* при вытекании струи из-под щита и на то, что при отогнанном прыжке между сжатым сечением и прыжком устанавливается кривая подпора (глубина вниз по течению потока непрерывно возрастает).

Все дальнейшие измерения выполняются в условиях установившегося отогнанного прыжка при таком его расположении в лотке, чтобы удобно было измерить взаимные глубины h' и h'' . Водомерной иглой, установленной на подвижной тележке, измеряются сначала отметки ∇_1 и ∇_2 , а затем ∇_3 и ∇_4 (см. рис. 6.1). Причем, в силу большой пульсации поверхности воды до и после прыжка, отметки ∇_3 и ∇_4 в каждом опыте измеряются трижды и записываются в соответствующие графы и строчки журнала опытов к л. р. № 6.

Расход воды на установке определяется с помощью контрольного водослива.

Затем выполняется обработка и анализ полученных экспериментальных данных. По соответствующим отметкам вычисляются сопряженные глубины в прыжке h' и h'' , величина которых в каждом опыте усредняется. По формулам (6.1) и (6.2) по одной измеренной глубине рассчитывается вторая сопряженная глубина и сравнивается с измеренным значением. При этом критическая глубина h_k определяется по формуле (6.3), где единичный расход воды q находится делением полного расхода Q на ширину потока b . Величина b обычно задается.

Используя сопряженные глубины, найденные опытным путем, и ширину потока, вычисляют соответствующие средние скорости потока v_1 и v_2 , а по формуле (6.4) определяют потери энергии E_{Π} в прыжке. Потери энергии обычно выражают в процентах по отношению к удельной энергии потока перед прыжком.

ЖУРНАЛ ОПЫТОВ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 6

Проверка формул сопряженных глубин и определение потерь энергии в прыжке

Отметка «О» контрольного водослива $\nabla_0 = \underline{\hspace{1cm}}$ Ширина $b = \underline{\hspace{1cm}}$

№ опытов	Измерение рас- хода воды			Определение глубин по измерениям								Вычисле- ние глубин по форму- лам					
	отсчет по водос- ливу ∇_v	на- пор H	рас- ход Q	до прыжка				после прыжка									
				отметки		h'	h'_{cp}	отметки		h''	h''_{cp}						
				дна ∇_1	по- верх- ности ∇_2			дна ∇_3	по- верх- ности ∇_4			q	h_k	h'	h''		
Размер- ность																	
1																	

Определение потерь энергии

№ опытов	Энергия до прыжка				Энергия после прыжка				Потери	
	h'	v_1	$\frac{\alpha v_1^2}{2g}$	E_1	h''	v_2	$\frac{\alpha v_2^2}{2g}$	E_2	ΔE	$\frac{\Delta E}{E_1} 100 \%$
Размерность										
1										

Работу выполнили:

Литература

а) основная литература:

1. *Стицин И.П., Соколова В.А.* Общая и речная гидравлика. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 356 с.
2. *Чугаев Р.Р.* Гидравлика: учебник для вузов, 4-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоиздат. 1982. – 672 с.

б) дополнительная литература:

1. *Гиргидов А.Д.* Механика жидкости и газа. – СПб.: изд. Политехн. ун-та, 2007. – 545 с.
2. *Штеренлихт Д.В.* Гидравлика. – М.: КолосС, 2008. – 656 с.

Содержание

Введение	3
Общие указания	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1	
Исследование режимов движения потока в круглой трубе	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2	
Интерпретация уравнения Бернулли для потока реальной жидкости в трубопроводе переменного сечения	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3	
Изучение истечения жидкости через отверстия в тонкой стенке и насадки при установившемся движении	13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4	
Исследование прямоугольного тонкостенного водослива без бокового сжатия.	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5	
Исследование незатопленного водослива с широким порогом без бокового сжатия.	20
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6	
Изучение гидравлического прыжка. Проверка формул сопряженных глубин и определение потерь энергии в прыжке	24
Литература	27

Учебное издание

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по дисциплине «ГИДРАВЛИКА»

Составители:

Владимир Алексеевич Большаков

Татьяна Викторовна Векшина

Надежда Александровна Саноцкая

Начальник РИО А.В. Ляхтейнен

Редактор Л.Ю. Кладова

Верстка М.В. Ивановой

Подписано в печать 26.06.18. Формат 60×90 ¹/₁₆. Гарнитура Times New Roman.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 1,75. Тираж 50 экз. Заказ № 682.

РГТМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
