

Министерство образования Российской Федерации

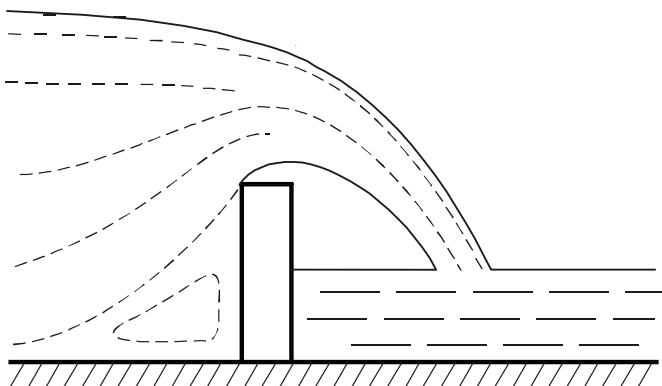
Томский государственный
архитектурно-строительный университет

*Знания, не проверенные
опытом, бесплодны
Леонардо да Винчи*



**ПРАКТИКУМ ПО ГИДРАВЛИКЕ
ОТКРЫТЫХ РУСЕЛ НА ПОРТАТИВНОЙ
ЛАБОРАТОРИИ «КАПЕЛЬКА-2»**

Методические указания к лабораторным работам



Томск – 2006

УДК 556.537

Слабожанин Г.Д. Практикум по гидравлике открытых русел на портативной лаборатории «Капелька-2». Методические указания к лабораторным работам. / Слабожанин Д.Г., Ребенков К.Н., Соболев А.И. Томск: Изд-во Томского архитектурно-строительного университета, 2006.- 27 с.

Рецензент к.ф.-м.н. А.В. Жуков

Редактор Т.С. Володина

В указаниях приводятся основные теоретические сведения, содержание и порядок выполнения демонстраций и лабораторных работ по гидравлике открытых русел на разработанной авторами портативной лаборатории «КАПЕЛЬКА - 2». По сравнению с аналогами она не имеет двигателей, насосов, вентиляей, не требует подвода воды и электроэнергии, удобна для лекционных демонстраций, экономит лабораторные площади и имеет низкую стоимость.

Методические указания предназначены для студентов строительных и технологических специальностей.

Печатается по решению методического семинара кафедры теплогазоснабжения № 5 от 01.03.2006.

Утверждены и введены в действие проректором по учебной работе О.Г. Кумпяком

с 01.03.2006

до 01.03.2011

Изд. лиц. № 021253 от 31.10.97 Подписано в печать _____. Формат 60×90/16.
Бумага офсет. Гарнитура Таймс, Печать офсет. Уч.-изд. л. _____. Тираж экз. 100
Заказ № _____

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
Отпечатано с оригинал – макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Работа 1. Изучение водослива с тонкой стенкой	6
Работа 2. Изучение водослива с широким порогом	10
Работа 3. Изучение водослива практического профиля	14
Работа 4. Исследование гидравлического прыжка	17
Работа 5. Изучение работы водопропускной трубы	20
Работа 6. Определение коэффициента шероховатости в канале	25

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы на портативной лаборатории «Капелька-2» позволяют закрепить теоретические знания и приобрести навыки проведения эксперимента по гидравлике открытых русел.

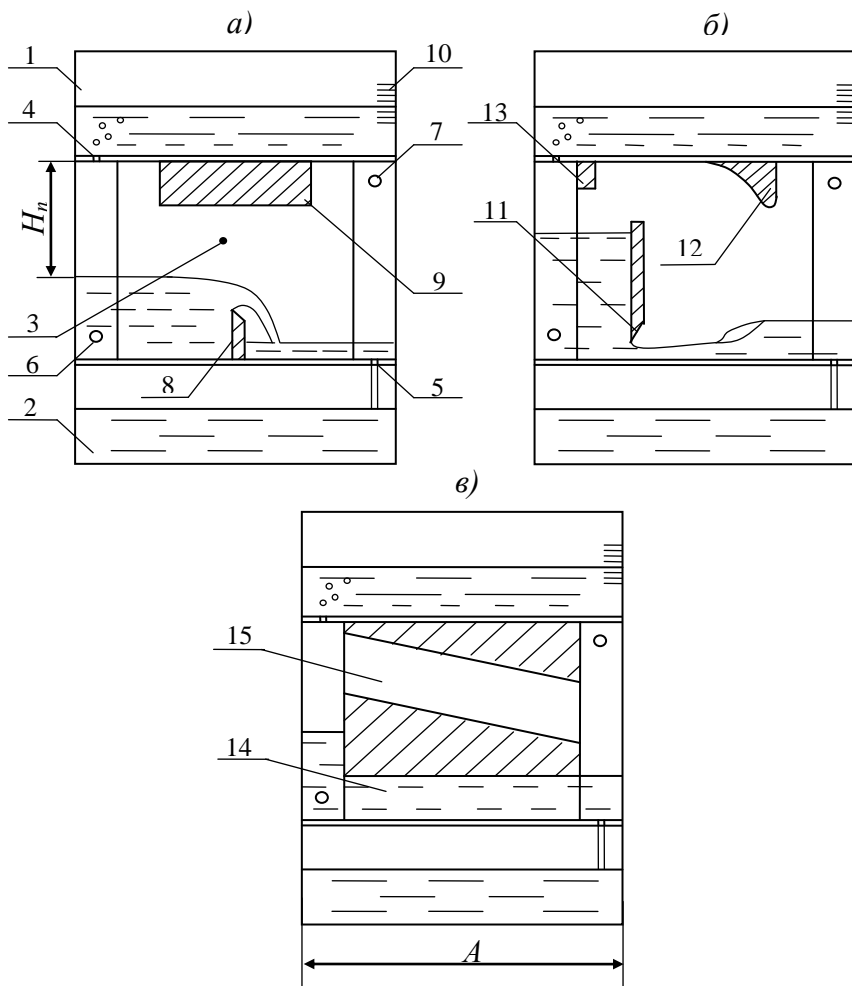
Лаборатория «Капелька-2» состоит из трёх устройств (№/№ 5, 6, 7). Устройства (рисунок введения) имеют прозрачные корпуса и содержат по два бака 1 и 2, соединённых между собой щелевым каналом (лотком) 3 через отверстия 4, 5 и 6, 7. В щелевом лотке установлены модели гидротехнических сооружений: в устройстве № 5 (рисунок введения, а) - модели водослива с тонкой стенкой 8 и водослива с широким порогом 9; в устройстве № 6 (рисунок введения, б) - модели щита (затвора) 11 и водосливов практического профиля с криволинейным 12 и с полигональным (многоугольным) 13 очертаниями; в устройстве № 7 (рисунок введения, в) – модели напорной 14 и безнапорной 15 водопропускных труб.

Устройства заполнены водой с микроскопическими частицами алюминия для визуализации течения. В одном из баков предусмотрена шкала 10 для измерения уровня воды.

Устройства работают следующим образом. При перевертывании устройства жидкость из верхнего бака 1 поступает через отверстие 6 в нижнюю часть лотка 3 и через отверстие 5 отводится в нижний бак 2, вытесняя из него воздух через отверстие 7 в верхнюю часть лотка 3 и отверстие 4 в верхний бак 1 в виде пузырьков.

Благодаря пузырьковому перепуску воздуха обеспечиваются постоянные во времени напор питания H_n лотка и расход Q в нем, несмотря на изменение уровней в баках. Это позволяет провести замеры в ходе опыта.

Расход в лотке можно регулировать наклоном устройств от себя, влево или вправо.



Схемы устройств: *a* – № 5; *б* – № 6; *в* – № 7

1, 2 – баки; 3 – щелевой канал (лоток); 4, 5 и 6, 7 – отверстия, соединяющие баки; 8 и 9 – водосливы с тонкой стенкой и широким порогом; 10 – равномерная шкала; 11 – щит (затвор); 12 и 13 – водосливы практического профиля с криволинейным и полигональным очертаниями; 14 и 15 – напорная и безнапорная водопропускные трубы

РАБОТА 1. ИЗУЧЕНИЕ ВОДОСЛИВА С ТОНКОЙ СТЕНКОЙ

Цель работы. Изучение картины протекания жидкости через водослив с тонкой стенкой, экспериментальное определение коэффициента расхода и сравнение его с расчётными данными.

1.1. Общие сведения

Водослив – преграда, через которую переливается вода. Различают водосливы с тонкой стенкой, с широким порогом и практического профиля. *Водослив с тонкой стенкой* (рис 1.1) обычно служит для измерения расходов и стабилизации уровня жидкости в резервуарах. Стенка называется *тонкой*, если струя касается только её входной кромки. Такой характер течения наблюдается, если толщина стенки $\delta < 0.5H$, либо она имеет острую входную кромку (см. водослив 8 на рисунке введения).

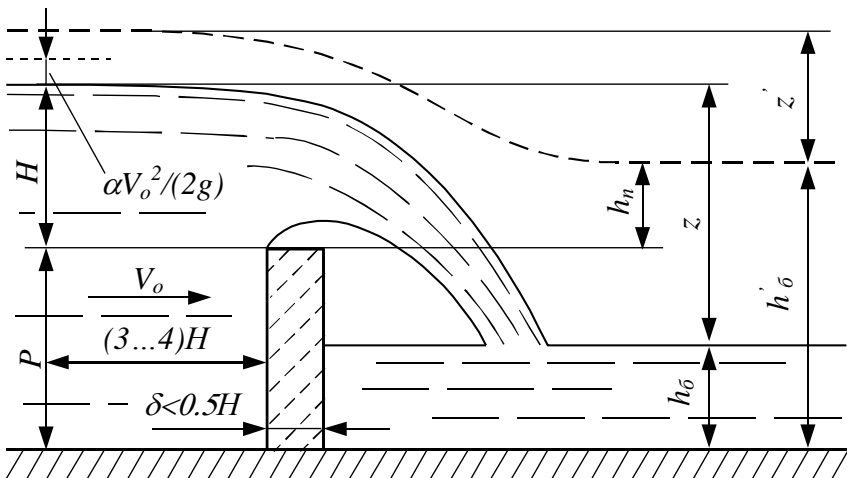


Рис. 1.1. Схема водослива с тонкой стенкой

Часть потока перед водосливом называется верхним бьефом (В.Б.), а за ним – нижним бьефом (Н.Б.). Верхняя кромка водослива именуется гребнем, а наибольшее превышение уровня воды в верхнем бьефе над гребнем – геометрическим напором H . Он обычно фиксируется перед водосливом на расстоянии приблизительно $3H$ от гребня. Глубина воды в нижнем бьефе называется бытовой глубиной h_b .

Если изменение уровня воды в нижнем бьефе не влияет на величину напора H , водослив называется *неподтопленным* (при этом свободная поверхность воды показана на рис 1.1 сплошной линией), и если увеличение h_b вызывает повышение уровня в верхнем бьефе – водослив называют *подтопленным*, а свободная поверхность занимает положение, показанное пунктиром. Условие подтопления имеет вид $h_b > P$, $Z/P < (Z/P)_{кр} \approx 0.75$, где Z – геометрический перепад уровней на водосливе, т.е. превышение уровня в верхнем бьефе над уровнем в нижнем бьефе; P – высота водослива. Превышение уровня в нижнем бьефе над гребнем водослива называется глубиной подтопления – h_n .

Расход воды через неподтопленные водосливы любого типа определяется по общей формуле:

$$Q = mb\sqrt{2g}H_0^{1.5}, \quad (1.1)$$

где Q – расход; b – ширина водослива; g – ускорение свободного падения; m – коэффициент расхода, зависящий от типа и геометрии водослива; H_0 – полный напор на водосливе

$$H_0 = H + \frac{\alpha \cdot V^2}{2g}, \quad (1.2)$$

где α – коэффициент Кориолиса (корректив кинетической энергии); $V = Q/(b(H+P))$ – скорость потока в верхнем бьефе (на подходе). При $H < 0,5P$ скоростным напором можно пренебречь и считать $H_0 = H$.

В инженерных расчётах коэффициент расхода m для неподтопленного водослива с тонкой стенкой без бокового сжатия определяют по формуле

$$m = 0.40 + \frac{0.05 \cdot H}{P}. \quad (1.3)$$

Для подтопленного водослива любого типа расход определяется формулой

$$Q = \sigma_n mb \sqrt{2gH_0^{1.5}}, \quad (1.4)$$

где коэффициент подтопления $\sigma_n < 1$ и вычисляется по эмпирическим (полученным из опыта) формулам.

1.2. Порядок выполнения работы

Работа выполняется на устройстве № 5, приведённом на рисунке введения, а.

1. Привести устройство в исходное состояние, для чего установить его на стол так, чтобы водослив с тонкой стенкой находился сверху (в верхней части лотка), и подождать, пока вся жидкость перетечёт в нижний бак.

2. Перевернуть устройство в вертикальной плоскости.

3. Наблюдать картину течения воды через водослив с тонкой стенкой и после него, выяснить влияние наклона устройства влево и вправо на отрыв струи от стенки и положение гидравлического прыжка за водосливом.

4. Повторить операции по п.п. 1 и 2, после чего измерить геометрический напор H (см. рис. 1.1) на водосливе с тонкой стенкой и время t изменения уровня в баке со шкалой на произвольно выбранную величину S , например, на 5 см.

5. Замерить высоту водослива P ; размеры горизонтального сечения бака A , B и ширина водослива (лотка) b указаны на корпусе устройства.

6. Результаты измерений занести в табл. 1.1, сделать вычисления и сравнить опытное и расчётное значения коэффициентов расхода.

Таблица 1.1

№ п/п	Наименование величин	Обозначение, формулы	Значения величин
1	Высота водослива, см	P	
2	Геометрический напор, см	H	
3	Изменение уровня воды в баке, см	S	
4	Время наблюдения за уровнем, с	t	
5	Расход воды, см ³ /с	$Q=ABS/t$	
6	Скорость потока до водослива, см/с	$V=Q/(b(H+P))$	
7	Полный напор, см	$H_0 = H + \frac{\alpha \cdot V^2}{2g}$	
8	Коэффициент расхода опытный	$m = Q/(b\sqrt{2g}H^{1.5})$	
9	Коэффициент расхода расчётный	$m^* = 0.40 + \frac{0.05 \cdot H}{P}$	

Примечание. Размеры сечения бака: $A = \dots$ см; $B = \dots$ см; ширина водослива $b = \dots$ см; коэффициент Кориолиса $\alpha = 1.1$; ускорение свободного падения $g = 981 \text{ см/с}^2$.

РАБОТА 2. ИЗУЧЕНИЕ ВОДОСЛИВА С ШИРОКИМ ПОРОГОМ

Цель работы. Изучение картины протекания воды через водосливы с широким порогом, определение коэффициента расхода, построение кривой свободной поверхности и сравнение результатов опыта со справочной информацией.

2.1. Общие сведения

Водосливом с широким порогом называют водослив, у которого толщина стенки (длина горизонтального порога) $\delta > 2H$, где H – геометрический напор. Такие водосливы наиболее часто применяют в гидротехнической практике для водозаборных и водосборных сооружений. Типичные схемы водослива с широким порогом приведены на рис. 2.1, к-к – линия критических глубин.

Форма свободной поверхности потока на водосливе с широким порогом зависит в основном от величины δ/H .

Для короткого водослива (рис.2.1, а) устанавливается кривая спада с непрерывным понижением глубины. Для нормального водослива (рис. 2.1, б) наблюдается кривая спада до сжатого сечения – h_c , затем следует кривая подпора до глубины h , которая меньше или равна критической h_k . При дальнейшем увеличении относительной длины порога происходит переход от бурного потока через гидравлический прыжок к спокойному течению. На рис. 2.1, в приведена схема потока с гидравлическим прыжком в сжатом сечении на пороге длинного водослива.

На рис. 2.1, г изображена схема подтопленного водослива. Условие подтопления обычно записывают в виде $h_n > 0.8H$.

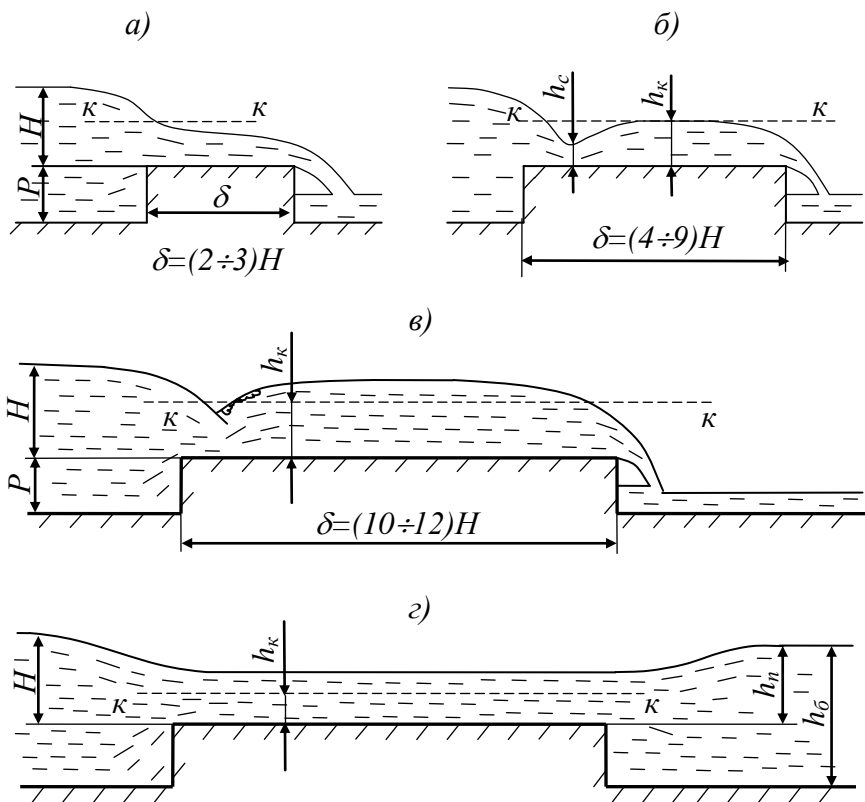


Рис. 2.1. Водосливы с широким порогом

Как указывалось выше, расход воды через неподтопленный водослив любого типа определяется формулой

$$Q = mb\sqrt{2g}H_0^{1.5}, \quad (2.1)$$

где m – коэффициент расхода; b – ширина водослива (лотка); g – ускорение свободного падения; H_0 – полный напор перед водосливом.

В инженерной практике коэффициент расхода водослива с широким порогом определяется по формуле Смыслова:

$$m = 0.30 + \frac{0.08}{1 + P/H}. \quad (2.2)$$

Критическая глубина вычисляется по формуле:

$$h_{\kappa} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gb^2}}. \quad (2.3)$$

2.2. Порядок выполнения работы

Работа выполняется на устройстве № 5 (изображение а рисунка введения).

1. Установить устройство на стол так, чтобы водослив с широким порогом оказался сверху, и подождать, пока жидкость перетечёт в нижний бак.

2. Перевернуть устройство в вертикальной плоскости.

3. Наблюдать картину течения жидкости через водослив с широким порогом, наклоняя устройство то влево, то вправо.

4. Повторить операции по п.п. 1,2 и измерить геометрический напор H (см. рис. 2.1) и время t изменения уровня в баке со шкалой на произвольно выбранную величину S .

5. Замерить высоту P и толщину δ водослива; размеры горизонтального сечения бака A , B и ширина водослива b указаны на корпусе устройства.

6. Результаты измерений занести в табл. 2.1, сделать вычисления и сравнить опытное и расчётное значения коэффициента расхода.

7. Повторить наблюдения за истечением через водослив с широким порогом, в ходе которого снять отметки поверхности (глубины) воды вдоль водослива и занести их в табл. 2.2.

8. По результатам замеров изобразить в масштабе водослив с широким порогом и кривую свободной поверхности с нанесением линии критических глубин, сравнить её с кривыми на рис. 2.1.

Таблица 2.1

№ п/п	Наименование величин	Обозначение, формулы	Значения величин
1	Высота водослива, см	P	
2	Толщина водослива, см	δ	
3	Геометрический напор, см	H	
4	Изменение уровня воды в баке, см	S	
5	Время наблюдения за уровнем, с	t	
6	Расход воды, см ³ /с	$Q=ABS/t$	
7	Критическая глубина, см	$h_k = \sqrt[3]{\alpha Q^2 / (gb^2)}$	
8	Скорость потока до водослива, см/с	$V=Q/(B(H+P))$	
9	Полный напор, см	$H_0 = H + \frac{\alpha \cdot V^2}{2g}$	
10	Коэффициент расхода опытный	$m = \frac{Q}{b\sqrt{2g}H^{1.5}}$	
11	Коэффициент расхода расчётный	$m^* = 0.30 + \frac{0.08}{1 + P/H}$	

Примечание. Размеры сечения бака: $A= \dots$ см, $B= \dots$ см; ширина водослива $b = \dots$ см; коэффициент Кориолиса $\alpha = 1.1$; ускорение свободного падения $g = 981 \text{ см/с}^2$.

Таблица 2.2

№ сечения	1	2	3	4	5
Отметка, см					

РАБОТА 3. ИЗУЧЕНИЕ ВОДОСЛИВА ПРАКТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Цель работы. Изучение картины протекания воды через водослив практического профиля, экспериментальное определение коэффициента расхода и сравнение его со справочным.

3.1. Общие сведения

Водосливы, отличные от водосливов с тонкой стенкой и с широким порогом, называются *водосливами практического профиля*. Толщина их стенки обычно лежит в пределах $\delta=(0.5\dots 2)H$.

Водосливы практического профиля могут быть с полигональным (прямоугольным, трапецеидальным) и криволинейным (безвакуумные, вакуумные) очертаниями. Водосливы полигонального очертания применяются как водопропускные сооружения при малых расходах воды и как гасители энергии. Водосливы криволинейного очертания служат водосливными плотинами в гидроузлах.

Безвакуумные водосливы (рис. 3.1) имеют вертикальную (верховую) напорную грань, а сливная (низовая) грань очерчена по форме нижней поверхности струи, переливающейся через неподтопленный водослив с тонкой стенкой. Очертание такого водослива строится по опытным данным Кригера – Офицерова и обеспечивает его плавное обтекание и атмосферное давление под струёй. Коэффициент расхода такого водослива $m=0.48\dots 0.51$, что существенно больше, чем для водослива с тонкой стенкой и с широким порогом.

Если сливная поверхность срезана (на рис. 3.1 показана пунктиром), то под струёй устанавливается давление ниже атмосферного, а водослив называется вакуумным и коэффициент расхода увеличивается до $m=0.54\dots 0.57$.

Условия подтопления водосливов практического профиля те же, что и для водосливов с тонкой стенкой.

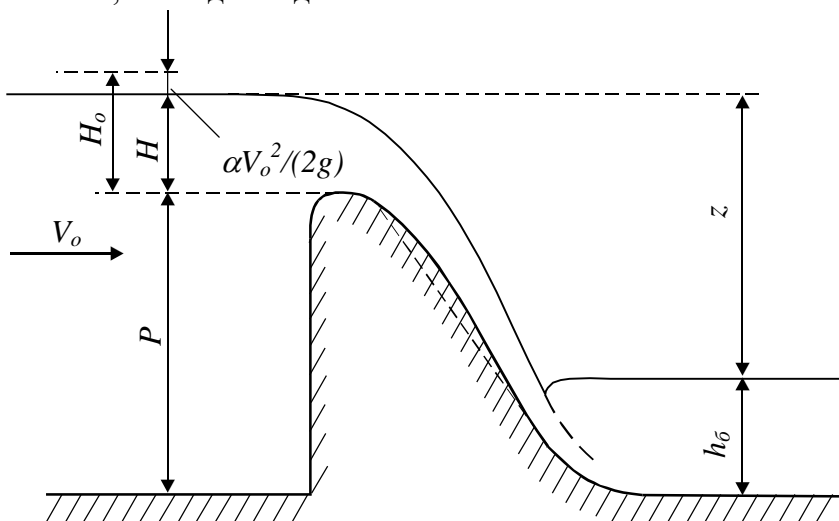


Рис. 3.1. Водослив практического профиля

3.2. Порядок выполнения работы

Работа выполняется на устройстве № 6 (изображение б рисунка введения).

1. Установить устройство на стол так, чтобы водосливы практического профиля находились сверху (изображение б рисунка введения) и подождать, пока вся жидкость перетечёт в нижний бак.

2. Перевернуть устройство в вертикальной плоскости.

3. Наблюдать картину течения воды через водосливы практического профиля с криволинейным 12 и с полигональным 13 очертаниями, а также процесс гашения кинетической энергии водосливом 13, играющим роль водобойной стенки.

4. Повторить действия по п. п. 1,2 и замерить геометрический напор H (см. рис. 3.1) и время t изменения уровня в баке со шкалой на произвольно выбранную величину S .

5. Замерить высоту водослива P ; размеры сечения бака A , B и ширина водослива b указаны на корпусе устройства.

6. Результаты измерений занести в табл. 3.1, сделать вычисления и сравнить опытное и справочное значения коэффициентов расхода.

Таблица 3.1

№ п/п	Наименование величин	Обозначение, формулы	Значения величин
1	Высота водослива, см	P	
2	Геометрический напор, см	H	
3	Изменение уровня воды в баке, см	S	
4	Время наблюдения за уровнем, с	t	
5	Расход воды, см ³ /с	$Q=ABS/t$	
6	Скорость потока до водослива, см/с	$V=Q/(B(H+P))$	
7	Полный напор, см	$H_0 = H + \frac{\alpha \cdot V^2}{2g}$	
8	Коэффициент расхода опытный	$m = Q/(b\sqrt{2gH^{1.5}})$	
9	Коэффициент расхода справочный	m^*	

Примечание. Размеры сечения бака $A = \dots$ см, $B = \dots$ см; ширина водослива $b = \dots$ см; коэффициент Кориолиса $\alpha = 1.1$; ускорение свободного падения $g = 981 \text{ см/с}^2$.

РАБОТА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЫЖКА

Цель работы. Изучение картины гидравлического прыжка, определение его параметров и сравнение их с литературными данными.

4.1. Общие сведения

Гидравлический прыжок представляет собой часть потока, в пределах которой бурный поток переходит в спокойный. Этот переход сопровождается резким возрастанием глубины потока от величины h' , меньшей критической глубины $h_{кр}$, до величины h'' , большей критической. Глубины h' и h'' называются соответственно первой и второй сопряжёнными глубинами. Гидравлический прыжок возникает после водосливных плотин, различных водомерных лотков и водосливов, дорожных труб и т.п.

На рис. 4.1 приведена схема гидравлического прыжка, возникающего при истечении жидкости из-под щита.

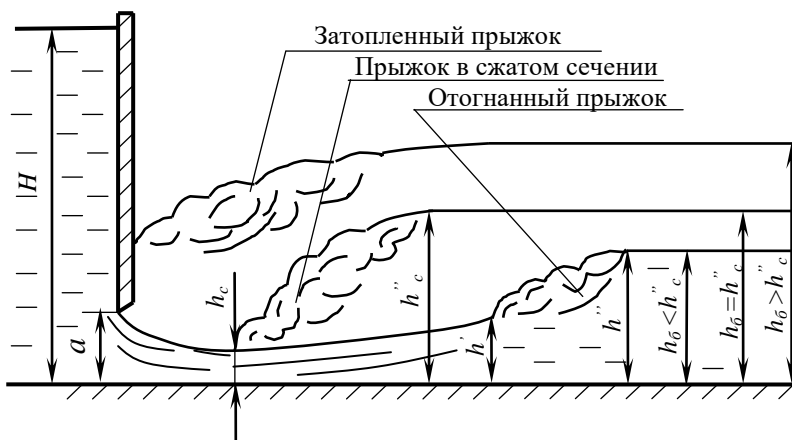


Рис. 4.1. Виды гидравлических прыжков

В гидравлическом прыжке различают две зоны. В верхней зоне образуется аэрированный вращающийся водяной валец, а в нижней наблюдается поступательное движение воды.

В зависимости от положения начала прыжка относительно сжатого сечения струи различают *отогнанный* (от сжатого сечения) прыжок, прыжок *в сжатом сечении* и *затопленный* прыжок (см. рис. 4.1).

В инженерной практике для определения вида прыжка рассчитывается вторая сопряжённая глубина h_c^{II} относительно глубины в сжатом сечении h_c , т.е. глубина в Н.Б., при которой прыжок начинается в сжатом сечении, а $h^I = h_c$

$$h_c^{II} = \frac{h_c}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_{кр}}{h_c} \right)^3} - 1 \right), \quad h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gb^2}}, \quad (4.1)$$

где Q – расход воды; b – ширина потока (лотка); $g = 981 \text{ см/с}^2$; h_c – глубина в сжатом сечении.

Сравнение h_c^{II} с бытовой глубиной h_δ позволяет определить вид прыжка:

- при $h_c^{II} < h_\delta$ – отогнанный (от сжатого сечения) прыжок;
- при $h_c^{II} = h_\delta$ – прыжок в сжатом сечении;
- при $h_c^{II} > h_\delta$ – затопленный прыжок.

4.2. Порядок выполнения работы

Работа выполняется на устройстве № 6 (изображение б рисунка введения).

1. Установить устройство на стол так, чтобы модель щита оказалась сверху, и подождать, пока вся жидкость перетецёт в нижний бак.

2. Перевернуть устройство в вертикальной плоскости и небольшим поворотом его влево или вправо установить после щита отогнанный гидравлический прыжок (см. рис 4.1), наблюдать его, при этом замерить бытовую глубину (глубину

за прыжком) $h_{\bar{o}}$ и время t изменения уровня в баке со шкалой на произвольную величину S .

3. Повторить действия по пунктам 1 и 2, создав в канале прыжок у сжатого сечения, а затем провести аналогичный опыт при затопленном прыжке.

4. Результаты занести в табл. 4.1, сделать вычисления и проанализировать их.

Таблица 4.1

№ п/п	Наименование величин	Обозначения, формулы	Знач-я величин
1	Изменение уровня воды в баке, см	S	
2	Время наблюдения за уровнем, с	t	
3	Расход воды, см ³ /с	$Q=ABS/t$	
4	Глубина в сжатом сечении, см	$h_c = \varepsilon a$	
5	Критическая глубина, см	$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gb^2}}$	
6	Сопряжённая глубина, см	$h_c'' = \frac{h_c}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_k}{h_c} \right)^3} - 1 \right)$	
7	Оттогнанный прыжок Бытовая глубина, см	$h_{\bar{o}}$	
8	Критерии прыжка	$h_{\bar{o}} < h_c^{II}$	
9	Прыжок в сжатом сечении Бытовая глубина, см	$h_{\bar{o}}$	
10	Критерии прыжка	$h_{\bar{o}} = h_c^{II}$	
11	Затопленный прыжок Бытовая глубина, см	$h_{\bar{o}}$	
12	Критерии прыжка	$h_{\bar{o}} > h_c^{II}$	

Примечание. Размеры сечения бака $A = \dots$ см, $B = \dots$ см; ширина лотка $b = \dots$ см; высота отверстия под щитом $a = \dots$ см; коэффициент Кориолиса $\alpha = 1.1$; ускорение свободного падения $g = 981$ см/с²; коэффициент вертикального сжатия струи $\varepsilon = 0.85$.

РАБОТА 5. ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ

Цель работы. Наблюдение работы водопропускной трубы в различных режимах и определение напора перед ней опытным и расчётным способами.

5.1. Общие сведения

Различают следующие режимы работы водопропускных труб.

Безнапорный режим (рис. 5.1, а). Входное сечение трубы не затоплено, на всём протяжении поток имеет свободную поверхность. Труба в этом режиме работает аналогично водосливу с широким порогом при наличии бокового сжатия.

Расход в прямоугольной трубе определится как

$$Q = mb\sqrt{2gH_0}^{1.5}, \quad (5.1)$$

где m – коэффициент расхода; b – ширина трубы; H_0 – полный напор. Значение коэффициента расхода в инженерных расчётах можно принять равным $m = 0,31$.

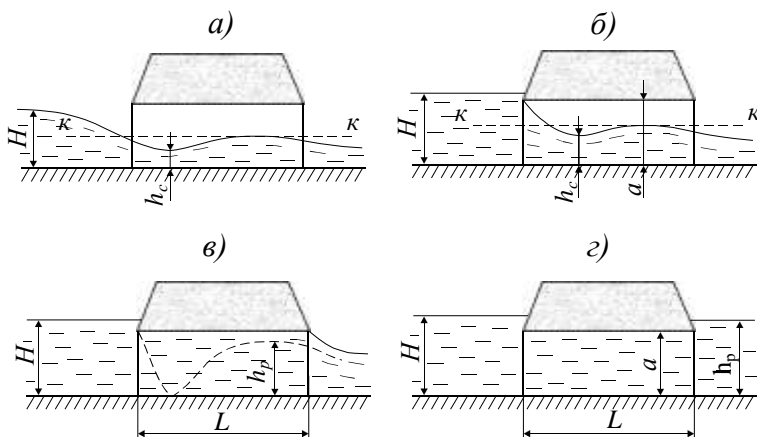


Рис. 5.1. Режимы работы водопропускных труб

Полный напор определится как

$$H_0 = H + \frac{\alpha \cdot V^2}{2g}. \quad (5.2)$$

Полунапорный режим (рис 5.1, б). Входное сечение трубы затоплено, но поток на всём протяжении трубы имеет свободную поверхность. Труба работает по схеме истечения через отверстие, поэтому расход воды для этого режима определяется по формуле:

$$Q = \mu_0 \omega \sqrt{2g(H_0 - \varepsilon a)}, \quad (5.3)$$

где H_0 – полный напор по (5.2); μ_0 – коэффициент расхода входного отверстия; $\omega = ab$ – площадь сечения трубы; a – высота трубы; $\varepsilon = h_c/a$ – степень вертикального сжатия потока; h_c – глубина в сжатом сечении. Для инженерных расчётов можно принять $\mu_0 = 0.63$; $\varepsilon = 0.86$.

Напорный режим (рис 5.1, в). Труба работает по схеме насадка, т.е. полным сечением по всей своей длине или большей её части. Выходное сечение трубы не затоплено. Для такого режима работы характерно наличие вакуума в трубе. На рис.5.2, в штриховой линией нанесено ориентировочно положение пьезометрической линии. Для количественной характеристики вакуума вводится величина $\eta = h_p/a$ – отношение пьезометрического напора на выходе из трубы к высоте трубы.

Расход определяется по формуле:

$$Q = \mu_n \omega \sqrt{2g(H_0 + iL - \eta a)}, \quad (5.4)$$

где i – уклон трубы, L – длина трубы, μ_n – коэффициент расхода, определяемый по формуле:

$$\mu_n = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi_{ex} + \lambda L/4R}}. \quad (5.5)$$

В (5.5) $\alpha = 1.1$ – коэффициент Кориолиса, ξ_{ex} – коэффициент сопротивления входа в трубу; R – гидравлический

радиус трубы; $\lambda = 0.025$ – коэффициент трения. Для инженерных расчётов можно принять $\eta = 0.85$.

Напорный – затопленный режим (рис. 5.1, г). Труба работает полным сечением, а выходное сечение полностью затоплено.

Расход определяется по формуле:

$$Q = \mu_3 \omega \sqrt{2g(H_0 + iL - h_6)}, \quad (5.6)$$

где h_6 – бытовая глубина потока после трубы; μ_0 – коэффициент расхода, определяемый по формуле:

$$\mu_0 = \frac{1}{\sqrt{\xi_{\text{вых}} + \xi_{\text{ex}} + \lambda L/4R}}, \quad (5.7)$$

где $\xi_{\text{вых}} = 1.0$ – коэффициент сопротивления выхода из трубы.

Остальные величины в (5.6), (5.7) аналогичны вышеописанным.

При проведении расчётов в процессе выполнения лабораторной работы следует, для упрощения вычислений, полный напор H_0 заменить геометрическим напором H , так как они практически не отличаются ввиду малой скорости потока перед трубой.

5.2. Порядок выполнения работы

Работа выполняется на устройстве № 7 (изображение в рисунка введения).

1. Привести устройство в исходное положение. Для этого устройство расположить так, чтобы наклонная труба находилась вверху (над горизонтальной трубой), и подождать, пока жидкость перетечёт из верхнего бака в нижний.

2. Перевернуть устройство в его плоскости, наблюдать безнапорное течение жидкости и при этом замерить напор H перед трубой, и время t изменения уровня жидкости в баке со шкалой на величину S .

3. Результаты измерений и геометрические параметры A , B , b (указаны на корпусе устройства) занести в табл. 5.1 и по указанному в ней порядку найти расчётный напор (глубину) перед трубой и сравнить его с измеренным.

4. Перевернуть устройство, наблюдать напорное течение в трубе и измерить величины H , h_0 , S , t .

5. Результаты замеров и известные геометрические параметры занести в табл. 5.2 и по указанному в ней порядку найти расчётный напор (глубину) перед напорной трубой и сравнить его с измеренным.

Таблица 5.1

№ п/п	Наименование величин	Обозначения, формулы	Значения величин
1	Глубина перед трубой опытная, см	H	
2	Изменение уровня воды в баке	S	
3	Время наблюдения за уровнем, с	t	
4	Расход воды, см ³ /с	$Q=ABS/t$	
5	Коэффициент расхода (справочное значение)	m	
6	Глубина перед трубой расчётная, см	$H' = (Q / (mb\sqrt{2g}))^{2/3}$	
7	Относительное отклонение, %	$\delta = 100(H - H') / H$	

Примечание. Размеры сечения бака $A = \dots$ см, $B = \dots$ см; ширина трубы $b = \dots$ см.

Ускорение свободного падения принять равным $g = 981$ см/с².

Таблица 5.2

№ п/п	Наименование величин	Обозначения, формулы	Значения величин
1	Глубина перед трубой опытная, см	H	
2	Глубина после трубы, см	h_0	
3	Изменение уровня в баке, см	S	
4	Время наблюдения за уровнем, с	t	
5	Размеры сечения бака, см	A, B	
6	Размеры поперечного сечения трубы, см	a, b	
7	Длина трубы, см	L	
8	Гидравлический радиус, см	$R=0.5ab/(a+b)$	
9	Коэффициент расхода	$\mu_H = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi_{вх} + \lambda L/4R}}$	
10	Глубина перед трубой расчётная, см	$H' = \eta a - iL + \left(\frac{Q}{\mu_H \omega \sqrt{2g}}\right)^2$	
11	Относительное отклонение, %	$\delta = 100(H - H')/H$	

Примечание. Коэффициент входа в трубу принять $\xi_{вх} = 0.5$; выхода – $\xi_{вых} = 1.0$; коэффициент трения (Дарси) $\lambda = 0.025$; ускорение свободного падения $g = 981 \text{ см/с}^2$.

РАБОТА 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШЕРОХОВАТОСТИ В КАНАЛЕ

Цель работы. Экспериментальное определение коэффициента шероховатости стенок канала прямоугольного сечения и сравнение его со справочными значениями.

6.1. Общие сведения

Безнапорное равномерное течение характеризуется наличием свободной поверхности и постоянством скорости и глубины по длине потока. Глубина при этом называется *нормальной*. Такое движение жидкости устанавливается при неизменности поперечного сечения, шероховатости стенок и продольного уклона канала по его длине.

При расчётах равномерного течения воды в различных каналах и трубах широко используется формула Шези:

$$Q = \omega c \sqrt{Ri}, \quad (6.1)$$

где Q – расход воды; ω – площадь живого сечения потока; C – коэффициент Шези; i – продольный уклон; χ – смоченный периметр живого сечения; $R = \omega/\chi$ – гидравлический радиус.

Величина C зависит от формы и размеров канала, а также от шероховатости его стенок. Для вычисления коэффициента Шези предложен ряд эмпирических формул.

Наибольшее распространение получила формула Маннинга для метровых размеров:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \quad (6.2)$$

для сантиметровых размеров:

$$C = \frac{4.64R^{1/6}}{n}, \quad (6.3)$$

где 4.64 – коэффициент перевода единиц измерения; n – коэффициент шероховатости.

Если геометрические параметры выражены в сантиметрах, то из 6.1 и 6.3 получаем формулу для определения коэффициента шероховатости n :

$$n = \frac{4.64 \omega R^{2/3} \sqrt{i}}{Q} \quad (6.4)$$

На рис. 6.1 приведена схема канала, используемая для определения коэффициента шероховатости его стенок.

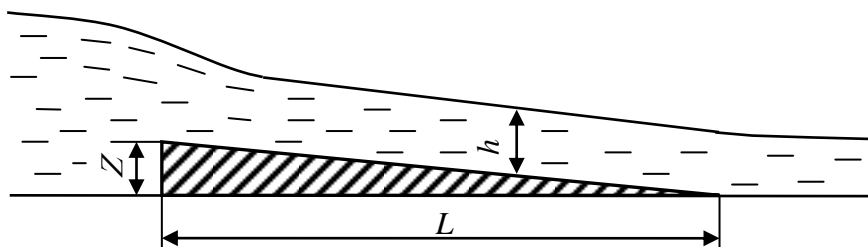


Рис. 6.1. Схема канала для определения коэффициента шероховатости

Продольный уклон дна канала определяется по формуле

$$i = Z/L,$$

где Z – перепад отметок в начале и в конце канала; L – длина канала. Глубину потока h , учитывая малый уклон, можно определять по вертикали, а не по нормали ко дну канала.

6.2. Порядок выполнения работы

Работа выполняется на устройстве № 7 (изображение в рисунка введения).

1. Расположить устройство в вертикальной плоскости так, чтобы наклонная труба находилась сверху (над горизонтальной трубой), и подождать, пока жидкость перетечёт из верхнего бака в нижний.

2. Перевернуть устройство в его плоскости, измерить нормальную глубину h (глубину на участке равномерного течения) (см. рис. 6.1) и величины S, t, Z, L .

3. Результаты измерений и геометрические параметры A, B, b (указаны на корпусе устройства) занести в табл. 6.1 и по указанному в ней порядку определить коэффициент шероховатости стенок канала, сравнить его со справочным значением для стеклянной стенки (обычно $n = 0.010 \dots 0.012$).

Таблица 6.1

№ п/п	Наименование величин	Обозначение, формулы	Значения величин
1	Нормальная глубина, см	h	
2	Изменение уровня в баке, см	S	
3	Время наблюдения за уровнем, с	t	
4	Перепад отметок дна канала, см	Z	
5	Длина канала, см	L	
6	Уклон канала	$i = Z/L$	
7	Расход жидкости, см ³ /с	$Q = ABS/t$	
8	Площадь живого сечения, см ²	$\omega = \epsilon h$	
9	Смоченный периметр, см	$\chi = \epsilon + 2h$	
10	Гидравлический радиус, см	$R = \omega/\chi$	
11	Коэффициент шероховатости опытный	$n = \frac{4,64 \omega R^{2/3} \sqrt{i}}{Q}$	
12	Коэффициент шероховатости справочный	n^*	

Примечание. Размеры сечения бака $A = \dots$ см, $B = \dots$ см; ширина канала $b = \dots$ см.