

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Санитарно-технические системы»

Утверждено на заседании кафедры
«Санитарно-технические системы»
«22» января 2020 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой



Р.А. Ковалев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине (модулю)
«Инженерная гидравлика»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
08.03.01 – "Строительство"

с профилем
"Водоснабжение и водоотведение"

Форма(ы) обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-02-20

Тула 2020 год

Разработчик(и) методических указаний

Белоусов Р.О., доцент, к.т.н., доцент
(*ФИО, должность, ученая степень, ученое звание*)



(подпись)

«Исследование гидравлического прыжка»

1. Общие сведения

Различают спокойное и бурное состояние открытого потока.

Состояние открытого потока в каком-то сечении обычно определяют путем:

а) вычисления параметра его кинетичности:

$$\pi_{\kappa} = \frac{\alpha \theta^3}{g} \cdot \frac{B}{\omega^3} \quad (1)$$

где: θ - расход потока;

α - коэффициент Кариолиса, $\alpha = 1,1$;

g – ускорение силы тяжести;

B – ширина сечения потока по свободной поверхности;

ω - площадь живого сечения;

б) сравнения глубины потока h с критической глубиной h_{κ}

При этом соблюдаются следующие условия:

а) для потоков в спокойном состоянии

$$\pi_{\kappa} < 1 \text{ и } h > h_{\kappa}$$

б) для потоков в бурном состоянии

$$\pi_{\kappa} > 1 \text{ и } h < h_{\kappa}$$

По длине русла в зависимости от очертания его продольного профиля поток может переходить из одного состояния в другое. При этом поток переход из спокойного состояния в бурное путем плавного уменьшения глубины, а из бурного состояния в спокойное – резким увеличением глубины.

Гидравлическим прыжком называется явление резкого увеличения глубины потока при переходе его из бурного состояния в спокойное (рис. 1)

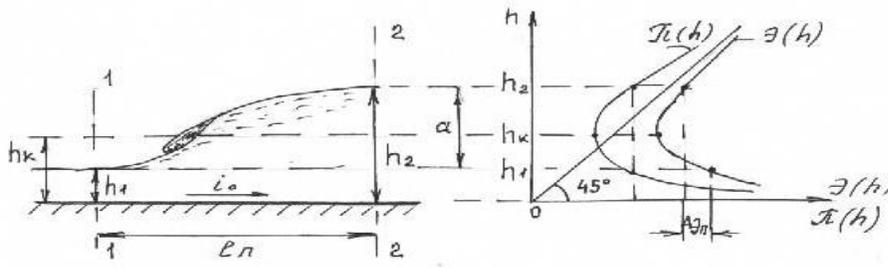


Рис. 1

Принято считать, что гидравлический прыжок происходит между ближайшими к нему сечениями потока, движение в которых можно считать плавноизменяющимися. Глубины потока в этих сечениях называют сопряженным (первая сопряженная глубина $h_1 < h_{к1}$ - в сечении до гидравлического прыжка и вторая сопряженная глубина $h_2 > h_{к1}$ - в сечении после гидравлического прыжка).

Если соблюдаются условия, что $h_2 > 2h_1$ и $\pi_{к1} > 3$, то на наклонной поверхности тела гидравлического прыжка образуется поверхностный валец. Такой гидравлический прыжок называют совершенным.

Сопряженные глубины совершенного гидравлического прыжка характеризуется равенством значений прыжковой функции $\pi(h)$, величина которая может быть вычислена по формуле:

$$\pi(h) = \frac{\alpha_0 \theta^2}{g \omega} + h_c \cdot \omega \quad (2)$$

где: α_0 - коэффициент Буссинеска, $\alpha_0 = 1,03$;

h_c – глубина погружения центра тяжести сечения, а остальные обозначения прежние.

Минимум прыжковой функции наблюдаются при критической глубине.

Для русел прямоугольной формы сечения шириной « b » расчетные формулы получаются следующими:

Параметр кинетичности:

$$\pi = \frac{\alpha_0 \theta^2}{gb^2 h^3} \quad (3)$$

Критическая глубина:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \theta^2}{gb^2}} \quad (4)$$

Прыжковая функция:

$$\pi(h) = \frac{\alpha_0 \theta^2}{ghb} + \frac{bh^2}{2} \quad (5)$$

Соотношение между сопряженными глубинами:

а) при известной второй сопряженной глубине h_2

$$h_1 = \frac{h_2}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{2h_{кр}}{h_2} \right)^3} - 1 \right] \quad (6)$$

б) при известной первой сопряженной глубине h_1

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{2h_{кр}}{h_1} \right)^3} - 1 \right] \quad (7)$$

Потери удельной энергии в гидравлическом прыжке:

$$\Delta \mathcal{E}_n = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1 \cdot h_2} \quad (8)$$

Длину прыжка l_n – определяют по эмпирическим формулам; наибольшее распространение среди которых получили:

а) формула Н.Н. Павловского

$$l_n = 2.5(1.9h_2 - h_1) \quad (9)$$

б) формула Ф.И. Пикалова

$$l_n = 4h_1\sqrt{1 + 2\pi_{\kappa 1}} \quad (10)$$

в) формула Б.А. Бахметьева

$$l_n = 5(h_2 - h_1) \quad (11)$$

Если $h_2 \leq 2h_1$ и $\pi_{\kappa 1} \leq 3$, то поверхностного вальца на теле прыжке не образуется, а поверхность воды за прыжком принимает волнистый характер в виде ряда затухающих волн. Такой гидравлический прыжок получил название прыжка-волны (рис. 2)

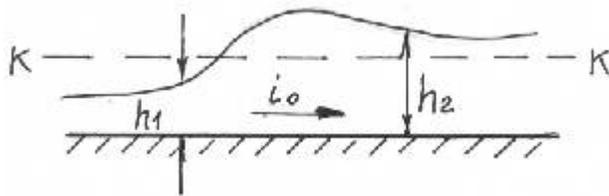


Рис.2

2.Цель опыта

Определить опытным путем сопряженные глубины h_1 и h_2 и длину гидравлического прыжка l_n и сравнить полученные значения с вычисленными по соответствующим формулам.

3. Описание лабораторной установки (рис. 3)

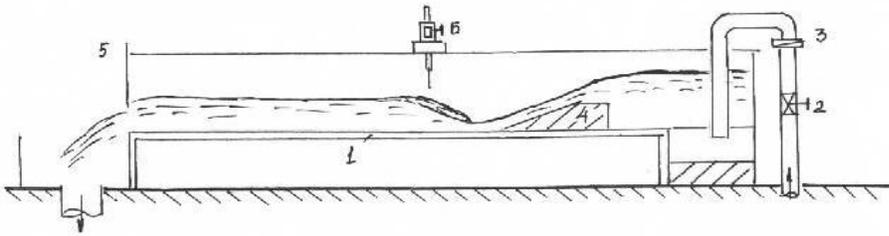


Рис. 3

Лабораторная работа проводится в гидротехнической лотке (1) со стеклянными стенками.

Вода на установку подается насосами, расход ее регулируется краном (2) и определяется по турбинному водомеру (3). Изменения состояния потока по его длине осуществляется с помощью водослива (4) и шибера-заслонки (5). Отметки дна и поверхности потока определяются с помощью мерной иглы (6).

4. Порядок выполнения опыта.

1. С помощью крана (2) и водомера (3) устанавливают заданный расход потока (по указанию преподавателя).
2. С помощью шибера-заслонки (5) устанавливают глубину потока в спокойном состоянии (по указанию преподавателя).
3. Намечают сечения с сопряженными глубинами и с помощью мерной иглы (6) определяют в них отметки дна и поверхности потока.
4. Замеряют длину гидравлического прыжка (расстояние между сечениями с сопряженными глубинами).

5. Демонстрация прыжка-волны.

6. Обрабатывают опытные данные в соответствии с журналом лабораторных работ.

5. Форма журнала лабораторной работы.

1. Схема лабораторной установки.

2. Измеряемые величины.

2.1. Разность показания водомера $W = \dots\dots\dots л.$

2.2. Показание секундомера $t = \dots\dots\dots с.$

2.3. Длина гидравлического прыжка $l_n = \dots\dots\dots см.$

2.4. Ширина потока $b = \dots\dots\dots см.$

2.5. Начальное сечение прыжка:

2.5.1. Отметка поверхности воды $Z_{01} = \dots\dots\dots см.$

2.5.2. Отметка дна лотка $Z_{\delta 1} = \dots\dots\dots см.$

2.6. Конечное сечение прыжка:

2.6.1. Отметка поверхности воды $Z_{02} = \dots\dots\dots см.$

2.6.2. Отметка дна лотка $Z_{\delta 2} = \dots\dots\dots см.$

3. Обработка результатов опыта:

3.1. Расход потока $\theta = \frac{1000W}{t} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots см^3 / с.$

3.2. Первая сопряженная глубина $h_1 = Z_{01} - Z_{\delta 1} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots см.$

3.3. Вторая сопряженная глубина $h_2 = Z_{02} - Z_{\delta 2} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots см.$

3.4. Высота гидравлического прыжка $\alpha = h_2 - h_1 = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots см.$

3.5. Критическая глубина потока $h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha\theta^2}{gb^2}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots\text{см.}$

3.6. Параметр кинетичности потока:

3.6.1. До гидравлического прыжка $\pi_{к1} = \frac{\alpha\theta^2}{gb^2h_1^3} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$

3.6.2. После гидравлического прыжка $\pi_{к1} = \frac{\alpha\theta^2}{gb^2h_2^3} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$

3.7. Прыжковая функция:

3.7.1. В начальном сечении прыжка $\pi(h_1) = \frac{\alpha\theta^2}{gbh_1} + \frac{bh_1^2}{2} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots\text{см}^3$

3.7.2. В конечном сечении прыжка $\pi(h_2) = \frac{\alpha\theta^2}{gbh_2} + \frac{bh_2^2}{2} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots\text{см}^3$

3.8. Разница значений прыжковой функции

$$\pm \delta = 2 \frac{|\pi(h_1) - \pi(h_2)|}{\pi(h_1) + \pi(h_2)} \cdot 100 = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots\%$$

3.9. Потеря удельной энергии потока в гидравлическом прыжке

$$\Delta \mathcal{E}_n = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots\text{см}$$

4. Эскиз гидравлического прыжка

5. Графики удельной энергии сечения $\mathcal{E}(h)$ и прыжковой функции $\pi(h)$.

Работу выполнил:

Работу принял:

6. Контрольные вопросы.

1. Начертить схему опытной установки и объяснить назначение отдельных ее элементов и приборов.

2. Нарисовать эскиз гидравлического прыжка и указать наименование его отдельных параметров.

3. Рассказать порядок проведения опыта.

4. Что такое параметры кинетичности потока?

5. Условие существования спокойного состояния потока.

6. Условие существования бурного состояния потока.

7. Формула и график прыжковой функции.

8. Что такое сопряженные глубины?

9. Уравнение совершенного гидравлического прыжка.

10. Виды гидравлического прыжка.

Исследование типов прыжкового сопряжения бьефов.

1 Общие сведения.

Поток с водослива или быстротока поступает в нижний бьеф в бурном состоянии, имея в начале нижнего бьефа сжатую глубину $h_{сж}$, меньшую, чем критическая h_k . Если продольный уклон дна нижнего бьефа $i_{нд}$ меньше критического i_k , то в нижнем бьефе поток перейдет из бурного состояния в спокойное, что возможно только через гидравлический прыжок (сопряжение бьефов будет иметь прыжковый характер)

Возможны три вида прыжкового сопряжения бьефов: по типу

отогнанного, надвинутого или затопленного прыжка. Установление того или иного типа сопряжения зависит от соотношения энергий потока в сжатом сечении и в нижнем бьефе. Удобнее всего оценивать возможность того или иного типа сопряжения бьефов путем сравнения глубины воды в нижнем бьефе $h_{нд}$ с отдельной глубиной h_p имеющей одинаковую величину прыжковой функции со сжатой глубиной, т.е. $\pi(h_p) = \pi(h_{сж})$.

Для русел с прямоугольной формой сечения отдельная глубина может быть вычислена по формуле

$$h_p = \frac{h_{сж}}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{2h_k}{h_{сж}} \right)^3} - 1 \right] \quad (1)$$

где h_k – критическая глубина, вычисляемая по формуле:

3

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g b^2}} \quad (2)$$

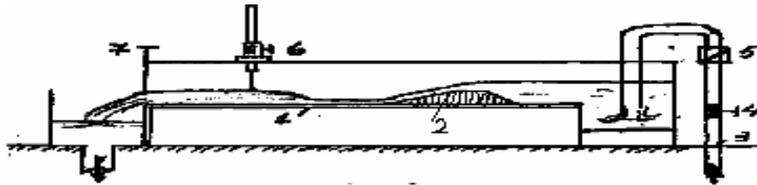
При $h_p > h_{нд}$ сопряжение бьефов произойдет по типу отогнанного прыжка (рис.1а); при $h_p = h_{нд}$ - надвинутого прыжка (рис.1б); при $h_p < h_{нд}$ - затопленного прыжка (рис.1в)

2. Цель опыта.

Исследование характера потока при сопряжении бьефов по типам отогнанного, надвинутого или затопленного гидравлического прыжка.

3. Описание лабораторной установки.

Лабораторные опыты проводятся в гидротехническом лотке 1, со стеклянными стенками, внутри которого установлен водослив 2.



Вода подается насосами по трубе 3, расход ее регулируется краном 4 и определяется по турбинному водомеру 5. Отметки дна и свободной поверхности потока измеряются мерной иглой 6. Уровень воды в нижнем бьефе устанавливается с помощью шибера 7.

4. Порядок проведения опыта.

1. С помощью крана 4 и водомера 5 устанавливают заданный расход потока (по указанию преподавателя). При этом шибера 7 полностью открыты.

2. Устанавливают мерную иглу 6 в сжатое сечение и измеряют глубину потока в нем.

3. Определяют по формуле (1) величину раздельной глубины.

4. Передвигают мерную иглу 6 в нижний бьеф и устанавливают ее по высоте в положение, соответствующее раздельной глубине.

5.С помощью шибера 7 устанавливают в нижнем бьефе глубину, равную раздельной. Наблюдают надвинутый геометрический прыжок.

6.Изменяя положение шибера 7, наблюдают отогнанный и затопленный гидравлические прыжки.

Форма журнала лабораторной работы.

Исследование типов сопряжения бьефов.

1. Схема лабораторной установки.
2. Регистрация опытных данных.
 - 2.1 Ширина лотка $b = \dots\dots\dots$ см.
- 2.2 Объем воды $W = \dots\dots\dots$ л.
 - 2.3 Время похождения $t = \dots\dots\dots$ с.
 - 2.4 Отсчет мерной иглы в сжатом сечении.
2. 4.1. -поверхность $Z_n = \dots\dots\dots$ см.
 2. 4. 2. -дно $Z_d = \dots\dots\dots$ см.
3. Определение раздельной глубины.
 - 3.1 Расход потока $Q = \frac{W}{t} 10^3 = \dots\dots 10^3 = \dots\dots$ см.
 - 3.2 Критическая глубина $h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gb^2}} = \dots\dots = \dots\dots$ см.

«Истечение через водослив практического профиля»

1. Общие сведения

Водосливами практического профиля называются водосливы, ширина порога “ δ ” которых (на уровне гребня) находится в пределах $0,67H < \delta \leq 2H$. В этом случае водная поверхность между бьефами будет иметь один перепад.

По характеру очертания гребня и водосливной поверхности водосливы практического профиля делятся на водосливы криволинейного (рис. 1а) и полигонального (рис. 1б) очертаний.

Водосливы практического профиля обычно имеют прямоугольную форму водосливного отверстия шириной “ b ”. В этом случае расход воды, переливающейся через водослив, может быть определен по формуле:

$$Q = mb\sqrt{2gH}^{3/2} \quad (1)$$

где H - напор водослива;

Рис. 1
 g - ускорение силы тяжести;

b - ширина водослива (по фронту водосливного отверстия);

m – коэффициент расхода водослива.

Коэффициент расхода “ m ” зависит от формы водослива и условий его работы.

$$m = m_o \times \sigma_{сж} \times \sigma_v \times \sigma_n \times \sigma_p \quad (2)$$

где:

1. m_o – коэффициент расхода, зависящий от формы оголовка водослива, характера очертания водосливной поверхности, соотношения основных размеров водослива и величины напора (проектного напора). Определяется по

2

опытным таблицам, графикам и формулам. (Для установленной в лотке модели водослива сообщается преподавателем).

2. $\sigma_{сж}$ – коэффициент сжатия, учитывающий, что ширина потока в верхнем бьефе (B), как правило, превышает ширину водослива (b). Зависит от условий подхода потока к водосливу, как в плане, так и в высоте. Например,

$$\sigma_{сж} = 1 - \frac{0,1}{\sqrt[3]{0,2 + \frac{P_b}{H}}} \times \sqrt[4]{\frac{b}{B}} \times \left(1 - \frac{b}{B}\right) \quad (\text{формула Березинского}) \quad (3)$$

где

P_b - высота порога водослива.

Если ширина потока в верхнем бьефе (В) равна ширине водосливного отверстия (b), то $\sigma_{сж} = 1$.

3. σ_v – коэффициент, учитывающий влияние скорости подхода потока V_o к водосливу на его пропускную способность. Скорость подхода рекомендуется учитывать, если выполняется хотя бы одно из неравенств:

$$а) V_o > 0.361\sqrt{H} \text{ м/с}; б) \omega_{66} < 4bH$$

здесь – ω_{66} площадь живого сечения потока в верхнем бьефе.

В этом случае можно воспользоваться, например следующей формулой

$$\sigma_v = 1 + 0,55 \left(\frac{H}{H + P_b} \right)^2 \quad (\text{формула МИСИ}) \quad (4)$$

в противном случае принимают $\sigma_v = 1$

4. σ_n – коэффициент полноты напора, учитывающий изменение пропускной способности водослива при отклонении величины напора Н от проектного H_{np} , при этом если $H < H_{np}$, то $\sigma_n < 1$; а если $H > H_{np}$, то $\sigma_n > 1$

Величину коэффициента σ_n определяют в зависимости от типа водослива, например, по формулам:

а) для водосливов криволинейного очертания

$$\sigma_n = 0,62 + 0,38 \times \sqrt[3]{\frac{H}{H_{np}}} \quad (\text{формула Розанова}) \quad (5)$$

7

$$- Z/P_n = \dots < 0.75$$

8.4.5. Коэффициент расхода подтопленного водослива

$$m_n = \frac{Q_{np}}{b\sqrt{2g}H_{np}^{3/2}} = \dots = \dots$$

8.4.6. Коэффициент подтопления водослива

$$\text{- по опытным данным } \sigma_n = \frac{m_n}{m_{np}} = \dots = \dots$$

- по формуле (7) $\sigma_n = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$

8.5. Пропуск расходов, отличных от проектного.

Вычисл яемые величины	Еди ница измерения	Расчетные формулы	$Q > Q_{np}$	$Q < Q_{np}$
Расход потока				
Напор водослива	$см^3 / с$	$\theta = \frac{W}{t}$		
Коэфф ициент расхода	см	$H = Z_{вб} - Z_{зб}$		
Коэфф ициент полноты напора:	-	$m = \frac{Q}{b\sqrt{2gH}^{\frac{1}{2}}}$		
а) из опыта	-	$\sigma_n = \frac{m}{m_{np}}$		
б) по формуле (5) или (6)	-			

Работу выполнил:

Работу принял:

7.5.2. Отметка нижнего бьефа $Z_{нб} \dots\dots\dots см$.

7.6. Пропуск расхода, больше проектного:

7.6.1. Отметка верхнего бьефа $Z_{вб} \dots\dots\dots см$

7.6.2. Объем воды $W = \dots\dots\dots \text{см}^3$

7.6.3. Время прохождения $t = \dots\dots\dots \text{с}$.

7.7. Пропуск расхода, меньшего проектного:

7.7.1. Отметка верхнего бьефа $Z_{\text{вб}} \dots\dots\dots \text{см}$.

7.7.2. Объем воды $W = \dots\dots\dots \text{см}^3$

.

7.7.3. Время прохождения $t = \dots\dots\dots \text{с}$.

8. Обработка опытных данных

8.1. Высота порога водослива.

$$P_{\text{в}} = Z_{\text{вб}} - Z_{\text{гвб}} = \dots\dots\dots \text{см}$$

8.2. Высота водослива

$$P_{\text{н}} = Z_{\text{нб}} - Z_{\text{гнб}} = \dots\dots\dots \text{см}$$

8.3. Пропуск проектного расхода:

8.3.1. Расход потока $Q_{\text{пр}} = \frac{W}{t} = \dots\dots\dots \text{см}^3 / \text{с}$.

8.3.2. Коэффициент расхода

$$m_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{b\sqrt{2gH_{\text{пр}}^{\frac{3}{2}}}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

8.4. Подтопленный водослив:

8.4.1. Напор водослива $H_{\text{н}} = Z_{\text{вб}} - Z_{\text{нб}} = \dots\dots\dots \text{см}$.

8.4.2. Глубина воды в нижнем бьефе

$$h_{\text{нб}} = Z_{\text{нб}} - Z_{\text{гнб}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{см}$$

8.4.3. Перепад уровней бьефов $Z = Z_{\text{вб}} - Z_{\text{нб}} = \dots\dots\dots \text{см}$.

8.4.4. Условия подтопления водослива

$$-Z = \dots\dots\dots \text{см} < H_{\text{н}} = \dots\dots\dots \text{см}$$

3

б) для водосливов полигональной формы

$$\sigma_{\text{н}} = 0,7 + 0,183 \frac{H}{\delta} \quad (\text{формула Базена}) \quad (6)$$

5. σ_n – коэффициент подтопления, учитывающий влияние нижнего бьефа на пропускную способность водослива. Водослив практического профиля считается подтопленным ($\sigma_n < 1$), если между напором H , высотой водослива P_n и перепадом уровней бьефов Z выполняются два условия

$$\text{а) } Z < H \quad \text{и} \quad \text{б) } \left(\frac{Z}{P_n} \right) < 0.75$$

Второе условие учитывает затопленность гидравлического прыжка за водосливом.

$$\text{В этом случае } \sigma_n = 1,05 \times \left(1 + 0,2 \times \frac{h_{\text{нб}} - P_n}{P_n} \right) \times \sqrt[3]{\frac{Z}{H}} \quad (7)$$

Если хотя бы одно из условий подтопления не выполняется, то водослив считается неподтопленным и $\sigma_n = 1$.

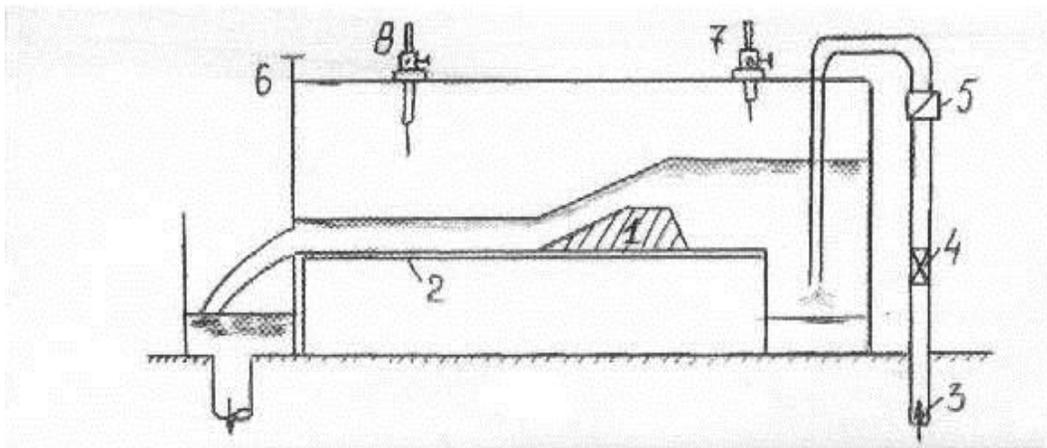
2. Цель опыта.

Определить коэффициент расхода практического профиля при проектном напоре и напоре, отличном от проектного; для неподтопленного и подтопленного водослива.

3. Описание лабораторной установки.

Модель водослива практического профиля (1) установлена в гидротехническом лотке (2) со стеклянными стенками, вода в который подается по трубе (3), а величина расхода регулируется задвижкой (4) и определяется по турбинному водомеру (5). Уровень воды в нижнем бьефе устанавливается с помощью заслонки (6).

4



Отметки свободной поверхности воды и глубины потока измеряются с помощью мерных игл (7) – в верхнем бьефе, (8) – в нижнем бьефе.

4. Порядок проведения опыта.

1. Устанавливают мерные иглы (7) и (8) поочередно над гребнем водослива и измеряют отметку последнего $Z_{гв}^{нб}$ и $Z_{гв}^{об}$.
2. Передвигают мерную иглу (7) в сторону верхнего бьефа на 320 см и измеряют отметку дна $Z_{гвб}$.
3. Передвигают иглу (8) в сторону нижнего бьефа на 40 см от гребня водослива и измеряют отметку дна нижнего бьефа $Z_{(гнб)}$.
4. Устанавливают иглу (7) в положение, соответствующее проектному напору $(Z_{об})_{np}$.
5. Регулируя задвижкой (4), добиваются, чтобы уровень воды в верхнем бьефе соответствовал отметке по игле (7) $(Z_{об})_{np}$ и определяют по водомеру (5) и секундомеру проектный расход Q_{np} .
6. Регулируя заслонкой (6), устанавливают необходимый уровень воды в нижнем бьефе (по указанию преподавателя) и определяют его отметку с помощью мерной иглы (8) $Z_{нб}$.
7. Прикрывая заслонку (6), увеличивают уровень воды в нижнем бьефе до подтопления водослива (по указанию преподавателя), измеряют уровень воды в нижнем (иглой 8) и верхнем (иглой 7) бьефах.
8. Полностью открывают заслонку (6).
9. Открывая задвижку (4) увеличивают расход до величины, большей проектного (по указанию преподавателя) измеряют его с помощью водомера (5) и секундомера и определяют мерной иглой (7) отметку поверхности воды в верхнем бьефе $Z_{об}$.
10. прикрывая задвижку (4) уменьшают расход до величины, меньшей проектного, измеряют его с помощью водомера (5) и секундомера и определяют мерной иглой (7) отметку поверхности воды в верхнем бьефе $Z_{об}$.
11. обрабатывают результаты опыта в соответствии с журналом лабораторных работ.

5. Форма журнала лабораторной работы.

1. Схема лабораторной установки.
2. Эскиз водослива практического профиля.
3. Ширина порога водослива по гребню $\delta = \dots\dots\dots см$
4. Ширина лотка $b = \dots\dots\dots см$.
5. Коэффициент расхода водослива $m_o = \dots\dots\dots$

6. Проектный напор водослива $H_{np} = \dots\dots\dots\text{см}$.

7. Регистрация опытных данных:

7.1. Отметка гребня водослива

$$Z_{гв}^{вб} = \dots\dots\dots\text{см} . \quad Z_{гв}^{нб} = \dots\dots\dots\text{см}$$

7.2. Отметка дна верхнего бьефа $Z_{(гвб)} = \dots\dots\dots\text{см}$.

7.3. Отметка дна нижнего бьефа $Z_{(гнб)} = \dots\dots\dots\text{см}$.

7.4. Пропуск проектного расхода водослива:

7.4.1. Отметка верхнего бьефа при проектном напоре $(Z_{вб})_{np} = Z_{гв} + H_{np} = \dots\dots\dots\text{см}..$

7.4.2. Объем воды $W = \dots\dots\dots\text{см}^3$.

7.4.3. Время прохождения $t = \dots\dots\dots\text{с}$.

7.4.4. Отметка нижнего бьефа $Z_{нб} \dots\dots\dots\text{см}$.

7.5. Подтопленный водослив:

7.5.1. Отметка верхнего бьефа $Z_{вб} \dots\dots\dots\text{см}$

"Истечение через водослив с широким порогом"

1. Общие сведения.

Водосливами с широким порогом называются водосливы, ширина порога " δ " которых такова, что на гребне водослива устанавливается зона "А" (рис.1) с параллелоструйным течением. Опыты показывают, что это наблюдается при соотношениях ширины порога и напора H , находящихся в пределах $2 < \frac{\delta}{H} < 10$.

В этом случае водная поверхность между бьефами (рис. 1) будет иметь два перепада уровней.

При $\delta \geq 10H$ влиянием сил трения на характер течения пренебречь нельзя, но это уже будет случай не истечения, а движения воды в коротком канале.

Расход, проходящий через водослив с широким порогом, может быть вычислен по формуле:

$$Q = m \omega \sqrt{2gH_0}, \quad (1)$$

где: m - коэффициент расхода (безразмерная величина);

ω - площадь сечения потока на гребне водослива;

g - ускорение силы тяжести;

H_0 - напор водослива с учетом скорости подхода V_0 ,

$$H_0 = H + \frac{V_0^2}{2g}.$$

Для русел с прямоугольной формой сечения формула (1) может быть представлена так:

$$Q = mb \sqrt{2g} H_0^{2/3}, \quad (2)$$

где b - ширина водослива.

Коэффициент расхода водослива " m " может быть определен так:

$$m = m_0 \sigma_{сж} \sigma_n, \quad (3)$$

где m_0 - коэффициент формы водослива, зависит от высоты порога $P_в$, напора H и очертания входного участка водослива: определяется опытным путем, а при расчетах - из справочника.

$\sigma_{сж}$ - коэффициент сжатия, зависит от соотношения ширины потока в верхнем бьефе "В" и ширины водослива "b".

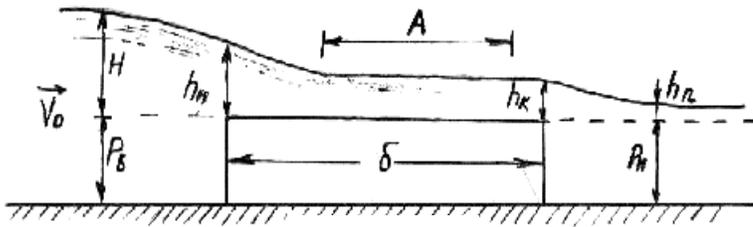


Рис. 1

Например, по формуле Березинского:

$$\sigma_{сж} = 1 - \frac{1}{\sqrt[3]{0.2 + \frac{P_d}{H}}} \times 4 \sqrt{\frac{b}{B} \left(1 - \frac{b}{B}\right)} \quad (4)$$

Для случая $B=b$, коэффициент $\sigma_{сж} = 1$, при $b < B$ $\sigma_{сж} < 1$.

σ_n - коэффициент подтопления, учитывающий влияние нижнего бьефа на пропускную способность водослива.

Если водослив недотоплен, то поверхность воды на нем образует два перепада уровней, с глубинами $h_n \approx 0.67 H$ в начале и критическая h_k - в конце водослива. В этом случае $\sigma_n = 1$.

Если глубина подтопления $h_n \geq 1.25 h_k$, то водослив с широким

порогом подтоплен и $\sigma_n < 1$. Его величину можно определить, например, по таблицам Павловского или Березовского в зависимости от соотношения $h_{п}/H_0$.

2. Цель опыта.

Определить коэффициент расхода неподтопленного и подтопленного водослива с широким порогом.

3. Описание лабораторной установки (рис. 2).

Лабораторная работа производится в гидротехническом лотке (1) со стеклянными стенками. Вода в лоток подается насосами по напорному трубопроводу (2), расход воды регулируется краном (3) и измеряется турбинным водомером (4). Внутри лотка установлен водослив с широким порогом (5). Отметки дна и поверхности воды измеряются мерными иглами (6) и (7). Уровень воды в нижней бьефе регулируется заслонкой (8).

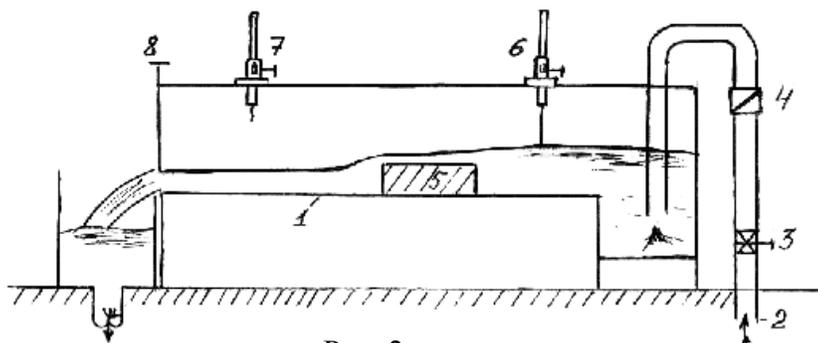


Рис. 2

4. Порядок проведения опыта.

1. Устанавливают мерные иглы над порогом водослива и измеряют его отметку $Z_{не}^{об}$ и $Z_{не}^{нб}$.
2. Передвигают мерную иглу (6) на 40 см в сторону нижнего бьефа и измеряют отметку дна $Z_{днб}$.
3. Передвигают мерную иглу (7) на 20 см, в сторону верхнего бьефа и измеряют отметку дна $Z_{двб}$.
4. Регулируя задвижкой (3) устанавливают расход потока (по указанию преподавателя) и измеряют его величину с помощью водомера (4) и секундомера.
5. Регулируя заслонкой (8), устанавливают уровень воды в нижнем бьефе при неподтопленном водосливе (по указанию преподавателя) и измеряют мерными иглами (7) и (8) уровни воды в верхнем и нижнем бьефах и над гребнем водослива.
6. Повторяют опыт при подтопленном водосливе.

5. Форма журнала лабораторной работы.

1. Схема опытной установки.
2. Эскиз водослива с широким порогом.
3. Ширина лотка $b = \dots\dots\dots$ см.
4. Табличное значение коэффициента расхода водослива
 $m_{табл} = \dots\dots\dots$
5. Регистрация опытных данных:
 - 5.1. Отметка порога водослива $Z_{не}^{об} = \dots\dots\dots$ см и $Z_{не}^{нб} = \dots\dots\dots$ см.
 - 5.2. Отметка дна нижнего бьефа $Z_{днб} = \dots\dots\dots$ см.
 - 5.3. Отметка дна верхнего бьефа $Z_{двб} = \dots\dots\dots$ см.
 - 5.4. Объем воды по водомеру $W = \dots\dots\dots$ см³.
 - 5.5. Время измерения $t = \dots\dots\dots$ с.

5.6. Отметки уровней воды Z:

6. Обработка опытных данных.

6.1. Расход потока $Q = \frac{W}{t} = \dots\dots\dots \text{см}^3/\text{с}.$

6.2. Критическая глубина $h_{\text{кр}} = 3 \sqrt{\frac{\alpha Q^2}{gb^2}} = \dots\dots\dots \text{см}.$

Вычисляемые величины	Расчетные формулы	Ед. изм.	Водосливы	
			Неподтопленный	Подтопленный
1	2	3	4	5
6.3. Геометрический напор водослива	$H = Z_{\text{вб}} - Z_{\text{нв}}$	см		
6.4. Площадь сечения верхнего бьефа	$\omega_{\text{вб}} = (Z_{\text{вб}} - Z_{\text{двб}})b$	см ²		
6.5. Скорость подхода	$V_o = \frac{\theta}{\omega_{\text{вб}}}$	см/с		
6.6 Скоростной напор	$\frac{V_o^2}{2g}$			
6.7. Напор водослива	$H_o = H + \frac{V_o}{2g}$	см		
6.8.	$m =$		$m_{\text{нп}} =$	$m_{\text{п}} =$

Коэффициент расхода	$\frac{Q}{b\sqrt{2g} \cdot H_o^{3/2}}$			
6.9. Глубина потока на водослива	$h_{п} = Z - Z_{гв}$	см		
6.10. Условия подтопления водослива	$h_{п} > 1.25 h_{кр}$	-		
6.11. Коэффициент подтопления водослива	$\sigma_{п} = \frac{m_n}{m_{ит}}$	-		

7. Контрольные вопросы.

1. Начертить схему опытной установки и объяснить назначение отдельных ее элементов и приборов.
2. Рассказать порядок проведения опыта.
3. Признаки водослива с широким порогом.
4. Расчетная формула водослива с широким порогом.
5. Признаки подтопления водослива.
6. Как учитывается скорость подхода потока к водосливу?
7. Как влияет уровень воды в нижнем бьефе на пропускную способность водослива?

"Гашение энергии бурного потока водобойным колодцем"

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Водобойный колодец служит для гашения избыточной энергии бурного потока при сопряжении бьефов путем создания глубины потока, необходимой для образования затопленного гидравлического прыжка (рис.1)

Поток расходом Q образует в конце быстротока глубину, называемую сжатой $h_{сж}$, величина которой меньше критической h_k . Глубина потока в нижнем бьефе такова, что сопряжение происходит по типу отогнанного прыжка.

Необходимую глубину водобойного колодца определяют из условия создания в колодце глубины, превышающей раздельную $h_{рдк}$ глубину, т.е.

$$h_{кол} + h_{нб} + \Delta Z = 1.1 h_{рдк}, \quad (1)$$

где $h_{кол}$ глубина колодца;

$h_{нб}$ глубина потока в нижнем бьефе (за колодцем);

$h_{рдк}$ раздельная глубина, сопряженная со сжатой глубиной $h_{сжрдк}$ на дне водобойного колодца;

ΔZ перепад уровня воды в колодце и нижнем бьефе.

Сжатую глубину на дне водобойного колодца $h_{сжрдк}$ выражают через сжатую глубину $h_{сж}$ перед колодцем. В руслах с прямоугольной формой

сечения шириной b , уравнение Бернулли для сечений потока перед колодцем и в месте его падения на дно может быть записано так:

$$h_{сж\delta k} + \frac{q^2}{2g} \left[\frac{1}{\varphi^2 h_{сж\delta k}^2} - \frac{1}{h_{сж}^2} \right] = h_{сж} + h_{кол} \quad (2)$$

где φ - коэффициент скорости при сопряжении бьефов, $\varphi=0,90,..0,97$;

q -удельный расход потока, $q=Q/b$

Раздельную глубину для русел с прямоугольной формой сечения определяют по формуле

$$h_{рдк} = \frac{h_{сж\delta k}}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{8aq^2}{g h_{сж\delta k}^3}} - 1 \right) \quad (3)$$

Перепад ΔZ может быть определен, как для случая входа воды в канал из колодца

$$Z = \frac{q^2}{2g} \left[\frac{1}{(\varphi h_{нб})^2} - \frac{1}{(1.1 \cdot h_{рдк})^2} \right] \quad (4)$$

Совместное решение уравнений 3 и 4 может быть выполнено на ЭВМ по программе, блок-схема которой изображена на рис.2. При этом можно вычислить или требуемую глубину водобойного колодца $h_{кол}$ при заданной глубине воды в нижнем бьефе $h_{нб}$ или требуемую глубину воды в нижнем бьефе $h_{нб}$ при заданной глубине колодца $h_{кол}$, что и выполняется в лабораторной работе.

Длину водобойного колодца определяют по эмпирической формуле:

$$l_{кол} = 4(h_{рдк} - h_{сж\delta k}) + l_{пад} \quad (5)$$

Длину падения стока в условие лабораторной работы можно найти так

$$l_{над} = \frac{h_{кол}}{i_{\delta}} \quad (6)$$

где i_{δ} - уклон быстротока.

В водобойном колодце, размеры которого (глубина $h_{кол}$ длина $l_{кол}$) не меньше рассчитанных, произойдет сопряжение бьефов по типу затопленного гидравлического прыжка.

2.ЦЕЛЬ ОПЫТА

1. Определение параметров бурного потока.
2. Расчет размеров водобойного колодца.
3. Демонстрация кинематики потока при гашении его энергии водобойным колодцем с рассчитанными размерами и при искажении последних.

3.ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.

Опытная установка (рис.3) состоит из напорного бака 1, моделирующего верхний бьеф, быстротока 2 и отводящего канала 3 нижнего бьефа, совмещенного с моделью водобойного колодца.

Лоток модели нижнего бьефа имеет два днища: нижний неподвижный 4 и верхний подвижный 5, расстояние между ними по высоте $h_{кол}$ (1988г., а.с.-1462399 СССР). При перемещении днища 5 в направлении от быстротока в начале отводящего канала образуется водобойный колодец глубиной $h_{кол}$. В конце отводящего лотка установлен шибер 6, с помощью которого регулируется глубина воды в нижнем бьефе $h_{нб}$

К подвижному дну присоединены перегородки 7, с помощью, первой из них образуется торцевая стенка водобойного, колодца, а остальные служат для уменьшения расхода воды под подвижным дном.

В начале колодца может быть установлена съемная вставка 8, уклон которой равен уклону дна быстротока. Следовательно, передняя стенка водобойного колодца может быть как вертикальной, так и наклонной. Вода на установку подается по трубе 9, расход ее регулируется задвижкой 10 и определяется водомером 11. Для измерения отметок применяется мерная игла 12.

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.
2. С помощью задвижки 10 установить расход потока (по указанию преподавателя) и замерить по водомеру 11 объем прошедшей воды W за интервал времени t .
3. 5
4. 3. Установить мерную иглу 12 в конце быстротока 2 и у шибера 6 замерить сжатую глубину $h_{сж}$ и глубину воды в нижнем бьефе $h_{Нб}$
5. 4. Рассчитать с применением ЭВМ требуемую глубину воды в нижнем бьефе $h_{Нб, треб}$ и длину $l_{кол}$ водобойного колодца при заданных значениях глубины $h_{кол}$.
6. 5. Установить мерную иглу 12 в отводящем канале и зафиксировать ее положение при рассчитанной глубине в нижнем бьефе.
7. 6. С помощью шибера 6 установить глубину воды в нижнем бьефе.
8. 7. Передвинуть подвижное дно 5 на рассчитанное расстояние $l_{кол}$.
9. 8. Оценить характер сопряжения бьефов при рассчитанных параметрах водобойного колодца.
10. 9. Передвинуть подвижное дно 5 в направлении к быстротоку и оценить характер сопряжения бьефов при недостаточной длине водобойного колодца.

11.10. Возвратить подвижное дно 5 в первоначальное положение, с помощью шибера 6 уменьшить глубину воды в нижнем бьефе hНД и оценить характер сопряжения бьефов при недостаточной глубине водобойного колодца (недостаточной глубине потока в нижнем бьефе).

4. ФОРМА ЖУРНАЛА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Схема лабораторной установки.

2. Глубина водобойного колодца $h_{кол} =$ см.

3. Ширина лотка нижнего бьефа $b =$ см.

4. Уклон быстротока $i_{\delta} =$

5. Регистрация опытных данных;

5.1 Замеренный по водомеру объем воды $W =$ л.

5.2 Время прохождения объема $t =$ с.

5.3 Отметка поверхности воды в конце быстротока $Z_n =$ см.

5.4 Отметка дна быстротока $Z_{д.нб} =$ см.

5.5 Отметка поверхности воды в нижнем бьефе $Z_{п.нб} =$ см.

6. Обработка опытных данных:

6.1 Расход потока $Q = \frac{10^3 W}{t} =$ см³/с.

6.2 Удельный расход потока $q = \frac{Q}{b} =$ см²/с.

6.3 Критическая глубина потока $h_k = \sqrt{\frac{a q^2}{g}} =$ см.

6.4 Сжатая глубина $h_{сж} = Z_n - Z_{д.нб} =$ см

	М								
H=Z n-Z _д	М								

11 Схема водобойного колодца и поверхности потока.

12 Схема водобойного колодца и поверхности потока при

$$l_{\text{кол}} = \quad \text{см} < l_{\text{кол,расч}} = \quad \text{см}$$

13 Схема водобойного колодца и поверхности потока при

$$h_{\text{Нб}} = \quad \text{см} < h_{\text{Нб,проб}} = \quad \text{см}$$

Работу выполнил _____

Работу проверил _____

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Понятие о глубинах: сжатой, критической, раздельной, нижнего бьефа.
2. Понятие об отогнанном и затопленном гидравлическом прыжке.
3. Принцип гашения энергии потока водобойным колодцем
4. Схема сопряжения бьефов при рассчитанных размерах водобойного колодца
5. Схема сопряжения бьефов при недостаточной глубине водобойного колодца
6. Схема сопряжения бьефов при недостаточной длине водобойного колодца

"Гашение энергии бурного потока водобойной стенкой"

1. Общие сведения.

Водобойная стенка относится к типу конструкций, применяемых для перевода потока из бурного состояния в спокойное и гашения его энергии при сопряжении бьефов в водохозяйственном строительстве. Принцип работы водобойной стенки заключается в том, что с ее помощью в месте сопряжения бьефов создается глубина, необходимая для образования затопленного гидравлического прыжка. Рассмотрим случай применения водобойной стенки за быстротоком прямоугольной формы поперечного сечения шириной b (рис.1)

Пусть расход потока равен Q , тогда величина удельного расхода. $q = \frac{Q}{b}$ (1) а

критическая глубина
$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q^2}{g}} \quad (2)$$

где α – коэффициент Кориолиса g – ускорение свободного падения.

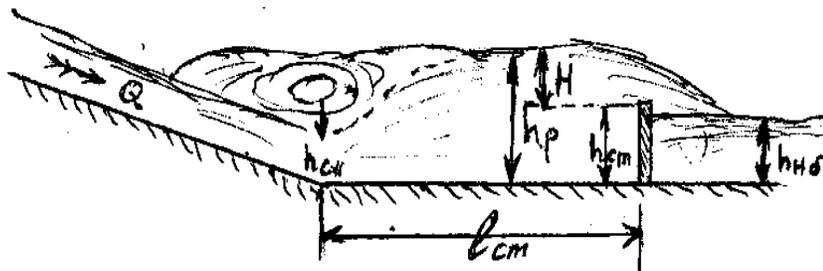


Рис 1

На быстротоке устанавливается кривая свободной поверхности типа $Вп$ (кривая спада), в конце быстротока сжатая глубина $h_{сж}$.

В месте перехода русла из быстротока в отводящий канал (в конце быстротока) выполняются условия

$$h_{сж} < h_k < h_{нб} \quad (3)$$

где $h_{нб}$ – глубина потока в отводящем канале.

В этом случае сопряжение бьефов происходит через гидравлический прыжок. Если гидравлический прыжок имел бы правую сопряженную глубину, равную $h_{сж}$, то второй его сопряженной глубиной была бы так называемая раздельная глубина h_p . Обе эти глубины имеют одинаковую прыжковую функцию.

Для русел прямоугольной формы сечения равенство прыжковой функции приводит к следующему соотношению между сопряженными глубинами:

$$h_p = \frac{h_{сж}}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{2h_k}{h_{сж}} \right)^3} - 1 \right] \quad (4)$$

Для того чтобы сопряжение бьефов происходило по типу затопленного гидравлического прыжка, необходимо соблюдать условие $h_p < h_{нб}$

Высота водобойной стенки $h_{ст}$ определяется из условия создания перед ней глубины, превышающей раздельную т.е.

$$h_{сж} = 1.1h_p - H \quad (5)$$

где H – напор над гребнем водобойной стенки.

Напор H над гребнем водобойной стенки может быть вычислен как для водослива с тонкой стенкой с прямоугольной формой водосливного отверстия без бокового сжатия.

2. Цель опыта.

Определение параметров бурного потока. Расчет размеров водобойной стенки. Исследование гашения энергии потока водобойной стенкой с рассчитанными размерами и при искажении последних.

3. Описание лабораторной работы

Опытная установка (рис 2) состоит из бака 1, моделирующего верхний бьеф ,быстротока 2 и отводящего канала 3 нижнего бьефа. Быстроток и отводящий канал изготовлены из оргстекла и имеют прямоугольную форму поперечного сечения. Вода в напорный бак подается по питающей трубе 4, величина расхода определяется по водомеру б и регулируется задвижкой 5. Уровень воды в нижнем бьефе (глубина потока в отводящем канале) регулируется заслонкой 7, установленной в конце модели отводя его канала. Отметки воды в нижнем бьефе, а также в пределах гасителя энергии (перед водобойной стенкой) замеряется мерными иглами 8 и 9

Модель водобойной стенки выполнена в виде пластин из оргстекла толщиной 9.8мм.В боковых вертикальных стенках отходящего канала через 50 мм устроены пазы шириной и глубиной по 10мм.Высота их равна высоте стенок отводящего канала что позволяет вставлять водобойную стенку в пазы сверху вниз. Первый паз расположен на расстоянии 200мм от конца быстротока. Всего устроено 11 пар пазов. Таким образом водобойную стенку можно установить на расстоянии от 200 до 700мм с интервалом через 50мм.Разница в ширине паза и толщин водобойной стенки обеспечивает свободную установку водобойной стенки между бортами отводящего канала. Ширина пластин принята равной. 10,20,30,50 и 100мм, что позволяет устраивать водобойной стенки любой высоты (до 200мм) с интервалом ее изменения через 10мм.

4.Порядок проведения опыта.

- 1.Ознакомиться с лабораторной установкой.
- 2.С помощью задвижки б установить расход потока (по указанию преподавателя).
- 3.Установить мерные иглы 8 в сжатом сечении и перед шибером 5 и измерить глубины потока в них.
- 4.Рассчитать на ЭВМ высоту водобойной стенки и требуемое расстояние до нее.

5. Установить рассчитанное число пластин в определенную расчетом пару пазов в стенке отводящего канала.

6. Оценить характер сопряжения бьефов при расчетных параметрах водобойной стенки.

7. Уменьшить высоту водобойной стенки путем удаления части пластин и оценить характер сопряжения бьефов при недостаточной высоте водобойной стенки.

8. Переставить пластины в пазы, расположенные ближе к быстротоку и оценить характер сопряжения бьефов при недостаточном расстоянии до водобойной стенки.

5. Форма журнала лабораторной работы

1. Схема лабораторной установки 2. Уклон быстротока $i_{\sigma} = \dots\dots\dots$

3. Ширина лотка нижнего бьефа $b = \dots\dots\dots$ см

4. Регистрация опытных данных:

4.1. Замеренный по водомеру объем воды $W = \dots\dots\dots$ л

4.2. Время прохождения объема $t = \dots\dots\dots$ с

4.3. Отметка поверхности воды в конце быстротока $Z_{п,\sigma} = \dots\dots\dots$ см

4.4. Отметка дна быстротока $Z_{д,\sigma} = \dots\dots\dots$ см

4.5. Отметка поверхности воды в нижнем бьефе $Z_{п,нб} = \dots\dots\dots$ см

4.6. Отметка дна лотка нижнего бьефа $Z_{д,нб} = \dots\dots\dots$ см

5. Обработка опытных данных:

5.1. Расход потока $Q = 1000W/t = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$ см³/с

5.2. Удельный расход потока

$$q = \frac{Q}{b} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{см}^2/\text{с}$$

5.3. Критическая глубина

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{см}$$

5.4 Сжатая глубина $h_{сж} = Z_{п,б} - Z_{г,б} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{см}$

5.5 Сравнение $h_{сж} <> h_k$ т.к. $h_{сж} = \dots\dots\dots \text{см}$ критической $h_{кр} = \dots\dots\dots \text{см}$, то состояние потока в сжатом сечении $\dots\dots\dots$

5.6 Глубина потока в нижнем бьефе

$$h_{нб} = Z_{п,нб} - Z_{д,нб} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{см}$$

5.7 Сравнение $h_{нб} <> h_k$. Так как $h_{нб} = \dots\dots\dots \text{см}$, а $h_k = \dots\dots\dots \text{см}$, то состояние потока в нижнем бьефе $\dots\dots\dots$

5.8. Раздельная глубина

$$h_p = \frac{h_{сж}}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{2h_k}{h_{сж}} \right)^3} - 1 \right] = \dots\dots\dots \text{см.}$$

5.9. Сравнение $h_{нб} <> h_{пб}$. Т.к. $h_p = \dots\dots\dots \text{см}$ а $h_{нб} = \dots\dots\dots \text{см}$ то гидравлический прыжок в нижнем бьефе $\dots\dots\dots$

6. Ввод исходных данных в ЭВМ: Q, b, $h_{сж}$, $h_{нб}$, h_p

7. Результаты расчета на ЭВМ:

7.1. Высота водобойной стенки $h_{ст} = \dots\dots\dots \text{см}$

7.2. Расстояние до водобойной стенки $l_{ст} = \dots\dots\dots \text{см}$

7.3 Напор водобойной стенки $H = \dots\dots\dots \text{см}$.

8. Глубины потока h (табл. 1) при рассчитанных параметрах водобойной стенки $h_{ст} = \dots\dots\dots \text{см}$ $l_{ст} = \dots\dots\dots \text{см}$.

X	М	с							
Z	М	с							
n	М								

Z	м								
g	м								
h=	м								
Zn-g	м								

9. Схема водобойной стенки и поверхности потока при рассчитанных параметрах водобойной стенки.

10. Схема водобойной стенки и поверхности потока при недостаточной высоте водобойной стенки с $h_{страсч} = \dots \text{см}$

$$h_{с\ факт} = \dots \text{см}$$

11. Схема водобойной стенки и поверхности потока при недостаточном расстоянии до стенки ($l_{страсч} = \dots \text{см}$

$$l_{ст\ факт} = \dots \text{см})$$

Работу выполнил _____

Работу принял _____

6. Контрольные вопросы

1. Схема водобойной стенки
2. Понятие о коэффициенте расхода подтопления стенки.
3. Принцип гашения энергии потока
4. Схема сопряжения бьефов при рассчитанных размерах.
5. Схема сопряжения бьефов при недостаточной высоте водобойной стенки
6. Схема сопряжения бьефов

7. Условия подтопления водобойной стенки.