

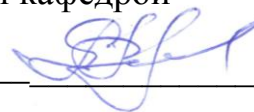
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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»  
«20» января 2022 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой



Р.А. Ковалев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
по выполнению курсовой работы  
по дисциплине (модулю)  
«Гидравлика безнапорных потоков»**

**основной профессиональной образовательной программы  
высшего образования – программы магистратуры**

по направлению подготовки  
**08.04.01 – "Строительство"**

с профилем  
**"Водоснабжение и водоотведение"**

Форма(ы) обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 080401-01-22

Тула 2022 год

## Разработчик(и) методических указаний

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



---

(подпись)

### Задание:

Вода отводится по открытому каналу прямоугольного поперечного сечения состоящему из 2-х участков: на первом участке уклон дна в три раза больше критического, на втором участке меньше критического на 10%.

Перевести отогнанный гидравлический прыжок на втором участке канала в затопленный с помощью водобойного колодца или водобойной стенки.

Промежуточные расчеты вести графическим способом с представлением расчетных таблиц и графиков.

Вариант	Расход, л/с	Ширина канала, см	Материал русла
1.	1200	120	Бетон
2.	2000	200	Керамика
3.	3000	200	Дерево
4.	4000	250	Бетон
5.	5000	300	Керамика
6.	6000	300	Бетон
7.	5500	250	Бетон
8.	4500	200	Керамика
9.	3500	200	Дерево
10.	2500	250	Бетон
11.	1500	150	Керамика
12.	1700	100	Бетон

## Расчет водобойного колодца

В прямоугольном канале шириной  $b = 22$  м устроен перепад (см. рис. 1). Установить характер сопряжения ниспадающей с перепада струи с нижним бьефом и определить размеры водобойного колодца. Расход воды в канале  $Q = 44$  м<sup>3</sup>/с, высота перепада  $p = 2,9$  м, бытовая глубина  $h_0 = 1,4$  м, коэффициент скорости  $\varphi = 0,95$ , глубину воды на уступе перепада принять равной критической.

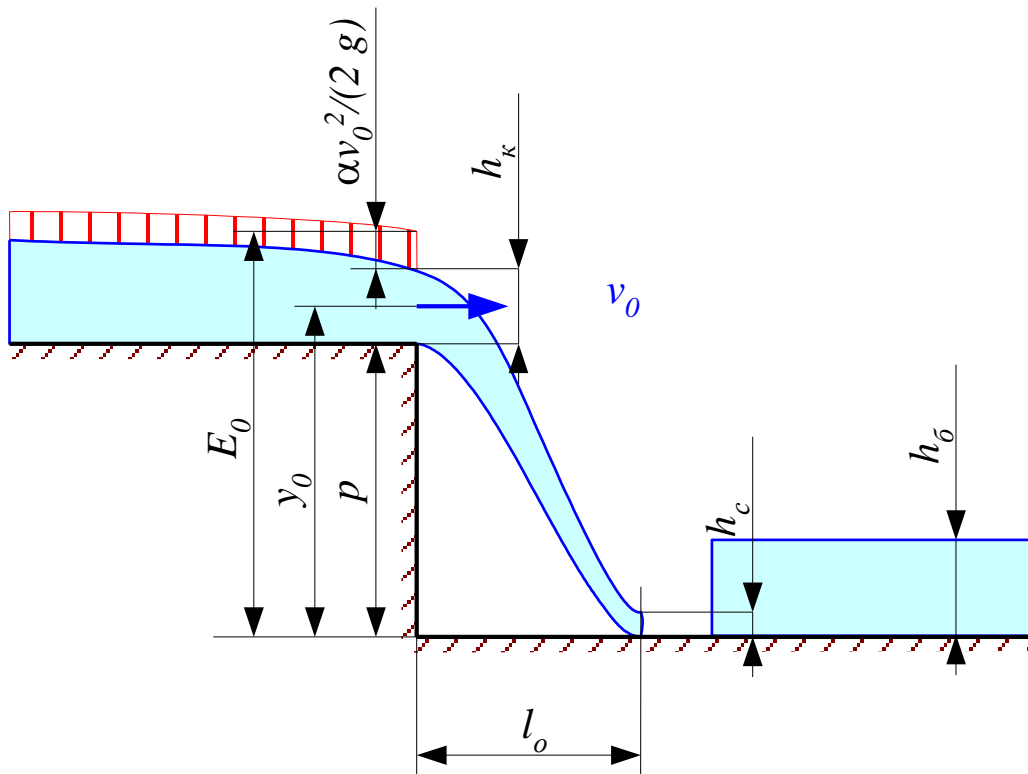


Рис. 1. Сопряжение бьефов. Перепад

Решение

1. Определяется удельный расход

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{44}{22} = 2 \text{ м}^2/\text{с}.$$

2. Находится критическая глубина

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{2^2}{9,81}} = 0,742 \text{ м}.$$

3. Вычисляется скорость движения воды на уступе перепада

$$v_0 = \frac{q}{h_k} = \frac{2}{0,742} = 2,697 \text{ м/с}.$$

4. Находится полный напор

$$E_0 = p + h_k + \frac{v_0^2}{2g} = 2,9 + 0,742 + \frac{2,697^2}{2 \cdot 9,81} = 4,012 \text{ м}.$$

5. Сжатая глубина определяется:

$$A = \frac{q^2}{2g\varphi^2} = \frac{2^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,95^2} = 0,226 \text{ м}^3;$$

$$E_0 = h_c + \frac{0,226}{h_c^2}.$$

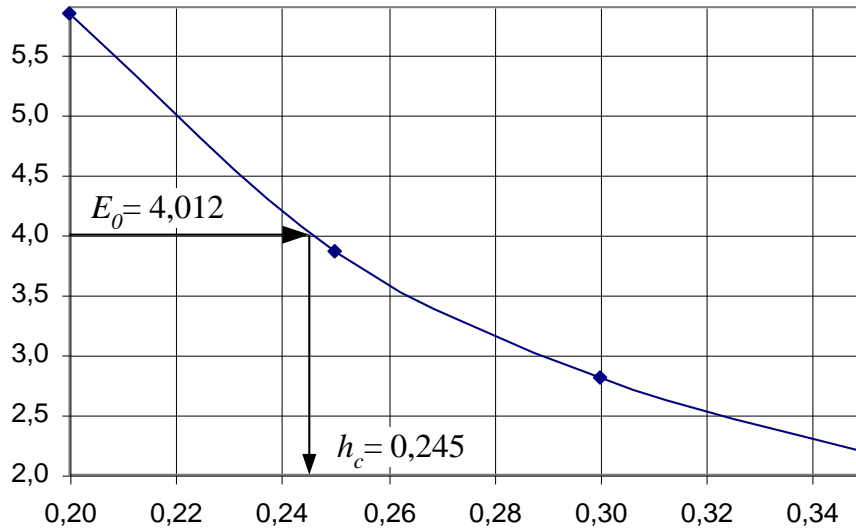
Задавшись рядом сжатых глубин (0,2; 0,25; 0,35 и 0,5 м) вычисляются соответствующие им величины полного напора (табл. 5.1)

По данным табл. 5.1 строится график зависимости полного напора от величины сжатой глубины (рис. 5.8). Откладывая по вертикальной оси величину полного напора 4,012 м,

определяем значение сжатой глубины  $h_c = 0,245$  м.

Вычисленное значение полного напора для этой глубины равно 4,012 м. Относительная погрешность составила 0,008 %.

$E_0$ , м



$h_c$ , м

**Таблица 5.1**  
**К определению**  
**сжатой глубины**

$h_c$ , м	$E_0$ , м
0,20	5,853
0,25	3,868
0,30	2,813
0,35	2,196

Рис. 2. Определение сжатой глубины

По формуле гидравлического прыжка определяется вторая сопряженная глубина

$$h_2 = \frac{0,245}{2} \left[ \sqrt{1 + 8 \left( \frac{0,742}{0,245} \right)^3} - 1 \right] = 1,706 \text{ м.}$$

Так как  $h_2 > h_{\bar{o}}$ , то сопряжение струи с нижним бьефом будет осуществляться с помощью отогнанного гидравлического прыжка.

Определение глубины колодца сведено в табл. 5.2.

Таблица 5.2

### Определение глубины колодца

$d_0$ , м	$E_0' = E_0 + d_0$ , м	$h_c$ , м	$h_2$ , м	$d_0 + h_{\bar{o}}$ , м
0,000	4,012	0,245	1,706	1,400
0,250	4,262	0,237	1,740	1,650
0,500	4,512	0,230	1,773	1,900
0,355	4,368	0,234	1,754	1,755

По данным табл. 5.2 строятся графики  $h_2 = f_1(d_0)$  и  $d_0 + h_{\bar{o}} = f_2(d_0)$  (рис. 3).

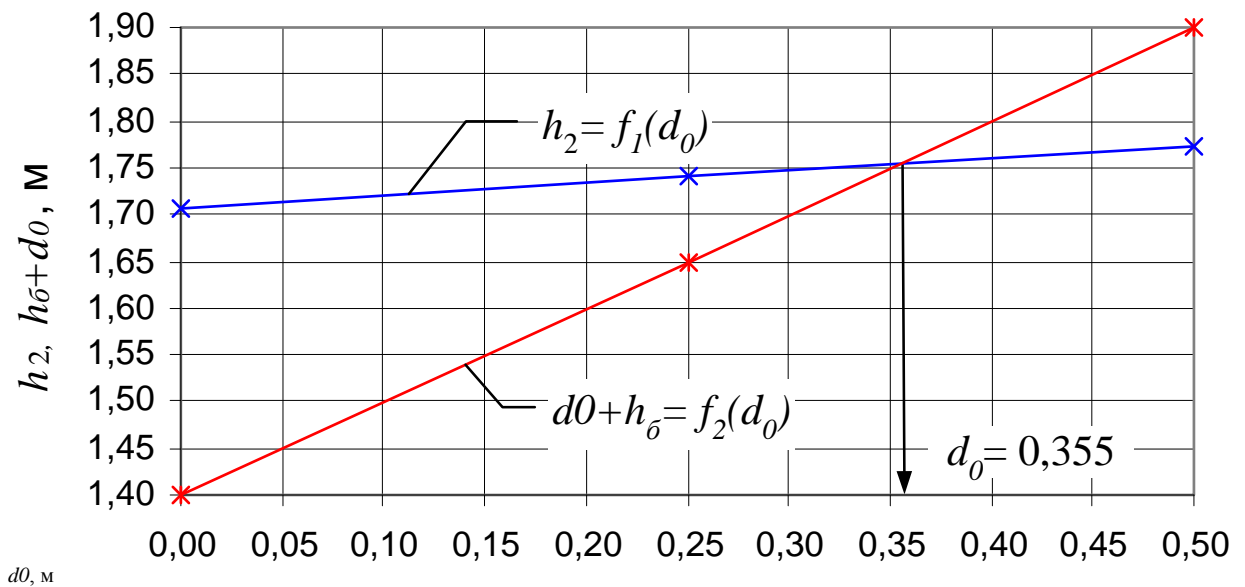


Рис. 3 Определение глубины колодца

Точка пересечения этих линий является теоретической глубиной колодца  $d_0 = 0,355$  м. Относительная погрешность определения теоретической глубины составила 0,07 %. Чтобы в нижнем бьефе получился затопленный прыжок, теоретическую глубину колодца необходимо увеличить на 5 %:

$$d = 1,05 d_0 = 0,373 \text{ м.}$$

Перепад на выходе из колодца в отводящее русло

$$\Delta z = \frac{q^2}{2 g \varphi_1^2 h_0^2} = \frac{2^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,85^2 \cdot 1,4^2} = 0,144 \text{ м.}$$

Длина гидравлического прыжка

$$l_n = 2,5(1,9 h_2 - h_c) = 2,5(1,9 \cdot 1,754 - 0,234) = 7,747 \text{ м.}$$

Высота центра тяжести струи над дном колодца

$$y_0 = d + p + \frac{h_k}{2} = 0,373 + 2,9 + 0,742 = 3,644 \text{ м.}$$

Дальность отлета струи находится по формуле (5.9)

$$l_{отл} = 2,697 \sqrt{\frac{2 \cdot 3,644}{9,81}} = 2,325 \text{ м.}$$

Длина водобойного колодца определяется по формуле

$$l = 2,325 + 0,8 \cdot 7,747 = 8,522 \text{ м.}$$

Основные размеры водобойного колодца представлены на рис. 4

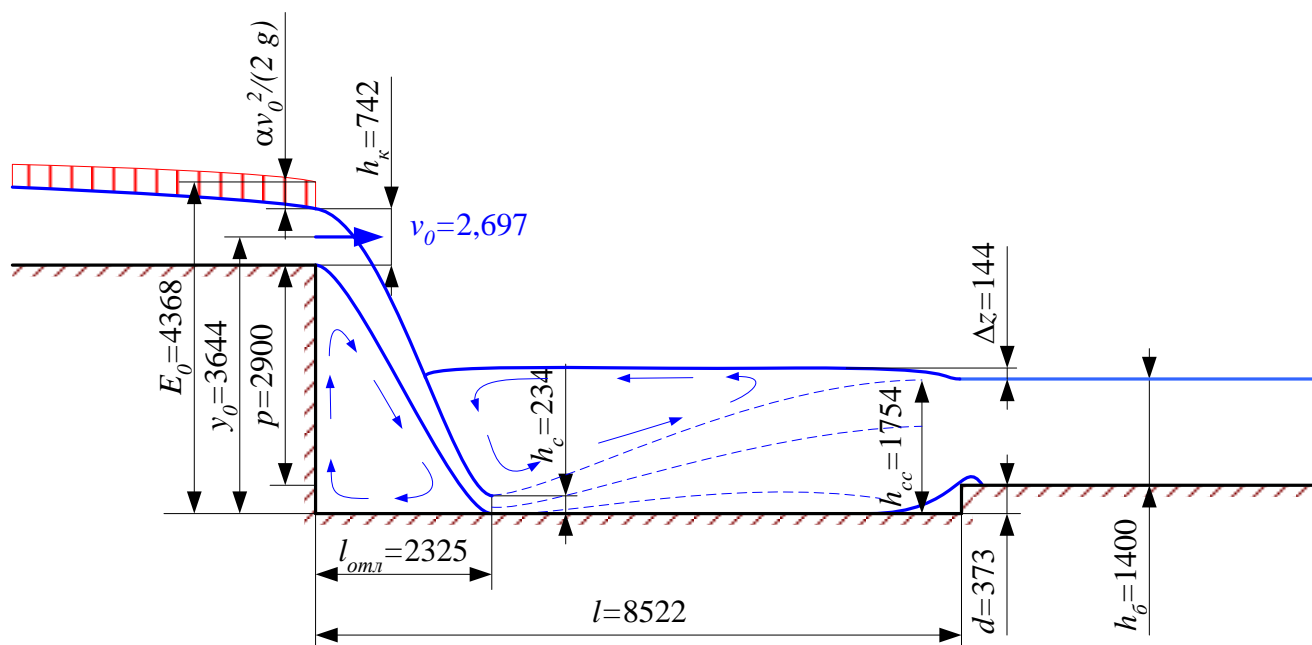


Рис. 4. Схема водобойного колодца



## Расчет водобойного водобойной стенки.

В прямоугольном канале шириной  $b = 22$  м устроен перепад (см. рис. 1). Установить характер сопряжения ниспадающей с перепада струи с нижним бьефом и определить размеры водобойного колодца. Расход воды в канале  $Q = 44$  м<sup>3</sup>/с, высота перепада  $p = 2,9$  м, бытовая глубина  $h_0 = 1,4$  м, коэффициент скорости  $\varphi = 0,95$ , глубину воды на уступе перепада принять равной критической.

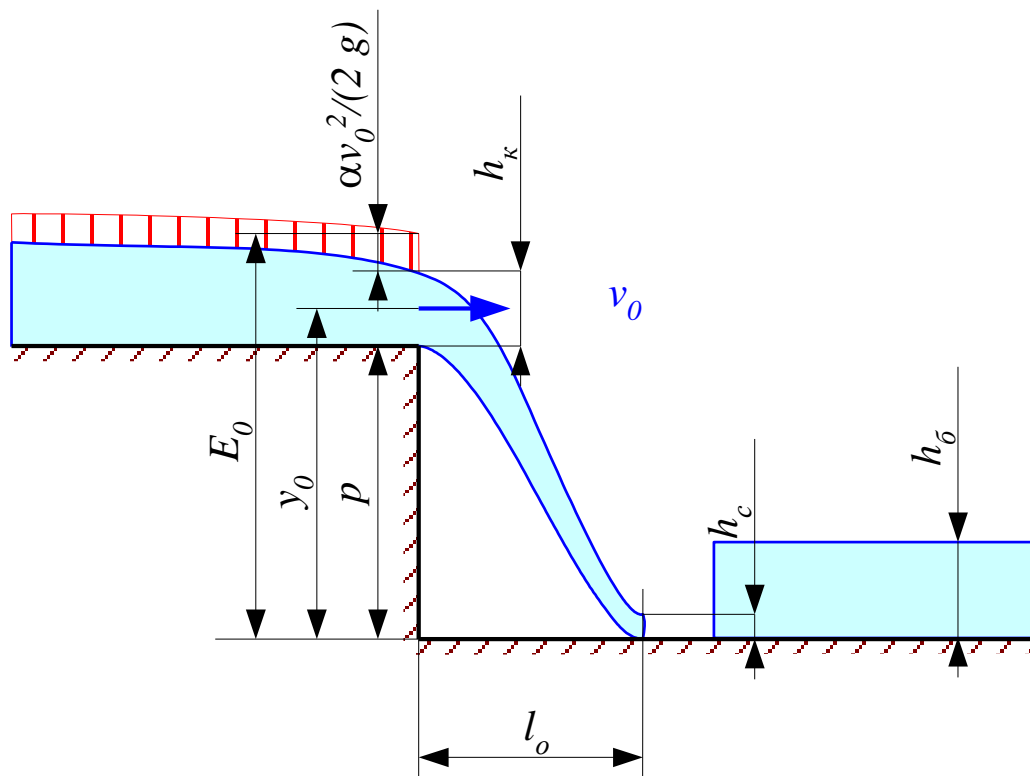


Рис. 1. Сопряжение бьефов. Перепад

### Решение

Выполняется расчет сжатой, критической и сопряженной сжатой глубины аналогично предыдущему примеру.

Дается заключение о виде сопряжения бьефов.

Затем определяется скорость подхода к водобойной стенке

$$v = \frac{q}{h_{cc}} = \frac{2}{1,706} = 1,172 \text{ м/с.}$$

По формуле вычисляется скоростной напор

$$h_v = \frac{(1,172)^2}{2 \cdot 9,81} = 0,070 \text{ м.}$$

Находится полный напор на водосливной стенке

$$H_0 = \left( \frac{2}{0,42 \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}} = 1,049 \text{ м.}$$

Геометрический напор на водосливной стенке определяется

$$H = 1,049 - 0,070 = 0,979 \text{ м.}$$

Определяется высота водобойной стенки при условии, что водослив не подтоплен

$$c = 1,05 h_2 - H = 1,05 \cdot 1,706 - 0,979 = 0,812 \text{ м.}$$

Так как  $c < h_0$ , водослив является подтопленным.

Дальнейший расчет проводится в табл. 1. Задаются рядом высот водобойной стенки (0,6; 0,7; 0,8 м). Для этих высот вычисляются: геометрический  $H$  и полный  $H_0$  напоры на водосливе; высоту подтопления водослива  $h_n$  и отношение высоты подтопления водослива к геометрическому напору на водосливе.

Интерполяцией данных табл. 2 определяется коэффициент подтопления  $\sigma_n$ .

Таблица 2

**Коэффициент подтопления водослива**

$h_n/H$	0,050	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700
$\sigma_n$	0,997	0,995	0,985	0,972	0,957	0,935	0,906	0,856

Продолжение табл. 2

$h_n/H$	0,800	0,850	0,900	0,925	0,950	0,975	0,990	0,995	1,000
$\sigma_n$	0,776	0,710	0,621	0,555	0,470	0,319	0,170	0,100	0,000

Находится удельный расход водобойной стенки. По данным табл. 1 строится график зависимости удельного расхода от высоты стенки (рис. 2). Отложив значение удельного расхода, находят высоту стенки – 0,713 м. Погрешность вычисления составила минус 0,06 %.

Таблица 1

## Определение высоты водобойной стенки

$c, \text{ м}$	$H = 1,05 h_2 - c$ , м	$H_0 = H + h_v$ , м	$h_n = h_0 - c$ , м	$\frac{h_n}{H}$	$\sigma_n$	$q_{cm} = \sigma_n m \sqrt{2g} H_0^{3/2}$ , м <sup>2</sup> /с
0,6	1,191	1,261	0,800	0,67 2	0,87 0	2,292
0,7	1,091	1,161	0,700	0,64 1	0,88 5	2,060
0,8	0,991	1,061	0,600	0,60 5	0,90 3	1,837
0,72 7	1,064	1,134	0,673	0,63 2	0,89 0	1,999

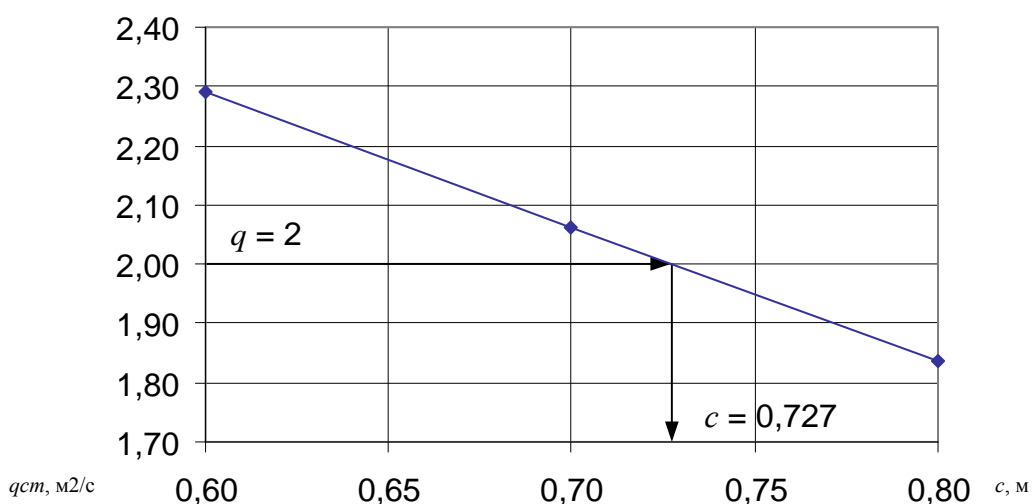


Рис. 2. Определение высоты водобойной степени

Длина гидравлического прыжка

$$l_n = 2,5(1,9 h_2 - h_c) = 2,5(1,9 \cdot 1,706 - 0,245) = 7,491 \text{ м.}$$

Высота центра тяжести струи

$$y_0 = p + \frac{h_k}{2} = 2,9 + 0,742 = 3,271 \text{ м.}$$

Дальность отлета струи

$$l_{отл} = v_0 \sqrt{\frac{2 y_0}{g}} = 2,697 \sqrt{\frac{2 \cdot 3,271}{9,81}} = 2,202 \text{ м.}$$

Длина водобойного колодца

$$l = l_{отл} + 0,8 l_n = 2,202 + 0,8 \cdot 7,491 = 8,195 \text{ м.}$$

Основные размеры водобойного колодца представлены на рис. 3

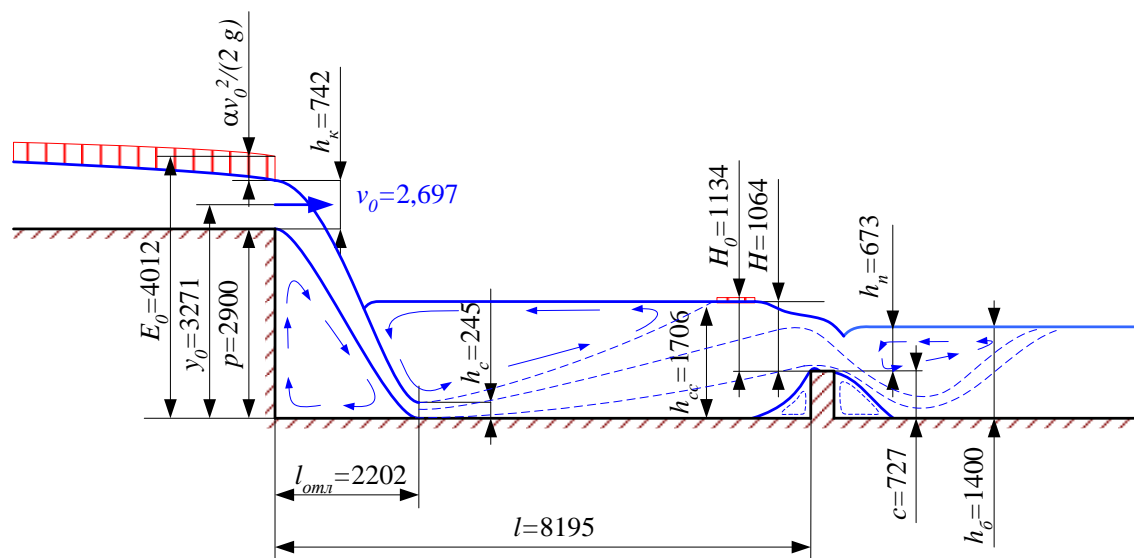


Рис. 3. Схема водобойной стенки

### **Библиографический список используемой литературы**

1. Тужилкин А.М, Злобин Е.К, Бурдова М.Г., Белоусов Р.О. Гидравлика: учебное пособие. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017, 266 с. – 200 экз.
2. Земцов, В.М. Гидравлика : учеб. пособие для вузов / В.М. Земцов; под ред. Ю.В. Брянской. — М. : АСВ, 2007. — 352 с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-5-93093-510-3 : 181.82. 15 экз.
  3. Курганов А.М. , Федоров Н.Ф. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: Справочник / Под общ. ред. А.М. Курганова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Стройиздат, 1986. - 440 с.
4. Тужилкин А.М., Бурдова М.Г., Механика жидкости и газа: Учебное пособие. ТулГУ. Тула 1998. – 283 с.