

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Н. Р. Ахмедова**

**ГИДРАВЛИКА**

Утверждено редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «КГТУ»  
в качестве учебно-методического пособия по выполнению курсового проекта  
для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки  
20.03.02 Природообустройство и водопользование

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2022

УДК 532.5

Рецензент

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры техносферной безопасности и природообустройства  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»  
В. А. Наумов

**Ахмедова, Н. Р.**

Гидравлика: учеб.-методич. пособие по выполнению курсового проекта для студ., обучающихся в бакалавриате по напр. подгот. 20.03.02 Природообустройство и водопользование / Н. Р. Ахмедова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 41 с.

Учебно-методическое пособие является руководством по выполнению курсового проекта по гидравлике студентами, обучающимися по направлению 20.03.02 Природообустройство и водопользование. Курсовой проект предназначен для закрепления полученных знаний и проверки степени усвоения теоретического материала и умения применять полученные знания для проведения гидравлических расчетов.

Рис. 3, табл. 13, список лит. – 5 наименований

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено методической комиссией института рыболовства и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 06 июня 2022 г., протокол № 4

УДК 532.5

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2022 г.  
© Ахмедова Н.Р., 2022 г.

**Содержание**

Введение .....	4
1 Условия выбора темы и порядок разработки курсового проекта .....	5
2 Требования к структуре, объему, содержанию и оформлению курсового проекта.....	6
3 Организация защиты и критерии оценки курсового проекта.....	26
Список рекомендуемых источников .....	28
Приложение А. Схема гидроузла .....	29
Приложение Б. Бланк задания.....	31
Приложение В. Исходные данные по вариантам.....	33
Приложение Г. Пример оформления титульного листа.....	35
Приложение Д. Значение функции $\Phi(z)$ при различных гидравлических показателях $x$ при уклоне $i > 0$ .....	36
Глоссарий .....	39

## Введение

Дисциплина Гидравлика входит в основную профессиональную образовательную программу бакалавриата направления 20.03.02 Природообустройство и водопользование. Учебным планом по данной дисциплине предусмотрено выполнение курсового проекта.

Целью выполнения курсового проекта является формирование компетенций, связанных с профессиональной деятельностью, систематизация знаний, умений, навыков, полученных при изучении теоретического курса. При этом обучающемуся дается возможность самостоятельного решения отдельных вопросов, он знакомится с комплексом основных задач гидравлических расчетов открытых потоков.

Задачами курсового проекта являются:

- выполнение гидравлических расчетов открытых русел;
- выполнение гидравлического расчета гидротехнического сооружения;
- обработка и анализ полученных в ходе расчетов результатов.

В результате выполнения курсового проекта студент должен:

- знать: основные параметры и способы расчетов потоков в открытых руслах;
- уметь: выполнять гидравлические расчеты;
- владеть: навыками выполнения инженерных гидравлических расчетов, обработки и анализа их результатов.

В данном учебно-методическом пособии представлены условия выбора темы и порядок разработки курсового проекта; требования к структуре, объему, содержанию и оформлению курсового проекта; порядок защиты и критерии оценки курсового проекта; список рекомендуемых источников. В приложении приведены исходные данные для выполнения курсового проекта, образец оформления титульного листа и некоторый справочный материал.

## 1. Условия выбора темы и порядок разработки курсового проекта

Тема курсового проекта – «Гидравлический расчет открытых русел и гидротехнических сооружений». Исходными данными для проектирования являются:

- схема гидроузла (приложение А);
- параметры каналов (расход  $Q$ , ширина по дну  $b$ , уклон  $i$ , гидравлический показатель русла  $\chi$ );
- грунты в основании каналов;
- параметры водозаборного регулятора – водослива с широким порогом (высота входного порога  $P_1$ ).

Бланк задания приведен в приложении Б, исходные данные по вариантам – в приложении В. Варианты заданий выдаются преподавателем в начале семестра.

Порядок разработки курсового проекта:

- проанализировать схему гидроузла;
- проанализировать исходные данные, определить недостающие характеристики грунтов в соответствии с нормативными и справочными документами;
- выполнить гидравлический расчет каналов при равномерном движении;
- выполнить гидравлический расчет каналов при неравномерном движении;
- выполнить гидравлический расчет водозаборного регулятора, который проектируется как водослив с широким порогом;
- на основании исходных и расчетных данных выполнить чертежи каналов и водослива с широким порогом.

## 2. Требования к структуре, объему, содержанию и оформлению курсового проекта

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка в общем виде должна иметь следующую структуру:

- титульный лист (приложение Г);
- задание;
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список используемых источников;

Графическая часть должна содержать следующую информацию:

- поперечные профили каналов;
- продольные профили каналов с указанием кривой свободной поверхности, линий нормальных и критических глубин;
- план и разрез по оси водослива с широким порогом.

Ссылки на чертежи графической части должны быть в пояснительной записке.

Основная часть пояснительной записки состоит из трех разделов, которые в зависимости от заданных условий делятся на подразделы и нумеруются арабскими цифрами.

Для схемы гидроузла № 1 структура основной части пояснительной записки должна выглядеть следующим образом:

- 1 Гидравлический расчет каналов при равномерном движении
  - 1.1 Гидравлический расчет первого участка магистрального канала
  - 1.2 Гидравлический расчет второго участка магистрального канала
  - 1.3 Гидравлический расчет третьего участка магистрального канала
- 2 Гидравлический расчет каналов при неравномерном движении

- 2.1 Определение критической глубины в каналах
- 2.2 Построение кривой свободной поверхности методом Н.Н. Павловского
- 2.3 Построение кривой свободной поверхности методом Б.А. Бахметева
- 3 Гидравлический расчет водозаборного регулятора

Структура основной части пояснительной записки для схемы гидроузла № 2:

- 1 Гидравлический расчет каналов при равномерном движении
  - 1.1 Гидравлический расчет деривационного канала
  - 1.2 Гидравлический расчет первого участка сбросного канала
  - 1.3 Гидравлический расчет второго участка сбросного канала
- 2 Гидравлический расчет каналов при неравномерном движении
  - 2.1 Определение критической глубины в каналах
  - 2.2 Построение кривой свободной поверхности методом Н.Н. Павловского
  - 2.3 Построение кривой свободной поверхности методом Б.А. Бахметева
- 3 Гидравлический расчет водозаборного регулятора

Гидравлический расчет каналов при равномерном движении жидкости ведется по нормальному расходу  $Q_{норм}$  для определения гидравлических элементов канала при нормальных условиях работы; по форсированному расходу  $Q_{форс} = K \times Q_{норм}$  для проверки канала на неразмываемость ( $K_{форс} = 1,1 \div 1,2$  - коэффициент форсировки); по минимальному расходу  $Q_{мин}$  для проверки канала на незаиляемость.

Ширина  $b$  канала по дну принимается с шагом 0,5 м, если  $b = 2 \dots 5$  м, и с шагом 1 м, если  $b > 5$  м. В случае расчета ширину  $b$  округляют до стандартного и уточняют остальные размеры.

Коэффициенты шероховатости  $n$  и заложения откосов  $m$  назначаются по нормативной и справочной литературе.

Гидравлический расчет каналов при неравномерном движении жидкости ведется при расчете кривых свободной поверхности. В курсовом проекте используются два способа: методы Н.Н. Павловского и Б.А. Бахметева.

Гидравлический расчет водозаборного регулятора включает расчет водослива с широким порогом при входе в канал.

В каждом подразделе приводится гидравлический расчет с поясняющим текстом. Все обозначения, порядок вычислений, рассчитанные данные в таблицах должны быть пояснены. При выборе расчетных формул, определении коэффициентов и справочных значений величин необходимо давать ссылку на использованные источники. Например: «Определяем коэффициент заложения откосов  $m$  по таблице 1.6 [2]». Расчетные схемы помещаются в тексте и выполняются без соблюдения масштабов. Графическую часть рекомендуется выполнять с использованием САПР.

Требования к тексту пояснительной записки:

- формат бумаги А–4;
- ориентация книжная;
- размер шрифта –14;
- гарнитура шрифта Times New Roman;
- межстрочный интервал одинарный;
- абзац сопровождается отступом 1,25;
- выравнивание шрифта по ширине;
- нумерация страниц с третьей страницы;
- автоматический перенос слов;
- поля: верхнее, нижнее, левое, правое – 2,0 см;
- все формулы набираются в редакторе формул и нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках;
- таблицу помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее или на следующей странице. Все таблицы нумеруются и имеют название.
- все иллюстрации (рисунки, схемы, чертежи) именуется рисунками, нумеруются по порядку, имеют название.

Чертежи в графической части оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ 21.709-2019 Система проектной документации для строительства

(СПДС). Правила выполнения рабочей документации линейных сооружений гидромелиоративных систем.

### Задания и методика выполнения

#### *Равномерное движение воды*

*Задание 1.* Заданы расчетный расход  $Q_{норм}$ , уклон дна канала  $i$ , ширина по дну  $b$ . Необходимо рассчитать канал трапецеидального сечения (первый участок магистрального канала/деривационный канал) при равномерном движении: определить его глубину  $h_0$ . Проверить канал на размыв и заиление, в случае необходимости произвести крепление канала. Вычертить поперечный профиль канала в масштабе.

#### *Методика выполнения*

1. Вычислить расходную характеристику  $K_{норм}$ , соответствующую нормальному расходу  $Q_{норм}$  при заданном уклоне  $i$  по формуле:

$$K_{норм} = \frac{Q_{норм}}{\sqrt{i}}. \quad (1)$$

2. Определить нормальную глубину  $h_0$  в трапецеидальном канале. Расчет выполняется графоаналитическим способом (таблица 1, рисунок 1): задаёмся различными значениями  $h_0$  (не меньше шести), определяем соответствующие им расходные характеристики  $K$ , по полученным данным строим график зависимости  $K = f(h_0)$ .

Таблица 1 – К построению графика зависимости  $K = f(h_0)$

$h_0, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	$\chi, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	$C, \text{ м}^{0,5}/\text{с}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$K, \text{ м}^3/\text{с}$
$h_1$						
...						
$h_n$						

Площадь живого сечения трапецеидального канала  $\omega, \text{ м}^2$ , определяется по формуле:

$$\omega = h(b + mh), \quad (2)$$

где  $h$  – глубина воды в канале, м;  $b$  – ширина канала по дну, м;

$m$  – коэффициент заложения откоса.

Смоченный периметр  $\chi$ , м для трапецеидального канала определяется по формуле:

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}, \quad (3)$$

где  $b$  – ширина канала по дну, м;  $h$  – глубина воды в канале, м;  $m$  – коэффициент заложения откоса.

Значение гидравлического радиуса  $R$ , м определяется по формуле:

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \quad (4)$$

где  $\omega$  – площадь живого сечения, м<sup>2</sup>;  $\chi$  – смоченный периметр, м.

Коэффициент Шези  $C$ , м<sup>0,5</sup>/с можно определить по приближённой формуле Маннинга:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad (5)$$

или формуле Н.Н. Павловского:

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

где  $n$  – показатель шероховатости русла;  $R$  – гидравлический радиус, м;

$y$  – показатель степени, который определяется по формуле

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1).$$

Формулу Н.Н. Павловского рекомендуется использовать при значениях гидравлического радиуса  $R < 5$  м. При больших гидравлических радиусах применяют формулу Маннинга.

При равномерном движении воды расход  $Q$ , м<sup>3</sup>/с следует определять по формуле (СП 100.13330.2016 Мелиоративные системы и сооружения):

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \quad (7)$$

где  $\omega$  – площадь живого сечения, м<sup>2</sup>;  $C$  – коэффициент Шези, м<sup>0,5</sup>/с;  $R$  – гидравлический радиус, м;  $i$  – уклон канала.

Искомое значение нормальной глубины  $h_0$  определяется по графику в соответствии с вычисленным значением  $K_{\text{норм}}$  (формула 1).

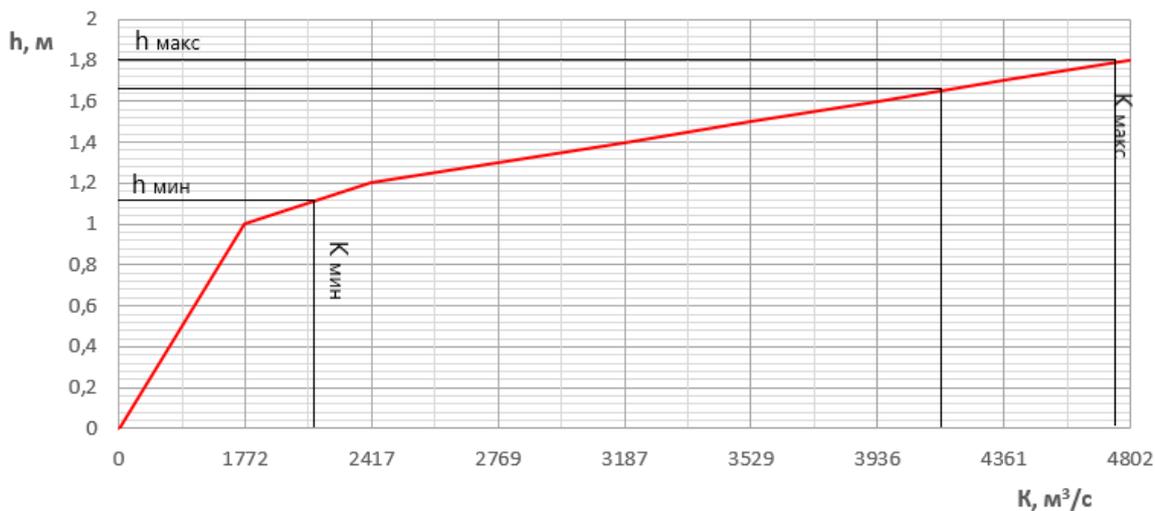


Рисунок 1 – График зависимости  $K = f(h_0)$

3. Выполнить проверку: определить значение расхода  $Q_{\text{норм}}$  при полученной глубине  $h_0$  (таблица 2). Относительная погрешность вычисленного значения  $Q$  не должна превышать 1%.

Таблица 2 – К определению нормальной глубины

$h_0$ , м	$\omega$ , м <sup>2</sup>	$\chi$ , м	$R$ , м	$C$ , м <sup>0.5</sup> /с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$K$ , м <sup>3</sup> /с

4. Канал рассчитывается так, чтобы выполнялось условие, при котором не происходит его заиление и размыв:

$$v_{\text{заил}} < v_{\text{ср}} < v_{\text{разм}}, \quad (8)$$

где  $v_{\text{заил}}$  – допускаемая незаиляющая скорость воды, м/с;  $v_{\text{ср}}$  – средняя скорость воды в канале, м/с;  $v_{\text{разм}}$  – допускаемая неразмывающая скорость воды, м/с.

Величину незаиляющей скорости  $v_{\text{заил}}$ , м/с определяют по формуле (СП 100.13330.2016 Мелиоративные системы и сооружения, приложение Т):

$$v_{\text{заил}} = 0,3 \cdot R^{0,25} \quad (9)$$

где  $R$  – гидравлический радиус, м.

Допускаемые неразмывающие средние скорости потока принять в соответствии с приложением С СП 100.13330.2016 Мелиоративные системы и сооружения или справочными данными.

Средние скорости  $v_{cp}$ , м/с движения воды в канале вычисляются при соответствующих расходах  $Q_{min}$ , м<sup>3</sup>/с и  $Q_{max}$ , м<sup>3</sup>/с по формуле:

$$v_{min} = \frac{Q_{min}}{\omega_{min}}. \quad (10)$$

$$v_{max} = \frac{Q_{max}}{\omega_{max}}. \quad (11)$$

Принять  $Q_{min} = 0,5Q_{норм}$ ,  $Q_{max} = 1,1Q_{норм}$ .

Значения  $\omega_{min}$  и  $\omega_{max}$  определяют по формуле (2), значения  $h_{min}$  и  $h_{max}$  – по графику (рисунок 1) в соответствии с вычисленными значениями расходных характеристик  $K_{min}$  и  $K_{max}$ .

В случае, если  $v_{заил} > v_{cp}$ , необходимо предусматривать очищение канала от наносов, если  $v_{cp} > v_{разм}$ , необходимо крепление русла канала.

5. Для построения поперечного профиля канала необходимо вычислить значение ширины канала по свободной поверхности  $B$ , м по формуле:

$$B = b + 2mh, \quad (12)$$

где  $b$  – ширина канала по дну, м;  $m$  – коэффициент заложения откоса;  $h$  – глубина воды в канале, м.

6. Поперечный профиль канала вычертить в масштабе (по ГОСТ 21.709-2011 Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения рабочей документации линейных сооружений гидромелиоративных систем).

*Задание 2.* Проектируется канал (второй участок магистрального канала/первый участок сбросного канала) трапецеидального сечения с уклоном дна  $i$ . При расходе  $Q_{норм}$  принять глубину воды в канале  $h = h_0$ , т.е. равной глубине  $h_0$  на первом участке магистрального канала/в деривационном канале, определить ширину канала по дну  $b$ . Проверить канал на размыв и заиление, в случае необходимости произвести крепление канала. Вычертить поперечный профиль канала в масштабе.

### Методика выполнения

1. Расчет производится графоаналитическим способом. Задаются различными значениями  $b$  (не меньше шести значений), расчеты выполняются в табличной форме (таблица 3) по формулам (2–7).

Таблица 3 – Гидравлический расчет второго участка магистрального канала/первого сбросного канала

$b, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	$\chi, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	$C, \text{ м}^{0,5}/\text{с}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$
$b_1$					
...					
$b_n$					

2. По полученным данным строится график зависимости  $Q = f(b)$  (рисунок 2) и определяется искомая ширина канала по дну  $b$  по заданному расходу  $Q_{\text{норм}}$ :

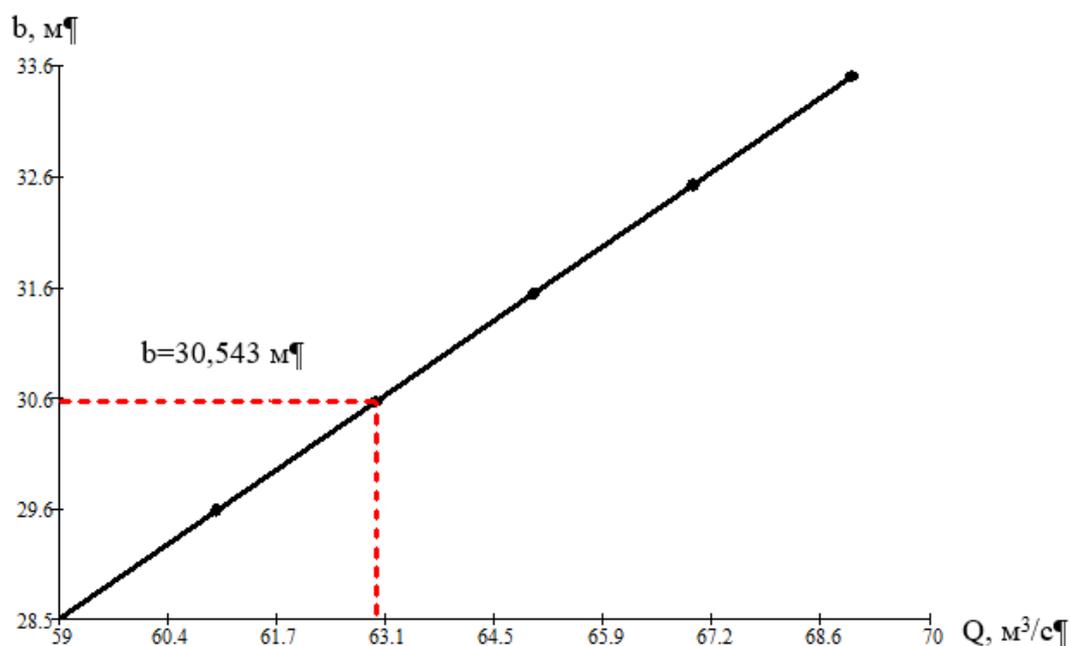


Рисунок 2 – График зависимости  $Q = f(b)$

Ширину канала по дну округляют до стандартного значения.

3. Выполняется проверка: определяют значение расхода  $Q_{\text{норм}}$  при полученном значении ширины канала  $b$  (таблица 4). Относительная погрешность вычисленного значения  $Q$  не должна превышать 1 %.

Таблица 4 – К определению ширины канала по дну

$b$ , м	$\omega$ , м <sup>2</sup>	$\chi$ , м	$R$ , м	$C$ , м <sup>0,5</sup> /с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с

4. Канал рассчитывается так, чтобы выполнялось условие, при котором не происходит его заиление и размыв (формулы 8-11).

5. Определить ширину канала по верху  $B$  (формула 12).

6. Вычертить поперечный профиль канала в масштабе (по ГОСТ 21.709-2011 Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения рабочей документации линейных сооружений гидромелиоративных систем).

*Задание 3.* При заданном расходе  $Q_{норм}$ , известном значении уклона русла на данном участке  $i$  выполнить гидравлический расчет третьего участка магистрального канала/второго сбросного канала, исходя из условия гидравлически наивыгоднейшего сечения канала  $\beta_{г.н.}$  графоаналитическим способом. Канал запроектировать трапецеиообразной формы поперечного сечения. Проверить канал на размыв и заиление, в случае необходимости произвести крепление канала. Вычертить поперечный профиль канала в масштабе.

*Методика выполнения*

Гидравлически наивыгоднейшим называется такое сечение канала, которое при заданных площади живого сечения  $\omega$  и продольном уклоне  $i$ , а также при известных коэффициентах шероховатости  $n$  и заложения откоса  $m$  обладает наибольшей пропускной способностью (расходом)  $Q$ .

1. Необходимо вычислить расходную характеристику  $K$ , м<sup>3</sup>/с для рассматриваемого участка по формуле (1).

2. Определить необходимые параметры канала по формулам (2-7) при различных значениях  $h$  (не менее шести), выполнить расчеты в табличной форме (таблица 5).

Ширина по дну  $b$ , м принимается в зависимости от коэффициента откоса  $m$  по формуле:

$$b = h \cdot \beta_{г.н.}, \quad (13)$$

где  $h$  – глубина, м;  $\beta_{г.н.}$  – наивыгоднейшее значение канала (см. нормативные документы, справочники).

Все остальные табличные значения определяются аналогично, как в заданиях 1 и 2.

Таблица 5 – Гидравлический расчет третьего участка магистрального канала/второго сбросного канала

$h$ , м	$b$ , м	$\omega$ , м <sup>2</sup>	$\chi$ , м	$R$ , м	$C$ , м <sup>0,5</sup> /с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$K$ , м <sup>3</sup> /с
$h_1$							
...							
$h_n$							

3. По полученным данным построить график зависимости  $h = f(K)$  и определить по расходной характеристике  $K$  нормальную глубину потока  $h_0$ .

4. Определить значение ширины канала по дну  $b$ , м по формуле (13). Полученное значение округлить до стандартного. Проверить пропускную способность канала с вычисленными параметрами.

5. Проверить канал на заиление и размыв. В случае необходимости предусмотреть укрепление канала, выполнить перерасчет параметров русла.

6. Определить ширину канала по верху  $B$  (формула 12).

7. Вычертить поперечный профиль канала в масштабе (по ГОСТ 21.709-2011 Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения рабочей документации линейных сооружений гидромелиоративных систем).

### *Неравномерное движение воды*

Неравномерное движение жидкости в канале характеризуется изменением площади и глубины воды в канале по его длине при нормальном расходе.

**Задание 4. Схема гидроузла № 1.** При расходе  $Q_{\text{норм}}$  перед водосливом, в конце первого участка магистрального канала, глубина воды повышается до  $(h_0 + P_1 + 0,4)$ . Выяснить форму кривой свободной поверхности. Рассчитать методом Н.Н. Павловского и построить кривую свободной поверхности, предварительно определив критическую глубину. Принимаем, что длина первого участка магистрального канала  $L$  равна длине кривой. Канал имеет трапецеидальное поперечное сечение. **Схема гидроузла № 2.** При расходе  $Q_{\text{норм}}$  перед водоприемником, в конце деривационного канала, глубина воды повышается до  $1,6h_0$ . Выяснить форму кривой свободной поверхности, определить критическую глубину. Рассчитать методом Н.Н. Павловского и построить кривую свободной поверхности, считая, что длина деривационного канала  $L$  равна длине кривой. Канал имеет трапецеидальное поперечное сечение.

#### *Методика выполнения*

Расчет выполняется графоаналитическим способом.

1. Необходимо определить значение выражения  $\frac{a \cdot Q^2}{g}$ , где  $a$  – коэффициент Кориолиса, принять равным 1,1;  $Q$  – заданный расход, м<sup>3</sup>/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

2. Рассчитать параметры (таблица 6), задаваясь произвольными значениями глубин потока  $h$ , м (не менее восьми значений):

Таблица 6 – Определение критической глубины канала

Пикет	$h$ , м	$B$ , м	$\omega$ , м <sup>2</sup>	$\omega^3$	$\omega^3/B$	$\frac{a \cdot Q^2}{g}$
ПК0						
...						
ПК <sub>n</sub>						

3. По данным таблицы 6 построить график зависимости  $\frac{\omega^3}{B} = f(h)$

4. По рассчитанному значению  $\frac{a \cdot Q^2}{g}$ , с учетом того, что  $\frac{a \cdot Q^2}{g} = \frac{\omega_{кр}^3}{B_{кр}}$ , по построенному графику определить критическую глубину канала  $h_{кр}$  (глубину потока, при которой удельная энергия сечения для заданного расхода достигает минимума).

5. Вычислить параметры канала при  $h_{кр}$  (таблица 7)

Таблица 7 – Параметры канала

$h_{кр}, \text{ м}$	$B_{кр}, \text{ м}$	$\omega_{кр}, \text{ м}^2$	$\omega_{кр}^3$

6. Вычислить параметр кинетичности:

$$P_k = a \cdot Q^2 \cdot \frac{B_{кр}}{g \cdot \omega_{кр}^3}. \quad (14)$$

7. Определить состояние потока. В зависимости от соотношения сил инерции и тяжести состояние потока может быть различным – спокойным, критическим и бурным. Если:

$h_0 > h_{кр}$ ,  $P_k < 1$  – спокойное состояние потока;

$h_0 < h_{кр}$ ,  $P_k > 1$  – бурное состояние потока;

$h_0 = h_{кр}$ ,  $P_k = 1$  – критическое состояние потока.

8. Принять начальную глубину в канале равной  $h_0$ , конечную  $h_{кон} = h_0 + P_1 + 0,4$  (схема гидроузла № 1) или  $h_{кон} = 1,6h_0$  (схема гидроузла № 2).

Определить форму кривой свободной поверхности. Если глубина потока увеличивается вниз по течению, то кривая свободной поверхности образует *кривую подпора*. Если глубина потока уменьшается по течению, то кривая свободной поверхности называется *кривой спада*.

9. Для построения кривой свободной поверхности по длине канала разбить значения от  $h_0$  до  $h_{кон}$  на пять глубин. Выполнить расчет длины кривой методом Н.Н. Павловского при заданном гидравлическом показателе русла  $x$  и уклоне дна  $i$ , результаты внести в таблицу 8.

Коэффициент Павловского  $z$  определяется по формуле:

$$z = \frac{K}{K_0} \quad (15)$$

где  $K$  – расходная характеристика,  $\text{м}^3/\text{с}$ , определяется по формуле

$$K = \omega C \sqrt{R}, \quad (16)$$

где  $\omega$  – площадь живого сечения,  $\text{м}^2$ ;  $C$  – коэффициент Шези,  $\text{м}^{0,5}/\text{с}$ ;  $R$  – гидравлический радиус,  $\text{м}$ ;

$K_0$  – расходная характеристика,  $\text{м}^3/\text{с}$  при заданном  $Q_{\text{норм}}$ .

Функция Павловского  $\Phi z$  – справочная величина (Приложение Д).

Параметр кинетичности потока  $Пк$  равен:

$$Пк = \frac{\alpha \cdot i \cdot B \cdot C^2}{g \cdot \chi}, \quad (17)$$

где  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса, принимаем равным 1,1;  $i$  – уклон русла;  $B$  – ширина канала по свободной поверхности,  $\text{м}$ ;  $C$  – коэффициент Шези,  $\text{м}^{0,5}/\text{с}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $\chi$  – смоченный периметр,  $\text{м}$ ;

Вспомогательная величина  $a$ :

$$a = \frac{\Delta h}{\Delta z}, \quad (18)$$

где  $h$  – глубина,  $\text{м}$ ;  $z$  – коэффициент Павловского;

Длина участка между заданными глубинами воды в канале (например, между глубинами в сечениях 0-0 и 1-1),  $\text{м}$ ;

$$l_{0-1} = \frac{a}{i} \cdot \{(z_1 - z_0) - (1 - Пк_{\text{ср}}) \cdot [\Phi(z_1) - \Phi(z_0)]\}. \quad (19)$$

Суммируя длины  $l$ , находят общую длину кривой свободной поверхности.

10. Построить кривую подпора в масштабе с указанием нормальной и критической глубин.

Таблица 8 – Гидравлический расчет кривой подпора

Пикет	h, м	$\omega, \text{м}^2$	$\chi, \text{м}$	R, м	B, м	C, $\text{м}^{0,5}/\text{с}$	K, $\text{м}^3/\text{с}$	z	$\Phi(z)$	Пк	Пк <sub>ср</sub>	a	l, м	Примечание
$h_0$														$Q_{\text{норм}} =$ $n =$ $m =$ $b =$ $i =$
$h_1$														
$h_2$														
$h_3$														
$h_{\text{кон}}$														

*Задание 5.* При расходе  $Q_{\text{норм}}$  перед сопрягающим сооружением глубина воды на втором участке магистрального/ первом участке сбросного канала уменьшается до  $0,7 h_0$ . Выяснить форму кривой свободной поверхности, предварительно определив значение критической глубины. Рассчитать и построить кривую свободной поверхности методом Б.А. Бахметева. Выяснить, на каком участке нарушается равномерное движение.

*Методика выполнения*

1. Критическая глубина в канале определяется аналогично, как в задании 4.

2. Расчет кривой свободной поверхности выполняется графоаналитическим способом (таблица 9). Расстояние между двумя сечениями  $l_{1-2}$  с глубинами  $h_1$  и  $h_2$  для случая  $i > 0$ , определяется по формуле:

$$l_{1-2} = \frac{h_0}{i} \{ \eta_2 - \eta_1 - (1 - j[\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)]) \}, \quad (20)$$

где  $h_0$  – глубина равномерного движения, м;  $i$  – уклон русла;  $\eta_1$  и  $\eta_2$  – относительные глубины  $\eta_1 = \frac{h_1}{h_0}$  и  $\eta_2 = \frac{h_2}{h_0}$ ;  $\varphi(\eta_1)$  и  $\varphi(\eta_2)$  – функции Бахметева, справочные величины.

Функции Бахметева определяются в зависимости от значения относительной глубины  $\eta$  и гидравлического показателя русла  $x$ .

Суммируя длины  $l$ , находят общую длину кривой свободной поверхности.

3. Скоростной коэффициент определяется по формуле:

$$j = \frac{\alpha i C^2 B}{g \chi}, \quad (21)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения скоростей по живому сечению;  $i$  – уклон русла;  $C$  – коэффициент Шези,  $\text{м}^{0,5}/\text{с}$ ;  $B$  – ширина русла по урезу воды, м;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $\chi$  – смоченный периметр, м.

4. Построить кривую спада в масштабе с указанием нормальной и критической глубин.

Таблица 9 – Гидравлический расчет кривой спада

Глубина $h$ , м	$\eta$	$\omega$ , м <sup>2</sup>	$\chi$ , м	$R$ , м	$B$ , м	$C$ , м <sup>0.5</sup> /с	$K$ , м <sup>3</sup> /с	$j$	$\bar{j}$	$\varphi(\eta)$	$l$
$h_1$											
$h_2$											
$h_3$											
$h_4$											
$h_{\text{кон}}$											

**Задание 6. Схема гидроузла № 1.** Водослив на входе во второй магистральный канал проектируется как водослив с широким порогом с закругленным в плане и на пороге входом. Поперечное сечение водослива прямоугольное, высота порога на входе  $P_1$ , со стороны канала  $P_2=0$ . Отметка воды в верхнем бьефе выше отметки воды в канале на 0,4 м. При расходе  $Q_{норм}$  определить необходимую ширину водослива, число пролетов, ширину одного пролета.

**Схема гидроузла № 2.** Головное сооружение на деривационном канале проектируется как прямоугольный водослив с широким порогом с входом по типу раструба. Отметка порога ( $P_2=0$ ) совпадает с отметкой дна канала, отметка уровня в верхнем бьефе на 0,3 м выше отметки уровня в начале канала. Определить ширину водослива при высоте входного порога  $P_1$  при расходе  $Q_{норм}$ .

*Методика выполнения*

Задаваясь различными значениями ширины водослива  $b$  (не менее 7), выполнить расчет в следующем порядке:

1. Определить условия подтопления водослива. При расчетах необходимо учитывать, что водослив с широким порогом может быть подтопленным и неподтопленным, с боковым сжатием и без бокового сжатия.

В водосливе с широким порогом подтопление наступает после того, как уровень воды в нижнем бьефе поднимается над порогом выше определённого предела. Этот предел оценивается значением относительной величины  $\frac{h_{п}}{H_0}$ , где  $h_{п}$  – превышение уровня воды в нижнем бьефе над порогом водослива.

Только после того, как  $\frac{h_{п}}{H_0}$  превысит определённое значение, начинается влияние подтопления на расход. Исследования подтопления водослива с широким порогом с учётом перепада восстановления позволяют приближённо считать, что водослив подтоплен, если:

– при плавном входе на порог  $\frac{h_{п}}{H_0} > 0,75$ ;

– при неплавном входе на порог  $\frac{h_{п}}{H_0} > 0,85$ .

Если водослив не подтоплен, коэффициент подтопления  $\sigma = 1$ , если водослив подтоплен, то  $\sigma$  принимается в зависимости от значения  $\frac{h_{\text{п}}}{H_0}$  (таблица 10).

Таблица 10 – Величина коэффициента подтопления  $\sigma$  для водослива с широким порогом по Н.Н. Павловскому

$\frac{h_{\text{п}}}{H_0}$	$\sigma$	$\frac{h_{\text{п}}}{H_0}$	$\sigma$	$\frac{h_{\text{п}}}{H_0}$	$\sigma$
До 0,7	1,000	0,90	0,739	0,980	0,360
0,75	0,974	0,92	0,676	0,990	0,257
0,80	0,928	0,94	0,598	0,995	0,183
0,83	0,889	0,95	0,552	0,997	0,142
0,85	0,855	0,96	0,499	0,998	0,116
0,87	0,815	0,97	0,436	0,999	0,082

Превышение уровня воды в нижнем бьефе над порогом водослива  $h_{\text{п}}$  определяется по формуле:

$$h_{\text{п}} = h_{\text{б}} - P_2, \quad (22)$$

где  $h_{\text{б}}$  – бытовая глубина в канале (на втором участке магистрального или деривационном канале), м;  $P_2$  – высота порога на выходе, м.

Напор с учетом скорости подхода определяется по формуле:

$$H_0 = H + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g}, \quad (23)$$

где  $H$  – напор, м;  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса, принять равным 1,1;  $v_0$  – скорость подхода жидкости, м/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

При заборе воды из водохранилища скорость подхода воды к сооружению  $v_0 \approx 0$ , поэтому  $H_0 = H$ .

2. Определить коэффициент сжатия по формуле Е. А. Замарина

$$\varepsilon = 1 - \frac{\alpha H_0}{b + H_0}, \quad (24)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависит от формы оголовков устоев и бычков;  $b$  – ширина водослива, м;  $H_0$  – напор с учетом скорости подхода, м.

Для устоев и промежуточных опор прямоугольной формы коэффициент  $\alpha=0,2$ ; криволинейного-заостренной –  $\alpha=0,06$ ; полукруглой –  $\alpha=0,11$ .

3. Определить коэффициент расхода  $m$ , который у водосливов с широким порогом зависит от величины напора  $H$ , высоты порога  $P$  и очертания его входного ребра.

По исследованиям работ А.Р. Березинского при  $0 \leq \frac{P}{H} \leq 3$  коэффициент расхода водослива с широким порогом равен:

а) при прямоугольном входном ребре

$$m = 0,32 + 0,01 \cdot \frac{3 - \frac{P}{H}}{0,46 + 0,75 \cdot \frac{P}{H}} \quad (25)$$

б) при закругленном входном ребре

$$m = 0,32 + 0,01 \cdot \frac{3 - \frac{P}{H}}{1,2 + 1,5 \cdot \frac{P}{H}} \quad (26)$$

При  $\frac{P}{H} > 3$  надо принимать  $m = 0,36$  при закругленном ребре и  $m = 0,32$  – при остром ребре.

4. Результаты вычислений занести в табл. 11.

Таблица 11 – К определению ширины водосливного фронта

$b$ , м	$\varepsilon$	$m$	$\sigma$	$\varepsilon m \sigma b$	Примечание
$b_1$					$\varepsilon m \sigma b = \frac{Q_{\text{норм}}}{\sqrt{2g}H_0^{3/2}}$
...					
$b_7$					

5. По значениям  $b$  и  $\varepsilon m \sigma b$  построить график (рисунок 3), определить ширину водосливного фронта.

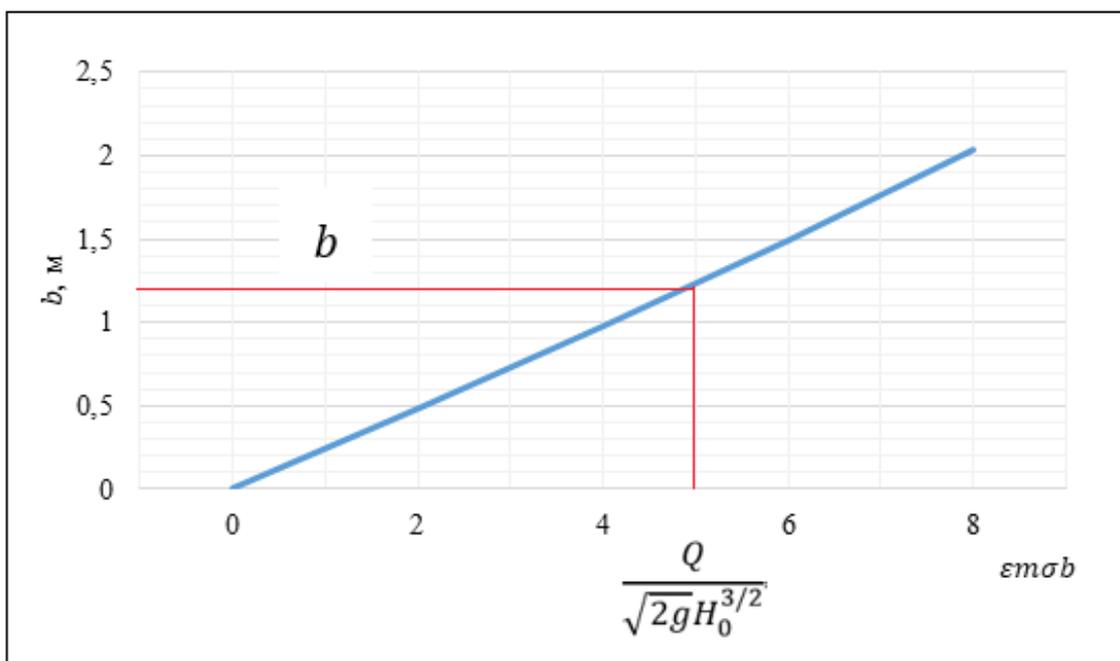


Рисунок 3 – График для определения ширины водосливного фронта

6. Принимается условно, что если ширина водосливного фронта превышает  $(2...2,5 H)$ , то следует поставить бычки, разбив ширину на несколько пролетов.

При назначении количества и ширины отверстий принимают значения  $b$  в метрах: 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0; 2,25; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 27; 30. Толщина бычка принимается  $t = 1,0...3,0$  м.

При округлении  $b$  необходимо уточнить расход, если перед входом водохранилище, или напор, если перед входом канал, используя формулу:

$$Q = \varepsilon \sigma t b \sqrt{2gH_0^{3/2}}, \quad (27)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент сжатия;  $\sigma$  – коэффициент подтопления;  $t$  – коэффициент расхода водослива;  $b$  – ширина водослива;  $H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g}$  – напор перед водосливом с учетом скорости подхода.

7. Принять длину водослива  $l = (3 \div 10)H$ .

8. Вычертить водослив с широким порогом в масштабе.

### 3. Организация защиты и критерии оценки курсового проекта

Выполненный курсовой проект представляется для проверки на кафедру техноферной безопасности и природообустройства не позднее, чем за неделю до даты проведения промежуточной аттестации по дисциплине. После проверки курсовой проект допускается к защите или отправляется на доработку. Если курсовой проект отправляется на доработку, следует устранить все замечания, указанные преподавателем, и повторно сдать его на проверку.

Если курсовой проект допускается к защите, студент должен быть готовым дать все необходимые пояснения по расчетам, чертежам и содержанию работы. По результатам защиты выставляется оценка, при этом учитываются правильность выполнения заданий, оформление работы, а также качество защиты.

Система оценивания результатов защиты курсового проекта включает в себя следующие оценки: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Критерии выставления оценки представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Критерии выставления оценки

Оценка Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изу-</b>	Не может делать научно коррект-	В состоянии осуществлять	В состоянии осуществлять	В состоянии осуществлять

Оценка Критерий	«неудовлетво- рительно»	«удовлетвори- тельно»	«хорошо»	«отлично»
<b>чаемого явления, процесса, объекта</b>	ных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	научно корректный анализ предоставленной информации	систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные	систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

## Список рекомендуемых источников

1. Чугаев, Р. Р. Гидравлика (техническая механика жидкости): учеб. / Р. Р. Чугаев; под ред. Б. И. Леонова. – 6-е изд., репринт. – Москва: БАСТЕТ, 2013. – 672 с.
2. Гидромеханика: учеб. / А. Ш. Ачкинадзе [и др.]. – Санкт-Петербург : МорВест, 2007. – 551 с.
3. Гидравлика: учеб.-метод. пособие по лаб. работам для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подгот. 20.03.02 Природообустройство и водопользование / Н. Р. Ахмедова; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2021. – 90 с.
4. Гидравлика: учеб.-метод. пособие по практ. занятиям для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подгот. 20.03.02 – Природообустройство и водопользование / Н. Р. Ахмедова; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2020. – 38 с.
5. Профессиональная справочная система Техэксперт  
<http://техэксперт.рус/>

## Приложение А. Схема гидроузла

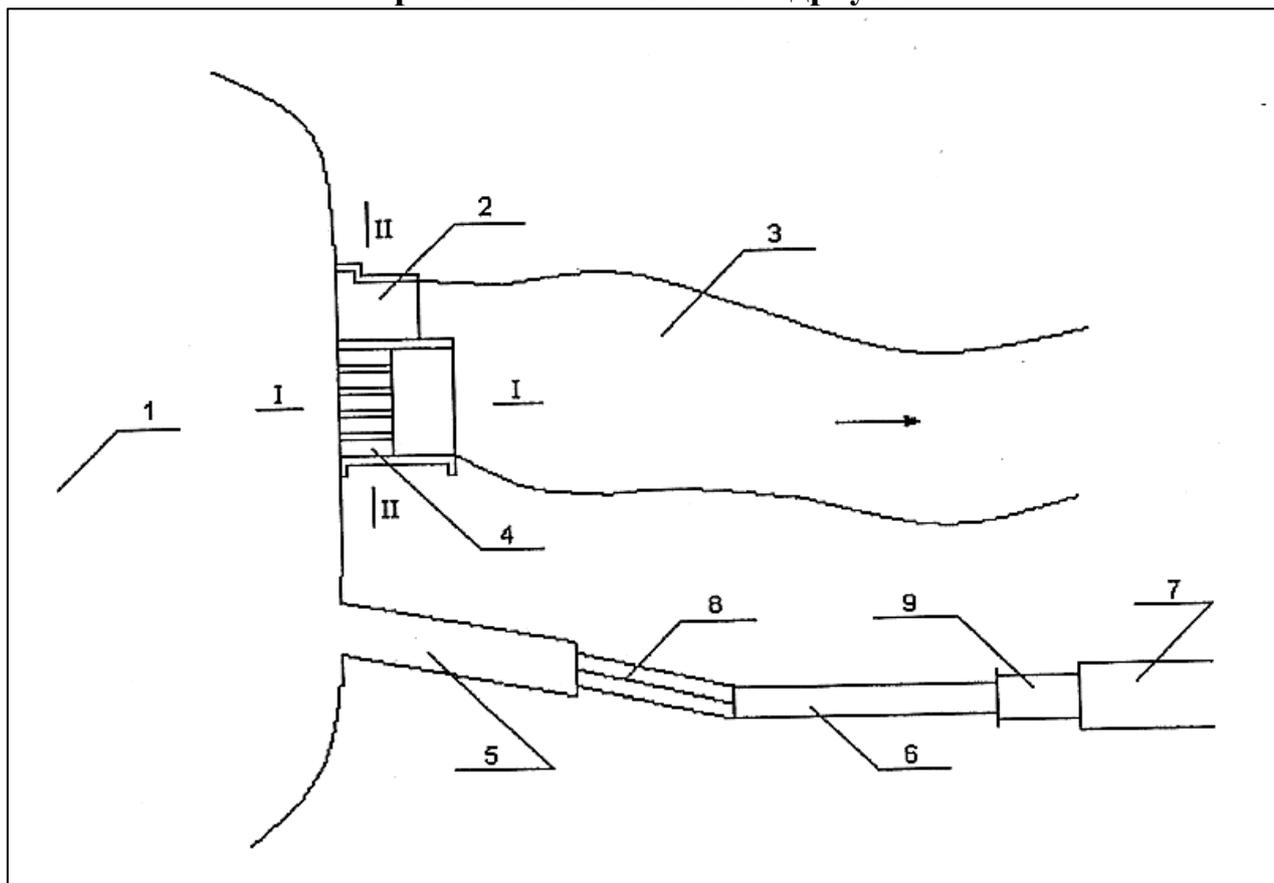


Рисунок А.1 - Схема гидроузла 1:

1 – водохранилище; 2 – ГЭС; 3 – река; 4 – водосброс; 5, 6, 7 – первый, второй и третий участки магистрального канала; 8 – водослив;  
9 – сопрягающее сооружение

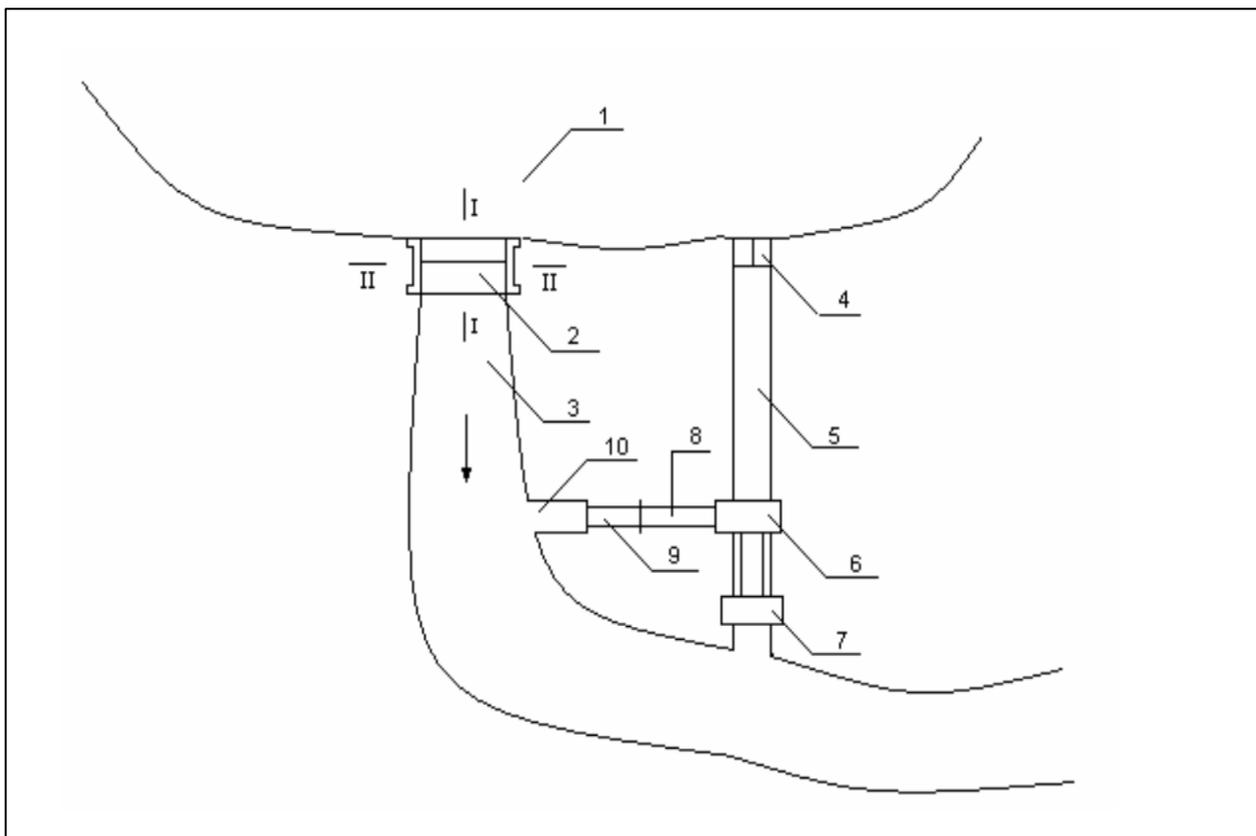


Рисунок А. 2 – Схема гидроузла 2:

1 – водохранилище, 2 – бетонная плотина, 3 – река, 4 – водослив, 5 – деривационный канал, 6 – водоприемник, 7 – здание ГЭС, 8,10 – сбросные каналы, 9 – сопрягающее сооружение

## Приложение Б. Бланк задания

Исходные данные к варианту №\_\_

1. Схема гидроузла 1

2. Магистральный канал

Расходы:  $Q_{\text{норм}}, \text{м}^3/\text{с}$  \_\_\_\_\_

$Q_{\text{макс}}, \text{м}^3/\text{с}$  \_\_\_\_\_

$Q_{\text{мин}}, \text{м}^3/\text{с}$  \_\_\_\_\_

Ширина первого участка по дну  $b$ , м \_\_\_\_\_

Уклоны: первого участка канала  $i$  \_\_\_\_\_

второго участка канала  $i$  \_\_\_\_\_

третьего участка канала  $i$  \_\_\_\_\_

Гидравлический показатель русла:

первого участка канала  $\chi$  \_\_\_\_\_

второго участка канала  $\chi$  \_\_\_\_\_

3. Водозаборный регулятор – водослив с широким порогом

Высота: входного порога  $P_1$ , м \_\_\_\_\_

4. Грунты в основании каналов:

первый участок канала \_\_\_\_\_

второй участок канала \_\_\_\_\_

третий участок канала \_\_\_\_\_

Задание выдано (дата) \_\_\_\_\_ Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

Задание получено \_\_\_\_\_ Подпись студента \_\_\_\_\_

Исходные данные к варианту №\_\_

1. Схема гидроузла 2

2. Деривационный канал

Расходы:  $Q_{\text{норм}}$ , м<sup>3</sup>/с \_\_\_\_\_

$Q_{\text{макс}}$ , м<sup>3</sup>/с \_\_\_\_\_

$Q_{\text{мин}}$ , м<sup>3</sup>/с \_\_\_\_\_

Ширина канала по дну  $b$ , м \_\_\_\_\_

Уклон канала  $i$  \_\_\_\_\_

Гидравлический показатель русла  $\chi$  \_\_\_\_\_

3. Сбросные каналы

Уклон первого участка сбросного канала  $i$  \_\_\_\_\_

Гидравлический показатель русла первого участка сбросного канала  $\chi$  \_\_\_\_\_

Уклон второго участка сбросного канала  $i$  \_\_\_\_\_

3. Водозаборный регулятор – водослив с широким порогом

Высота: входного порога  $P_1$ , м \_\_\_\_\_

4. Грунты в основании каналов:

деривационный канал \_\_\_\_\_

первый участок сбросного канала \_\_\_\_\_

второй участок сбросного канала \_\_\_\_\_

Задание выдано (дата) \_\_\_\_\_ Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

Задание получено \_\_\_\_\_ Подпись студента \_\_\_\_\_

## Приложение В. Исходные данные по вариантам

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Схема гидроузла	№ 1											
Магистральный канал $Q_{\text{норм}}$	45	52	56	63	68	73	78	81	86	94	96	99
Ширина канала по дну $b$	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	39
Уклоны												
первого участка канала $i$	0,00063	0,00065	0,00064	0,00071	0,00076	0,00075	0,00087	0,00084	0,00089	0,00093	0,00043	0,00053
второго участка канала $i$	0,00032	0,00033	0,00034	0,00034	0,00037	0,00035	0,00037	0,00047	0,00047	0,00045	0,00025	0,00036
третьего участка канала $i$	0,00025	0,00023	0,00024	0,00033	0,00038	0,00037	0,00044	0,00028	0,00036	0,00058	0,00018	0,00028
Гидравлический показатель русла												
первого участка канала $\chi$	4,0	3,75	3,25	3,0	2,5	2,0	4,0	3,75	3,25	3,0	2,5	2,0
второго участка канала $\chi$	2,0	2,5	3,0	3,25	3,75	4,0	2,0	2,5	3,0	3,25	3,75	4,0
Водозаборный регулятор												
Высота входного порога $P_1$	0,15	0,16	0,23	0,25	0,34	0,35	0,44	0,47	0,53	0,56	0,58	0,60
Грунты												
первый участок	Супесь	Плотная супесь	Лёгкий Суглинок	Гравелистый песок	Песок крупный	Тяжелые суглинки	Плотные лессы	Обычные глины	Тяжелые глины	Скальные	Супесчаные	Тяжелые суглинки
второй участок	Песок крупный	Скальные	Тяжелые глины	Обычные глины	Плотные лессы	Гравелистый песок	Песок крупный	Гравелистый песок	Лёгкий суглинок	Плотная супесь	Гравелистый песок	Гравелистый песок
третий участок	Тяжелые суглинки	Гравелистый песок	Скальные	Тяжелые глины	Обычные глины	Плотная супесь	Лёгкая супесь	Песок крупный	Гравелистый песок	Лёгкий суглинок	Тяжелые суглинки	Плотная супесь

Варианты	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Схема гидроузла	№ 2											
Деривационный канал расход $Q_{\text{нор}}$	25	27	29	32	34	36	38	40	42	44	46	48
Ширина канала по дну $b$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Уклон $i$	0,0002 3	0,00026	0,00028	0,00037	0,00035	0,00042	0,00016	0,00021	0,00023	0,00031	0,00033	0,00027
Сбросные каналы												
уклон первого участка $i$	0,0003 1	0,00033	0,00034	0,00033	0,00036	0,00035	0,00038	0,00044	0,00045	0,00043	0,00041	0,00042
уклон второго участка $i$	0,0002 2	0,00027	0,00025	0,00037	0,00034	0,00032	0,00042	0,00026	0,00035	0,00052	0,00015	0,00044
Гидравлический показатель русла												
деривационного канала $\chi$	4,0	3,75	3,25	3,0	2,5	2,0	4,0	3,75	3,25	3,0	2,5	2,0
первого участка сбросного канала $\chi$	2,0	2,5	3,0	3,25	3,75	4,0	2,0	2,5	3,0	3,25	3,75	4,0
Водозаборный регулятор												
Высота входного порога $P_1$	0,13	0,17	0,24	0,25	0,33	0,35	0,42	0,45	0,51	0,55	0,63	0,65
Грунты												
деривационный канал	Супесчаные	Плотная супесь	Лёгкий суглинок	Песчано-гравелистые	Песок крупный	Тяжелые суглинки	Плотные лессы	Обычные глины	Тяжелые глины	Скальные породы	Песчано-гравелистые	Супесчаные
первый участок сбросного канала	Песчано-гравелистые	Скальные породы	Тяжелые глины	Обычные глины	Плотные лессы	Песчано-гравелистые	Песок крупный	Песчано-гравелистые	Лёгкий суглинок	Плотная супесь	Супесчаные	Песчано-гравелистые
второй участок сбросного канала	Тяжелые суглинки	Песчано-гравелистые	Скальные породы	Тяжелые глины	Обычные глины	Плотная супесь	Лёгкий суглинок	Песок крупный	Песчано-гравелистые	Лёгкий суглинок	Плотная супесь	Тяжелые суглинки

## Приложение Г. Пример оформления титульного листа

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

Кафедра техносферной безопасности и природообустройства

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**  
по дисциплине «Гидравлика»  
Тема «Гидравлический расчет открытых русел и гидротехнических сооружений»

**КП 20.03.02.ХХ<sup>1</sup>ВП.ХХ<sup>2</sup>**

Работу выполнил  
Ф.И.О. студента полностью  
Работу проверил  
Ф.И.О. преподавателя

Калининград 20\_\_

---

<sup>1</sup> Номер группы  
<sup>2</sup> Номер варианта

**Приложение Д. Значение функции  $\Phi(z)$  при различных гидравлических показателях  $x$  при уклоне  $i > 0$**

z	x									
	2,0	2,5	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,5	5,0	5,5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,10	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
0,2	0,202	0,201	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
0,3	0,309	0,304	0,302	0,301	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
0,4	0,423	0,411	0,407	0,404	0,403	0,403	0,402	0,401	0,400	0,400
0,50	0,549	0,527	0,517	0,513	0,510	0,508	0,507	0,504	0,502	0,501
0,6	0,693	0,657	0,637	0,630	0,624	0,621	0,617	0,610	0,607	0,605
0,62	0,725	0,685	0,663	0,654	0,648	0,644	0,640	0,632	0,629	0,626
0,64	0,758	0,714	0,689	0,680	0,673	0,668	0,664	0,656	0,651	0,648
0,66	0,792	0,744	0,717	0,706	0,699	0,694	0,688	0,680	0,674	0,670
0,68	0,829	0,776	0,746	0,734	0,725	0,720	0,713	0,704	0,698	0,692
0,70	0,867	0,809	0,776	0,763	0,753	0,746	0,739	0,728	0,722	0,716
0,72	0,907	0,843	0,807	0,793	0,781	0,774	0,766	0,754	0,747	0,740
0,74	0,950	0,88	0,840	0,823	0,811	0,802	0,794	0,780	0,773	0,764
0,76	0,996	0,919	0,87	0,855	0,843	0,832	0,823	0,808	0,799	0,788
0,78	1,045	0,960	0,911	0,890	0,877	0,865	0,854	0,837	0,826	0,814
0,80	1,098	1,006	0,950	0,927	0,913	0,900	0,887	0,867	0,854	0,842
0,82	1,156	1,056	0,993	0,968	0,951	0,937	0,922	0,898	0,884	0,872
0,84	1,221	1,110	1,040	1,013	0,992	0,976	0,960	0,933	0,917	0,904
0,86	1,293	1,170	1,092	1,062	1,039	1,019	1,002	1,972	0,953	0,938
0,88	1,375	1,238	1,151	1,116	1,092	1,069	1,049	1,015	0,992	0,975
0,90	1,472	1,316	1,218	1,179	1,152	1,127	1,103	1,065	1,038	1,017
0,91	1,527	0,361	1,257	1,216	1,186	1,159	1,132	1,093	2,063	1,040
0,92	1,589	1,411	1,300	1,257	1,223	1,194	1,165	1,124	1,091	1,066
0,93	1,658	1,469	1,348	1,302	1,265	1,235	1,204	1,159	1,122	1,095
0,94	1,738	1,535	1,403	1,352	1,312	1,280	1,247	1,198	1,157	1,128
0,95	1,831	1,610	1,467	1,411	1,367	1,332	1,297	1,241	1,197	1,165
0,96	1,945	1,701	1,545	1,483	1,435	1,395	1,356	1,292	1,246	1,209
0,97	2,092	1,820	1,644	1,575	1,521	1,475	1,431	1,362	1,308	1,265
0,98	2,297	1,985	1,783	1,703	1,640	1,587	1,537	1,460	1,394	1,344
0,99	1,646	2,264	2,018	1,921	1,844	1,777	1,714	1,614	1,538	1,474
1,00	$\infty$									
1,01	2,652	2,863	1,419	1,265	1,138	1,031	0,936	0,790	0,680	0,598
1,02	2,307	1,591	1,193	1,053	0,940	0,847	0,766	0,641	0,546	0,474
1,03	2,107	1,432	1,061	0,931	0,827	0,742	0,668	0,555	0,468	0,402
1,04	1,966	1,320	0,967	0,845	0,747	0,668	0,600	0,494	0,415	0,353
1,05	1,857	1,234	0,896	0,779	0,687	0,612	0,548	0,447	0,375	0,317
1,07	1,693	1,105	0,790	0,682	0,600	0,529	0,471	0,381	0,316	0,266
1,09	1,573	1,009	0,713	0,612	0,534	0,469	0,415	0,332	0,271	0,226
1,11	1,477	0,933	0,652	0,557	0,482	0,422	0,372	0,293	0,237	0,196

z	x									
	2,0	2,5	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,5	5,0	5,5
1,13	1,398	0,872	0,602	0,512	0,442	0,384	0,337	0,263	0,211	0,172
1,15	1,331	0,821	0,561	0,475	0,407	0,353	0,308	0,238	0,190	0,153
1,17	1,273	0,775	0,525	0,442	0,377	0,326	0,283	0,217	0,173	0,137
1,19	1,222	0,736	0,495	0,413	0,352	0,302	0,262	0,200	0,158	0,124
1,21	1,177	0,701	0,467	0,388	0,330	0,282	0,243	0,184	0,144	0,113
1,23	1,136	0,670	0,442	0,366	0,310	0,263	0,227	0,170	0,132	0,103
1,05	1,857	1,234	0,896	0,779	0,687	0,612	0,548	0,447	0,375	0,317
1,07	1,693	1,105	0,790	0,682	0,600	0,529	0,471	0,381	0,316	0,266
1,09	1,573	1,009	0,713	0,612	0,534	0,469	0,415	0,332	0,271	0,226
1,11	1,477	0,933	0,652	0,557	0,482	0,422	0,372	0,293	0,237	0,196
1,13	1,398	0,872	0,602	0,512	0,442	0,384	0,337	0,263	0,211	0,172
1,15	1,331	0,821	0,561	0,475	0,407	0,353	0,308	0,238	0,190	0,153
1,17	1,273	0,775	0,525	0,442	0,377	0,326	0,283	0,217	0,173	0,137
1,19	1,222	0,736	0,495	0,413	0,352	0,302	0,262	0,200	0,158	0,124
1,21	1,177	0,701	0,467	0,388	0,330	0,282	0,243	0,184	0,144	0,113
1,23	1,136	0,670	0,442	0,366	0,310	0,263	0,227	0,170	0,132	0,103
1,25	1,098	0,643	0,420	0,346	0,292	0,247	0,212	0,158	0,121	0,094
1,27	1,065	0,618	0,400	0,328	0,276	0,233	0,199	0,147	0,111	0,086
1,29	1,033	0,594	0,382	0,312	0,261	0,220	0,187	0,137	0,103	0,079
1,31	1,004	0,571	0,365	0,297	0,247	0,208	0,176	0,129	0,095	0,073
1,33	0,977	0,551	0,349	0,283	0,235	0,197	0,166	0,121	0,089	0,067
1,35	0,952	0,533	0,334	0,271	0,224	0,187	0,157	0,113	0,083	0,061
1,37	0,928	0,516	0,322	0,259	0,214	0,177	0,149	0,106	0,077	0,056
1,40	0,896	0,492	0,304	0,243	0,199	0,165	0,137	0,097	0,070	0,050
1,42	0,876	0,477	0,293	0,233	0,191	0,157	0,131	0,091	0,066	0,046
1,44	0,856	0,463	0,283	0,225	0,183	0,150	0,125	0,085	0,062	0,044
1,46	0,838	0,450	0,273	0,217	0,175	0,144	0,119	0,081	0,058	0,042
1,48	0,821	0,438	0,263	0,209	0,168	0,138	0,113	0,077	0,054	0,040
1,5	0,805	0,426	0,255	0,201	0,162	0,132	0,108	0,073	0,052	0,038
1,6	0,733	0,376	0,218	0,170	0,134	0,108	0,087	0,058	0,039	0,027
1,7	0,675	0,336	0,189	0,145	0,113	0,09	0,072	0,046	0,030	0,020
1,8	0,626	0,303	0,166	0,124	0,096	0,077	0,060	0,037	0,023	0,015
1,9	0,585	0,253	0,147	0,108	0,083	0,066	0,050	0,030	0,018	0,011
2,0	0,550	0,216	0,132	0,097	0,073	0,057	0,043	0,025	0,015	0,008
2,2	0,490	0,188	0,108	0,077	0,057	0,043	0,032	0,018	0,010	0,006
2,4	0,444	0,165	0,090	0,063	0,046	0,034	0,024	0,013	0,007	0,004
2,6	0,405	0,146	0,076	0,052	0,037	0,028	0,019	0,0095	0,0050	0,0025
2,8	0,374	0,131	0,065	0,044	0,030	0,022	0,015	0,0075	0,0040	0,0015
3,0	0,346	0,104	0,056	0,037	0,025	0,0185	0,0125	0,0060	0,0030	0,00075
3,5	0,294	0,084	0,041	0,026	0,017	0,0125	0,0075	0,0035	0,0020	0,0005
4,0	0,255	0,070	0,031	0,019	0,012	0,0085	0,0050	0,0020	0,0010	0,00025
4,5	0,226	0,059	0,025	0,014	0,009	0,0065	0,0035	0,0015	0,0005	0

z	x									
	2,0	2,5	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,5	5,0	5,5
5,0	0,203	0,047	0,020	0,010	0,007	0,0050	0,0025	0,0010	0	0
6,0	0,168	0,029	0,014	0,007	0,004	0,0030	0,0015	0,0005	0	0
8,0	0,126	0,021	0,009	0,004	0,002	0,0015	0,0010	0,0002	0	0
10,0	0,100	0	0,005	0,002	0,001	0,0005	0,0005	0	0	0

## Глоссарий

**Атмосферное давление** - давление, производимое атмосферой на находящиеся в ней предметы и на земную поверхность. С увеличением высоты уменьшается.

**Безнапорное движение жидкости** – движение жидкости по туннелю со свободной поверхностью потока по всей его длине.

**Бьеф** – часть водотока, примыкающая к водоподпорному сооружению.

**Водное сечение** – поперечное сечение водного потока.

**Водослив** – гидротехническое сооружение в виде препятствия или горизонтального стеснения, через которое происходит перелив воды.

**Водослив с широким порогом** – водослив, условия перелива воды через который определяется течением по его горизонтальной или слабонаклонной поверхности.

**Водохранилище** – искусственный водоем, образованный водоподпорным сооружением, заполнением водой впадины или обвалованной территории с целью хранения воды и/или регулирования стока специальными сооружениями, создания напора.

**Гидравлика** – наука о законах движения и равновесия жидкостей и способах приложения этих законов к решениям задач инженерной практики.

**Деривационная гидроэлектростанция** – гидроэлектрическая станция, использующая перепад уровней воды, создаваемый в основном посредством деривации.

**Деривация** – совокупность сооружений, осуществляющих отвод воды из естественного русла или водохранилища с целью создания сосредоточенного перепада уровней воды.

**Живое сечение** – часть водного сечения, в которой наблюдается течение воды.

**Канал** – искусственный открытый водовод в земляной выемке или насыпи.

**Напор  $H$**  – энергия единицы массы жидкости, деленная на ускорение свободного падения.

**Перепад высот** – разница высот между двумя точками.

**Плотность  $\rho$**  – масса в единице объема при указанной температуре.

**Поверхность водосливная** – поверхность конструкции водослива, по которой непосредственно происходит слив воды.

**Подпор** - подъем уровня воды, возникающий вследствие преграждения или стеснения русла водотока или изменения условий стока подземных вод.

**Полный напор** – сумма пьезометрического и скоростного напоров.

**Продольный профиль реки** – график, на котором изображен продольный вертикальный разрез реки с нанесением высотного положения водной поверхности и линии дна (по стрежню или фарватеру).

**Расход жидкости** – объем жидкости, протекающей через живое сечение потока в единицу времени.

**Свободная поверхность жидкости** – поверхность раздела между жидкостью и внешней газообразной средой.

**Средняя скорость** – отношение объемного расхода воды к площади поперечного сечения потока или результат интегрирования поля местных скоростей по площади поперечного сечения.

**Удельная энергия** – энергия единицы массы жидкости.

**Уровень воды** – высота поверхности воды в водном объекте над условной горизонтальной плоскостью сравнения.

**Шлюз-регулятор** – водопропускное сооружение на каналах (как правило, оросительных, обводнительных и водопроводных), предназначенное для изменения (посредством регулирования затворами) расходов воды.

Учебное издание

Наталья Равиловна Ахмедова

## **ГИДРАВЛИКА**

*Редактор И. Голубева*

Подписано в печать 30.06. 2022 г. Формат 60 × 90 1/16. Уч.-изд. л. 3,7  
Печ. л. 2,6. Тираж 30 экз. Заказ № 52.

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
236022, Калининград, Советский проспект, 1