

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Колин Андрей Эдуардович

Должность: ректор

Дата подписания: 13.10.2023 09:35:21

Уникальный программный ключ:

f6c6d686f0c899fd76a1ed8b448452ab8cac6fb1af6547b6d40cdf1bdc60ae2

ФГБОУ ВО ПРИМОРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
АКАДЕМИЯ

УТВЕРЖДАЮ

Декан института \_\_\_\_\_

«22» июня 2016г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### Гидравлика гидротехнических сооружений

Уровень основной профессиональной образовательной программы академический бакалавриат

Направление подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование

Направленность (профиль) Инженерные системы с/х водоснабжения, обводнения и водопользования

Форма обучения очная, заочная

Институт инженерно-технологический

Кафедра водоснабжения и водоотведения

Статус дисциплины: вариативная (обязательная для изучения) Б1. В.08

Курс 2 / 3

Семестр 4

Учебный план набора 2016 года и последующих лет.

Распределение рабочего времени:

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО СЕМЕСТРАМ

СЕМЕСТР (для очного обучения)	Учебные занятия (час.)							САМО- СТОЯ- ТЕЛЬНАЯ РАБОТА	Форма ито- говой атте- стации (зач., зач.с оцен- кой, экз.)
	ОБЩИЙ ОБЪЁМ	аудиторные					КОНТРОЛЬ СР		
		ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛЗ	ПЗ	КП-КР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ОЧНОЕ ОБУЧЕНИЕ									
4	108	54	20	16	18			54	ЗАЧЕТ
ЗАОЧНОЕ ОБУЧЕНИЕ									
3 КУРС	108	14	6	4	4		4	90	ЗАЧЕТ

Общая трудоёмкость в соответствии с учебным планом в зачётных единицах 3 ЗЕТ.

## Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование, утвержденного 6 марта 2015, приказ № 160, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «3» июня 2016 г., протокол № 10.

Разработчики к.г.н, доцент  
кафедры водоснабжения  
и водоотведения

\_\_\_\_\_

В.Н. Децик

Зав. кафедрой: к.б.н, доцент  
кафедры водоснабжения  
и водоотведения

\_\_\_\_\_

Л.В. Свитайло

Рабочая программа одобрена на совете института, протокол № 10 от «22» июня 2016 г.

### I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Л.В. Свитайло

### II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Л.В. Свитайло

### **1 Цели и задачи дисциплины (модуля):**

Цели дисциплины: получение знаний о законах равновесия и движения жидкостей и о способах применения этих законов при решении практических задач в области водоснабжения и водоотведения.

Задачи дисциплины: овладение основными методами расчета гидравлических параметров открытых потоков и сооружений; получение навыков решения важных прикладных задач в области систем водоснабжения и водоотведения.

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы:**

дисциплина вариативной части (обязательная для изучения) Б1. В.08; дисциплина осваивается в 4 семестре. Форма контроля - зачёт, расчетно-графическая работа.

### **3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы:**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирования следующих компетенций: способностью использовать методы выбора структуры и параметров систем природообустройства и водопользования (ПК-12); способностью использовать методы проектирования инженерных сооружений, их конструктивных элементов (ПК-13);

В результате освоения дисциплины студент должен:

**Знать:** основные параметры и способы расчета потоков в открытых руслах; способы гидравлического обоснования размеров основных сооружений на открытых потоках; назначение и область применения гидротехнических сооружений; устанавливать основные исходные данные для расчетов гидротехнических сооружений; основы фильтрационных расчетов.

**Уметь:** рассчитывать каналы и другие открытые русла; рассчитывать гидротехнические сооружения, относящиеся к области водоснабжения и водоотведения; выполнять основные расчеты фильтрации.

**Владеть:** навыками выполнения инженерных гидравлических расчетов сооружений, соответствующих направлению подготовки; методикой выбора вида гидротехнических сооружений; методами проведения лабораторных гидравлических исследований, обработки и анализа их результатов.

**4 Объем дисциплины (модуля) в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц.

Вид учебной работы	4	3	Всего часов очное/заочное
	семестр	курс з/о	
<b>Аудиторные занятия (контактная работа обучающихся с преподавателем), (всего)</b>	68	18	68/18
В том числе:			
Лекции (Л)	22	6	22/6
Практические занятия (ПЗ)	30	8	
Лабораторные работы (ЛР)	16	4	16/4
Контроль самостоятельной работы		4	/4
<i>Другие виды аудиторной работы</i>			
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	76	122	76/122
В том числе:			
Расчётно-графические работы (РГР)	50		50/
Реферат (Р)			
Контрольная работа (КР)		44	/44
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>	26	78	26/78
Вид промежуточной аттестации (зачёт)	зачет	зачет	
Общая трудоёмкость : час	144	144	144/144
зач. ед.	4	4	4

## 5 Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

### 5.1 Содержание разделов (модулей) дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Установившееся движение жидкости в открытых руслах, равномерное и неравномерное движение жидкости в призматических руслах.	Удельная энергия сечения, ее график, критическая глубина, критический уклон. Спокойное, бурное и критическое состояние потока. Параметр кинетичности. Дифференциальное уравнение установившегося плавно изменяющегося движения в открытом русле и его интегрирование. Равномерное движение в водотоках и его параметры. Определение размеров живого сечения канала при различных исходных данных. Проверка канала на размыв и заилиение. Исследование кривых свободной поверхности потока. Расчет и построение кривых свободной поверхности в призматических руслах.
2.	Гидравлический прыжок.	Виды гидравлического прыжка. Совершенный гидравлический прыжок, его структура. Уравнение совершенного гидравлического прыжка. Прыжковая функция и ее график. Формулы сопряженных глубин для прямоугольных русел. Потери энергии в прыжке. Длина прыжка и послепрыжкового участка.
3.	Истечение через водосливы.	Классификация водосливов и области их применения. Общее уравнение водосливов. Учет бокового сжатия на водосливах. Условия подтопления водосливов и его учет. Расчет сооружений, работающих по типу водослива с тонкой стенкой, водослива практического профиля, водослива с широким порогом.
4.	Истечение из-под затворов.	Условия истечения жидкости из-под затворов. Уравнения расхода при свободном и несвободном истечении. Критерий затопления. Глубина в сжатом сечении, глубина над сжатым сечением.
5.	Сопряжение бьефов за сооружениями.	Сопряжение потоков в каналах при изменении продольного уклона дна. Беспрыжковое сопряжение бьефов. Сопряжение ниспадающей водосливной струи с потоком нижнего бьефа. Глубина в сжатом сечении и сопряженная с ней. Виды сопряжения потоков с гидравлическим прыжком; отогнанный и надвинутый прыжок, прыжок в предельном положении. Гасители энергии в нижнем бьефе сооружений. Гидравлический расчет водобойного колодца, водобойной стенки.

6.	Основы фильтрационных расчетов.	Основные характеристики фильтрации в грунтах. Основной закон ламинарной фильтрации (закон Дарси). Равномерное и неравномерное движение грунтовых вод. Дифференциальное уравнение неравномерного плавно изменяющегося движения грунтовых вод и его интегрирование для случая плоской задачи. Формы кривых депрессии. Приток грунтовых вод к водосборным сооружениям.
----	---------------------------------	---

### 5.2 Разделы (модули) дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	очное		заочное		Всего, час	
		Лекции	Лабораторно/практические занятия	Лекции	Лабораторно/практические занятия	очное	заочное
1	Установившееся движение жидкости в открытых руслах, равномерное и неравномерное движение жидкости в призматических руслах.	12	16	2	2	28	4
2	Гидравлический прыжок.	2	2/2	2	1/2	6	5
3	Истечение через водосливы.	2	6/8	1	1/2	16	4
4	Истечение из-под затворов.	2	2/			4	
5	Сопряжение бьефов за сооружениями.	2	4/4	1	1/2	10	4
6	Основы фильтрационных расчетов	2	2/		1/	4	1
	Итого, час	22	16/30	6	4/8	68	18

### 5.3 Разделы (модули) дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими)

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин							
		1	2	3	4	5	6		
		Предшествующие дисциплины							
1.	Гидрология, метеорология и регулиро-	х				х	х		

	вание стока									
2.	Гидравлика	х	х	х	х	х	х			
3.	Гидрогеология и основы геологии						х			
Последующие дисциплины										
1.	Гидротехнические сооружения	х	х	х	х	х	х			
2.	Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнения	х		х	х		х			
3.	Водоотведение и очистка сточных вод	х	х	х	х	х				
4.	Мелиорация водосборов	х			х	х				

## 6 Методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы	Формы	Лекции (час)	Практические/семинарские Занятия (час)	Тренинг Мастер-класс (час)	СРС (час)	Всего
	IT-методы					
	Работа в команде					
	Творческое задание		6		4	10
	Мозговой штурм					
	Итого интерактивных занятий		6		4	10

### 6.1 Применение активных и интерактивных методов обучения

№ п/п	Форма занятия	Тема занятия	Наименование используемых интерактивных методов	Количество часов
1.	Практическое	Установление формы кривой свободной поверхности в магистральном канале	Творческое задание	2
2.	Практическое	Определение формы сопряжения потока в нижнем бьефе	Творческое задание	2
3.	Практическое	Расчет гасителя энергии потока в нижнем бьефе плотины	Творческое задание	2

## 7 Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины из таблицы 5.1.	Наименование практических занятий	Трудоёмкость (час.)	
			очное	заочное
1	2	Исследование гидравлического прыжка	2	1
2	3	Определение расхода водослива с тонкой стенкой	2	--
3	3	Изучение истечения через водослив с широким порогом	2	1
4	3	Изучение истечения через водослив практического профиля	2	
5	5	Исследование характера сопряжения потока в нижнем бьефе	2	1
6	4	Исследование истечения из-под затвора	2	--
7	6	Определение коэффициента фильтрации пористого грунта	2	1
8	5	Расчет гасителя энергии потока в нижнем бьефе плотины	2	--
Итого, час			16	4

## 8. Практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины из таблицы 5.1.	Наименование практических занятий	Трудоёмкость (час.)	
			очное	заочное
1	1	Расчет глубин в канале графо-аналитическим способом	2	1
2	1	Расчет глубин в канале методом Агроскина	2	1
3	1	Расчет ширины канала по дну методом Агроскина	2	
4	1	Расчет канала замкнутого сечения	2	
5	1	Установление формы кривой свободной поверхности в магистральном канале	2	--



6	1	Расчет кривой свободной поверхности в магистральном канале	6	
7	3	Расчет водослива с широким порогом	4	2
8	3	Расчет профиля плотины практического профиля	2	--
9	3	Расчет водосливной плотины практического профиля	4	2
10	5	Определение формы сопряжения потока в нижнем бьефе	2	1
11	5	Расчет гасителя энергии потока в нижнем бьефе плотины	2	1
		Итого, час	30	8

## 9 Самостоятельная работа

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Тематика самостоятельной работы (детализация)	Трудоемкость, (час.)		Контроль выполнения работы
			очное	заочное	
1	1	<p>Расчетно-графическая работа №1 «Гидравлические расчеты каналов»</p> <p>1. Гидравлические расчеты магистрального канала</p> <p>1.1 Определение глубин воды в канале графоаналитическим способом</p> <p>1.2 Определение глубины воды в канале по методу Агроскина</p> <p>1.3 Проверка канала на размыв</p> <p>2. Гидравлический расчет сбросного канала по методу Агроскина</p> <p>3. Расчет кривой подпора в магистральном канале</p> <p>4. Расчет канала замкнутого сечения</p>	30	20	Защита работы
2	3, 5	<p>Расчетно-графическая работа №2 «Гидравлические расчеты водосливов»</p> <p>1. Расчет шлюза-регулятора в голове магистрального канала</p> <p>2. Гидравлические расчеты водосливной плотины</p> <p>2.1 Построение профиля плотины практического профиля</p>	20	24	Защита работы

		2.2.Гидравлический расчет водосливной плотины 2.3.Расчеты нижнего бьефа водосливной плотины			
2	1-6	Самостоятельное изучение теоретического материала	26	78	Тестирование
Итого			<b>76</b>	<b>122</b>	

## **10 Примерная тематика курсовых проектов (работ)**

Не предусмотрено учебным планом.

## **11 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля):**

### **11.1 Основная литература**

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Учебник. – М.: КолосС, 2004.- 656с.
2. Бочаров, С.В. Гидравлика сооружений [Электронный ресурс] / С.В. Бочаров. – Электрон. текст. дан.- Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. – 296 с. – 1 электрон. опт. диск.
3. Нестеров, М.В. Гидротехнические сооружения [Электронный ресурс]: учеб. пособие /М.В. Нестеров. — Электрон. текст. дан. — Мн.: Новое знание, 2014. — 600 с. — Режим доступа: [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com).

### **11.2 Дополнительная литература**

1. Колганов А.В., Полад-заде П.А. Мелиорация и водное хозяйство. Справочник. Сооружения, строительство.- М.: «Ассоциация Экост», 2002.- 601с.
2. Яковлева Л.В. Практикум по гидравлике. – М.: Агропромиздат, 1990.- 144с.

### **11.3 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

**(модуля)**

1. Гидравлика гидротехнических сооружений: методические указания к самостоятельной работе, практическим занятиям и расчетно-графическим работам для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование». Издание 2-е, дополненное и переработанное. / ФГБОУ ВО ПГСХА; сост. В.Н. Децик. – Уссурийск, 2016. - 64 с.
2. Гидравлика гидротехнических сооружений: методические указания к лабораторным работам для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» / ФГБОУ ВО «Приморская ГСХА»; сост. В.Н. Децик. – Уссурийск, 2016. - 44 с.

**11.4 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем:**

Наименование	Назначение
MS Windows 7	Контроль использования и распределения ресурсов вычислительной системы и организация взаимодействия пользователя с компьютером.
MS Office 2010	Создание и редактирование текстовых документов; обработка табличных данных и выполнений вычислений; подготовка электронных презентаций; создание и редактирование рисунков и деловой графики.
SunRav Software	Инструмент компьютерного тестирования и создания электронных книг и учебников.
Sumatra PDF	Программа для просмотра электронных документов
ESET Nod 32 Smart Security	Средство антивирусной защиты
Google Chrome	Браузер для работы в сети Internet

**11.5 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля):**

Наименование	Назначение
Электронно-библиотечная система	Работа в электронно-библиотечной системе издательства "Лань" <a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>
Электронная библиотека	Работа в электронной библиотеке методических материалов ФГБОУ ВО Приморская государственная сельскохозяйственная академия <a href="http://elib.primacad.ru/">http://elib.primacad.ru/</a>
Образовательный портал	Работа в электронной информационно-образовательной среде ФГБОУ ВО Приморская ГСХА <a href="http://de.primacad.ru/">http://de.primacad.ru/</a>

## 12 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю):

Наименование специальных и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность помещений
Аудитория для проведения занятий лекционного типа	Специализированная мебель, мультимедийный проектор, экран
Аудитория для проведения занятий семинарского типа	Специализированная мебель, мультимедийный проектор, экран.
Лаборатория для проведения лабораторных работ	Специализированная мебель, открытый гидравлический лоток с образцами водосливов и затворов, установка Дарси и измерительные приборы.
Аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций (компьютерный класс)	Специализированная мебель, мультимедийный проектор, экран. 14 ПК, принтер, сканер.
Аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс)	Специализированная мебель, 14 ПК, принтер, сканер, мультимедийный проектор, экран, выход в Internet, ЭБС издательства «Лань», доступ в электронную образовательную среду академии, электронная библиотека методических материалов Приморской государственной сельскохозяйственной академии.
Аудитория для	Специализированная мебель, 14 ПК, принтер,

самостоятельной подготовки обучающихся (компьютерный класс)	сканер, мультимедийный проектор, экран, выход в Internet, ЭБС издательства «Лань», доступ в электронную образовательную среду академии, электронная библиотека методических материалов Приморской государственной сельскохозяйственной академии.
Электронный читальный зал (для самостоятельной подготовки обучающихся)	Специализированная мебель, 17 ПК, принтер, сканер, мультимедийный проектор, экран, выход в Internet, ЭБС издательства «Лань», доступ в электронную образовательную среду академии, электронная библиотека методических материалов Приморской государственной сельскохозяйственной академии.

**13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю):  
(является отдельным документом)**

**14 Особенности реализации дисциплины (модуля) для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

14.1 Наличие соответствующих условий реализации дисциплины (модуля)

Для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья на основании письменного заявления дисциплина (модуль) реализуется с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья (далее - индивидуальных особенностей). Обеспечивается соблюдение следующих общих требований: использование специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования, предоставление услуг ассистента (помощника), оказывающего такому обучающемуся необходимую техническую помощь, обеспечение доступа в здания и помещения, где проходят занятия, другие условия, без которых невозможно или затруднено изучение дисциплины (модуля).

14.2 Обеспечение соблюдения общих требований

При реализации дисциплины (модуля) на основании письменного заявления обучающегося обеспечивается соблюдение следующих общих требований: проведение занятий для студентов-инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в одной аудитории совместно с обучающимися, не имеющими ограниченных возможностей здоровья, если это не создает трудностей для обучающихся; присутствие в аудитории ассистента (ассистентов), оказывающего(их) обучающимся необходимую техническую помощь с учетом их индивидуальных особенностей на основании письменного заявления; пользование необходимыми обучающимся техническими средствами с учетом их индивидуальных особенностей.

14.3 Доведение до сведения обучающихся с ограниченными возможностями здоровья в доступной для них форме всех локальных нормативных актов ФГБОУ ВО Приморская ГСХА по вопросам реализации данной образовательной программы.

Локальные нормативные акты ФГБОУ ВО Приморская ГСХА по вопросам реализации данной образовательной программы доводятся до сведения обучающихся с ограниченными возможностями здоровья в доступной для них форме.

14.4 Реализация увеличения продолжительности прохождения промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности для обучающегося с ограниченными возможностями здоровья.

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) для обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей (устно, письменно на бумаге, на компьютере, в форме тестирования и т.п.). Продолжительность прохождения промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности увеличивается по письменному заявлению обучающегося с ограниченными возможностями здоровья. Продолжительность подготовки обучающегося к ответу увеличивается не менее чем на 0,5 часа.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Приморская сельскохозяйственная академия»  
(ПГСХА)

Инженерно-технологический институт

---

## **КОНСПЕКТЫ ЛЕКЦИЙ**

по дисциплине

### **Гидравлика гидротехнических сооружений**

направление подготовки 20.03.02 «Природообустройство и  
водопользование»

г. Уссурийск 2016

## **Лекция 1. Установившееся движение жидкости в открытых руслах**

- 1. Движение жидкости в открытых руслах**
- 2. Формы поперечного сечения каналов и их гидравлические характеристики**
- 3. Основное дифференциальное уравнение установившегося движения жидкости**

### **1 вопрос.**

Формы русел: закрытые и открытые русла.

Неустановившееся и установившееся движение жидкости в открытых руслах. Формы установившегося движения: равномерное и неравномерное.

Признаки равномерного движения воды в открытых руслах. Отличие неравномерного движения.

### **2 вопрос.**

Формы открытых русел: призматические и непризматические.

Виды поперечного сечения открытых каналов.

Каналы трапециидального сечения. Их геометрические характеристики: ширина по дну, глубина потока, коэффициент заложения откосов, ширина потока поверху, площадь поперечного сечения потока. Гидравлические характеристики поперечного сечения: гидравлический радиус, смоченный пе-



риметр, относительная ширина канала по дну, безразмерная характеристика живого сечения.

Каналы сегментного сечения и их характеристики.

### **3 вопрос.**

Гидравлические характеристики потока: уклон дна, расход, площадь живого сечения потока, средняя скорость, гидравлический уклон.

Расчетная схема. Уравнение Бернулли для потока. Основное дифференциальное уравнение установившегося движения жидкости. Параметр кинетичности потока.

Литература.

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Учебник. – М.: КолосС, 2004.- 656с.

## **Лекция 2-3. Гидравлические расчеты призматических русел при установившемся равномерном движении жидкости.**

### **1. Виды установившегося движения жидкости**

### **2. Гидравлические расчеты трапециидальных каналов при равномерном движении жидкости**

### **3. Гидравлические расчеты труб.**

#### **1 вопрос.**

Виды установившегося движения жидкости:

- кривая подпора;
- кривая спада;
- установившееся равномерное движение.

Условия равномерного движения: гидравлический уклон равен уклону дна; глубина потока равна нормальной глубине.

Основным расчетным уравнением открытых русел при установившемся равномерном движении является формула Шези

$$Q = \omega c \sqrt{Ri} \quad \text{м}^3/\text{с},$$

где  $Q$  - постоянный расход, проходящий через данное живое сечение,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\omega$  - площадь живого сечения потока,  $\text{м}^2$ ;

$C$  - коэффициент Шези,  $\text{м}^{0,5}/\text{с}$ ;

$R$  - гидравлический радиус сечения,  $\text{м}$ ;

$i$  - уклон дна канала.

Часто при гидравлических расчетах формула (1.1) записывается в виде

$$Q = K \sqrt{i} \quad \text{м}^3/\text{с},$$

где  $K$  - расходная характеристика русла,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $K = \omega c \sqrt{R}$ .

Коэффициент Шези  $C$  определяется по формуле Н.Н. Павловского

$$C = \frac{1}{n} R^{\acute{o}} \quad \text{м}^{0,5}/\text{с},$$

где  $n$  - коэффициент шероховатости, определяется в

зависимости от характеристики дна и стенок русла по

табл. 6, прил. 3 [1];

$R$  - гидравлический радиус,  $\text{м}$ ;

$\acute{o}$  - показатель степени, определяемый по полной

зависимости  $\acute{o} = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10)$

или по упрощенным равенствам:  $\acute{o} = 1,5\sqrt{n}$  при

$R \leq 1 \text{ м}$  и  $\acute{o} = 1,3\sqrt{n}$  при  $R > 1 \text{ м}$ .

## 2 вопрос.

Гидравлически наивыгоднейшее сечение канала: понятие, назначение.

Характеристики гидравлически наивыгоднейшего сечения канала и их расчет.

Основы гидравлических расчетов каналов призматического сечения при установившемся равномерном движении жидкости. Формула Шези. Расходная характеристика. Расчеты коэффициента Шези.

Типы задач при гидравлических расчетах каналов:

- определение расхода и средней скорости;
- определение уклона и средней скорости;
- определение элементов поперечного сечения и средней скорости.

Первые 2 задачи решаются путем прямого расчета по формуле Шези.

Задачи третьего типа решаются методом подбора.

*Графоаналитический способ расчета.*

Варианты задач:

- определение глубины при известной ширине канала по дну;
- определение ширины канала по дну при известной глубине канала;
- определение глубины или ширины при известной расходной характеристике канала. Порядок расчетов.

При графоаналитическом методе основной задачей является построение кривой  $Q = f(h)$ . Расчет координат кривой  $Q = f(h)$  ведется в табличной форме (табл.1). Расчет глубины при известной ширине по дну.

Таблица 1 – Расчет координат кривой  $Q = f(h)$

$h,$ м	$\omega,$ м <sup>2</sup>	$\chi,$ м	$R,$ м	$C\sqrt{R},$ м <sup>0,5</sup> /с,	$Q,$ м <sup>3</sup> /с;	Расчетные формулы
1	2	3	4	5	6	7
						$\omega = (b + mh)h ;$ $\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} ;$

						$R = \frac{\omega}{\chi}; Q = \omega c \sqrt{Ri}$
--	--	--	--	--	--	---

По данным кривой  $Q = f(h)$  при  $Q$  определяется искомая глубина потока  $h$ .

Расчет по расходной характеристики.

По известным значениям расхода  $Q$  и уклона  $i$  вычисляется искомая расходная характеристика  $K$  по формуле

$$K_{\text{вн}} = \frac{Q}{\sqrt{i}} \text{ м}^3/\text{с},$$

Дальнейшее решение ведется графоаналитическим способом. Строится график зависимости  $K = f(h)$ . Расчет координат этого графика ведется в табличной форме (табл.2).

Таблица 2 – Расчет координат кривой  $K = f(h)$

$h,$ м	$\omega,$ м <sup>2</sup>	$\chi,$ м	$R,$ м	$C\sqrt{R},$ м <sup>0,5</sup> /с,	$K,$ м <sup>3</sup> /с;	Расчетные формулы
1	2	3	4	5	6	7

Значениями  $h$  следует задаваться от 0 до  $h_n$ , при которой вычисленная характеристика  $K$  была бы больше  $K_{\text{вн}}$ .

По данным табл.1.2 строится график зависимости  $K = f(h)$ .

По данным кривой  $K = f(h)$  при  $K_{\text{эпэ}}$  определяется искомая глубина потока  $h$ .

*Гидравлические расчеты по методу Агроскина.*

Порядок расчетов по определению  $h$ .

1. Определяется гидравлически наивыгоднейший радиус  $R_{\tilde{A}.f}$  в зависимости от вычисленной функции  $F(R_{\tilde{A}.f})$  при принятом коэффициенте шероховатости  $n$  по табл. 6 прил. 7[1].
2. Вычисляется отношение

$$\frac{b}{R_{\tilde{A}.f}} = \tilde{o}.$$

3. По отношению  $\frac{b}{R_{\tilde{A}.f}} = \tilde{o}$  по табл.7 прил.7 [1] определяется

$$\text{отношение } \frac{b}{R_{\tilde{A}.f}} = \acute{o}.$$

4. Вычисляется глубина потока в канале

$$h = \acute{o} \cdot R_{\tilde{A}.f} \quad \text{м.}$$

Гидравлический расчеты по определению глубины потока в канале  $h$  и ширины канала по дну  $b$  при известной величине  $\beta = \frac{b}{h}$ .

1. Определяется гидравлически наивыгоднейший радиус  $R_{\tilde{A}.f}$  по табл. 6. прил.7 [1].
2. Вычисляется безразмерная характеристика живого сечения  $\sigma$

$$\sigma = \frac{m_o}{\beta + m},$$

3. По безразмерной характеристике  $\sigma$  по табл. 7. прил. 7[1]

принимается отношение  $\frac{h}{R_{\tilde{A}.i}} = \ell$  и  $\frac{b}{R_{\tilde{A}.i}} = K$ .

4. Вычисляются размеры живого сечения канала

$$h = \ell \cdot R_{\tilde{A}.i} ; \quad b = K \cdot R_{\tilde{A}.i} .$$

*Проверка канала на размыв и заиление.*

При расчете каналов нельзя упускать из виду скорость, с которой заданный расход проходит по руслу.

Слишком большие скорости вызовут размыв и разрушение каналов и, наоборот, скорости ниже некоторого предела приведут к отложению в канале взвешенных в воде наносов и постепенному его заилению.

Проверка канала на размыв производится путем сравнения средней скорости движения воды в канале  $U$  с допускаемой скоростью на размыв  $U_{\text{доп}}$ .

Средняя скорость движения воды в канале вычисляется по формуле

$$U = \frac{Q}{\omega} \quad \text{м/с,}$$

где  $Q$  - заданный расход, м<sup>3</sup>/с;

$\omega$  - площадь живого сечения, м<sup>2</sup>;

Допускаемая скорость на размыв  $U_{\text{доп}}$  принимается в зависимости от грунта, слагающего русло канала по табл.16[1].

Если  $U \leq U_{\text{крит}}$ , то канал не размывается, если  $U > U_{\text{крит}}$ , канал размывается.

В случае размыва канала необходимо изменить какой-либо из размеров сечения канала и повторить расчет.

### Вопрос 3.

Канализационные, дренажные, водопропускные трубы, гидротехнические туннели, в которых поток не заполняет все сечение, работают, как каналы при равномерном движении.

Расчетными уравнениями являются формулы Шези для расхода  $Q$  и скорости  $U$

$$Q = \omega C \sqrt{Ri} \quad \text{м}^3/\text{с},$$

$$U = C \sqrt{Ri} \quad \text{м/с},$$

Однако в замкнутых сечениях при увеличении глубины  $h$  гидравлические элементы изменяются иначе.

Например, в круглом сечении диаметром  $d$  при глубине  $h > 0,5d$  ширина поверху уменьшается от  $B = d$  до  $B = 0$ .

В круглых трубах при превышении некоторого значения глубины наполнения ( $\frac{h}{d} = 0,813$ ) увеличение смоченного периметра  $\chi$  происходит интенсивнее, чем увеличение площади живого сечения  $\omega$ . Вследствие этого гидравлический радиус  $R$  и расход уменьшаются, хотя глубина  $h$  растет.

Наибольшие расход и скорость наблюдаются в трубах при  $h < d$ .

Обозначим величины, соответствующие полному наполнению круглой трубы ( $h = d$ ) индексом П, тогда расход и средняя скорость определяются по формулам

$$Q_i = \omega_i \tilde{N}_i \sqrt{R_i i} \quad \text{м}^3/\text{с},$$

$$v_i = \tilde{N}_i \sqrt{R_i i} \quad \text{м/с},$$

Расход при  $h < d$  определяется по формулам

$$Q = A Q_i = A K_i \sqrt{i} = A \omega_i \tilde{N}_i \sqrt{R_i i} \quad \text{м}^3/\text{с},$$

где  $A$  – относительная расходная характеристика;  $A = \frac{K}{K_i}$ .

Средняя скорость  $v$  вычисляется по формулам

$$v = B v_i = B \tilde{N}_i \sqrt{R_i i} \quad \text{м/с},$$

где  $B$  – относительная средняя скорость;  $B = \frac{W}{W_i}$ .

Значения  $A$  и  $B$  принимаются по графику зависимости параметров  $A$  и  $B$  от относительной глубины наполнения  $\frac{h}{d}$ , представленному на рис. 16.4[1].

*Определение глубины потока в круглой трубе*

Порядок расчета

1. Вычисляются при полном наполнении трубы ( $h = d$ ) по формулам следующие параметры

$$\omega_i = \frac{\pi d^2}{4}; \quad R_i = \frac{d}{4}; \quad \tilde{N}_i = \frac{1}{n} R_i^{1/6}; \quad Q_i = \omega_i \tilde{N}_i \sqrt{R_i i}.$$



2. Вычисляется отношение  $\frac{Q_{с\grave{a}\grave{a}}}{Q_i} = A;$

3. Принимается степень наполнения потока  $\frac{h}{d} = \chi$  и В по рис.16.4[1] в зависимости от А.

4. Вычисляется глубина потока

$$h = \chi \cdot d .$$

5. Определяется средняя скорость потока при заданном расходе по формуле.

### **Литература.**

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Учебник. – М.: КолосС, 2004.- 656с.

## **Лекция 4. Удельная энергия сечения**

### **1. Удельная энергия потока и сечения**

### **2. График удельной энергии сечения и его характеристики**

#### **1 вопрос.**

Удельная энергия потока. Удельная энергия сечения. Их расчеты.

Анализ удельной энергии сечения. Условия равномерного движения и неравномерного движения жидкости. Потенциальная и кинитическая составляющие энергии потока.

#### **2 вопрос.**

Зависимость удельной энергии сечения от глубины потока. Изменение потенциальной и кинитической составляющие энергии сечения при изменении глубины потока.

График зависимости удельной энергии сечения от глубины потока. Критическая глубина потока.

Три состояния потока:

- критическое;
- спокойное;
- бурное.

Существует несколько способов расчета критической глубины (по графику удельной энергии сечения, по уравнению критического состояния и т.д.).

Наиболее простым способом является расчет критической глубины для канала трапецеидального сечения по формуле И.И. Агроскина

$$h_{e\delta} = h_{e\delta.i} \left( 1 - \frac{\sigma_i}{3} + 0,105\sigma_i^2 \right) \text{ м,}$$

где  $h_{e\delta.i}$  - критическая глубина для канала прямоугольного сечения, одинаковой с каналом трапецеидального сечения шириной по дну  $b$ , м;  
 $\sigma_i$  - безразмерная характеристика живого сечения.

Критическая глубина для канала прямоугольного сечения  $h_{e\delta.i}$  определяется по формуле

$$h_{e\delta.i} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{qb^2}} \text{ м,}$$

где  $\alpha$  - коэффициент Кориолиса ( $\alpha = 1,1$ );

$Q$  - расход, проходящий через живое сечение канала,  
 м<sup>3</sup>/с;

$q$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$b$  - ширина канала по дну, м.

Безразмерная характеристика живого сечения  $\sigma_{\dot{I}}$  вычисляется по формуле

$$\sigma_{\dot{I}} = \frac{mh_{\dot{e}d.\dot{I}}}{b}.$$

Критический уклон и его расчеты. Использование критического уклона для установления состояния потока.

### **Литература.**

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Учебник. – М.: КолосС, 2004.- 656с.

## **Лекция 5 - 6. Установившееся неравномерное движение жидкости в призматических руслах**

### **1. Кривые свободной поверхности в призматических руслах при неравномерном движении**

### **2. Расчеты кривые свободной поверхности при неравномерном движении**

#### **1 вопрос.**

Установление форм кривой свободной поверхности.

*Равномерное движение потока ( $h_0$  больше  $h_{кр}$ )*

Расчетная схема.

Зона «а» - кривая подпора типа А1.

Зона «в» - кривая спада типа В1.

Зона «с» - кривая подпора С1.

*Бурное состояние потока ( $h_0$  меньше  $h_{кр}$ )*

Расчетная схема.

Зона «а» - кривая подпора типа А2.

Зона «в» - кривая спада В2

Зона «с» - кривая подпора С2

## 2 вопрос.

Существует множество способов расчета кривых свободной поверхности (Н.Н. Павловского, Б.А. Бахметева, И.И. Агроскина, метод суммирования и др.). В качестве рекомендуемого рассматривается расчет кривой свободной поверхности по способу И.И. Агроскина для каналов трапециевидального сечения. Другие способы приводятся в специальной литературе.

Расчет кривых свободной поверхности по способу Агроскина И.И. ведется при гидравлическом показателе русла  $x = 5,5$  по следующему расчетному уравнению.

При  $i > 0$

$$l_{1-2} = \frac{a}{i} \left\{ (Z_2 - Z_1) - \left( 1 - \dot{I}'_{\hat{e}_{\text{нб.}}} \right) [\hat{O}(Z_2) - \hat{O}(Z_1)] \right\} \text{ м,}$$

где  $l_{1-2}$  - расстояние между двумя сечениями потока

с глубинами  $h_1$  и  $h_2$ , м;

$a$  - переменная величина, зависящая от глубины потока;

$i$  - уклон дна канала;

$Z$  - переменная величина, зависящая от глубины потока;

$\dot{I}'_{\hat{e}_{\text{нб.}}}$  - среднее арифметическое значение фиктивного

параметра кинетичности для двух соседних сечений;

$\hat{O}(Z)$  - переменная функция.

Переменная  $a$  определяется по формуле

$$a = \frac{h_2 - h_1}{Z_2 - Z_1},$$

где  $h_1$  и  $h_2$  - глубины потока в сечениях, между которыми

определяется длина кривой свободной

поверхности, м;

$Z_1$  и  $Z_2$  - переменные величины в сечениях, между которыми определяется длина кривой свободной поверхности.

Переменная величина вычисляется по формуле

$$Z = \frac{h \cdot F(\sigma)}{h_o \cdot F(\sigma_o)} = \frac{h \cdot F(\sigma)}{const} ,$$

где  $h$  - глубина потока в рассматриваемом сечении, м;

$\sigma$  - безразмерная характеристика живого сечения, соответствующая глубине  $h$  ;

$h_o$  - нормальная глубина, м;

$\sigma_o$  - безразмерная характеристика живого сечения, соответствующая нормальной глубине  $h_o$  .

Безразмерная характеристика  $\sigma$  в назначенном сечении определяется по формуле

$$\sigma = \frac{m_o h}{b + mh} ,$$

где  $m_o$  - характеристика откоса, определяется по табл.Х [3].

Безразмерная характеристика  $\sigma_o$  определяется по формуле

$$\sigma_o = \frac{m_o h_o}{b + mh_o} .$$

Значения функций  $F(\sigma)$  и  $F(\sigma_o)$  определяется по табл.4 прил.8[1].

Среднее арифметическое значение фиктивного параметра кинетичности  $\dot{I}'_{\hat{e}_{\text{нб.}}}$  определяется по формуле

$$\dot{I}'_{\hat{e}_{\text{нб.}}} = \frac{\dot{I}'_{\hat{e}_1} + \dot{I}'_{\hat{e}_2}}{2},$$

где  $\dot{I}'_{\hat{e}_1}$  и  $\dot{I}'_{\hat{e}_2}$  - фиктивные параметры кинетичности в сечениях, между которыми определяется длина кривой свободной поверхности.

Фиктивный параметр кинетичности в сечении определяется по формул

$$\dot{I}'_{\hat{e}} = \frac{0,112 \cdot i}{n^2} \cdot b^{0,4} \cdot \theta(\sigma) = \text{const} \cdot \theta(\sigma),$$

где  $\theta(\sigma)$  - функция, значение которой определяется по табл. 5 прил.8[1].

Переменная функция  $\hat{O}(Z)$  определяется по табл.1 прил.8[1]

Расчет кривой свободной поверхности сводится в таблице.

При решении прямой задачи при расчете кривой подпора типа  $\hat{a}_I$  глубина в начале кривой  $h_1$  принимается равной  $1,03h_o$ ,

т.е.  $h_1 = 1,03h_o$ , глубина в конце кривой  $h_n$  равна глубине потока у подпорного сооружения. При расчете кривой назначается 6-7 расчетных сечений. Шаг между глубинами в сечениях назначается

$$\Delta h = \frac{h_n - h_1}{n}, \text{ м}$$

где  $n$  - число сечений.

Кривая спада рассчитывается от глубины  $h_1 = (0,97 \div 0,98)h_o$  до критической глубины  $h_{\text{крит}}$ . Длина кривой свободной поверхности при  $i < 0$  определяется по уравнению

$$l_{1-2} = \frac{a}{|i|} \left\{ -(Z_2 - Z_1) + (1 + \dot{i}'_{\hat{e}_{\ddot{n}\delta}}) [F(Z_2) - F(Z_1)] \right\}, \text{ м}$$

где  $|i|$  - уклон по абсолютной величине;

$F(Z)$  - функция, которая определяется по табл. 2 прил.8[1]

При  $i = 0$

$$l_{1-2} = \frac{a}{i'} \left\{ \dot{i}'_{\hat{e}_{\ddot{n}\delta}} (Z_2 - Z_1) - [f(Z_2) - f(Z_1)] \right\}, \text{ м}$$

где  $i'$  - произвольный положительный уклон;

$f(Z)$  - функция, которая определяется по табл.3 прил.8 [1].

Обратная задача (при известной длине кривой свободной поверхности и одной из глубин, начальной или конечной) решается методом подбора. Для облегчения подбора строится детально рассчитанная кривая свободной поверхности на длине большей, чем заданная. Искомая глубина определяется графически.

После расчета кривой свободной поверхности необходимо по полученным данным на миллиметровой бумаге начертить ее, причем

$$\dot{i}'_{\hat{e}_{\ddot{n}\delta}} \neq \dot{i}'_{\hat{e}_{\ddot{n}\delta}}.$$

## Литература.

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Учебник. – М.: КолосС, 2004.- 656с.

### Лекция 7. Гидравлический прыжок.

#### 1. Общие сведения

#### 2. Совершенный гидравлический прыжок

#### 1 вопрос.

Определение гидравлического прыжка. Схема гидравлического прыжка.

Виды гидравлического прыжка.

*Совершенный гидравлический прыжок*

Схема гидравлического прыжка. Сопряженные глубины. Высота прыжка. Длина прыжка.

*Несовершенный гидравлический прыжок.*

Схема гидравлического прыжка. Сопряженные глубины.

*Подпертый гидравлический прыжок.*

Схема гидравлического прыжка. Условия формирования.

*Затопленный гидравлический прыжок.*

Схема гидравлического прыжка. Условия формирования.

Виды гидравлических прыжков по месту относительно ГТС.

*Гидравлический прыжок в предельном состоянии.*

Схема гидравлического прыжка. Условия формирования. Соотношение бытовой и второй сопряженной глубин.

*Отогнанный гидравлический прыжок.*

Схема гидравлического прыжка. Условия формирования. Соотношение бытовой и второй сопряженной глубин.

*Надвинутый гидравлический прыжок.*

Схема гидравлического прыжка. Условия формирования. Соотношение бытовой и второй сопряженной глубин.

## **2 вопрос.**

Схема совершенного гидравлического прыжка. Уравнение совершенного гидравлического прыжка.

Прыжковая функция. Расчет. График прыжковой функции. Свойства прыжковой функции.

Определение сопряженных глубин.

1. Определяется удельный расход

$$q = \frac{Q_{\max}}{B_{i\bar{e}}}, \quad \text{м}^3/\text{с}\cdot\text{м}$$

2. Определяется удельная энергия потока



$$\dot{A}_i = D + \dot{I}_i, \text{ м}$$

3. Определяется вторая сопряженная глубина  $h_c^{II}$ , для чего вычисляется функция  $\hat{O}(\tau_{\tilde{n}})$

$$\hat{O}(\tau_c) = \frac{q}{\varphi \dot{A}_i^{3/2}},$$

где  $\varphi$  - коэффициент скорости.

По вычисленной функции  $\hat{O}(\tau_{\tilde{n}})$  определяется относительная глубина  $\tau_{\tilde{n}}^{II}$  по табл.7 прил.11[1]

$$h_c^{II} = \tau_c^{II} \cdot \dot{A}_i, \text{ м}$$

Длина прыжка.

## Литература.

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Учебник. – М.: КолосС, 2004.- 656с.

## Лекция 8. Истечение через водосливы.

1. Классификация водосливов.
2. Формула расхода водослива
3. Водосливы с тонкой стенкой
4. Водосливы с тонкой стенкой
5. Водосливы практического профиля.

### 1 вопрос.

Определение водослива. Расчетная схема водосливов. Характеристики водосливов: верхний бьеф, нижний бьеф, напор геометрический, полный напор, ширина водослива, бытовая глубина, высота порога.

Виды водосливов по профилю и относительным размерам:

- водосливы с тонкой стенкой;
- водосливы с широким порогом;
- водосливы практического профиля: полигонального сечения, криволинейного очертания.

Виды водосливов по форме отверстия:

- водосливы с прямоугольным отверстием;
- водосливы с треугольным отверстием;
- водосливы с трапециидальным отверстием;
- водосливы с криволинейным отверстием.

Виды водосливов по очертанию в плане и по ориентации к направлению потока.

Водосливы без и с боковым сжатием. Водосливы с порогом и без.

Виды истечения через водослив: неподтопленный и подтопленный.

## 2 вопрос.

Расчетная формула водослива имеет вид

$$b_1 = \frac{Q_{\max}}{\sigma_n m \varepsilon \sqrt{2g} H_o^{3/2}}$$

где -  $Q_{\max}$  – расчетный расход;

$m$  – коэффициент расхода;

$\sigma_n$  - коэффициент подтопления;

$\varepsilon$  - коэффициент бокового сжатия;

$b$  – ширина водослива.

$H_o$  – напор.

Скорость потока в подводящем русле (скорость подхода)  $U_o$

$$v_o = \frac{Q}{\omega_{\hat{A}\hat{A}}}, \quad \text{м/с}$$

где  $Q$  - расчетный расход, м<sup>3</sup>/с

$\omega_{\hat{A}\hat{A}}$  - площадь живого сечения подводящего канала, м<sup>2</sup>.

Определяется полный напор перед водосливом

$$I_o = H + \frac{\alpha v_o^2}{2g}, \quad \text{м}$$

Условия подтопления и бокового сжатия на водосливах и их учет в расчетах.

### 3 вопрос.

Назначение водосливов с тонкой стенкой.

Учет бокового сжатия и подтопления. Коэффициент расхода.

Водосливы-водомеры:

- треугольного сечения (Томсона);
- трапециидального сечения (Чиполлетти).

### 4 вопрос.

Назначение водосливов с широким порогом. Их виды и условия работы.

Порядок расчетов:

1. Принимается тип сопряжения подводящего канала водосливом в плане (рис. 22. 21[1]).

2. Принимается напор перед водосливом

$$H = h_{\max} + \square Z, \quad \text{м}$$

где  $h_{\max}$  - глубина потока в подводящем канале при

расчетном расходе  $Q = Q_{\max}$ , м<sup>3</sup>/с;

$\Delta Z$  - перепад между уровнями верхнего и нижнего  
бьефов  $\Delta Z = (0,1 \div 0,3)$ , м.

3. Определяется скорость потока в подводящем русле (скорость подхода)  $v_o$

$$v_o = \frac{Q}{\omega_{\hat{A}\hat{A}}}, \quad \text{м/с}$$

где  $Q$  - расчетный расход, м<sup>3</sup>/с

$\omega_{\hat{A}\hat{A}}$  - площадь живого сечения подводящего канала, м<sup>2</sup>.

4. Определяется полный напор перед водосливом

$$I_o = H + \frac{\alpha v_o^2}{2g}, \quad \text{м}$$

5. Принимается ширина водослива  $b = (0,5 \div 0,8)b_{\hat{e}}$ .

6. Принимается коэффициент расхода  $m$  в зависимости от типа сопряжения в плане и отношения  $\frac{b}{B}$  по табл.3.прил.11[1].

7. Проверяется водослив на подтопление, для чего сравнивается отношение  $\frac{h}{H_o}$  с  $K_2$ ,

где  $h$  - глубина подтопления, м;

$H_o$  - полный напор, м;

$K_2$  - степень подтопления.

Глубина подтопления  $h$  равна  
- для водослива с порогом  $P > 0$

$$\square = h'_a - D, \text{ м}$$

- для водослива без порога  $P = 0$

$$\square = h'_a, \text{ м}$$

Степень подтопления  $K_2$  определяется по табл.22.1[1] в зависимости

от коэффициента расхода  $m$ . Если  $\frac{\square}{H_o} \leq K_2$ , то водослив неподтоплен и

коэффициент подтопления  $\sigma_n = 1$ . Если  $\frac{\square}{H_o} > K_2$ , водослив подтоплен.

8. В случае подтопления водослива определяется коэффициент подтопления  $\sigma_n$  по табл. 22.2[1].

9. Определяется ширина водослива в первом приближении:

- для неподтопленного водослива

$$b_1 = \frac{Q}{m\sqrt{2q}H_o^{3/2}}, \text{ м}$$

- для подтопленного водослива

$$b_1 = \frac{Q}{m\sigma_n\sqrt{2q}H_o^{3/2}}, \text{ м}$$

10. Сравнивается вычисленная ширина водослива  $b_1$  с принятой  $b$ .

Если  $b_1 = b$ , то ширина водослива определена правильно. Если  $b_1 \neq b$  (расхождение  $>1\%$ ), то определяется ширина водослива во втором приближении. При этом расчет начинается с

определением коэффициента расхода  $m$ , при вычисленной ширине  $b_1$ .  
Далее расчет выполняется аналогично пунктам 7, 8, 9.

Ширина водослива во втором приближении рассчитывается по формуле

$$b_2 = \frac{Q}{m_1 \sigma_{n1} \sqrt{2g} H_o^{3/2}}, \quad \text{м}$$

Если  $b_2 \neq b_1$ , то выполняется третье приближение и так до тех пор пока не получится  $b_n = b_{n-1}$ .

11. При ширине водослива  $b$  больше ширины пролета  $b_{i\delta}$ , заданной в условии, определяется число пролетов регулятора

$$n = \frac{b}{b_{i\delta}}.$$

Принимается ближайшее меньшее число пролетов  $n$ .

12. Уточняется ширина одного пролета

$$b_{i\delta} = \frac{b}{n}, \quad \text{м}$$

где  $n$  - принятое число пролетов.

13. Определяется общая ширина регулятора

$$B_{\delta\ddot{a}\ddot{a}} = b_{i\delta} \cdot n + (n-1)t, \quad \text{м}$$

где  $t$  - толщина промежуточных бычков, м.

**5 вопрос.**

Назначение, виды и условия работы водосливов практического профиля.

Водосливы практического профиля криволинейного очертания, очерченного по форме падающей струи.

#### Порядок расчета

1. Определяется профилирующий напор перед плотиной.
2. Принимается коэффициент расхода  $m = 0,49$ .
3. Проверяются условия подтопления водосливной плотины,

для этого сравнивается высота плотины  $P$  с бытовой глубиной  $h_a$ . Высота плотины определяется по формуле

$$P = \downarrow \tilde{A} - \downarrow \text{дна реки, м}$$

Если  $h_a < P$ , плотина неподтоплена; если  $h_a > P$ , необходимо проверить форму сопряжения струи, переливающейся через водослив с потоком нижнего бьефа, для чего сравнивается критический перепад  $\left(\frac{Z}{P}\right)_{\text{êð}}$  с относительным перепадом  $\left(\frac{Z}{P}\right)$ .

Если  $h_a > P$  и  $\left(\frac{Z}{P}\right) > \left(\frac{Z}{P}\right)_{\text{êð}}$ , сопряжение в нижнем бьефе происходит в форме отогнанного прыжка, плотина неподтоплена.

$\left(\frac{Z}{P}\right)_{\text{êð}} = f\left(\frac{H}{P}\right)$  - определяется по рис.8-10 /2/. Перепад между уровнями

верхнего и нижнего бьефов  $Z$  равен

$$Z = \downarrow \tilde{I} \hat{O} \hat{A} \hat{A} - \downarrow \hat{O} \hat{I} \hat{A}, \text{ м}$$

Если  $h_a > P$  и  $\left(\frac{Z}{P}\right) < \left(\frac{Z}{P}\right)_{\hat{\epsilon}\delta}$ , сопряжение происходит в форме надвину-

того прыжка. В этом случае плотина подтоплена.

4. В случае подтопления плотины определяется коэффициент подтопления  $\sigma_n$  по табл. 22.11[1].

5. Принимается коэффициент бокового сжатия

$$\varepsilon = (0,97 - 0,98)$$

6. Определяется ширина водосливной плотины в первом приближении

$$b_1 = \frac{Q_{\max}}{\sigma_n m \varepsilon \sqrt{2q} H_o^{3/2}}, \quad \text{м}$$

где  $H_o$  - полный напор, м ( $H_o = H_{i\delta}$  так как  $\frac{\alpha V_o^2}{2q} = 0$ ).

7. Сравнивается ширина водосливной плотины  $b$  с шириной реки  $\hat{A}_\delta$ .

Если  $b_1 < B_p$ , проверяется коэффициент бокового сжатия  $\varepsilon$  по формуле Замарина

$$\varepsilon_1 = 1 - a \frac{H_{i\delta}}{b_1 + H_{i\delta}},$$

где  $a$  - коэффициент, учитывающий форму оголовка бычков.

Форма оголовка принимается самостоятельно согласно рис.22.29[1].

8. Сравнивается  $\varepsilon_1$  с принятым  $\varepsilon$ . Если  $\varepsilon_1 = \varepsilon$  значит ширина водосливного фронта плотины определена правильно. Если  $\varepsilon_1 \neq \varepsilon$ , необхо-



димом определить ширину плотины во втором приближении при коэффициенте сжатия  $\varepsilon_1$

$$b_2 = \frac{Q_{\max}}{\sigma_n m \varepsilon_1 \sqrt{2gH_{i\delta}^{3/2}}}, \quad \text{м.}$$

После чего необходимо проверить коэффициент бокового сжатия  $\varepsilon_2$  и так до тех пор, пока не получится  $\varepsilon_n = \varepsilon_{n-1}$ .

9. Определяется число водосливных отверстий

$$n = \frac{b}{b_{i\delta}}.$$

Принимается ближайшее меньшее целое число пролетов  $n$ .

10. Уточняется ширина одного пролета

$$b_{i\delta} = \frac{b}{n}, \quad \text{м.}$$

где  $n$  - принятое число пролетов.

11. Определяется общая ширина плотины

$$B_{i\delta} = n \cdot b_{i\delta} + (\delta - 1)t, \quad \text{м}$$

В том случае, когда ширина плотины  $b_1$  получилось больше ширины реки  $\hat{A}_\delta$ , следует:

- понизить отметку гребня водосливной плотины, увеличив тем самым профилирующий напор и пропускную способность плотины или

- наряду с водосливной плотиной, устраиваемой с

$\downarrow \tilde{A} = \downarrow \dot{I} \ddot{O}$ , в нескольких пролетах проектирует глубокие

(донные) щитовые отверстия, отметки порога которых ниже

↓  $\tilde{A}$  водосливной плотины.

## Литература.

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Учебник. – М.: КолосС, 2004.- 656с.

## Лекция 9.

### 1. Схемы сопряжения бьефов

### 2. Гидравлический расчет водобойного колодца

### 3. Гидравлический расчет водобойной стенки

## Вопрос 1

Виды сопряжения потоков в нижнем бьефе: донный, поверхностный и поверхностно-донный.

Виды донного сопряжения потока: гидравлический прыжок в сжатом сечении, отогнанный гидравлический прыжок, надвинутый гидравлический прыжок.

Порядок расчета:

1. Определяется удельный расход на водосливной плотине

$$q = \frac{Q_{\max}}{B_{i\bar{e}}}, \quad \text{м}^3/\text{с}\cdot\text{м}$$

2. Определяется удельная энергия потока перед плотиной

$$\dot{A}_i = D + I_i, \quad \text{м}$$

3. Определяется вторая сопряженная глубина  $h_c''$ , для чего вычисляется функция  $\hat{O}(\tau_{\bar{n}})$

$$\hat{O}(\tau_c) = \frac{q}{\varphi \dot{A}_i^{3/2}},$$

где  $\varphi$  - коэффициент скорости ( $\varphi = 0,95$ ).

По вычисленной функции  $\hat{O}(\tau_{\tilde{n}})$  определяется относительная глубина  $\tau_{\tilde{n}}^{\text{II}}$  по табл.7 прил.11[1]

$$h_c^{\text{II}} = \tau_c^{\text{II}} \cdot \mathring{A}_{\hat{t}}, \text{ м}$$

4.Сравнивается  $h_c^{\text{II}}$  с  $h_a$ .

Если  $h_c^{\text{II}} < h_a$ , сопряжение происходит в форме надвинутого гидравлического прыжка. В этом случае рассчитывается длина крепления водобоя. Если  $h_c^{\text{II}} > h_a$ , сопряжение происходит в форме отогнанного гидравлического прыжка и для сопряжения с надвинутым прыжком рассчитывается гаситель.

## Вопрос 2.

Водобойный колодец (рис.) представляет собой искусственное углубление дна нижнего бьефа, непосредственно за сооружением на некоторую величину. Водобойный колодец применяется для создания глубины в нижнем бьефе, обеспечивающей сопряжение с надвинутым прыжком.

Как гидротехническое сооружение, водобойный колодец имеет следующее преимущество: при слабом основании он проще в производстве. Но вместе с тем водобойный колодец обладает следующим недостатком: при малых расходах он подвержен заилению. Заполнение колодца наносами может привести к образованию отогнанного прыжка, разрушению отводящего канала, подмыву элементов самого колодца. Аналогичная картина может возникнуть при пропуске весеннего паводка по заполненному льдом колодцу. Кроме того, замерзающая в колодце вода, расширяясь может нарушить целостность конструкции.

Гидравлический расчет водобойного колодца заключается в определении его глубины  $d$  и длины  $l_{\text{дтв}}$ .

Расчеты в этом случае ведутся в следующем порядке:

Определяется скорость потока перед водобойным колодцем

$$v_{01} = \frac{q}{\sigma \cdot h_c^{II}} \quad , \text{ м/с}$$

Определяется удельная энергия потока перед плотиной

$$\dot{A}_{\hat{i}} = \mathcal{D} + \dot{I}_{\hat{i}} \quad , \text{ м}$$

Определяется вторая сопряженная глубина  $h_c^{II}$  , для чего вычисляется функция  $\hat{O}(\tau_{\tilde{n}})$

$$\hat{O}(\tau_c) = \frac{q}{\varphi \dot{A}_{\hat{i}}^{3/2}} \quad ,$$

где  $\varphi$  - коэффициент скорости ( $\varphi = 0,95$ ) .

По вычисленной функции  $\hat{O}(\tau_{\tilde{n}})$  определяется относительная глубина  $\tau_{\tilde{n}}^{II}$  по табл.7 прил.11[1]

$$h_c^{II} = \tau_c^{II} \cdot \dot{A}_{\hat{i}} \quad , \text{ м}$$

Для водобойного колодца  $\varphi_{\hat{e}\hat{i}\hat{e}} = 0,9$  .

Определяется глубина водобойного колодца в первом приближении

$$d_1 = \sigma h_c^{II} - (h_{\hat{a}} + Z) \quad , \text{ м}$$

Вычисляется удельная энергия потока перед сооружением относительно дна колодца

$$\dot{A}_{01} = \dot{A}_0 + d_1 \quad , \text{ м}$$

где  $\dot{A}_0$  - удельная энергия потока перед сооружением до

устройства колодца.

Вычисляется функция  $\hat{O}(\tau_{\bar{n}})$

$$\hat{O}(\tau_{\bar{n}}) = \frac{q}{\varphi \dot{A}_{01}^{3/2}},$$

где  $\varphi$  - коэффициент скорости.

Для водосливной плотины  $\varphi = 0,95$ .

Определяется относительная глубина  $\tau_{\bar{n}}^{\text{II}}$  в зависимости от значения функции  $\hat{O}(\tau_{\bar{n}})$  и коэффициента скорости  $\varphi$  по табл. 7 прил.11[1]. Вычисляется вторая сопряженная глубина

$$h_{c1}^{\text{II}} = \tau_c^{\text{II}} \cdot \dot{A}_{01}, \quad \text{м}$$

Вычисляется скорость потока перед водобойным колодцем

$$v_{01} = \frac{q}{\sigma h_{c1}^{\text{II}}}, \quad \text{м/с}$$

Определяется перепад на выходе из водобойного колодца

$$\square Z_1 = \frac{v_a^2}{2q\varphi^2} - \frac{\alpha v_{01}^2}{2q}, \quad \text{м}$$

Определяется глубина водобойного колодца во втором приближении

$$d_2 = \sigma h_{c1}^{\text{II}} - (h_a + \square Z_1), \quad \text{м}$$

Сравнивается  $d_2$  с  $d_1$ . Если  $d_2$  окажется равным  $d_1$ , то на этом расчет глубины колодца заканчивается. Если  $d_2 \neq d_1$ , то определяется глубина колодца в третьем приближении, при этом повторяется весь ход вычислений с формулы 4.5. Расчеты ведутся до тех пор, пока  $d_n$  не будет равно  $d_{n-1}$ .

Определение длины водобойного колодца

Если поток вступает в колодец, сходя с уступа (на ступень перепада), то

$$l_{\hat{e}\hat{i}\hat{e}} = l_{\hat{i}\hat{a}\hat{i}} + l_{\hat{i}\hat{\delta}}, \quad \text{м}$$

где  $l_{i\delta}$  - дальность падения струи, м ;

$l_{i\delta}$  - длина гидравлического прыжка, м.

### Вопрос 3.

Определяется полный напор над стенкой

$$H_{01} = \sqrt[3]{\left(\frac{q}{\sigma_n m \sqrt{2q}}\right)^2}$$

Определяется скорость потока перед водобойной стенкой

$$v_{01} = \frac{q}{\sigma h_c''}, \quad \text{м/с}$$

Определяется напор над водобойной стенкой без скоростного напора

$$I_1 = I_{01} - \frac{\alpha v_{01}^2}{2g}, \quad \text{м}$$

Вычисляется высота водобойной стенки

$$P_{\bar{n}\delta} = \sigma h_c'' - H_1, \quad \text{м}$$

Вычисляется удельная энергия потока перед водобойной стенкой

$$\dot{A}_{01} = D_{\bar{n}\delta} + I_{01}, \quad \text{м}$$

Вычисляется функция  $\hat{O}(\tau_{\bar{n}})$

$$\hat{O}(\tau_{\bar{n}}) = \frac{q}{\varphi \dot{A}_{01}^{3/2}},$$

где  $\varphi$  - коэффициент скорости. Для водобойной стенки  $\varphi = 0,9$ .

Определяется относительная глубина  $\tau_{\bar{n}}''$  по вычисленному значению функции  $\hat{O}(\tau_{\bar{n}})$  при коэффициенте скорости  $\varphi$  по табл.7 прил.11[1].

Вычисляется вторая сопряженная глубина после водобойной стенки.

$$h_c'' = \tau_c'' \cdot \dot{A}_{01}, \quad \text{м}$$

Сравнивается  $h_c''$  с  $h_a$  и устанавливается форма сопряжения за стенкой:

- если  $h_c'' > h_a$ , сопряжение за стенкой происходит в форме отогнанного прыжка. В этом случае необходимо запроектировать вторую стенку,

расчет которой выполняется аналогично расчету первой. В случае отгона прыжка за второй стенкой проектируют третью;

- если  $h_c'' < h_a'$ , сопряжение за водобойной стенкой происходит в форме надвинутого гидравлического прыжка и стенка работает как подтопленный водослив. В этом случае напор над стенкой увеличивается, а высота водобойной стенки уменьшится.

#### Расчет подтопленной водобойной стенки

Расчет ведется в следующем порядке.

Принимается коэффициент подтопления  $\sigma_n < 1$ .

Определяется полный напор над стенкой

$$H_{01} = \sqrt[3]{\left(\frac{q}{\sigma_n m \sqrt{2g}}\right)^2}, \text{ м}$$

Определяется напор над стенкой

$$H_1 = H_{01} - \frac{\alpha v_{01}^2}{2g}, \text{ м}$$

Определяется высота водобойной стенки

$$P_{\bar{n}\bar{0}} = \sigma h_c'' - I_1, \text{ м}$$

где  $h_c''$  - вторая сопряженная глубина перед стенкой, м.

Определяется коэффициент подтопления  $\sigma_{n1} = f\left(\frac{\square}{H_{01}}\right)$  по

табл. 22.11[1],

где  $\square$  - глубина подтопления ( $\square = h_a' - D_{\bar{n}\bar{0}}$ ), м.

Сравнивается  $\sigma_{n1}$  с принятым  $\sigma_n$ . Если  $\sigma_{n1} = \sigma_n$ , высота стенки определена правильно, если  $\sigma_{n1} \neq \sigma_n$ , то необходимо принять коэффициент подтопления равным  $\sigma_{n1}$  и определить высоту стенки, повторить вход вычислений с формулы 5.8 данного раздела. Расчет ведется до тех пор пока  $\sigma_{i n}$  не будет равно  $\sigma_{i n-1}$ .

Определение расстояния от сжатого сечения в нижнем бьефе до водобойной стенки

Определение расстояния  $l_{\text{впв}}$  ведется аналогично расчету длины водо-бойного колодца.

## **Литература.**

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Учебник. – М.: КолосС, 2004.- 656с.

## **Лекция 10. Истечение из-под затворов**

### **1. Общие сведения**

### **2. Свободное истечение из-под плоских затворов**

### **3. несвободное истечение из-под затворов**

#### **Вопрос 1.**

Назначение затворов. Виды затворов.

Схемы работы плоских затворов:

- затвор над дном, не имеющим порога;
- затвор перед перепадом или быстротоком;
- затвор в начале водослива с широким порогом;
- затвор на гребне водослива практического профиля.

Виды истечения из-под затвора: свободное и несвободное.

#### **Вопрос 2.**

Условия свободного истечения из-под плоского затвора.

Расчетная формула свободного истечения из-под затвора.

Установление основных параметров: коэффициент расхода, высота открытия затвора, напор, коэффициент вертикального сжатия, коэффициент скорости.

Определение условий подтопления при спокойном состоянии потока в НБ.

Порядок расчетов:

- принимается высота открытия затвора;
- определение коэффициента вертикального сжатия;
- расчет расхода;



- при неравности рассчитанного и расчетного расходов расчет повторяется.

### **Вопрос 3.**

Схема несвободного истечения из-под затвора.

Расчетная формула. Подтопленная глубина в сжатом сечении и ее расчет.

### **Литература.**

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Учебник. – М.: КолосС, 2004.- 656с.

## **Лекция 11. основы фильтрационных расчетов**

### **1. Общие сведения о фильтрации**

### **2. Плавно-изменяющееся движение грунтовых вод**

### **3. Приток грунтовых вод к водозаборным скважинам**

#### **Вопрос 1.**

Виды воды в грунтах и их характеристики.

Фильтрация – движение гравитационных вод.

Виды фильтрации: ламинарное и турбулентное.

Основные фильтрационные характеристики грунтов: пористость, коэффициент пористости.

Свойства однородных грунтов. Изотропная фильтрации. Изотропные грунты. Анизотропные грунты.

Установившееся движение грунтовых вод в однородных изотропных грунтах.

Скорость фильтрации. Закон Дарси

$$U = K_{\phi} I .$$

Гидравлический уклон ( $I$ ).

Коэффициент фильтрации. Определение и физическая сущность.

Формула Дарси для ламинарного движения грунтовых вод

$$Q = \omega U = K_{\phi} I \omega .$$

#### **Вопрос 2.**

Характеристика плавно-изменяющегося движения грунтовых вод. расчетная схема. Гидравлический уклон. Местная скорость.

Формула Дюпюи для средней скорости – частный случай формулы Дарси

$$V = K_{\phi} I .$$

Равномерное движение грунтовых вод – частный случай плавно-изменяющегося движения грунтовых вод, его характеристики.

Расчетная формула равномерного движения грунтовых вод

$$V = K_{\phi} i .$$

Расчетная формула для расхода грунтовых вод

$$Q = K_{\phi} i \omega .$$

Характеристики неравномерного плавно-изменяющегося движения грунтовых вод. Кривые депрессии и их виды.

### **Вопрос 3.**

Состав практических фильтрационных расчетов.

Безнапорный грунтовый поток.

Совершенная вертикальная водозаборная скважина. Расчетная схема, порядок расчета, депрессионная воронка. Расчетная формула.

Несовершенная вертикальная водозаборная скважина. Расчетная схема, порядок расчета, депрессионная воронка.

Напорный водоносный горизонт. Расчеты водозаборных скважин.

### **Литература.**

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Учебник. – М.: КолосС, 2004.- 656с.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Приморская сельскохозяйственная академия»  
(ПГСХА)

Инженерно-технологический институт

---

---

**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

по дисциплине

## Гидравлика гидротехнических сооружений

направление подготовки 20.03.02 «Природообустройство и  
водопользование»

г. Уссурийск 2016

№ п/п	№ раз- дела дисци- плины	Тема занятия	Количество часов
1	1	Расчет глубин в канале графо-аналитическим способом	2
2	1	Расчет глубин в канале методом Агроскина	2
3	1	Расчет ширины канала по дну методом Агроскина	2
4	1	Расчет канала замкнутого сечения	2
5	1	Установление формы кривой свободной поверхности в магистральном канале	2
6	1	Расчет кривой свободной поверхности в магистральном канале	6
7	3	Расчет водослива с широким порогом	4
8	3	Расчет профиля плотины практического профиля	2
9	3	Расчет водосливной плотины практического профиля	4

10	5	Определение формы сопряжения потока в нижнем бьефе	2
11	5	Расчет гасителя энергии потока в нижнем бьефе плотин	2

ФГБОУ ВО Приморская государственная сельскохозяйственная академия  
Инженерно-технологический институт  
Кафедра водоснабжения и водоотведения

### ЗАДАНИЕ

к расчетно-графическим работам по дисциплине «Гидравлика гидротехнических сооружений»

для студента (ки) \_\_\_\_\_ группы \_\_\_\_\_

**Выполнить гидравлические расчеты сооружений узла ГТС:**

#### 1. Магистральный канал:

Расходы: нормальный  $Q_n =$  \_\_\_\_\_  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

максимальный  $Q_{\text{макс}} =$  \_\_\_\_\_  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

Ширина канала по дну  $b =$  \_\_\_\_\_ м;

Уклон дна канала  $i =$  \_\_\_\_\_

Коэффициенты:  $m =$  \_\_\_\_\_ ;  $n =$  \_\_\_\_\_

Неразмывающая скорость  $V_{\text{раз}} =$  \_\_\_\_\_ м/с.

#### 2. Шлюз-регулятор в голове магистрального канала:



## Гидравлика гидротехнических сооружений

Методические указания к самостоятельной работе, практическим занятиям и расчетно-графическим работам для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование». Издание 2-е, дополненное и переработанное.

Уссурийск 2016

УДК 532

Составитель: Децик Виктор Николаевич, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения

Рецензент: Сидорова Галина Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства

Гидравлика гидротехнических сооружений: методические указания к самостоятельной работе, практическим занятиям и расчетно-графическим работам для студентов очной и заочной форм обучения направления подго-

товки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование». Издание 2-е, дополненное и переработанное. / ФГБОУ ВО ПГСХА; сост. В.Н. Децик. – Уссурийск, 2016. - 64 с.

Издается по решению методического совета ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия»

## **Введение**

Предлагаемые методические указания являются пособием для студентов при изучении ими теории и практики гидравлических расчетов каналов и гидротехнических сооружений при установившемся равномерном и неравномерном движении.

В указаниях приведен основной материал по прорабатываемым темам.

Многообразие схем и расчетов потребует от студентов проработки учебника и справочной литературы, список которой приведен в конце данных указаний.

### **1. Установившееся равномерное движение в открытых руслах**

#### **1.1 Расчет каналов при равномерном движении жидкости**

Равномерное движение в открытых руслах возможно при постоянстве по длине потока расхода  $Q$ , площади живого сечения



$\omega$ , уклона дна  $i$ , шероховатости дна и стенок  $n$ , а также при отсутствии местных гидравлических сопротивлений.

Пьезометрический уклон свободной поверхности  $J_i$  при равномерном движении равен гидравлическому уклону  $J$ , который равен уклону дна  $i$ , т.е.  $J = J_i = i$ .

Уклон дна должен быть положительным (прямым)  $i > 0$ .

Наиболее полно этим условиям отвечают искусственные русла – каналы.

Основным расчетным уравнением открытых русел при установившемся равномерном движении является формула Шези

$$Q = \omega c \sqrt{Ri} \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (1.1)$$

где  $Q$  - постоянный расход, проходящий через данное живое сечение,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\omega$  - площадь живого сечения потока,  $\text{м}^2$ ;

$C$  - коэффициент Шези,  $\text{м}^{0,5}/\text{с}$ ;

$R$  - гидравлический радиус сечения,  $\text{м}$ ;

$i$  - уклон дна канала.

Часто при гидравлических расчетах формула (1.1) записывается в виде

$$Q = K \sqrt{i} \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (1.2)$$

где  $K$  - расходная характеристика русла,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $K = \omega c \sqrt{R}$ .

Коэффициент Шези  $C$  определяется по формуле Н.Н. Павловского

$$C = \frac{1}{n} R^{\acute{o}} \quad \text{м}^{0,5}/\text{с}, \quad (1.3)$$

где  $n$  - коэффициент шероховатости, определяется в зависимости от характеристики дна и стенок русла по табл. 6, прил. 3 [1];

$R$  - гидравлический радиус,  $\text{м}$ ;

$\acute{o}$  - показатель степени, определяемый по полной

зависимости  $\acute{o} = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10)$

или по упрощенным равенствам:  $\acute{o} = 1,5\sqrt{n}$  при

$$R \leq 1 \text{ м} \text{ и } \sigma = 1,3\sqrt{n} \quad \text{при } R > 1 \text{ м.}$$

По формуле И.И. Агроскина этот коэффициент равен

$$C = \frac{1}{n} + 17,72\ell qR \quad \text{м}^{0,5/\text{с}}, \quad (1.4)$$

где  $R$  - гидравлический радиус,  $R = \frac{\omega}{\chi}$ .

## 1.2 Гидравлические элементы поперечного сечения трапецидального канала

В настоящее время наиболее чаще проектируются каналы трапецидальной формы (рис.1.1).

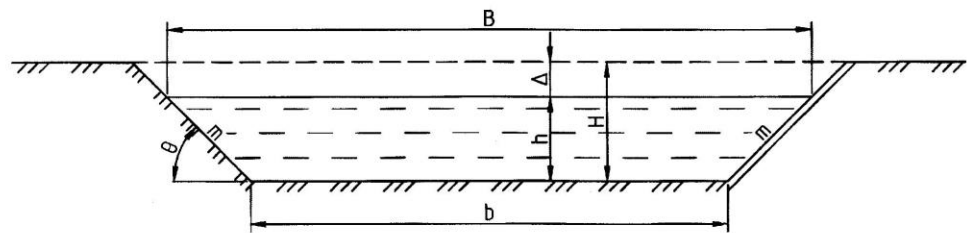


Рисунок 1.1 Поперечное сечение канала трапецидальной формы

Для каналов трапецидального профиля пользуются следующими обозначениями и терминами:

$b$  - ширина канала по дну;

$h$  - глубина потока в канале;

$H$  - высота поперечного сечения,  $H = h + \Delta$ ;

$\Delta$  - запас над уровнем воды;

$m$  - коэффициент заложения откосов,  $m = ctg\theta$ ;

$\theta$  - угол наклона откосов;

$B$  - ширина поверху (по урезу воды),  $B = b + 2mh$ ;

$\omega$  - площадь живого сечения,  $\omega = (b + mh)h$ ;

$\chi$  - длина смоченного периметра,  $\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$ ;

Все обозначения показаны на рис. 1.1. В качестве характеристик трапецеидального живого сечения часто используют величины

$\beta$  - относительная ширина канала по дну,  $\beta = \frac{b}{h}$ ;

$\sigma$  - безразмерная характеристика живого сечения канала, определяется по формуле

$$\sigma = \frac{m_o h}{b + mh} \quad (1.5)$$

где  $m_o$  - характеристика откоса,  $m_o = 2\sqrt{1 + m^2} - m$ .

### 1.3 Гидравлически наивыгоднейшее живое сечение

Гидравлически наивыгоднейшим сечением (ГНС) канала называется такое сечение, в котором при заданной площади живого сечения пропускная способность канала будет наибольшей, при этом имеется в виду, что коэффициент шероховатости  $n$  и уклон дна  $i$  заданы и не изменяются.

Часто бывает удобнее рассматривать гидравлически наивыгоднейшее сечение как сечение, имеющее минимальную площадь живого сечения при заданных  $Q, i, n$ .

При заданной крутизне откосов применительно к каналам трапецеидального сечения получены следующие соотношения, характеризующие гидравлически наивыгоднейшее сечение

$$R_{\bar{A}.i} = \frac{\omega_{\bar{A}.i}}{\chi_{\bar{A}.i}} = \frac{h_{\bar{A}.i}}{2} \text{ м}, \quad (1.6)$$

$$\beta_{\bar{A}.i} = 2(\sqrt{1+m^2} - m), \quad (1.7)$$

$$\sigma_{\bar{A}.i} = \frac{m_o}{\beta_{\bar{A}.i} + m} = 1. \quad (1.8)$$

В большинстве практических случаев ГНС оказываются сравнительно узкими и глубокими, что является нежелательным для земляных каналов по строительным и эксплуатационным соображениям. Но сечение лотков, бетонированных каналов и т.д. обычно проектируется близким к ГНС.

#### 1.4 Типы задач при расчете каналов

На основе анализа формулы (1.1) пришли к выводу, что при установившемся равномерном движении в каналах возможны следующие типы задач

1. Заданы все элементы живого сечения. Необходимо найти расход  $Q$  и среднюю скорость  $U$ .

2. Заданы расход  $Q$  и линейные размеры. Необходимо найти уклон дна канала  $i$ .

3. Известны  $Q$ ,  $i$ . Необходимо найти размеры элементов живого сечения и среднюю скорость  $U$ .

При решении всех трех типов задач предполагается, что состояние поверхности ложа русла известно, т.е. известен коэффициент шероховатости  $n$ . Для трапецеидальных каналов известен коэффициент заложения откосов  $m$ .

Первые два типа задач решаются путем прямого вычисления по формуле (1.1).

В задачах третьего типа для определенности решения должен быть задан один из геометрических элементов живого сечения ( $b$  или  $h$  для трапецеидального сечения).

Задачи по определению геометрических размеров живого сечения канала решаются методом подбора.

Задаются несколькими значениями неизвестного параметра и для каждого из значений находят по уравнению Шези (1.1) расход  $Q$ . При вычисленном расходе равным заданному, определяется неизвестный линейный элемент.

Метод подбора простой, но громоздкий, более удобен графоаналитический метод расчета.

Ниже приведены некоторые способы расчета каналов трапецеидального сечения.

При расчете каналов трапецеидального сечения любым методом необходимо принять коэффициент заложения откоса канала  $m$  в зависимости от грунта, слагающего русло канала по табл. 16.1 [1] или по табл. 9 [3] и коэффициент шероховатости  $n$  в зависимости от условий содержания канала и характера облицовки по табл. 6 прил. 3 [1].

## 1.5 Гидравлический расчет канала при заданной ширине канала по дну

### 1.5.1 Определение глубины наполнения канала графоаналитическим методом

При графоаналитическом методе основной задачей является построение кривой  $Q = f(h)$ . Расчет координат кривой  $Q = f(h)$  ведется в табличной форме (табл.1.1).

Таблица 1.1 – Расчет координат кривой  $Q = f(h)$

$h$ , м	$\omega$ , м <sup>2</sup>	$\chi$ , м	$R$ , м	$C\sqrt{R}$ , м <sup>0,5</sup> /с,	$Q$ , м <sup>3</sup> /с;	Расчетные формулы
1	2	3	4	5	6	7
						$\omega = (b + mh)h$ ; $\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$ ; $R = \frac{\omega}{\chi}$ ; $Q = \omega c \sqrt{Ri}$

Функция  $C\sqrt{R}$  определяется по табл. 6 прил. 6 [1].

Значениями  $h$  следует задаваться от 0 до  $h_n$ , при которой вычисленный расход  $Q_n$  был бы больше  $Q_{зад}$ .

По данным табл. 1.1 строится график зависимости  $Q = f(h)$  (рис. 1.2).

По кривой  $Q = f(h)$  при заданном расходе определяется искомая глубина потока  $h$ .

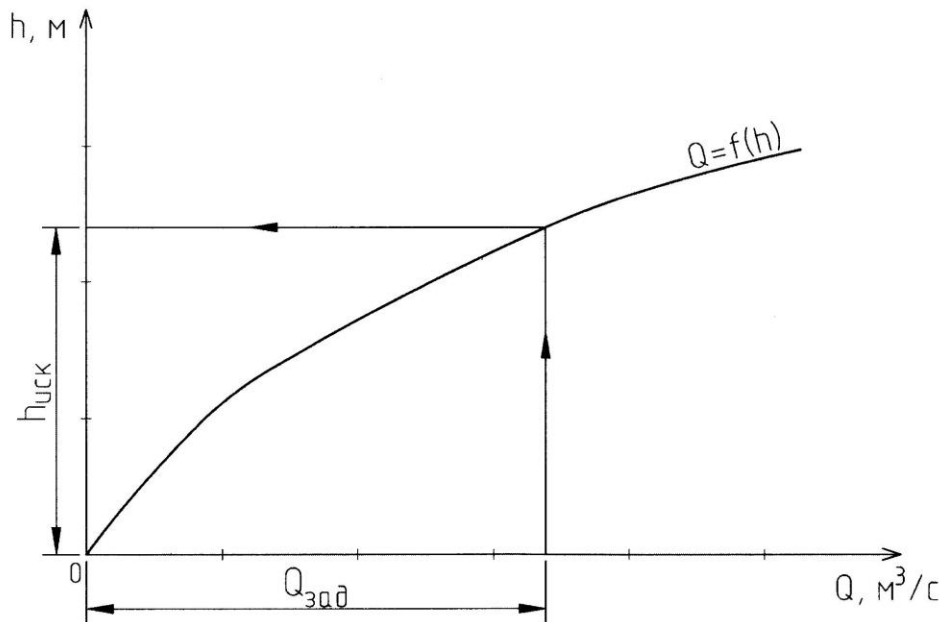


Рисунок 1.2 График зависимости  $Q = f(h)$

### 1.5.2 Определение глубины наполнения канала по заданной расходной характеристике

По известным значениям расхода  $Q$  и уклона  $i$  вычисляется искомая расходная характеристика  $K$  по формуле

$$K_{\text{н}} = \frac{Q}{\sqrt{i}} \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.9)$$

Дальнейшее решение ведется графоаналитическим способом. Строится график зависимости  $K = f(h)$ . Расчет координат этого графика ведется в табличной форме (табл.1.2).

Таблица 1.2 – Расчет координат кривой  $K = f(h)$

$h,$ м	$\omega,$ м <sup>2</sup>	$\chi,$ м	$R,$ м	$C\sqrt{R},$ м <sup>0,5</sup> /с,	$K,$ м <sup>3</sup> /с;	Расчетные формулы
1	2	3	4	5	6	7

Примечание: Расчетные формулы смотри в табл. 1.1.

Значениями  $h$  следует задаваться от 0 до  $h_n$ , при которой вычисленная характеристика  $K$  была бы больше  $K_{\text{н}}$ .

По данным табл.1.2 строится график зависимости  $K = f(h)$  (рис.1.3).

По данным кривой  $K = f(h)$  при  $K_{\text{н}}$  определяется искомая глубина потока  $h$ .



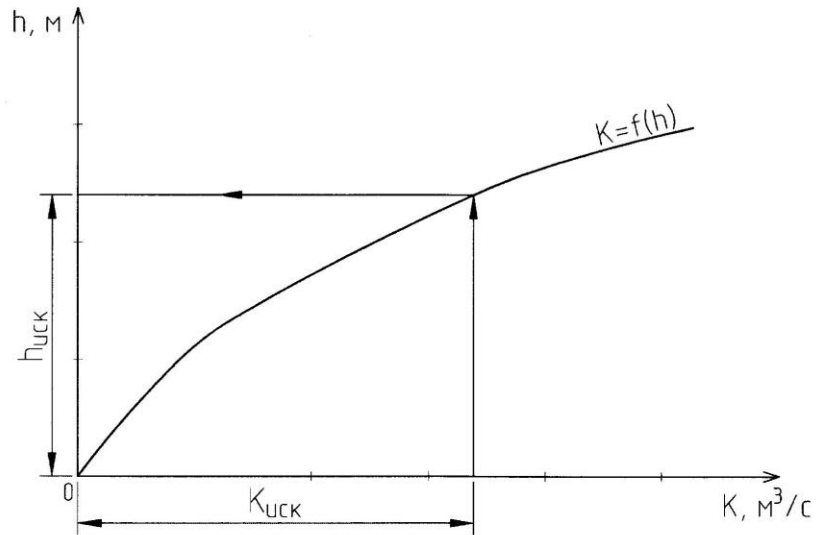


Рисунок 1.3 График зависимости  $K = f(h)$

### 1.5.3 Определение глубины наполнения канала методом Агроскина И.И.

Расчеты выполняются в следующем порядке

1. Вычисляется функция  $F(R_{г.н})$

$$F(R_{г.н}) = CR^{2.5} = \frac{Q}{4m_o\sqrt{i}}, \quad (1.10)$$

где  $m_o$  - характеристика откоса

$$m_o = 2\sqrt{1+m^2} - m, \quad (1.11)$$

5. Определяется гидравлически наивыгоднейший радиус  $R_{\bar{A}.f}$  в зависимости от вычисленной функции  $F(R_{\bar{A}.f})$  при принятом коэффициенте шероховатости  $n$  по табл. 6 прил. 7[1].
6. Вычисляется отношение

$$\frac{b}{R_{\bar{A}.f}} = \tilde{o}.$$

7. По отношению  $\frac{b}{R_{\bar{A}.f}} = \tilde{o}$  по табл.7 прил.7 [1] определяется отношение  $\frac{b}{R_{\bar{A}.f}} = \acute{o}$ .

8. Вычисляется глубина потока в канале

$$h = \acute{o} \cdot R_{\bar{A}.f} \quad \text{м.}$$

## 1.6 Гидравлический расчет канала при заданной глубине потока в канале

Гидравлический расчет канала в этом случае заключается в определении ширины канала по дну  $b$ . Для этого может быть использован графоаналитический метод. Расчет выполняется аналогично пунктам 1.5.1 и 1.5.2 данного раздела, с той лишь разницей, что строится кривая зависимости  $Q = f(b)$  или  $K = f(b)$ , (рис.1.4, рис. 1.5).

По кривым определяется ширина канала по дну  $b$ .

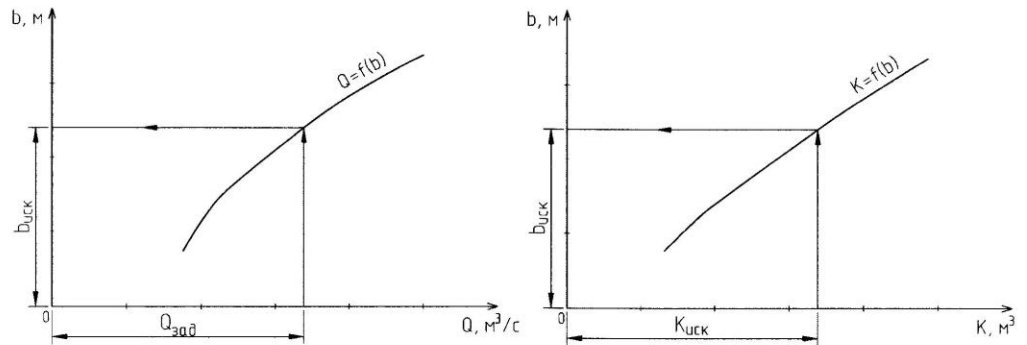


Рисунок 1.4 График  $Q = f(b)$ . Рисунок 1.5 График  $K = f(b)$ .

Ширина канала по дну может быть определена методом Агроскина И.И. (пункт 1.5.3 данного раздела). Различие в том, что после определения функции  $F(R_{г.н})$ , гидравлически наивыгоднейшего радиуса  $R_{г.н}$ , вычисляется отношение

$$\frac{h}{R_{г.н}} = a.$$

Затем по этому отношению по табл.7 прил.7 [1] принимается отношение  $\frac{b}{R_{г.н}} = c$ , а далее вычисляется ширина канала по дну  $b = c \cdot R_{г.н}$ . После этого принимается ближайшая стандартная ширина канала по дну  $b_{см}$ .

## 1.7 Гидравлический расчет канала при заданной относительной ширине канала по дну

Гидравлический расчет заключается в определении глубины потока в канале  $h$  и ширины канала по дну  $b$ .

Определение размеров живого сечения канала при заданной  $\beta = \frac{b}{h}$  методом Агроскина И.И. выполняется в следующем порядке

5. Вычисляется функция  $F(R_{\bar{A}.i})$  по формуле (1.10).
6. Определяется гидравлически наивыгоднейший радиус  $R_{\bar{A}.i}$  по табл. 6. прил.7 [1].
7. Вычисляется безразмерная характеристика живого сечения  $\sigma$

$$\sigma = \frac{m_o}{\beta + m}, \quad (1.12)$$

8. По безразмерной характеристике  $\sigma$  по табл. 7. прил. 7[1]

принимается отношение  $\frac{h}{R_{\bar{A}.i}} = \ell$  и  $\frac{b}{R_{\bar{A}.i}} = K$ .

9. Вычисляются размеры живого сечения канала

$$h = \ell \cdot R_{\bar{A}.i}; \quad b = K \cdot R_{\bar{A}.i}.$$

Размеры живого сечения канала при заданной относительной ширине  $\beta$  можно определить графоаналитическим способом по кривой  $Q = f(h)$  или  $Q = f(b)$  (см. пункты 1.5.1 и 1.6 данного раздела).

## 1.8 Проверка каналов на размыв

При расчете каналов нельзя упускать из виду скорость, с которой заданный расход проходит по руслу.

Слишком большие скорости вызовут размыв и разрушение каналов и, наоборот, скорости ниже некоторого предела приведут

к отложению в канале взвешенных в воде наносов и постепенному его заилению.

Проверка канала на размыв производится путем сравнения средней скорости движения воды в канале  $U$  с допускаемой скоростью на размыв  $U_{\text{доп}}$ .

Средняя скорость движения воды в канале вычисляется по формуле

$$U = \frac{Q}{\omega} \quad \text{м/с}, \quad (1.13)$$

где  $Q$  - заданный расход, м<sup>3</sup>/с;

$\omega$  - площадь живого сечения, м<sup>2</sup>;

Допускаемая скорость на размыв  $U_{\text{доп}}$  принимается в зависимости от грунта, слагающего русло канала по табл.16[3].

Если  $U \leq U_{\text{доп}}$ , то канал не размывается, если  $U > U_{\text{доп}}$ , канал размывается.

В случае размыва канала необходимо изменить какой-либо из размеров сечения канала и повторить расчет.

## 1.9 Расчет каналов замкнутого сечения

Канализационные, дренажные, водопропускные трубы, гидротехнические туннели, в которых поток не заполняет все сечение, работают, как каналы при равномерном движении.

Расчетными уравнениями являются формулы Шези для расхода  $Q$  и скорости  $U$

$$Q = \omega C \sqrt{Ri} \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (1.14)$$

$$U = C \sqrt{Ri} \quad \text{м/с}, \quad (1.15)$$

Однако в замкнутых сечениях при увеличении глубины  $h$  гидравлические элементы изменяются иначе.

Например, в круглом сечении диаметром  $d$  при глубине  $h > 0,5d$  ширина поверху уменьшается от  $B = d$  до  $B = 0$ .

В круглых трубах при превышении некоторого значения глубины наполнения ( $\frac{h}{d} = 0,813$ ) увеличение смоченного периметра  $\mathcal{X}$  происходит интенсивнее, чем увеличение площади живого сечения  $\omega$ . Вследствие этого гидравлический радиус  $R$  и расход уменьшаются, хотя глубина  $h$  растет.

Наибольшие расход и скорость наблюдаются в трубах при  $h < d$ .

Обозначим величины, соответствующие полному наполнению круглой трубы ( $h = d$ ) индексом П, тогда расход и средняя скорость определяются по формулам

$$Q_{\bar{i}} = \omega_{\bar{i}} \tilde{N}_{\bar{i}} \sqrt{R_{\bar{i}} i} \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (1.16)$$

$$v_{\bar{i}} = \tilde{N}_{\bar{i}} \sqrt{R_{\bar{i}} i} \quad \text{м/с}, \quad (1.17)$$

Расход при  $h < d$  определяется по формулам

$$Q = A Q_{\bar{i}} = A K_{\bar{i}} \sqrt{i} = A \omega_{\bar{i}} \tilde{N}_{\bar{i}} \sqrt{R_{\bar{i}} i} \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (1.18)$$

где  $A$  – относительная расходная характеристика;  $A = \frac{K}{K_{\bar{i}}}$ .

Средняя скорость  $v$  вычисляется по формулам

$$v = B v_{\bar{i}} = B \tilde{N}_{\bar{i}} \sqrt{R_{\bar{i}} i} \quad \text{м/с}, \quad (1.19)$$

где  $B$  - относительная средняя скорость;  $B = \frac{W}{W_i}$ .

Значения  $A$  и  $B$  принимаются по графику зависимости параметров  $A$  и  $B$  от относительной глубины наполнения  $\frac{h}{d}$ , представленному на рис. 16.4[1].

## 1.8 Определение глубины потока в круглой трубе

Порядок расчета

1. Вычисляются при полном наполнении трубы ( $h = d$ ) по формулам следующие параметры

$$\omega_i = \frac{\pi d^2}{4}; \quad R_i = \frac{d}{4}; \quad \tilde{N}_i = \frac{1}{n} R_i^{1/6}; \quad Q_i = \omega_i \tilde{N}_i \sqrt{R_i i}.$$

2. Вычисляется отношение  $\frac{Q_{\text{зад}}}{Q_i} = A$ ;

3. Принимается степень наполнения потока  $\frac{h}{d} = \chi$  и  $B$  по рис. 16.4[1] в зависимости от  $A$ .

4. Вычисляется глубина потока

$$h = \chi \cdot d.$$

5. Определяется средняя скорость потока при заданном расходе по формуле (1.19).

## 2. Расчет каналов при установившемся неравномерном плавноизменяющемся движении

### 2.1 Общие положения

При нарушении равномерного движения в открытом русле какими – либо факторами (подпор искусственными сооружениями, спад воды при наличии сбросных сооружений типа перепадов, быстотоков, изменение уклона дна и т.д.) имеет место неравномерное движение при изменении по длине русла глубины потока  $h$ . В зависимости от причины, нарушающей равномерное движение, глубины потока могут увеличиваться или уменьшаться. В первом случае говорится, что свободная поверхность потока образует кривую подпора, а во втором случае – кривую спада.

При расчете каналов при установившемся неравномерном движении возможны два типа задач:

1. Прямая задача – известны глубины в начале и конце кривой свободной поверхности и требуется рассчитать длину кривой.

2. Обратная задача – известна одна из глубин и длина кривой свободной поверхности и требуется определить вторую неизвестную глубину.

В состав расчета задачи любого типа входит:

- определение критической глубины  $h_{\text{кр}}$  в канале;
- установление формы кривой свободной поверхности;
- расчет кривой свободной поверхности одним из известных способов;
- построение кривой свободной поверхности на продольном профиле канала.

## 2.2 Определение критической глубины в канале

Существует несколько способов расчета критической глубины (по графику удельной энергии сечения, по уравнению критического состояния и т.д.).

Наиболее простым способом является расчет критической глубины для канала трапецеидального сечения по формуле И.И. Агроскина

$$h_{\text{кр}} = h_{\text{кр.т}} \left( 1 - \frac{\sigma_i}{3} + 0,105\sigma_i^2 \right) \text{ м}, \quad (2.1)$$



где  $h_{\text{э}\delta.i}$  - критическая глубина для канала прямоугольного сечения, одинаковой с каналом трапецеидального сечения шириной по дну  $b$ , м;  
 $\sigma_i$  - безразмерная характеристика живого сечения.

Критическая глубина для канала прямоугольного сечения  $h_{\text{э}\delta.i}$  определяется по формуле

$$h_{\text{э}\delta.i} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{qb^2}} \quad \text{м,} \quad (2.2)$$

где  $\alpha$  - коэффициент Кориолиса ( $\alpha = 1,1$ );  
 $Q$  - расход, проходящий через живое сечение канала, м<sup>3</sup>/с;  
 $q$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $b$  - ширина канала по дну, м.

Безразмерная характеристика живого сечения  $\sigma_i$  вычисляется по формуле

$$\sigma_i = \frac{mh_{\text{э}\delta.i}}{b}. \quad (2.3)$$

### 2.3 Установление формы кривой свободной поверхности

Для выяснения формы свободной поверхности при неравномерном движении необходимо выполнить анализ дифференциального уравнения, которое при положительном уклоне дна канала ( $i > 0$ ) имеет следующий вид

$$\frac{dh}{dl} = i \frac{1 - \left(\frac{K_o}{K}\right)^2}{1 - \dot{I}_e}, \quad (2.4)$$

где  $i$  - уклон дна канала;

$K_o = f(h_o)$  - расходная характеристика, соответствующая  
равномерному движению жидкости, м<sup>3</sup>/с;

$K = f(h)$  - расходная характеристика, соответствующая  
глубине потока  $h$  в рассматриваемом живом  
сечении при неравномерном движении, м<sup>3</sup>/с;

$\dot{I}_e = f(h)$  - параметр кинетичности, характеризующий  
энергетическое состояние потока.

Из дифференциального уравнения видно, что знак  $\frac{dh}{dl}$ , а значит и вид кривой свободной поверхности ( $\frac{dh}{dl} > 0$  - подпор,  $\frac{dh}{dl} < 0$  - спад), зависит от знаков числителя и знаменателя.

Вычислив  $h_o$  и  $h_{e\partial}$  и зная хотя бы одну из глубин на рассматриваемом участке, можно установить форму кривой свободной поверхности. Для этого сравнивается заданная глубина  $h$  с нормальной глубиной  $h_o$ , а т.к.  $K = f(h)$  и  $K_o = f(h_o)$ , то можно сравнить соответственно  $K$  и  $K_o$  и таким образом выяснить  $\frac{K_o}{K} > 1$  или  $\frac{K_o}{K} < 1$ , а значит определить знак числителя в дифференциальном уравнении 2.4.

Далее сравнивается заданная глубина  $h$  с критической глубиной  $h_{e\partial}$ , если  $h > h_{e\partial}$ , то  $\dot{I}_e < 1$  (поток находится в спокойном состоянии), если  $h < h_{e\partial}$ ,  $\dot{I}_e > 1$  (поток находится в бурном состоянии), таким образом определяется знак знаменателя, а значит и знак всей дроби  $\frac{dh}{dl}$ .

Если  $\frac{dh}{dl} > 0$ , то в конце образуется кривая подпора, если  $\frac{dh}{dl} < 0$ , в канале образуется кривая спада.

При уклонах  $i < 0$  и  $i = 0$  для выяснения вида кривой свободной поверхности, достаточно сравнить заданную глубину  $h$  с

критической  $h_{\text{ед}}$ . Если  $h > h_{\text{ед}}$ , то в русле образуется кривая спада, если  $h < h_{\text{ед}}$ , в русле образуется кривая подпора.

## 2.4 Расчет кривой свободной поверхности при установившемся неравномерном движении жидкости в призматических руслах (каналах)

Существует множество способов расчета кривых свободной поверхности (Н.Н. Павловского, Б.А. Бахметева, И.И. Агроскина, метод суммирования и др.). В качестве рекомендуемого рассматривается расчет кривой свободной поверхности по способу И.И. Агроскина для каналов трапецеидального сечения. Другие способы приводятся в специальной литературе.

Расчет кривых свободной поверхности по способу Агроскина И.И. ведется при гидравлическом показателе русла  $x = 5,5$  по следующему расчетному уравнению.

При  $i > 0$

$$l_{1-2} = \frac{a}{i} \left\{ (Z_2 - Z_1) - \left( 1 - \bar{I}'_{\text{ед}} \right) [\hat{O}(Z_2) - \hat{O}(Z_1)] \right\} \text{ м}, \quad (2.5)$$

22

где  $l_{1-2}$  - расстояние между двумя сечениями потока  
с глубинами  $h_1$  и  $h_2$ , м;

$a$  - переменная величина, зависящая от глубины потока;

$i$  - уклон дна канала;

$Z$  - переменная величина, зависящая от глубины потока;

$\bar{I}'_{\text{ед}}$  - среднее арифметическое значение фиктивного  
параметра кинетичности для двух соседних сечений;

$\hat{O}(Z)$  - переменная функция.

Переменная  $a$  определяется по формуле

$$a = \frac{h_2 - h_1}{Z_2 - Z_1}, \quad (2.6)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  - глубины потока в сечениях, между которыми

определяется длина кривой свободной поверхности, м;

$Z_1$  и  $Z_2$  - переменные величины в сечениях, между которыми определяется длина кривой свободной поверхности.

Переменная величина вычисляется по формуле

$$Z = \frac{h \cdot F(\sigma)}{h_o \cdot F(\sigma_o)} = \frac{h \cdot F(\sigma)}{const} \quad , \quad (2.7)$$

где  $h$  - глубина потока в рассматриваемом сечении, м;  
 $\sigma$  - безразмерная характеристика живого сечения, соответствующая глубине  $h$ ;

$h_o$  - нормальная глубина, м;

$\sigma_o$  - безразмерная характеристика живого сечения, соответствующая нормальной глубине  $h_o$ .

Безразмерная характеристика  $\sigma$  в назначенном сечении определяется по формуле

$$\sigma = \frac{m_o h}{b + mh} \quad , \quad (2.8)$$

где  $m_o$  - характеристика откоса, определяется по табл.Х [3].

Безразмерная характеристика  $\sigma_o$  определяется по формуле

$$\sigma_o = \frac{m_o h_o}{b + mh_o} \quad . \quad (2.9)$$

Значения функций  $F(\sigma)$  и  $F(\sigma_o)$  определяется по табл.4 прил.8[1].

Среднее арифметическое значение фиктивного параметра кинетичности  $\dot{I}'_{\hat{e}_{\text{н.д.}}}$  определяется по формуле

$$\dot{I}'_{\hat{e}_{\text{н.д.}}} = \frac{\dot{I}'_{\hat{e}_1} + \dot{I}'_{\hat{e}_2}}{2} \quad , \quad (2.10)$$

где  $\dot{I}'_{\hat{e}1}$  и  $\dot{I}'_{\hat{e}2}$  - фиктивные параметры кинетичности в сечениях, между которыми определяется длина кривой свободной поверхности.

Фиктивный параметр кинетичности в сечении определяется по формуле

$$\dot{I}'_{\hat{e}} = \frac{0,112 \cdot i}{n^2} \cdot b^{0,4} \cdot \theta(\sigma) = const \cdot \theta(\sigma), \quad (2.11)$$

где  $\theta(\sigma)$  - функция, значение которой определяется по табл. 5 прил.8[1].

Переменная функция  $\hat{O}(Z)$  определяется по табл.1 прил.8[1]

Расчет кривой свободной поверхности сводится в табл. 2.1.

При решении прямой задачи при расчете кривой подпора типа  $\hat{a}_I$  глубина в начале кривой  $h_1$  принимается равной  $1,03h_o$ ,

т.е.  $h_1 = 1,03h_o$ , глубина в конце кривой  $h_n$  равна глубине потока у подпорного сооружения. При расчете кривой назначается 6-7 расчетных сечений. Шаг между глубинами в сечениях назначается

$$\Delta h = \frac{h_n - h_1}{n}, \text{ м} \quad (2.12)$$

где  $n$  - число сечений.

Кривая спада рассчитывается от глубины  $h_1 = (0,97 \div 0,98)h_o$  до критической глубины  $h_{\hat{e}\delta}$ . Длина кривой свободной поверхности при  $i < 0$  определяется по уравнению

$$l_{1-2} = \frac{a}{|i|} \left\{ -(Z_2 - Z_1) + (1 + \dot{I}'_{\hat{e}\delta}) [F(Z_2) - F(Z_1)] \right\}, \text{ м} \quad (2.13)$$

где  $|i|$  - уклон по абсолютной величине;

$F(Z)$  - функция, которая определяется по табл. 2 прил.8[1]

При  $i = 0$

$$l_{1-2} = \frac{a}{i'} \left\{ \dot{i}'_{\hat{e}_{\text{нв.}}} (Z_2 - Z_1) - [f(Z_2) - f(Z_1)] \right\}, \text{ м} \quad (2.14)$$

где  $i'^1$  - произвольный положительный уклон;

$f(Z)$  - функция, которая определяется по табл.3 прил.8 [1].

Обратная задача (при известной длине кривой свободной поверхности и одной из глубин, начальной или конечной) решается методом подбора. Для облегчения подбора строится детально рассчитанная кривая свободной поверхности на длине большей, чем заданная. Искомая глубина определяется графически.

Таблица 2.1 – Расчет кривых свободной поверхности при  $i > 0$

$h$	$\Delta h$	$\sigma$	$F(\sigma)$	$h \cdot F(\sigma)$	$Z$	$\Delta Z$	$a = \frac{\Delta h}{\Delta Z}$	$\frac{a}{i}$	$\theta(\sigma)$	$\dot{i}'_{\hat{e}}$	$\dot{i}'_{\hat{e}_{\text{нв.}}}$	$1 - \dot{i}'_{\hat{e}_{\text{нв.}}}$	$\hat{O}(Z)$	$\Delta \hat{O}(Z)$	(14)(16)
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Примечание: При расчете кривой подпора: если задаваться глубинами в порядке увеличения (от меньшей к большей по течению)  $\Delta Z = Z_2 - Z_1$ ;  $\Delta h = h_2 - h_1$ ;  $\Delta \hat{O}(Z) = \hat{O}(Z_2) - \hat{O}(Z_1)$  индексация сечений выполняется по течению от 1-го до последнего у сооружения, если глубинами задаваться в порядке уменьшения от большей к меньшей против течения), то  $\Delta Z = Z_1 - Z_2$ ;  $\Delta h = h_1 - h_2$ ;  $\Delta \hat{O}(Z) = \hat{O}(Z_1) - \hat{O}(Z_2)$ . При расчете кривой спада: если задаваться глубинами по течению в порядке уменьшения, то

$\Delta Z = Z_2 - Z_1$ ;  $\Delta h = h_2 - h_1$ , и т.д., если в порядке увеличения  
 (против течения)  $\Delta Z = Z_1 - Z_2$ ;

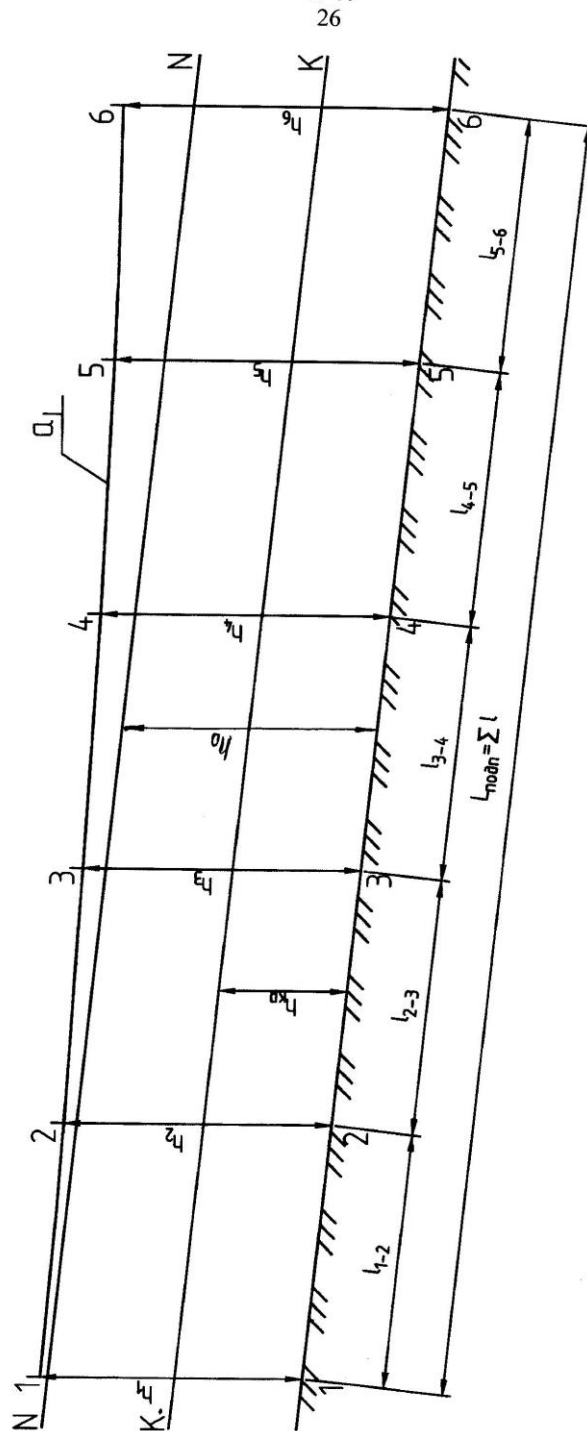


Рисунок 2.1 Кривая подпора в деривационном канале

## 2.5 Построение кривой свободной поверхности

После расчета кривой свободной поверхности необходимо по полученным данным на миллиметровой бумаге начертить ее, причем  $I_{\text{св}} \neq I_{\text{дн}}$ . Общий вид кривой свободной поверхности в виде кривой подпора представлен на рис. 2.1.

### 3. Расчет водосливов

#### 3.1 Расчет водосливов с широким порогом

По типу водослива с широким порогом с боковым сжатием рассчитываются шлюзы-регуляторы в голове магистрального канала, водоприемники, входные части сбросных каналов. Гидравлический расчет любого из перечисленных выше сооружений заключается в определении их ширины  $b$ . Существует несколько способов расчета ширины сооружения. Рассмотрим некоторые из них.

##### 3.1.1 Определение ширины шлюза – регулятора в голове магистрального канала методом приближений

Порядок расчета

1. Принимается тип сопряжения подводящего канала водосливом в плане (рис. 22. 21[1]).

2. Принимается напор перед водосливом

$$H = h_{\text{max}} + \Delta Z, \text{ м} \quad (3.1)$$

где  $h_{\text{max}}$  - глубина потока в подводящем канале при

расчетном расходе  $Q = Q_{\text{max}}$ , м<sup>3</sup>/с;

$\Delta Z$  - перепад между уровнями верхнего и нижнего бьефов  $\Delta Z = (0,1 \div 0,3)$ , м.



3. Определяется скорость потока в подводящем русле (скорость подхода)  $v_o$

$$v_o = \frac{Q}{\omega_{\text{АА}}}, \quad \text{м/с} \quad (3.2)$$

где  $Q$  - расчетный расход, м<sup>3</sup>/с

$\omega_{\text{АА}}$  - площадь живого сечения подводящего канала, м<sup>2</sup>.

4. Определяется полный напор перед водосливом

$$H_o = H + \frac{\alpha v_o^2}{2g}, \quad \text{м} \quad (3.3)$$

5. Принимается ширина водослива  $b = (0,5 \div 0,8)b_e$ .

6. Принимается коэффициент расхода  $m$  в зависимости от типа сопряжения в плане и отношения  $\frac{b}{B}$  по табл.3.прил.11[1].

7. Проверяется водослив на подтопление, для чего сравнивается отношение  $\frac{\square}{H_o}$  с  $K_2$ ,

где  $h$  - глубина подтопления, м;

$H_o$  - полный напор, м;

$K_2$  - степень подтопления.

Глубина подтопления  $\square$  равна  
- для водослива с порогом  $P > 0$

$$\square = h_a - D, \text{ м} \quad (3.4)$$

- для водослива без порога  $P = 0$

$$\square = h_a \quad , \text{ м} \quad (3.5)$$

Степень подтопления  $K_2$  определяется по табл.22.1[1] в зависимости от коэффициента расхода  $m$ . Если  $\frac{\square}{H_o} \leq K_2$ , то водослив неподтоплен и коэффициент подтопления  $\sigma_n = 1$ . Если  $\frac{\square}{H_o} > K_2$ , водослив подтоплен.

8. В случае подтопления водослива определяется коэффициент подтопления  $\sigma_n$  по табл. 22.2[1].

9. Определяется ширина водослива в первом приближении:

- для неподтопленного водослива

$$b_1 = \frac{Q}{m\sqrt{2q}H_o^{3/2}} \quad , \text{ м} \quad (3.6)$$

- для подтопленного водослива

$$b_1 = \frac{Q}{m\sigma_n\sqrt{2q}H_o^{3/2}} \quad , \text{ м} \quad (3.7)$$

10. Сравнивается вычисленная ширина водослива  $b_1$  с принятой  $b$ .

Если  $b_1 = b$ , то ширина водослива определена правильно. Если  $b_1 \neq b$  (расхождение  $>1\%$ ), то определяется ширина водослива во втором приближении. При этом расчет начинается с определением коэффициента расхода  $m$ , при вычисленной ширине  $b_1$ . Далее расчет выполняется аналогично пунктам 7, 8, 9. Ширина водослива во втором приближении рассчитывается по формуле

$$b_2 = \frac{Q}{m_1 \sigma_{n1} \sqrt{2qH_o^{3/2}}}, \quad \text{м} \quad (3.8)$$

Если  $b_2 \neq b_1$ , то выполняется третье приближение и так до тех пор пока не получится  $b_n = b_{n-1}$ .

11. При ширине водослива  $b$  больше ширины пролета  $b_{i\delta}$ , заданной в условии, определяется число пролетов регулятора

$$n = \frac{b}{b_{i\delta}}. \quad (3.9)$$

Принимается ближайшее меньшее число пролетов  $n$ .

12. Уточняется ширина одного пролета

$$b_{i\delta} = \frac{b}{n}, \quad \text{м} \quad (3.10)$$

где  $n$  - принятое число пролетов.

13. Определяется общая ширина регулятора

$$B_{\delta\ddot{a}\ddot{a}} = b_{i\delta} \cdot n + (n-1)t, \quad \text{м} \quad (3.11)$$

где  $t$  - толщина промежуточных бычков, м.

План и продольный разрез по оси шлюза – регулятора представлены на рис. 3.1.

### 3.1.2 Определение ширины шлюза – регулятора графоаналитическим методом

Расчет ведется в табличной форме.

Таблица 3.1- Расчет для построения графика зависимости  $\sigma_n mb = f(b)$

$b, \text{ м}$	$m$	$K_2$	Подтопление водослива		$\sigma_n$	$\sigma_n mb$	Прим.
			Неподтоплен	Подтоплен			
$0,5 b_k$							$H_o = H + \frac{\alpha V_o^2}{2g}$ $(\sigma_n mb)_{\text{иск}} = \frac{Q}{\sqrt{2g H_o^{3/2}}}$
$0,6 b_k$							
$0,7 b_k$							
$0,8 b_k$							

По данным табл. 3.1 строится график зависимости  $\sigma_n mb = f(b)$  (рис.3.2) и по графику определяется искомая ширина  $b$ .

Далее определяется число отверстий регулятора и общая его ширина.

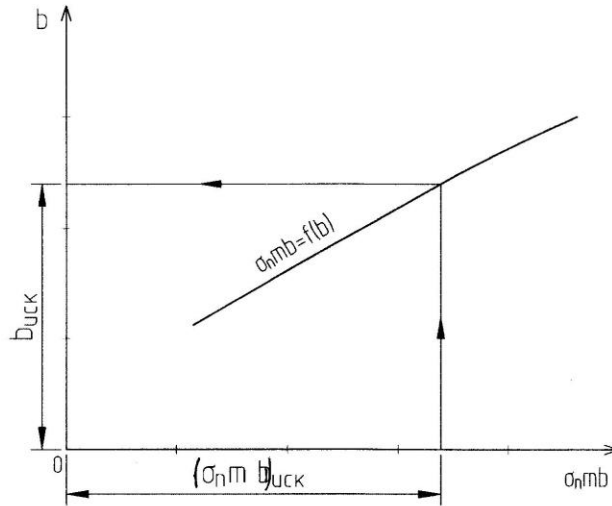


Рисунок 3.1 График зависимости  $\sigma_n mb = f(b)$

### 3.2.1 Определение бытовой глубины в нижнем бьефе

При определении бытовой глубины возможны следующие случаи:

а) В условии задано уравнение  $Q = ah_6^2 + bh_6$ . В этом случае для определения глубины  $h_6$  в реке при заданном расходе по заданному уравнению строится график зависимости  $Q = f(h_6)$ . Расчет выполняется в табличной форме (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Расчет для построения графика  $Q = f(h_6)$

№ пп	$h_6, \text{ м}$	$h_6^2, \text{ м}$	$ah_6^2$	$bh_6$	$Q = ah_6^2 + bh_6$

Глубину  $h_6$  следует принимать от 0 до  $h_n$ , при которой вычисленный расход  $Q_n$  был бы больше  $Q_{\max}$  в реке.

По данным табл.3.2 строится график  $Q = f(h_6)$  (рис.3.3). По графику  $Q = f(h_6)$  определяется  $h_6$  при заданном расходе.

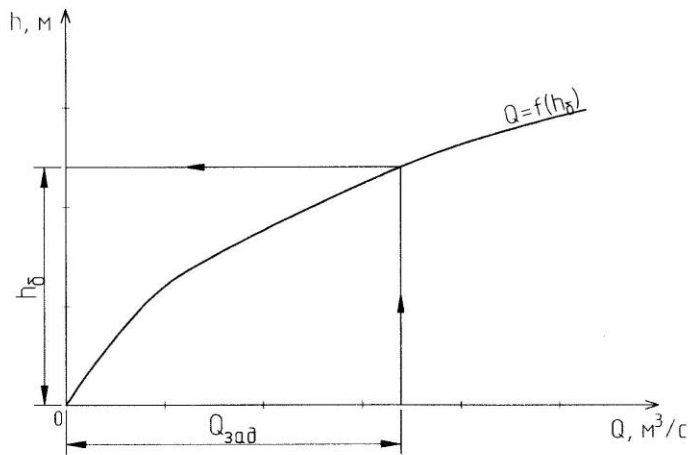


Рисунок 3.3 График зависимости  $Q = f(h_6)$

б) Если в нижнем бьефе водосливной плотины проектируется отводящий канал, то бытовая глубина принимается равной глубине потока в отводящем канале при расчетном расходе  $Q$ .

в) Если водосливная плотина проектируется на реке и в условии не задано уравнение зависимости  $Q = f(h_a)$ , то бытовая глубина принимается равной  $h_a = \downarrow \text{О} \hat{\text{I}} \hat{\text{A}} - \downarrow \text{д} \hat{\text{н}} \hat{\text{а}} \text{ р} \hat{\text{е}} \hat{\text{к}} \hat{\text{и}}$ , где  $\downarrow \text{О} \hat{\text{I}} \hat{\text{A}}$  - отметка уровня нижнего бьефа при расчетном расходе в створе плотины;  $\nabla$  дна реки – отметка дна реки в створе плотины.

### 3.2.2 Выбор и построение профиля водосливной плотины

Так как в условии работы нет никаких требований к усилению устойчивости плотины и улучшению пропуска льда через плотину за расчетную схему принимается профиль I (водослив практического профиля криволинейного очертания безвакуумный). Профилирующий (расчетный) напор перед плотиной

$$H_{i\delta} = \downarrow \hat{\text{I}} \hat{\text{O}} \hat{\text{A}} \hat{\text{A}} - \downarrow \hat{\text{A}} \tilde{\text{A}}, \text{ м} \quad (3.12)$$

где  $\downarrow \hat{\text{I}} \hat{\text{O}} \hat{\text{A}} \hat{\text{A}}$  - отметка подпертого уровня высоких вод, м;  
 $\downarrow \hat{\text{A}} \tilde{\text{A}}$  - отметка гребня плотины, м.

Построение профиля водосливной плотины производится по способу Кригера – Офицерова. Для построения профиля по этому способу необходимо умножить профилирующий напор  $H_{i\delta}$  на единичные координаты  $\tilde{\delta}$  и  $Z$ , приведенные в табл.22.3[1]. Расчет по определению координат сливной грани плотины и профиля переливающейся струи сводится в табл.3.3.

Таблица 3.3 – Координаты сливной грани плотины и переливающейся струи

x, м	Z, м		
	очертание кладки	очертание струи	
		внешней поверхности	внутренней поверхности

Во избежание удара ниспадающей струи о дно нижнего бьефа сливную грань плотины сопрягают с дном при помощи кривой радиуса  $R$ , так чтобы придать струе на выходе горизонтальное или близкое к нему направление. Радиус закругления для различных значений  $H$  и  $P$  принимается по табл. 22.4[1]. Для плотины высотой  $P < 10$  м радиус  $R$  принимается  $R = 0,5P$ .

По данным табл.3.3 строится профиль водосливной плотины ( $M_{гор} = M_{верт}$ ) (рис.3.4).

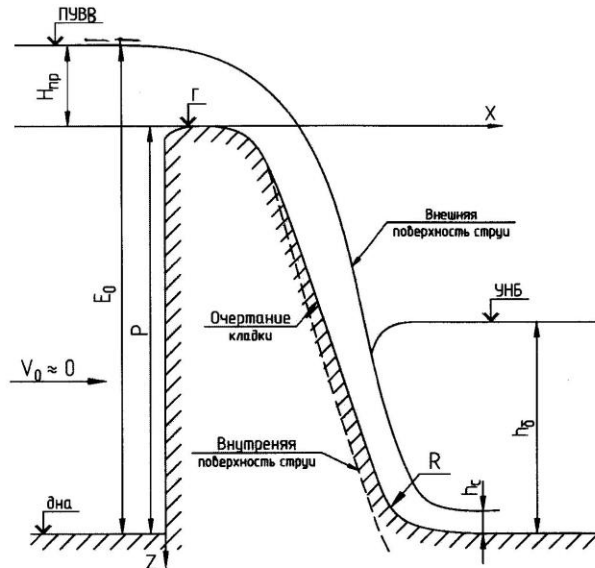


Рисунок 3.4 Расчетная схема водосливной плотины

### 3.2.3 Определение ширины водосливной плотины и числа водосливных отверстий при пропуске заданного расхода

Порядок расчета

1. Определяется профилирующий напор перед плотиной по формуле (3.12).

2. Принимается коэффициент расхода  $m = 0,49$ .

3. Проверяются условия подтопления водосливной плотины, для этого сравнивается высота плотины  $P$  с бытовой глубиной  $h_a$ . Высота плотины определяется по формуле

$$P = \downarrow \tilde{A} - \downarrow \text{дна реки, м} \quad (3.13)$$

Если  $h_a < P$ , плотина неподтоплена; если  $h_a > P$ , необходимо проверить форму сопряжения струи, переливающейся через водослив с потоком нижнего бьефа, для чего сравнивается критический перепад  $\left(\frac{Z}{P}\right)_{\text{крит}}$  с относительным перепадом  $\left(\frac{Z}{P}\right)$ .

Если  $h_a > P$  и  $\left(\frac{Z}{P}\right) > \left(\frac{Z}{P}\right)_{\text{крит}}$ , сопряжение в нижнем бьефе происходит в форме отогнанного прыжка, плотина неподтоплена.

$\left(\frac{Z}{P}\right)_{\text{крит}} = f\left(\frac{H}{P}\right)$  - определяется по рис.8-10/2/. Перепад между уровнями верхнего и нижнего бьефов  $Z$  равен

$$Z = \downarrow \hat{I} \hat{O} \hat{A} \hat{A} - \downarrow \hat{O} \hat{I} \hat{A}, \text{ м} \quad (3.14)$$

Если  $h_a > P$  и  $\left(\frac{Z}{P}\right) < \left(\frac{Z}{P}\right)_{\text{крит}}$ , сопряжение происходит в форме надвинутого прыжка. В этом случае плотина подтоплена.

4. В случае подтопления плотины определяется коэффициент подтопления  $\sigma_n$  по табл. 22.11[1].



5.Принимается коэффициент бокового сжатия

$$\varepsilon = (0,97 - 0,98)$$

6.Определяется ширина водосливной плотины в первом приближении

$$b_1 = \frac{Q_{\max}}{\sigma_n m \varepsilon \sqrt{2q} H_o^{3/2}}, \quad \text{м} \quad (3.15)$$

где  $H_o$  - полный напор, м ( $H_o = H_{i\delta}$  так как  $\frac{\alpha V_o^2}{2g} = 0$ ).

7.Сравнивается ширина водосливной плотины  $b$  с шириной реки  $\hat{A}_\delta$ .

Если  $b_1 < B_p$ , проверяется коэффициент бокового сжатия  $\varepsilon$  по формуле Замарина

$$\varepsilon_1 = 1 - a \frac{H_{i\delta}}{b_1 + H_{i\delta}}, \quad (3.16)$$

где  $a$  - коэффициент, учитывающий форму оголовка бычков.

Форма оголовка принимается самостоятельно согласно рис.22.29[1].

8.Сравнивается  $\varepsilon_1$  с принятым  $\varepsilon$ . Если  $\varepsilon_1 = \varepsilon$  значит ширина водосливного фронта плотины определена правильно. Если  $\varepsilon_1 \neq \varepsilon$ , необходимо определить ширину плотины во втором приближении при коэффициенте сжатия  $\varepsilon_1$

$$b_2 = \frac{Q_{\max}}{\sigma_n m \varepsilon_1 \sqrt{2q} H_{i\delta}^{3/2}}, \quad \text{м} . \quad (3.17)$$

После чего необходимо проверить коэффициент бокового сжатия

$\varepsilon_2$  и так до тех пор, пока не получится  $\varepsilon_n = \varepsilon_{n-1}$ .

9.Определяется число водосливных отверстий

$$n = \frac{b}{b_{i\delta}}. \quad (3.18)$$

Принимается ближайшее меньшее целое число пролетов  $n$ .  
10. Уточняется ширина одного пролета

$$b_{i\delta} = \frac{b}{n}, \quad \text{м.} \quad (3.19)$$

где  $n$  - принятое число пролетов.

11. Определяется общая ширина плотины

$$B_{i\ddot{e}} = n \cdot b_{i\delta} + (\delta - 1)t, \quad \text{м} \quad (3.20)$$

В том случае, когда ширина плотины  $b_1$  получилось больше ширины реки  $\hat{A}_\delta$ , следует:

- понизить отметку гребня водосливной плотины, увеличив тем самым профилирующий напор и пропускную способность плотины или

- наряду с водосливной плотиной, устраиваемой с

$\downarrow \tilde{A} = \downarrow \acute{I} \grave{I} \acute{O}$ , в нескольких пролетах проектирует глубокие (донные) щитовые отверстия, отметки порога которых ниже

$\downarrow \tilde{A}$  водосливной плотины.

### 3.2.4 Определение формы сопряжения потока в нижнем бьефе плотины

Порядок расчета:

1. Определяется удельный расход на водосливной плотине

$$q = \frac{Q_{\max}}{B_{i\ddot{e}}}, \quad \text{м}^3/\text{с} \cdot \text{м} \quad (3.21)$$

2. Определяется удельная энергия потока перед плотиной

$$\dot{A}_i = D + \dot{I}_i, \text{ м} \quad (3.22)$$

3. Определяется вторая сопряженная глубина  $h_c^{II}$ , для чего вычисляется функция  $\hat{O}(\tau_{\tilde{n}})$

$$\hat{O}(\tau_c) = \frac{q}{\varphi \dot{A}_i^{3/2}}, \quad (3.23)$$

где  $\varphi$  - коэффициент скорости ( $\varphi = 0,95$ ).

По вычисленной функции  $\hat{O}(\tau_{\tilde{n}})$  определяется относительная глубина  $\tau_{\tilde{n}}^{II}$  по табл.7 прил.11[1]

$$h_c^{II} = \tau_c^{II} \cdot \dot{A}_i, \text{ м} \quad (3.24)$$

4. Сравнивается  $h_c^{II}$  с  $h_a$ .

Если  $h_c^{II} < h_a$ , сопряжение происходит в форме надвинутого гидравлического прыжка. В этом случае рассчитывается длина крепления водобоя. Если  $h_c^{II} > h_a$ , сопряжение происходит в форме отогнанного гидравлического прыжка и для сопряжения с надвинутым прыжком рассчитывается гаситель.

#### 4. Гидравлический расчет водобойного колодца

Водобойный колодец (рис.4.1) представляет собой искусственное углубление дна нижнего бьефа, непосредственно за сооружением на некоторую величину. Водобойный колодец применяется для создания глубины в нижнем бьефе, обеспечивающей сопряжение с надвинутым прыжком.

Как гидротехническое сооружение, водобойный колодец имеет следующее преимущество: при слабом основании он проще в производстве. Но вместе с тем водобойный колодец обладает следующим недостатком: при малых расходах он подвержен заиле-

нию. Заполнение колодца наносами может привести к образованию отогнанного прыжка, разрушению отводящего канала, подмыву элементов самого колодца. Аналогичная картина может возникнуть при пропуске весеннего паводка по заполненному льдом колодцу. Кроме того, замерзающая в колодце вода, расширяясь может нарушить целостность конструкции.

Гидравлический расчет водобойного колодца заключается в определении его глубины  $d$  и длины  $l_{\text{вб}}$ .

#### **4.1 Определение глубины водобойного колодца методом приближений**

Расчеты в этом случае ведутся в следующем порядке:

Определяется скорость потока перед водобойным колодцем

$$v_{01} = \frac{q}{\sigma \cdot h_c^{\text{II}}} \quad , \text{ м/с} \quad (4.1)$$

где  $q$  - удельный расход сооружения,  $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{м}$ ;  
 $\sigma$  - коэффициент запаса (1,05÷1,1);  
 $h_c^{II}$  - вторая сопряженная глубина.

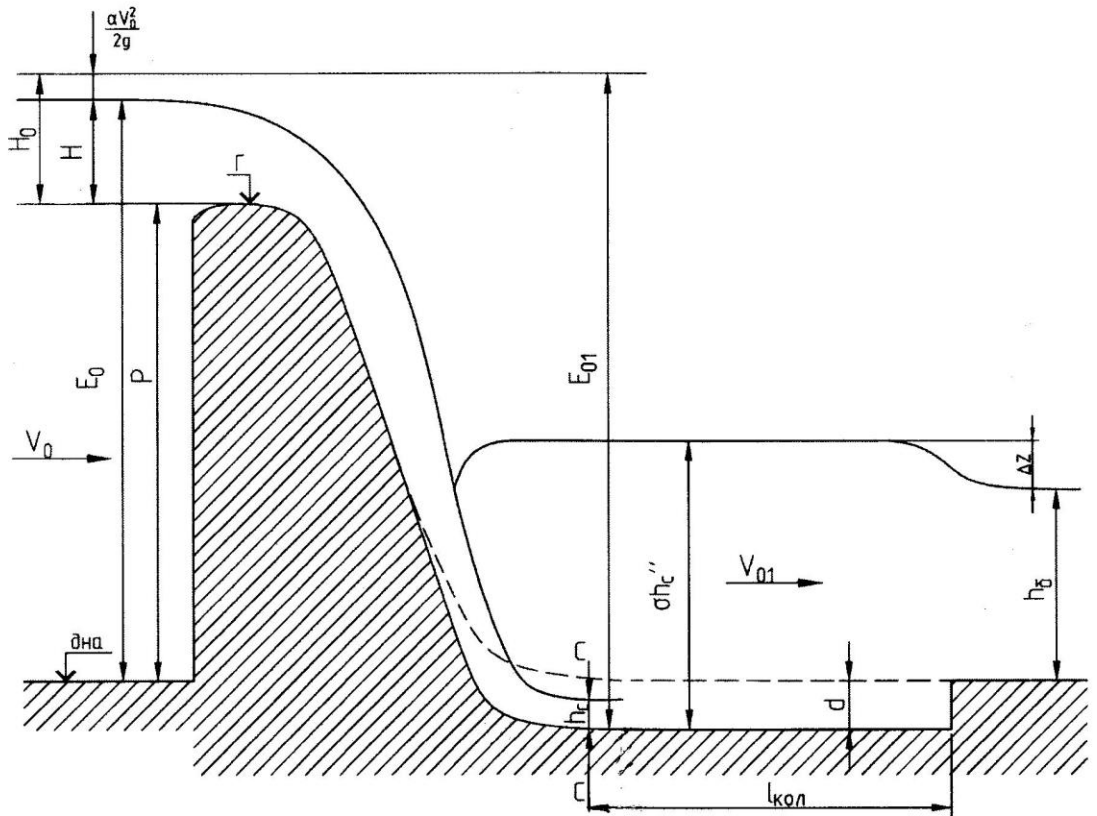


Рисунок 4.1 Схема водобойного колодца

Вычисляется скорость потока в нижнем бьефе сооружения

$$v_6 = \frac{q}{h_6}, \text{ м/с} \quad (4.2)$$

где  $h_6$  - бытовая глубина в нижнем бьефе, м.

Определяется перепад на выходе из водобойного колодца

$$\Delta Z = \frac{v_6^2}{2q\varphi_{\text{кол}}^2} - \frac{\alpha v_{01}^2}{2q}, \quad \text{м} \quad (4.3)$$

где  $\varphi_{\text{кол}}$  - коэффициент скорости.

Для водобойного колодца  $\varphi_{\hat{e}i\ddot{e}} = 0,9$ .

Определяется глубина водобойного колодца в первом приближении

$$d_1 = \sigma h_c^{II} - (h_a + Z), \text{ м} \quad (4.4)$$

Вычисляется удельная энергия потока перед сооружением относительно дна колодца

$$\dot{A}_{01} = \dot{A}_0 + d_1, \text{ м} \quad (4.5)$$

где  $\dot{A}_0$  - удельная энергия потока перед сооружением до устройства колодца.

Вычисляется функция  $\hat{O}(\tau_{\tilde{n}})$

$$\hat{O}(\tau_{\tilde{n}}) = \frac{q}{\varphi \dot{A}_{01}^{3/2}}, \quad (4.6)$$

где  $\varphi$  - коэффициент скорости.

Для водосливной плотины  $\varphi = 0,95$ .

Определяется относительная глубина  $\tau_{\tilde{n}}^{II}$  в зависимости от значения функции  $\hat{O}(\tau_{\tilde{n}})$  и коэффициента скорости  $\varphi$  по табл. 7 прил.11[1]. Вычисляется вторая сопряженная глубина

$$h_{c1}^{II} = \tau_c^{II} \cdot \dot{A}_{01}, \text{ м} \quad (4.7)$$

Вычисляется скорость потока перед водобойным колодцем

$$v_{01} = \frac{q}{\sigma h_{c1}^{II}}, \text{ м/с} \quad (4.8)$$

Определяется перепад на выходе из водобойного колодца

$$\square Z_1 = \frac{v_a^2}{2q\varphi^2} - \frac{\alpha v_{01}^2}{2q}, \text{ м} \quad (4.9)$$

Определяется глубина водобойного колодца во втором приближении

$$d_2 = \sigma h_{c1}'' - (h_a + \square Z_1), \text{ м} \quad (4.10)$$

Сравнивается  $d_2$  с  $d_1$ . Если  $d_2$  окажется равным  $d_1$ , то на этом расчет глубины колодца заканчивается. Если  $d_2 \neq d_1$ , то определяется глубина колодца в третьем приближении, при этом повторяется весь ход вычислений с формулы 4.5. Расчеты ведутся до тех пор, пока  $d_n$  не будет равно  $d_{n-1}$ .

## 4.2 Определение длины водобойного колодца

Если поток вступает в колодец, сходя с уступа (на ступень перепада), то

$$l_{\hat{e}\hat{i}\hat{e}} = l_{\hat{i}\hat{a}\hat{a}} + l_{\hat{i}\hat{\delta}}, \text{ м} \quad (4.11)$$

где  $l_{\hat{i}\hat{a}\hat{a}}$  - дальность падения струи, м ;

$l_{\hat{i}\hat{\delta}}$  - длина гидравлического прыжка, м.

Определение дальности падения струи  $l_{\hat{i}\hat{a}\hat{a}}$  и длины прыжка  $l_{\hat{i}\hat{\delta}}$  приводится в п. 5.2 данных методических указаний.

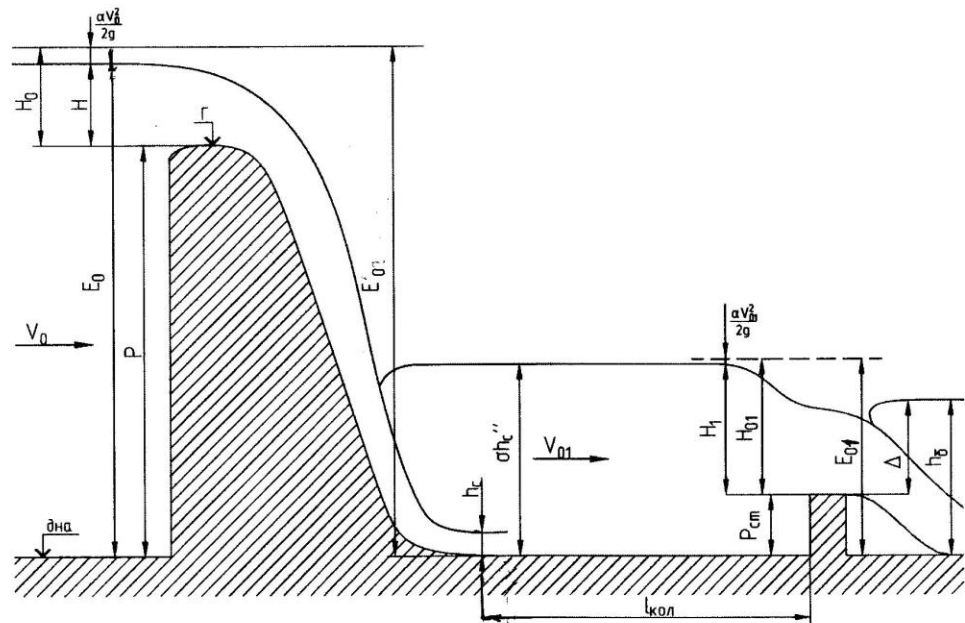
Если поток вступает в колодец, сходя с водосливной плотины без уступа, то

$$l_{\hat{e}\hat{i}\hat{e}} = l_{\hat{i}\hat{\delta}}, \text{ м} \quad (4.12)$$

## 5. Гидравлический расчет водобойной стенки

Водобойная стенка (рис. 5.1) также, как и водобойный колодец, проектируется в нижнем бьефе сооружений для обеспечения сопряжения в форме надвинутого прыжка. Обычно стенка представляет собой водослив прямоугольного или трапецеидального профиля.

Гидравлический расчет водобойной стенки заключается в определении высоты стенки  $P_{ст}$  и длины водобойного колодца.



### 5.1 Определение высоты водобойной стенки

Расчет ведется в следующей последовательности. Определяется полный напор над водобойной стенкой

$$H_{01} = \sqrt[3]{\left(\frac{q}{m\sqrt{2g}}\right)^2}, \text{ м} \quad (5.1)$$

где  $q$  - удельный расход сооружения,  $\text{с}^3/\text{с}\cdot\text{м}$ ;



$m$  - коэффициент расхода. Для водобойной стенки

$$m = 0,40 \div 0,42.$$

Определяется скорость потока перед водобойной стенкой

$$v_{01} = \frac{q}{\sigma h_c''} \quad , \quad \text{м/с} \quad (5.2)$$

Определяется напор над водобойной стенкой без скоростного напора

$$I_1 = I_{01} - \frac{\alpha v_{01}^2}{2g} \quad , \quad \text{м} \quad (5.3)$$

Вычисляется высота водобойной стенки

$$P_{\tilde{n}\delta} = \sigma h_c'' - H_1 \quad , \quad \text{м} \quad (5.4)$$

Вычисляется удельная энергия потока перед водобойной стенкой

$$\dot{A}_{01} = D_{\tilde{n}\delta} + I_{01} \quad , \quad \text{м} \quad (5.5)$$

Вычисляется функция  $\hat{O}(\tau_{\tilde{n}})$

$$\hat{O}(\tau_{\tilde{n}}) = \frac{q}{\varphi \dot{A}_{01}^{3/2}} \quad , \quad (5.6)$$

где  $\varphi$  - коэффициент скорости. Для водобойной стенки

$$\varphi = 0,9.$$

Определяется относительная глубина  $\tau_{\tilde{n}}''$  по вычисленному значению функции  $\hat{O}(\tau_{\tilde{n}})$  при коэффициенте скорости  $\varphi$  по табл.7 прил.11[1].

Вычисляется вторая сопряженная глубина после водобойной стенки.

$$h_c'' = \tau_c'' \cdot \dot{A}_{01} \quad , \quad \text{м} \quad (5.7)$$

Сравнивается  $h_c''$  с  $h_a$  и устанавливается форма сопряжения за стенкой:

- если  $h_c'' > h_a$ , сопряжение за стенкой происходит в форме отогнанного прыжка. В этом случае необходимо запроектировать вторую стенку, расчет которой выполняется аналогично расчету первой. В случае отгона прыжка за второй стенкой проектируют третью;

- если  $h_c'' < h_a$ , сопряжение за водобойной стенкой происходит в форме надвинутого гидравлического прыжка и стенка работает как подтопленный водослив. В этом случае напор над стенкой увеличивается, а высота водобойной стенки уменьшится.

### Расчет подтопленной водобойной стенки

Расчет ведется в следующем порядке.

Принимается коэффициент подтопления  $\sigma_n < 1$ .

Определяется полный напор над стенкой

$$H_{01} = \sqrt[3]{\left(\frac{q}{\sigma_n m \sqrt{2q}}\right)^2}, \text{ м} \quad (5.8)$$

Определяется напор над стенкой

$$H_1 = H_{01} - \frac{\alpha v_{01}^2}{2g}, \text{ м} \quad (5.9)$$

Определяется высота водобойной стенки

$$P_{\text{нò}} = \sigma h_c'' - I_1, \text{ м} \quad (5.10)$$

где  $h_c''$  - вторая сопряженная глубина перед стенкой, м.

Определяется коэффициент подтопления  $\sigma_{n1} = f\left(\frac{\square}{H_{01}}\right)$  по табл. 22.11[1],

где  $\square$  - глубина подтопления ( $\square = h_a - D_{\text{н}0}$ ), м.

Сравнивается  $\sigma_{n1}$  с принятым  $\sigma_n$ . Если  $\sigma_{n1} = \sigma_n$ , высота стенки определена правильно, если  $\sigma_{n1} \neq \sigma_n$ , то необходимо принять коэффициент подтопления равным  $\sigma_{n1}$  и определить высоту стенки, повторить вход вычислений с формулы 5.8 данного раздела. Расчет ведется до тех пор пока  $\sigma_{i n}$  не будет равно  $\sigma_{i n-1}$ .

### 5.3 Определение расстояния от сжатого сечения в нижнем бьефе до водобойной стенки

Определение расстояния  $l_{\text{э}i\text{э}}$  ведется аналогично расчету длины водобойного колодца.

## 6. Расчет сопрягающих сооружений

Сопрягающие сооружения в виде быстротоков и перепадов устраиваются на каналах при необходимости преодолеть большой уклон местности ( $i > i_{\text{э}0}$ ), или входят в состав узла гидротехнических сооружений для сброса воды из верхнего бьефа водохранилища, деривационных каналов и т.д.

К числу сопрягающих сооружений относятся быстротоки с обычной и искусственной шероховатостью, перепады, консольные сбросы.

### 6.1 Гидравлический расчет быстротока с обычной шероховатостью

Быстроток - это бетонный или деревянный лоток прямоугольного или трапециевидального поперечного сечения с уклоном дна  $i > i_{\text{ед}}$ .

В состав гидравлического расчета быстротока входит:

- расчет входной части;
- расчет водоската;
- расчет выходной части.

### 6.1.1 Расчет входной части

Входная часть проектируется по типу неподтопленного водослива с широким порогом с высотой порога  $D_{\text{ао}} = 0$  или  $D_{\text{ао}} > 0$  и с боковым сжатием.

Расчет входной части без порога  $D_{\text{ао}} = 0$ .

Гидравлический расчет заключается в определении ширины входной части  $b$ .

Ширина входной части  $b$  рассчитывается методом приближений (пункт 3.1.1 Расчет шлюза – регулятора). Подтопление при расчете не учитывается ( $\sigma_n = 1$ ).

**Расчет входной части с порогом  $D_{\text{ао}} > 0$**

Гидравлический расчет заключается в определении ширины входной части  $b$  при принятой высоте порога  $D_{\text{ао}}$  или в определении высоты порога  $D_{\text{ао}}$  при принятой ширине входной части  $b$ . В обоих случаях входная часть должна быть рассчитана таким образом, чтобы перед ней обеспечивалось равномерное движение жидкости

а) Определение ширины входной части при принятой высоте порога

1. Принимается высота порога входной части  $P_{\text{ао}}$

2. Определяется напор на пороге водослива

$$H = h_{\hat{e}} - P_{\hat{a}\hat{o}}, \text{ м} \quad (6.1)$$

где  $h_{\hat{e}}$  - глубина потока в подводящем канале при расчетном расходе  $Q$ , м;

$P_{\hat{a}\hat{o}}$  - высота порога водослива, м.

3. Принимается коэффициент расхода  $m$  в зависимости отношения  $\left(\frac{P}{H}\right)$  по табл.2 прил11[1].

4. Определяется ширина входной части по формуле

$$b = \frac{Q}{m\sqrt{2q}H_o^{3/2}}, \text{ м} \quad (6.2)$$

б) Определение высоты порога водослива при принятой ширине входной части

1. Принимается ширина входной части

$$b = (0,5 \div 0,8)b_{\hat{e}}, \text{ м} \quad (6.3)$$

где  $b_{\hat{e}}$  - ширина по дну подводящего канала, м.

2. Принимается коэффициент расхода  $m$  по табл. 3 прил.11[1].

3. Определяется полный напор на пороге водослива

$$H_o = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{mb\sqrt{2q}}\right)^2}, \text{ м} \quad (6.4)$$

4. Определяется напор на пороге водослива

$$H = H_o - \frac{\alpha v_o^2}{2q}, \text{ м} \quad (6.5)$$

где  $v_o$  - скорость потока в подводящем канале, м/с.

5. Определяется высота порога водослива

$$P_{\text{ао}} = \dot{I} - h_{\text{е}, \text{м}} \quad (6.6)$$

### 6.1.2 Расчет водоската быстротока

На водоскате быстротока устанавливается кривая спада типа  $b_{II}$ , которая начинается с критической глубины  $h_{\text{е}\delta}$  и заканчивается глубиной  $h_1$  стремящейся к нормальной глубине  $h_{\text{н}}$ . Гидравлический расчет водоската заключается в расчете и построении кривой спада. Основной задачей при расчете кривой спада является определение глубины потока вдоль лотка и определение глубины потока  $h$  в конце лотка, необходимой для расчета сопряжения с нижним бьефом.

#### Порядок расчета водоската

1. Принимается ширина водоската  $b$  равной ширине входной части или она назначается из условия пропуски на водоскате удельного расхода  $q = (2,5 \div 3,5) \text{ м}^3/\text{с}\cdot\text{м}$ .

2. Определяется критическая глубина  $h_{\text{е}\delta}$  на водоскате одним из известных способов (пункт 2.2).

3. Определяется нормальная глубина  $h_{\text{н}}$  на водоскате одним из известных способов (пункт 1.3).

4. Выполняется расчет и построение кривой спада одним из известных способов (способ Агроскина, Павловского, суммирования) (пункт 2.4). Глубина потока в начале кривой спада (в первом сечении) принимается равной  $h_{\text{е}\delta}$  в конце  $1,03 h_{\text{н}}$ . При расчете назначается 4 расчетных сечения.

5. Сравнивается длина кривой спада  $l_{\text{кр}}$  с длиной водоската  $L$  и определяется глубина потока в конце водоската  $h_1$ .

Если  $l_{\text{кр}} \leq L$ , то  $h_1 = h_{\text{н}}$ , если  $l_{\text{кр}} > L$ , то  $h_1$  определяется по кривой спада на расстоянии  $L$  от начального сечения.

6. Определяется скорость потока в конце водоската

$$v_1 = \frac{Q}{\omega_1}, \quad \text{м/с} \quad (6.7)$$

где  $\omega_1$  - площадь живого сечения в конце водоската, м<sup>2</sup>.

7. Проверяется водоскат на размыв, для чего сравнивается  $v_1$  с  $v_{\text{доп}}$ . Допустимая скорость на размыв  $v_{\text{доп}}$  принимается по таблице в зависимости от материала быстротока.

Если  $v_1 < v_{\text{доп}}$  размыва водоската не будет. Если  $v_1 > v_{\text{доп}}$ , будет размыв водоската. В этом случае необходимо выполнить расчет водоската быстротока с искусственной шероховатостью

### 6.1.3 Расчет выходной части

Гидравлический расчет выходной части заключается в определении формы сопряжения потока, сходящегося с водоската с потоком нижнего бьефа.

Для определения формы сопряжения рассчитывается вторая сопряженная глубина  $h_{\text{н}}^{\text{II}}$  одним из известных способов и сравнивается с бытовой глубиной  $h_{\text{б}}$  в отводящем русле. При сопряжении в форме отогнанного прыжка ( $h_{\text{с}}^{\text{II}} > h_{\text{б}}$ ) в выходной части проектируется гаситель (водобойный колодец, стенка или

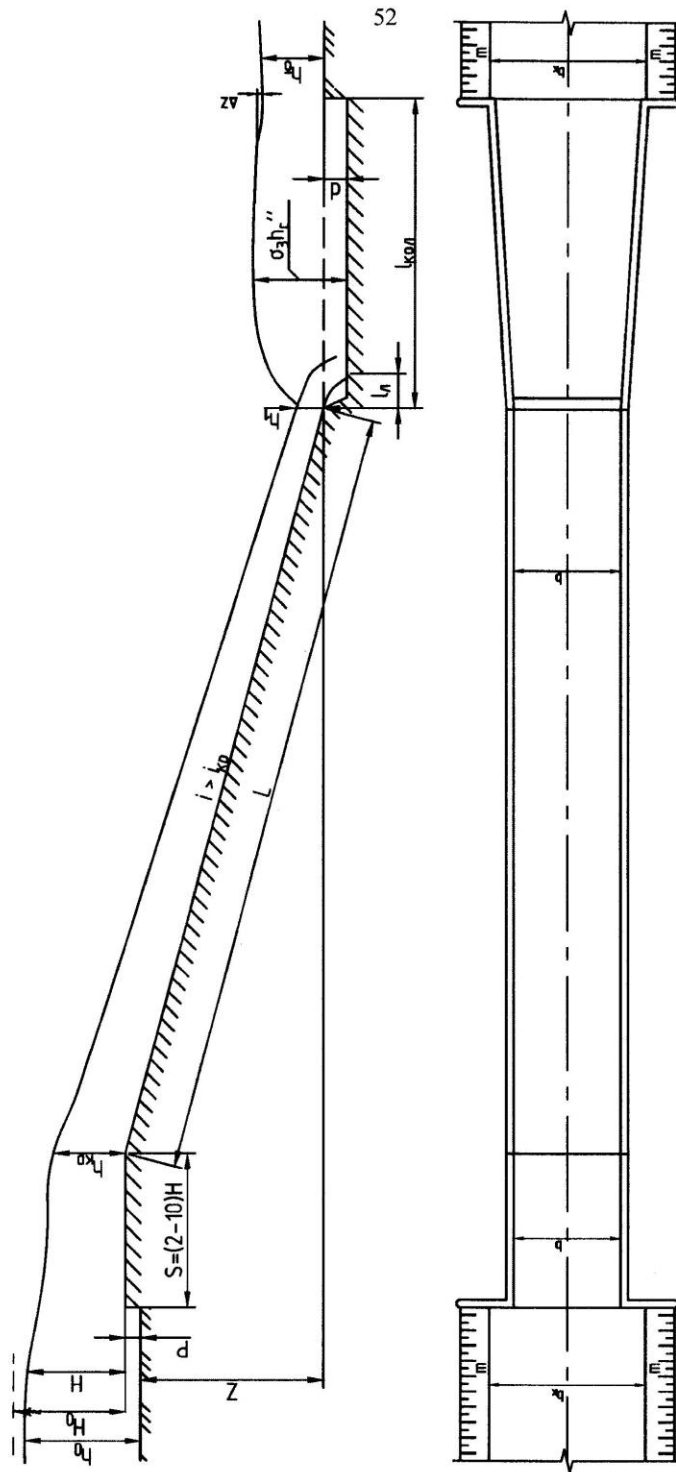


Рисунок 6.1 Расчетная схема быстрога



комбинированный водобойный колодец). На рис.6.1 показаны все расчетные элементы быстротока.

По полученным данным вычерчивается в масштабе план и продольный профиль по оси быстротока ( $\dot{I}_{\tilde{a}\tilde{\delta}} = \dot{I}_{\hat{a}\hat{\delta}}$ ).

## 6.2 Гидравлический расчет многоступенчатого перепада

Перепад – это одна или несколько последовательно расположенных ступеней. Обычно на конце каждой ступени устраивается водобойная стенка, чтобы образовать водобойный колодец для создания в нем надвинутого гидравлического прыжка.

В состав гидравлического расчета многоступенчатого перепада с водобойными стенками на ступенях (колодезного перепада) входит:

- расчет входной части;
- расчет ступеней;
- расчет выходной части.

### 6.2.1 Расчет входной части

Входная часть перепада проектируется и рассчитывается аналогично входной части быстротока.

### 6.2.2 Расчет ступеней перепада

Из гидравлических и строительных условий высоту ступеней принимают одинаковыми по всей длине перепада

$$\delta = \frac{D}{N}, \quad \text{м} \quad (6.8)$$

где  $P$  - разность отметок дна верхнего и нижнего бьефа, м ;

$N$  - число ступеней, назначается на основе технико - экономических расчетов.

Гидравлический расчет ступеней заключается в определении высоты водобойной стенки  $P_{\tilde{\delta}}$  и длины ступени  $l_{\tilde{\delta}}$ .

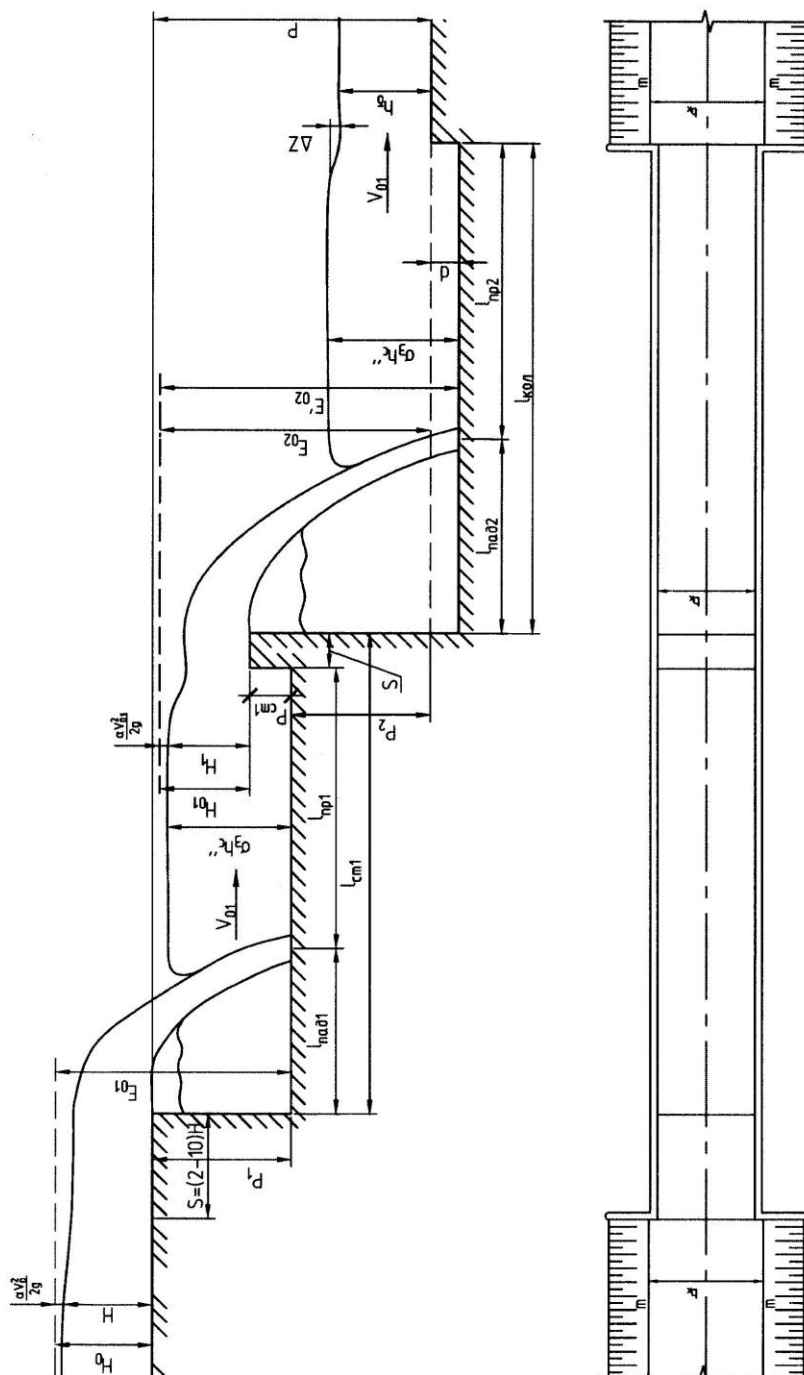


Рисунок 6.2 Расчетная схема перепада

## а) Расчет первой ступени

1. Определяется удельная энергия потока перед ступенью, относительно дна ступени

$$\dot{A}_{01} = \delta + \dot{I}_i, \text{ м} \quad (6.9)$$

где  $\delta$  - высота ступени, м;

$H_o$  - полный напор перед входной частью, м.

2. Определяется функция  $\hat{O}(\tau_{\bar{n}})$

$$\hat{O}(\tau_{\bar{n}}) = \frac{q}{\varphi \dot{A}_{i1}^{3/2}}, \quad (6.10)$$

где  $q$  - удельный расход, м<sup>3</sup>/с·м;

$\varphi$  - коэффициент скорости.

Удельный расход  $q$  равен

$$q = \frac{Q}{b}, \quad \text{м}^3/\text{с} \cdot \text{м} \quad (6.11)$$

где  $Q$  - расчетный расход, м<sup>3</sup>/с·м

$b$  - ширина ступени, м.

Коэффициент скорости  $\varphi$  определяется по табл.22[1] в зависимости от коэффициента расхода  $m$  входной части.

3. Определяется относительная глубина  $\tau_c^{II}$  по табл.7 прил.11[1] в зависимости от  $\hat{O}(\tau_{\bar{n}})$  и  $\varphi$ .

4. Определяется вторая сопряженная глубина

$$h_c^{II} = \tau_c^{II} \cdot \dot{A}_{01}, \text{ м} \quad (6.12)$$

5. Определяется полный напор перед стенкой на ступени

$$H_{01} = \sqrt[3]{\left(\frac{q}{m\sqrt{2q}}\right)^2}, \text{ м} \quad (6.13)$$

где  $m$  - коэффициент расхода, для водобойной стенки  
 $m = 0,42$ .

6. Определяется напор перед стенкой

$$H_1 = H_{01} - \frac{\alpha v_{01}^2}{2q}, \text{ м} \quad (6.14)$$

где  $v_{01}$  - скорость потока перед стенкой, м/с;

7. Определяется высота водобойной стенки, м/с;

$$P_{\tilde{\delta}} = \sigma_3 h_c'' - H_1, \text{ м} \quad (6.15)$$

$\sigma_3$  - коэффициент запаса ( $\sigma_3 = 1,05$ ).

8. Определяется длина падения струи на ступень с водослива входной части по формуле Чертоусова

- при входной части без порога ( $P_{\tilde{\delta}} = 0$ )

$$l_{\tilde{\delta}} = 1,64 \sqrt{H_o (P + 0,24H_o)}, \text{ м} \quad (6.16)$$

где  $H_o$  - полный напор перед водосливом, м;

$P$  - высота ступени, м.

- при входной части с порогом ( $P_{\tilde{\delta}} > 0$ )

$$l_{\tilde{\delta}} = 1,64 \sqrt{H_o (P + E_{\tilde{\delta}} + 0,24H_o)}, \text{ м} \quad (6.17)$$

9. Определяется длина надвинутого подпертого прыжка

$$l_{\tilde{\delta}} = 3h_c'', \text{ м} \quad (6.18)$$

10. Определяется длина 1-ой ступени

$$l_{\tilde{n}\delta 1} = l_{i\delta\tilde{a}1} + l_{i\delta 1} + \delta, \text{ м} \quad (6.19)$$

где  $\delta$  - толщина водобойной стенки, м.

$\delta$  определяется статическим расчетом.

В работе назначается конструктивно  $\delta = 0,6H_{01}$

### б) Расчет второй ступени

1.определяется удельная энергия потока относительно дна ступени

$$\dot{A}_{02} = D + D_{\tilde{n}\delta 1} + \dot{I}_{01}, \text{ м} . \quad (6.20)$$

Далее расчет выполняется аналогично расчету первой ступени. Коэффициент скорости для стенки  $\varphi = 0,9$ . Длина падения струи для второй ступени определяется по формуле

$$l_{i\delta\tilde{a}2} = 1,33\sqrt{H_{01}(P_{c\delta 1} + D + 0,3\dot{I}_{01})}, \text{ м} \quad (6.21)$$

Расчет последующих ступеней, кроме последней аналогичен с расчетом 2-ой ступени.

### 6.2.3 Расчет выходной части (последней ступени)

Гидравлический расчет выходной части заключается в определении формы сопряжения потока падающего с предпоследней ступени с потоком нижнего бьефа и проектировании, в случае необходимости, гасителя.

Длина выходной части равна

$$l_{\tilde{e}\tilde{e}\tilde{a}\delta} = l_{i\delta\tilde{a}} + l_{i\delta}, \text{ м} \quad (6.22)$$

где  $l_{i\delta\tilde{a}}$  - длина падения струи, м ;

$l_{i\delta}$  - длина прыжка, м.

$l_{i\ddot{a}\ddot{a}}$  и  $l_{i\delta}$  определяется также, как на второй ступени.  
На рисунке 6.2 показаны все расчетные элементы перепада.

### **6.3 Гидравлический расчет одноступенчатого перепада**

В состав расчета входит:

- расчет входной части;
- расчет выходной части (ступени).

Расчеты выполняются аналогично расчетам входной части и последней ступени многоступенчатого перепада.

В работе необходимо начертить в масштабе продольный профиль по оси перепада ( $M_{гор} = M_{верт}$ ) по полученным данным.

### **7. Примерный состав самостоятельной работы**

Студенты очного обучения выполняют следующие расчетно-графические работы.

#### **Расчетно-графическая работа «Гидравлические расчеты каналов»**

1. Гидравлические расчеты магистрального канала
  - 1.1 Определение глубин воды в канале графоаналитическим способом
  - 1.2 Определение глубины воды в канале по методу Агроскина
  - 1.3 Проверка канала на размыв
2. Гидравлический расчет сбросного канала по методу Агроскина
3. Расчет кривой подпора в магистральном канале
4. Расчет канала замкнутого сечения

#### **Расчетно-графическая работа «Гидравлические расчеты водосливов»**

1. Расчет шлюза-регулятора в голове магистрального канала
2. Гидравлические расчеты водосливной плотины
  - 2.1 Построение профиля плотины практического профиля

- 2.2. Гидравлический расчет водосливной плотины
- 2.3. Расчеты нижнего бьефа водосливной плотины

### **Расчетно-графическая работа «Гидравлические расчеты сопрягающих сооружений»**

Выполняются гидравлические расчеты одного из сопрягающих сооружений.

**Студенты заочного обучения выполняют контрольную работу следующего содержания.**

- 1. Гидравлические расчеты магистрального канала
  - 1.1 Определение глубин воды в канале графоаналитическим способом
  - 1.2 Определение глубины воды в канале по методу Агроскина
  - 1.3 Проверка канала на размыв
- 2. Расчет канала замкнутого сечения
- 3. Расчет шлюза-регулятора в голове магистрального канала
- 4. Гидравлические расчеты водосливной плотины
  - 2.1 Построение профиля плотины практического профиля
  - 2.2. Гидравлический расчет водосливной плотины
  - 2.3. Расчеты нижнего бьефа водосливной плотины

### **Литература**

- 1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: учебник для вузов / Д.В. Штеренлихт.- М.: Колос, 2004.- 655 с.
- 2. Бочаров, С.В. Гидравлика сооружений [Электронный ресурс] / С.В. Бочаров. – Электрон. текст. дан.- Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. – 296 с. – 1 электрон. опт. диск.
- 3. Нестеров, М.В. Гидротехнические сооружения [Электронный ресурс]: учеб. пособие / М.В. Нестеров. — Электрон. текст. дан. — Мн.: Новое знание, 2014. — 600 с. — Режим доступа: [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com)

## Содержание

Введение.....	3
1. Установившееся равномерное движение	
в открытых руслах.....	3
1.1 Расчет каналов при равномерном движении жидкости.....	3
1.2 Гидравлические элементы поперечного сечения тра- пецеидального канала.....	5
1.3 Гидравлически наиболее выгодное живое сечение.....	6
1.4 Типы задач при расчете каналов.....	7
1.5 Гидравлический расчет канала при заданной ширине канала по дну.....	8
1.5.1 Определение глубины наполнения канала графоаналитическим методом.....	8
1.5.2 Определение глубины наполнения канала по заданной расходной характеристике.....	10
1.5.3 Определение глубины наполнения канала методом Агроскина И.И.....	11
1.6 Гидравлический расчет канала при заданной глубине потока в канале.....	12
1.7 Гидравлический расчет канала при заданной относительной ширине канала по дну.....	14
1.8 Проверка каналов на размыв.....	14
1.9 Расчет каналов замкнутого сечения.....	15
1.10 Определение глубины потока в круглой трубе.....	17
2. Расчет каналов при установившемся неравномерном плавноизменяющемся движении.....	18
2.1 Общие положения.....	18
2.2 Определение критической глубины в канале.....	18
2.3 Установление формы кривой свободной поверхности	20
2.4 Расчет кривой свободной поверхности при установившемся неравномерном движении жидкости в призматических руслах (каналах).....	21
2.5 Построение кривой свободной поверхности.....	27
3. Расчеты водосливов.....	27
3.1 Расчет водосливов с широким порогом.....	27
3.1.1 Определение ширины шлюза-регулятора в	



голове магистрального канала методом приближений.....	27
3.1.2 Определение ширины шлюза-регулятора графоаналитическим методом.....	31
3.2 Расчет водослива практического профиля.....	32
3.2.1 Определение бытовой глубины в нижнем бьефе	33
3.2.2 Выбор и построение профиля водосливной плотины.....	34
3.2.3 Определение ширины водосливной плотины и числа водосливных отверстий при пропуске заданного расхода.....	36
3.2.4 Определение формы сопряжения потока в нижнем бьефе плотины.....	39
4. Гидравлический расчет водобойного колодца.....	40
4.1 Определение глубины водобойного колодца методом приближений.....	40
4.2 Определение длины водобойного колодца.....	43
5. Гидравлический расчет водобойной стенки.....	44
5.1 Определение высоты водобойной стенки.....	44
5.2 Расчет подтопленной водобойной стенки.....	46
5.3 Определение расстояния от сжатого сечения в нижнем бьефе до водобойной стенки.....	47
6. Расчет сопрягающих сооружений.....	47
6.1 Гидравлический расчет быстротока с обычной шероховатостью.....	48
6.1.1 Расчет входной части.....	48
6.1.2 Расчет водоската быстротока.....	50
6.1.3 Расчет выходной части.....	51
6.2 Гидравлический расчет многоступенчатого перепада.....	53
6.2.1 Расчет входной части.....	53
6.2.2 Расчет ступеней перепада.....	53
6.2.3 Расчет выходной части.....	57
6.3 Гидравлический расчет одноступенчатого перепада.....	57
7. Примерный состав самостоятельной работы.....	59
Литература.....	60

Децик Виктор Николаевич

## **Гидравлика гидротехнических сооружений**

Методические указания к самостоятельной работе, практическим занятиям и расчетно-графическим работам для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование»

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 2016 Формат 60x90 1/16

Бумага писчая. Печать офсетная.

Уч.- изд.л. 3,9 п.л. Тираж 50 экз. Заказ \_\_\_\_\_

ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия»

692510, Уссурийск, пр. Блюхера, 44.

Участок оперативной полиграфии ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия»

692500. Уссурийск, ул. Раздольная, 8

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«Приморская сельскохозяйственная академия»**

(ПГСХА)

Инженерно-технологический институт

---

**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

по дисциплине

**Гидравлика гидротехнических сооружений**

направление подготовки 20.03.02 «Природообустройство и  
водопользование»

г. Уссурийск 2016

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Тематика самостоятельной работы (детализация)	Трудо- емкость (час.)	Контроль выполнения работы
1.	1	<p><b>Расчетно-графическая работа «Гидравлические расчеты каналов»</b></p> <p>1. Гидравлические расчеты магистрального канала</p> <p>1.1 Определение глубин воды в канале графоаналитическим способом</p> <p>1.2 Определение глубины воды в канале по методу Агроскина</p> <p>1.3 Проверка канала на размыв</p> <p>2. Гидравлический расчет сбросного канала по методу Агроскина</p> <p>3. Расчет кривой подпора в магистральном канале</p> <p>4. Расчет канала замкнутого сечения</p>	30	Защита работы
2.	3; 5	<p><b>Расчетно-графическая работа «Гидравлические расчеты водосливов»</b></p> <p>1. Расчет шлюза-регулятора в голове магистрального канала</p> <p>2. Гидравлические расчеты водосливной плотины</p> <p>2.1 Построение профиля плотины практического профиля</p> <p>2.2. Гидравлический расчет водосливной плотины</p> <p>2.3. Расчеты нижнего бьефа водосливной плотины</p>	20	Защита работы
3.	1-6	Изучение теоретического материала	26	Тестирование

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Приморская государственная сельскохозяйственная академия»

Инженерно-технологический институт

Кафедра водоснабжения и  
водоотведения

### **Гидравлика гидротехнических сооружений**

Методические указания к самостоятельной работе, практическим занятиям  
и расчетно-графическим работам для студентов очной и заочной форм  
обучения направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и во-  
допользование». Издание 2-е, дополненное и переработанное.

Уссурийск 2016

УДК 532

Составитель: Децик Виктор Николаевич, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения

Рецензент: Сидорова Галина Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства

Гидравлика гидротехнических сооружений: методические указания к самостоятельной работе, практическим занятиям и расчетно-графическим работам для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование». Издание 2-е, дополненное и переработанное. / ФГБОУ ВО ПГСХА; сост. В.Н. Децик. – Уссурийск, 2016. - 64 с.

Издается по решению методического совета ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия»

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Приморская государственная сельскохозяйственная академия»**  
(ПГСХА)

Инженерно-технологический институт

---

---

**ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**Гидравлика гидротехнических сооружений**

Для направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и  
водопользование»

Профиль «Инженерные системы сельскохозяйственного водоснабжения,  
обводнения и водоотведения»

г. Уссурийск 2016

1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине «Гидравлика гидротехнических сооружений»

1.1. Модели контролируемых компетенций

В ходе изучения дисциплины у студентов формируются следующие компетенции

№ п/п	Код и наименование формируемой компетенции	В результате изучения дисциплины, обучающиеся должны		
		знать	уметь	владеть
1	Способность использовать методы проектирования инженерных сооружений, их конструктивных элементов  (ПК-13);	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные параметры и способы расчета потоков в открытых руслах;</li> <li>- способы гидравлического обоснования размеров основных сооружений на открытых потоках;</li> <li>- основы фильтрационных расчетов.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать каналы и другие открытые русла;</li> <li>- рассчитывать гидротехнические сооружения, относящиеся к области водоснабжения и водоотведения;</li> <li>- выполнять основные расчеты фильтрации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками выполнения инженерных гидравлических расчетов сооружений, соответствующих направлению подготовки;</li> <li>- методами проведения лабораторных гидравлических исследований, обработки и анализа их результатов.</li> </ul>
2	Способность использовать методы выбора структуры и параметров систем природообустройства и водопользования  (ПК-12);	<ul style="list-style-type: none"> <li>- назначение и область применения гидротехнических сооружений</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- устанавливать основные исходные данные для расчетов гидротехнических сооружений</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- методикой выбора вида гидротехнических сооружений</li> </ul>

Дисциплина «Гидравлика гидротехнических сооружений» сохраняет предметную связь с другими дисциплинами ОПОП в части формирования указанных выше компетенций:

- в формировании компетенции ПК-12 участвуют дисциплины: гидравлика, гидрология, метеорология и регулирование стока, водохозяйственные системы и водопользование, улучшение качества природных вод, сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение, водоотведение и очистка сточных вод, насосные станции водоснабжения и водоотведения, санитарно-техническое оборудование зданий, инженерная защита поселений, почвоведение



ние, мелиорация водосборов, гидротехнические сооружения, гидролого-климатические расчеты, очистка и утилизация сточных вод животноводческих комплексов;

- в формировании компетенции ПК-13 участвуют дисциплины: инженерная графика, материаловедение и технология конструкционных материалов, механика, основы строительного дела, сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение, водоотведение и очистка сточных вод, насосные станции водоснабжения и водоотведения, санитарно-техническое оборудование зданий, гидротехнические сооружения.

#### 1.2 Программа оценивания контролируемой компетенции:

№ п/п	Контролируемые модули, разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Установившееся движение жидкости в открытых руслах, равномерное и неравномерное движение жидкости в призматических руслах.	ПК-12	Тест (письменно) Расчетно-графическая работа
2	Гидравлический прыжок.	ПК-13	Тест (письменно) Расчетно-графическая работа
3	Истечение через водосливы.	ПК-13	Тест (письменно) Расчетно-графическая работа
4	Истечение из-под затворов.	ПК-13	Тест (письменно)
5	Сопряжение бьефов за сооружениями.	ПК-13	Тест (письменно) Расчетно-графическая работа
6	Основы фильтрационных расчетов.	ПК-12	Тест (письменно)
7	1-6 разделы	ПК-12      ПК-13	Зачет

### 1.3. Этапы формирования компетенций

№ п/п	Наименование раздела дисциплины <sup>1</sup>	Код формируемых компетенции по видам учебной работы		
		Аудиторная работа		Самостоятельная работа
		Лекции	Практические занятия	
1	Установившееся движение жидкости в открытых руслах, равномерное и неравномерное движение жидкости в призматических руслах.	ПК-12	ПК-12	ПК-12
2	Гидравлический прыжок.	ПК-13	ПК-13	ПК-13
3	Истечение через водосливы.	ПК-13	ПК-13	ПК-13
4	Истечение из-под затворов.	ПК-13	ПК-13	ПК-13
5	Сопряжение бьефов за сооружениями	ПК-13	ПК-13	ПК-13
6	Основы фильтрационных расчетов.	ПК-12	ПК-12	ПК-12

## 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

### 2.1. Критерии оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности по контролируемым компетенциям

Код контролируемой компетенции	Уровень высокой компетенции (5)	Продвинутый уровень (4)	Базовый уровень (3)	Неудовлетворительный (2)
ПК-12	<i>Знает на высоком уровне:</i> - назначение и область применения гидротех-	<i>Знает:</i> - назначение и область применения гидротехнических сооружений	<i>Знает на низком уровне:</i> - назначение и область применения гидротехнических	<i>Знает на уровне понятий:</i> - назначение и область применения гидротехнических

	<p>нических сооружений</p> <p><i>Умеет на высоком уровне:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- устанавливать основные исходные данные для расчетов гидротехнических сооружений</li> </ul> <p><i>Владеет на высоком уровне:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методикой выбора вида гидротехнических сооружений</li> </ul>	<p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- устанавливать основные исходные данные для расчетов гидротехнических сооружений</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методикой выбора вида гидротехнических сооружений</li> </ul>	<p>сооружений</p> <p><i>Умеет на низком уровне:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- устанавливать основные исходные данные для расчетов гидротехнических сооружений</li> </ul> <p>.</p> <p><i>Владеет на низком уровне:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методикой выбора вида гидротехнических сооружений</li> </ul>	<p>сооружений</p> <p><i>Не умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- устанавливать основные исходные данные для расчетов гидротехнических сооружений</li> </ul> <p><i>Не владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методикой выбора вида гидротехнических сооружений</li> </ul>
ПК-13	<p><i>Знает на высоком уровне:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные параметры и способы расчета потоков в открытых руслах;</li> <li>- способы гидравлического обоснования размеров основных сооружений на открытых потоках;</li> <li>- основы фильтрационных расчетов.</li> </ul> <p><i>Умеет на высоком уровне:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать каналы и другие открытые русла;</li> <li>- рассчитывать гидротехнические сооружения, относящиеся к области водоснабжения и водоотведения;</li> <li>- выполнять основные расчеты фильтрации.</li> </ul>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные параметры и способы расчета потоков в открытых руслах;</li> <li>- способы гидравлического обоснования размеров основных сооружений на открытых потоках;</li> <li>- основы фильтрационных расчетов.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать каналы и другие открытые русла;</li> <li>- рассчитывать гидротехнические сооружения, относящиеся к области водоснабжения и водоотведения;</li> <li>- выполнять основные расчеты фильтрации.</li> </ul>	<p><i>Знает на низком уровне:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные параметры и способы расчета потоков в открытых руслах;</li> <li>- способы гидравлического обоснования размеров основных сооружений на открытых потоках;</li> <li>- основы фильтрационных расчетов.</li> </ul> <p><i>Умеет на низком уровне:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать каналы и другие открытые русла;</li> <li>- рассчитывать гидротехнические сооружения, относящиеся к области водоснабжения и водоотведения;</li> <li>- выполнять основные расчеты филь-</li> </ul>	<p><i>Знает на уровне понятий:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные параметры и способы расчета потоков в открытых руслах;</li> <li>- способы гидравлического обоснования размеров основных сооружений на открытых потоках;</li> <li>- основы фильтрационных расчетов.</li> </ul> <p><i>Не умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать каналы и другие открытые русла;</li> <li>- рассчитывать гидротехнические сооружения, относящиеся к области водоснабжения и водоотведения;</li> <li>- выполнять основные расчеты фильтрации.</li> </ul>

	<p>новные расчеты фильтрации.</p> <p><i>Владеет на высоком уровне:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками выполнения инженерных гидравлических расчетов сооружений, соответствующих направлению подготовки;</li> <li>- методами проведения лабораторных гидравлических исследований, обработки и анализа их результатов.</li> </ul>	<p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками выполнения инженерных гидравлических расчетов сооружений, соответствующих направлению подготовки;</li> <li>- методами проведения лабораторных гидравлических исследований, обработки и анализа их результатов.</li> </ul>	<p>трации.</p> <p><i>Владеет на низком уровне:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками выполнения инженерных гидравлических расчетов сооружений, соответствующих направлению подготовки;</li> <li>- методами проведения лабораторных гидравлических исследований, обработки и анализа их результатов.</li> </ul>	<p><i>Не владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками выполнения инженерных гидравлических расчетов сооружений, соответствующих направлению подготовки;</li> <li>- методами проведения лабораторных гидравлических исследований, обработки и анализа их результатов.</li> </ul>
--	--	--	--	---

## 2.2. Планируемые уровни сформированности компетенций

### Планируемые уровни сформированности компетенций - *тест*

Индекс компетенции	Уровни сформированности компетенций	Критерии оценки	Отличительные признаки
ПК-12 ПК-13	Базовый уровень	Удовлетворительно	Не менее 60 % правильно выполненных заданий.
	Продвинутый уровень	хорошо	61-90 % правильно выполненных заданий
	Уровень высокой компетентности	отлично	Не менее 91 % правильно выполненных заданий

### Планируемые уровни сформированности компетенций – *расчетно-графическая работа*

Индекс компетенции	Уровни сформированности компетенций	Критерии оценки	Отличительные признаки
ПК-12	Базовый уровень	3	Содержание в целом соответствует теме задания. В работе отражено не менее 90% предусмотренного заданием объема. Продемонстрировано удовле-

ПК-13			творительное знание материала, есть фактические ошибки (20-30%). Недостаточно полно изложен материал. Выполнена большая часть возложенной на студента работы. Допущены некоторые отступления в расчетах и оформлении.
	Продвинутый уровень	4	В работе отражено не менее 90% предусмотренного заданием объема. Допускаются негрубые фактические неточности. Допускаются отдельные ошибки, погрешности, обнаруживается недостаточное владение расчетами. Отсутствуют ошибки в употреблении терминов. Достаточно полно, но без инициативы и творческих находок выполнены возложенные задачи. Работа оформлена аккуратно, без помарок и исправлений.
	Уровень высокой компетентности	5	В работе отражены все предложенные вопросы, предусмотренные заданием. Продемонстрировано знание фактического материала, отсутствуют ошибки. Материал изложен грамотно, логично и интересно. Показано умелое использование терминов дисциплины. Замечено уверенное владение освоенным материалом, правильно решены предлагаемые задачи по теме. Высокая степень самостоятельности, проявление инициативы, творческого подхода и способность к выполнению сложных заданий. Отсутствуют ошибки в тексте. Работа оформлена аккуратно, без помарок и исправлений.

Планируемые уровни сформированности компетенций – *зачет*

Индекс компетенции	Уровни сформированности компетенций	Критерии оценки	Отличительные признаки
ПК-12 ПК-13	Усвоенный уровень	зачтено	выставляется обучающемуся, обнаружившему всестороннее систематическое и глубокое знание учебного материала, предусмотренного программой; усвоившему основную и знакомому с

			дополнительной литературой по программе, имеющему творчески и осознано выполнять задания, предусмотренные программой; усвоившему взаимосвязь основных понятий дисциплины, безупречно выполнившему в процессе изучения дисциплины все задания, предусмотренные формами текущего контроля.
	Неусвоенный уровень	не зачтено	выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знании основного материала, предусмотренного программой, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий; не выполнившему отдельные задания, предусмотренные формами текущего контроля.
	Неусвоенный уровень	не явился	выставляется обучающемуся, не явившемуся на зачет по уважительной или неуважительной причине

### 3. Комплекты оценочных средств

#### 3.1 Комплекты тестов

№ п/п	Наименование оценочного средства	Код контролируемой компетенции	Представление оценочного средства в фонде
11	2	3	4
11	Тест	ПК-12	<p><b>Раздел 1</b></p> <p>1. Глубина потока при равномерном движении жидкости в открытом русле называется:</p> <p>А) критической Б) нормальной В) сопряженной</p> <p>2. Чему равен гидравлический уклон, если длина потока равна 200 м, а разница напоров равна 4 м ?</p> <p>А) 0,02 Б) 0,002 В) 0,2</p> <p>3. При каком соотношении средней скорости потока <math>V</math> и допустимой скоростью на размыв <math>V_{раз}</math> канал будет размываться</p>

			<p>ся?</p> <p>А) <math>V</math> больше <math>V_{раз}</math>  Б) <math>V</math> меньше <math>V_{раз}</math>  В) <math>V</math> равна <math>V_{раз}</math></p> <p>4. Чему равна относительная ширина канала по дну, если ширина равна 6 м, а глубина 1,1?  А) 0,18  Б) 5,45  В) 3,2</p> <p>5. Какое соотношение между уклоном дна канала <math>i</math> и гидравлическим уклоном <math>I</math> при равномерном движении в канале?  А) <math>i</math> равен <math>I</math>  Б) <math>i</math> больше <math>I</math>  В) <math>i</math> меньше <math>I</math></p> <p>6. Условие гидравлически наиболее выгодного сечения канала?  А) минимальная площадь поперечного сечения потока  Б) минимальная средняя скорость потока  В) уклон дна равен нулю</p> <p>7. Какая характеристика канала необходима для определения коэффициента Шези?  А) коэффициент шероховатости канала  Б) уклон дна канала  В) ширина канала по дну</p> <p>8. Чему равна потенциальная энергия потока?  А) уклону дна канала  Б) квадрату средней скорости течения  В) глубине потока</p> <p>9. Какое состояние потока будет при минимальном значении удельной энергии сечения?  А) спокойное  Б) бурное  В) критическое</p> <p>10. Глубина потока при минимальном значении удельной энергии сечения называется:  А) максимальной  Б) критической  В) нормальной</p> <p>11. Какое состояние потока если глубина потока меньше критической глубины?  А) критическое  Б) спокойное  В) бурное</p> <p>12. Какое состояние потока если уклон дна меньше критического уклона?  А) бурное  Б) спокойное  В) критическое</p> <p>13. В кривой подпора глубина потока вниз по уклону канала будет:  А) уменьшаться  Б) увеличиваться</p>
--	--	--	--

		ПК-13	<p>В) не меняться</p> <p><b>Раздел 2</b></p> <p>1. Гидравлический прыжок – это:  А) переход потока из спокойного состояние в бурное  Б) переход потока из бурного состояние в спокойное  В) переход потока из критического состояния в бурное</p> <p>2. Сопряженные глубины – это глубины потока:  А) перед и за гидравлическим прыжком  Б) при уклоне дна меньше критического  В) при уклоне дна больше критического</p> <p>3. Какой вид гидравлического прыжка будет, если вторая сопряженная глубина будет больше бытовой глубины?  А) затопленный  Б) надвинутый  В) отогнанный</p> <p>4. Чему равна длинна совершенного гидравлического прыжка?  А) трем величинам второй сопряженной глубины  Б) трем величинам первой сопряженной глубины  В) произведению высоты прыжка на нормальную глубину</p> <p><b>Раздел 3</b></p> <p>1. Какой вид водослива будет при ширине водослива поверху, равной 3 напорам на водосливе?  А) с тонкой стенкой  Б) практического профиля  В) с широким порогом</p> <p>2. Чему равен коэффициент подтопления для подтопленного водослива?  А) равен 1  Б) больше 1  В) меньше 1</p> <p>3. При какой высоте порога водослив с тонкой стенкой будет неподтоплен?  А) меньше бытовой глубины  Б) больше бытовой глубины  В) в 3 раза больше напора на водосливе</p> <p>4. При какой бытовой глубине будет подтоплен водослив практического профиля?  А) больше высоты порога водослива  Б) меньше высоты порога водослива  В) больше напора на водосливе</p> <p><b>Раздел 5</b></p> <p>1. Какой вид сопряжения в нижнем бьефе плотины наиболее приемлем для ее работы?  А) в виде отогнанного гидравлического прыжка  Б) в виде надвинутого гидравлического прыжка</p>
		ПК-13	



		ПК-13	<p>2. Чему равна удельная энергия потока для водослива?  А) сумме высоты плотины и полного напора  Б) высоте плотины  В) сумме высоты плотины и геометрического напора</p> <p>3. Как меняется удельная энергия потока для водослива при применении водобойного колодца?  А) уменьшается  Б) увеличивается  В) не меняется</p> <p>4. Основные элементы формулы для определения глубины водобойного колодца:  А) вторая сопряженная и бытовая глубины  Б) первая и вторая сопряженные глубины  В) высота водослива и бытовая глубина</p> <p>5. Чему равна длина водобойного колодца?  А) двум вторым сопряженным глубинам  Б) трем вторым сопряженным глубинам  В) второй сопряженной глубине</p> <p>6. Как меняется удельная энергия потока для водослива при применении водобойной стенки?  А) увеличивается  Б) не меняется  В) уменьшается</p> <p>7. Сколько может быть водобойных стенок?  А) только одна  Б) от одной до нескольких  В) только две</p>
		ПК-13	<p><b>Раздел 4</b></p> <p>1. При каком истечении потока из-под затвора расход будет выше?  А) при несвободном  Б) при свободном  В) при затопленном</p>
		ПК-12	<p><b>Раздел 6</b></p> <p>1. Что такое фильтрация?  А) движение капиллярной грунтовой воды  Б) движение гравитационной грунтовой воды  В) движение парообразной грунтовой воды</p> <p>2. Как меняются фильтрационные свойства в изотропных грунтах?  А) в независимости от направления фильтрации  Б) в зависимости от направления фильтрации  В) только по горизонтали</p> <p>3. Укажите формулу Дарси для расхода:  А) <math>Q = K_f I \omega</math>  Б) <math>Q = K_f I</math>  В) <math>Q = K_f \omega</math></p> <p>4. При каком гидравлическом уклоне скорость фильтрации рав-</p>

			<p>на коэффициенту фильтрации?</p> <p>А) равном 2 Б) равном 1 В) равном 0,5</p> <p>5. Укажите формулу Дюпюи для средней скорости фильтрации:</p> <p>А) <math>V = K_f I</math> Б) <math>V = K_f I \omega</math> В) <math>V = K_f \omega</math></p> <p>6. Формула для расчета расхода фильтрации при равномерном движении грунтовых вод:</p> <p>А) <math>Q = K_f \omega i</math> Б) <math>Q = K_f \omega</math> В) <math>Q = K_f i</math></p>
--	--	--	---

### 3.2 Вопросы к зачету

#### Вопросы

к зачету по дисциплине «Гидравлика гидротехнических сооружений»  
для студентов направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование»

1. Установившееся движение жидкости в открытых руслах. Установившееся равномерное движение жидкости в открытых руслах и его характеристики.
2. Формы поперечного сечения призматических русел. Гидравлические характеристики каналов трапецеидальной формы поперечного сечения.
3. Формула Шези для равномерного движения в открытых руслах.
4. Графоаналитический способ расчета глубины или ширины канала по дну.
5. Гидравлический расчет каналов по способу Агроскина.
6. Гидравлические расчеты труб при безнапорной равномерной движении.
7. Удельная энергия сечения и ее определение. График удельной энергии сечения.
8. Критическая глубина и ее расчеты. Критический уклон. Условия критического, спокойного и бурного состояния потока.
9. Установившееся неравномерное движение в призматических руслах. Виды кривых свободной поверхности при равномерном движении жидкости.
10. Виды кривых свободной поверхности при бурном состоянии потока.
11. Гидравлический прыжок и его виды.
12. Совершенный гидравлический прыжок: схема, сопряженные глубины и длина.
12. Прыжковая функция и ее расчет. График прыжковой функции. Расчеты сопряженных глубин.
13. Водосливы и их классификация.
14. Формула расхода водослива и ее элементы.
15. Водосливы с тонкой стенкой.
16. Водосливы с широким порогом. Расчет водослива с широким порогом.
17. Водосливы практического профиля криволинейного очертания. Расчет профиля водослива по форме падающей струи.
18. Гидравлический расчет водослива практического профиля.

19. Виды сопряжения потока в нижнем бьефе гидротехнических сооружений.
20. Установление формы сопряжения потока в нижнем бьефе гидротехнических сооружений.
21. Гидравлический расчет водобойного колодца.
22. Гидравлический расчет водобойной стенки.
23. Свободное истечение из под плоского затвора и его расчеты.
24. Несвободное истечение из под плоского затвора и его расчеты.
25. Общая характеристика фильтрации воды в грунтах. Формула Дарси.
26. Плавно-изменяющееся движение грунтовых вод. Формула Дюпюи.

#### 4. Процедура оценивания знаний, умений и опыта деятельности

Текущая и промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Гидравлика гидротехнических сооружений» проводится в соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ФГБУ ВПО от 25. 02. 2013 года.

Текущая аттестация по дисциплине «Гидравлика гидротехнических сооружений» проводится в форме контрольных мероприятий: выполнения расчетно-графических работ по индивидуальным заданиям и письменного тестирования.

Промежуточная аттестация студентов осуществляется по результатам текущей аттестации и сдачи зачета.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Приморская сельскохозяйственная академия»**  
(ПГСХА)

Инженерно-технологический институт

---

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

по дисциплине

**Гидравлика гидротехнических сооружений**

направление подготовки 20.03.02 «Природообустройство и  
водопользование»

г. Уссурийск 2016

## **Основная литература**

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Учебник. – М.: КолосС, 2004.- 656с.
2. Бочаров, С.В. Гидравлика сооружений [Электронный ресурс] / С.В. Бочаров. – Электрон. текст. дан.- Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. – 296 с. – 1 электрон. опт. диск.
3. Нестеров, М.В. Гидротехнические сооружения [Электронный ресурс]: учеб. пособие /М.В. Нестеров. — Электрон. текст. дан. — Мн.: Новое знание, 2014. — 600 с. — Режим доступа: [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com).

## **Дополнительная литература**

1. Колганов А.В., Полад-заде П.А. Мелиорация и водное хозяйство. Справочник. Сооружения, строительство.- М.: «Ассоциация ЭкоСт», 2002.- 601с.
2. Яковлева Л.В. Практикум по гидравлике. – М.: Агропромиздат, 1990.- 144с.

## **Методические указания**

1. Гидравлика гидротехнических сооружений: методические указания к самостоятельной работе, практическим занятиям и расчетно-графическим работам для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование». Издание 2-е, дополненное и переработанное. / ФГБОУ ВО ПГСХА; сост. В.Н. Децик. – Уссурийск, 2016. - 64 с.
2. Гидравлика гидротехнических сооружений: методические указания к лабораторным работам для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» / ФГБОУ ВО «Приморская ГСХА»; сост. В.Н. Децик. – Уссурийск, 2016. - 44 с.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Приморская сельскохозяйственная академия»  
(ПГСХА)

Инженерно-технологический институт

---

## **ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

по дисциплине

### **Гидравлика гидротехнических сооружений**

направление подготовки 20.03.02 «Природообустройство и  
водопользование»

г. Уссурийск 2016