

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
природопользования  
Акимов Л.М.  
30.05.2024.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.03.01 Основы гидравлики и гидротехники**

- 1. Код и наименование направления подготовки:** 05.03.06 – Экология и природопользование
- 2. Профиль подготовки:** Геоэкология и природопользование
- 3. Квалификация выпускника:** бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** кафедра природопользования
- 6. Составители программы:** Журихин Сергей Викторович, преподаватель, факультет географии, геоэкологии и туризма; sergeigidrolog@mail.ru
- 7. Рекомендована:** Протокол о рекомендации НМС факультета географии, геоэкологии и туризма № 5 от 30.05.2024 г.

**8. Учебный год:** 2026-2027

**Семестры:** 5

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

### Цели учебной дисциплины:

- овладение теоретическими знаниями в области изучения гидравлики и основ гидротехники;
- освоение базовых методов выполнения гидравлических расчетов и основ проектирования гидротехнических сооружений;
- развитие умения применять теоретические знания на практике;
- формирование способности понимать, излагать и критически анализировать информацию о водных объектах и гидротехнических сооружениях.

### Задачи:

- изучение теоретических основ классической гидравлики;
- выработка навыков постановки и решения практических гидравлических задач;
- освоение практических приемов в проектировании и строительстве гидротехнических сооружений, регулировании речных русел и управлении водными ресурсами.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к вариативной части учебного рабочего плана по направлению бакалавриата 05.03.06 - Экология и природопользование (Б1).

Входными знаниями для усвоения данной дисциплины являются знания курсов: «Гидрология рек», «Гидрометрия и техника безопасности», «Дифференциальные уравнения», «Математический анализ», «Гидрофизика».

Данная дисциплина является предшествующей для курса «Динамика русловых потоков» и дисциплин, связанных с моделированием различных гидрологических характеристик.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код	Индикатор	Планируемые результаты обучения
ПК-8	Способен проводить мониторинг, оценку экологического состояния и эффективное управление водными биоресурсами с обеспечением требований экологической	ПК-8.2	Владеет и применяет методы гидрофизики, водно-балансовых исследований в процессе водно-технических изысканий, водохозяйственных расчетов и управления гидротехническими сооружениями	<b>Знать:</b> основные физические явления, физические свойства жидкости, основные законы гидростатики и гидродинамики; устройство и принцип действия гидротехнических сооружений. <b>Уметь:</b> применять знания по физике при решении гидравлических задач, использовать приборы для измерения гидравлических характеристик; применять на практике методы экологической эпидемиологии и оценки риска для здоровья населения; разрабатывать социальные аспекты экологии человека

	безопасности на основе комплексных гидрометрических, водно-балансовых исследований и водно-технических изысканий			и применять их в практическом аспекте при разработке системы природоохранных мероприятий в глобальном и региональном аспектах; оценивать региональные проблемы экологии человека и определять пути их решения; использовать законы гидравлики для решения практических задач различного типа. <b>Владеть:</b> навыками физического эксперимента; методами расчёта жидких потоков и параметров гидравлических машин и систем; навыками применения основных законов гидравлики для решения инженерных задач.
--	--	--	--	---

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 2 / 72.**

**Форма промежуточной аттестации – 5 семестр – зачет.**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Всего	По семестрам
		5 семестр
Аудиторные занятия	48	48
в том числе: лекции	16	16
практические	16	16
лабораторные	16	16
Самостоятельная работа	24	24
Форма промежуточной аттестации - зачет	—	—
Итого:	72	72

**13.1. Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1.1	Введение	1. Гидравлика и гидротехника. История развития. 2. Основные физические свойства жидкости. 3. Силы, действующие в жидкости.	Онлайн-курс «Основы гидравлики и гидротехники»: <a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218</a>

1.2	Элементы гидростатики	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Гидростатическое давление и его свойства.</li> <li>2. Основное уравнение гидростатики и его геометрический и энергетический смысл.</li> <li>3. Сила давления жидкости на плоские и криволинейные поверхности. Центр давления.</li> <li>4. Плавание тел. Остойчивость. Метацентр.</li> </ol>	<p>Онлайн-курс «Основы гидравлики и гидротехники»:</p> <p><a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218</a></p>
1.3	Элементы гидродинамики	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Виды движения жидкости. Ламинарный и турбулентный режим. Число Рейнольдса. Уравнение неразрывности.</li> <li>2. Уравнение Д. Бернулли для элементарной струйки и потока. Геометрическая, энергетическая и механическая интерпретация уравнения Бернулли.</li> <li>3. Гидравлические сопротивления. Потери напора. Расчет трубопровода.</li> </ol>	<p>Онлайн-курс «Основы гидравлики и гидротехники»:</p> <p><a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218</a></p>
1.4	Равномерное движение жидкости	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основное уравнение равномерного движения. Формула Шези.</li> <li>2. Формула для определения коэффициента Шези. Коэффициент шероховатости.</li> <li>3. Гидравлические расчеты с помощью формулы Шези.</li> </ol>	<p>Онлайн-курс «Основы гидравлики и гидротехники»:</p> <p><a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218</a></p>
1.5	Неравномерное движение жидкости	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Примеры неравномерного движения в открытых руслах.</li> <li>2. Основные понятия применяемые при изучении неравномерного движения: удельная энергия сечения, число Фруда, критическая глубина и уклон, нормальная глубина.</li> <li>3. Дифференциальное уравнение неравномерного движения. Формы свободной поверхности при неравномерном движении.</li> <li>4. Применение закономерностей неравномерного движения для расчета гидротехнических сооружений.</li> </ol>	<p>Онлайн-курс «Основы гидравлики и гидротехники»:</p> <p><a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218</a></p>
1.6	Общие сведения о гидротехнических сооружениях	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Гидротехника и ее задачи. Задачи гидрологов в области гидротехники. Краткая история развития гидротехники.</li> <li>2. Классификация гидротехнических сооружений.</li> <li>3. Нормативные документы по гидротехническим сооружениям.</li> <li>4. Специфика гидротехнических сооружений.</li> </ol>	<p>Онлайн-курс «Основы гидравлики и гидротехники»:</p> <p><a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218</a></p>
1.7	Плотины	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Плотины и их классификация.</li> <li>2. Характерные уровни водохранилищ.</li> <li>3. Водопропускные сооружения. Заборы.</li> <li>4. Фильтрационные расчеты плотин и дренажных сооружений.</li> </ol>	<p>Онлайн-курс «Основы гидравлики и гидротехники»:</p> <p><a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218</a></p>

			<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218">php?id=4218</a>
1.8	Гидротехнические сооружения в мелиорации	1. Оросительные каналы и их расчет. 2. Осушительные каналы и их расчет. 3. Противозэрозийные сооружения.	Онлайн-курс «Основы гидравлики и гидротехники»: <a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218</a>

### 13.2 Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение	2	2	2	3	9
2	Элементы гидростатики	2	2	2	3	9
3	Элементы гидродинамики	2	2	2	3	9
4	Равномерное движение жидкости	2	2	2	3	9
5	Неравномерное движение жидкости	2	2	2	3	9
6	Общие сведения о гидротехнических сооружениях	2	2	2	3	9
7	Плотины	2	2	2	3	9
8	Гидротехнические сооружения в мелиорации	2	2	2	3	9
	Итого:	16	16	16	24	72

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Необходима регулярная работа с текстом конспектов лекций для понимания и освоения материала предшествующей и последующей лекций. По указанию преподавателя необходимо регулярно выполнять домашние задачи, а также контрольные тесты в ходе текущей аттестации (по каждой пройденной теме), создать презентацию по рекомендованной теме к итоговой зачетной аттестации.

При подготовке к промежуточной аттестации студенты изучают и конспектируют рекомендуемую преподавателем учебную литературу по темам лекционных и лабораторных занятий, самостоятельно осваивают понятийный аппарат, используя рекомендованные пособия.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов включают:

- использование электронных учебных пособий и ресурсов Интернет, в том числе электронного образовательного портала Moodle;
- применение методических разработок с примерами решения типовых гидравлических задач;
- использование лицензионного программного обеспечения для гидравлических расчетов.

### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Гидравлика: учебник и практикум для академического бакалавриата: [для студ. высш. учеб. заведений, обучающихся по инженер.-техн. направлениям и специальностям] / Саратов. гос. техн. ун-т; под ред. В.А. Кудинова. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Юрайт, 2018. — 385, [1] с. — (Бакалавр. Академический курс).

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Крестин Е.А. Гидравлика: учебно-методическое пособие / — Электрон. текстовые данные. — Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. — 260 с. — Режим доступа: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=256107&amp;sr=1">https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=256107&amp;sr=1</a>
3	Самусь О.Р. Водоснабжение и водоотведение с основами гидравлики / О.Р. Самусь, В.М. Овсянников, А.С. Кондратьев. – М. – Берлин: Директ-Медиа, 2014. – 128 с. <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=253622&amp;sr=1">https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=253622&amp;sr=1</a>
4	Гиргидов А.Д. Техническая механика жидкости и газа/ А.Д.Гиргидов - СПб.,1999. - 395 с.
5	Спицин И.П. Общая и речная гидравлика / И.П.Спицын, В.А.Соколова.- Л.: Гидрометео-издат, 1990. – 359 с.
6	Субботин А.С. Основы гидравлики / А.С. Субботин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 316 с.
7	Лапшев Н.Н. Гидравлика / Н.Н.Лапшев. - М.:«Академия», 2010. - 272 с.
8	Филиппов, Евгений Георгиевич. Гидравлика гидрометрических сооружений для открытых потоков / Е. Г. Филиппов.— Л.: Гидрометеоиздат, 1990.— 287,[1] с.
9	Парахневич, В.Т. Гидравлика, гидрология, гидрометрия водотоков [Электронный ресурс]: учебное пособие. — Электрон. дан. — Минск: Новое знание, 2014. — 368 с. — Режим доступа: <a href="http://lanbook.lib.vsu.ru/books/element.php?pl1_id=64775">http://lanbook.lib.vsu.ru/books/element.php?pl1_id=64775</a>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет):

№ п/п	Ресурс
10	ЗНБ ВГУ <a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a>
11	Электронно-библиотечная система «ЮРАЙТ» <a href="https://urait.ru">https://urait.ru</a>
12	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online" ( <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a> )
13	Электронно-библиотечная система "Консультант студента" <a href="http://www.studmedlib.ru">http://www.studmedlib.ru</a>
14	Национальный цифровой ресурс "РУКОНТ" <a href="http://rucont.ru">http://rucont.ru</a>

15	Электронный курс по дисциплине на портале «Электронный университет ВГУ» – Режим доступа: по подписке. – <a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218</a>
----	---

#### 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
16	Парахневич, В.Т. Гидравлика, гидрология, гидрометрия водотоков [Электронный ресурс]: учебное пособие. — Электрон. дан. — Минск: Новое знание, 2014. — 368 с. — Режим доступа: <a href="http://lanbook.lib.vsu.ru/books/element.php?pl1_id=64775">http://lanbook.lib.vsu.ru/books/element.php?pl1_id=64775</a>
17	Большаков, Валерий Алексеевич. Гидравлика. Общий курс: Учебник для инж.-техн. спец. вузов / В. А. Большаков, В. Н. Попов.— Киев: Выща шк., 1989. — 214,[1] с.
18	Караушев, Анатолий Васильевич. Речная гидравлика: Курс общ. и спец. гидравлики для гидрологов "Гидрология суши": Учеб. пособие для студ. вузов / А. В. Караушев. — Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1969. — 415 с.

#### 17. Образовательные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Программа курса реализуется с элементами дистанционных технологий на платформе «Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». Режим доступа: <https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4218>

При реализации учебной дисциплины используются программные пакеты лицензионного ПО:

- Win Pro 8 RUS Upgrd OLP NL Acdmc;
- Office STD 2013 RUS OLP NL Acdmc;
- Win Svr Std 2012 RUS OLP NL Acdmc 2Proc;
- СПС "Консультант Плюс" для образования;
- неисключительные права на ПО Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Универсальный Russian Edition;
- неисключительные права на ПО Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Расширенный Russian Edition;
- неисключительные права на ПО Kaspersky Security для файловых серверов;
- MS P.Point;
- STADIA;
- интернет-браузер Mozilla Firefox.

#### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

- *Для лекционных занятий* – учебная аудитория (учебный корпус № 5 ВГУ), оснащенная специализированной мебелью, вычислительной техникой, укомплектованная персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением: компьютеры "Intel Celeron" с мониторами Samsung /лицензионное ПО/, с возможностью подключения к сети Интернет (интернет-браузер Mozilla Firefox);

- *Для лабораторных занятий* - учебно-научная гидрометеорологическая обсерватория (учебный корпус № 5 ВГУ), оснащенная специализированной мебелью, мультимедийной аппаратурой, вычислительной техникой с возможно-

стью подключения к сети Интернет (интернет-браузер Mozilla Firefox), укомплектованная персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением: компьютеры "Intel Celeron" с мониторами Samsung /лицензионное ПО/, принтер струйный Epson, автоматизированный комплекс приема спутниковой гидрометеороинформации, автоматизированная метеостанция М-49, психрометры, метеометр МЭС-2, барометры-анероиды, гигрографы, снегомер весовой, гидрометрические вертушки, эхолот, актинометр, лаборатория «Капелька» - 1, «Капелька» - 2, «Капелька» - 3.

### 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
1	Введение	ПК-8	ПК-8.2	Темы рефератов 1 - 4
2	Элементы гидростатики	ПК-8	ПК-8.2	
3	Элементы гидродинамики	ПК-8	ПК-8.2	
4	Равномерное движение жидкости	ПК-8	ПК-8.2	Темы рефератов 5 - 10
5	Неравномерное движение жидкости	ПК-8	ПК-8.2	
6	Общие сведения о гидротехнических сооружениях	ПК-8	ПК-8.2	
7	Плотины	ПК-8	ПК-8.2	
8	Гидротехнические сооружения в мелиорации	ПК-8	ПК-8.2	
Промежуточная аттестация Форма контроля – зачет		Перечень вопросов, практическое задание (см. п. 20.2)		

### 20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета.

Текущая аттестация проводится в формах:

- устного опроса (индивидуальный опрос, доклады);
- контрольных работ (контрольные, лабораторные работы);
- тестирования;
- оценки результатов самостоятельной работы (презентация).

Критерии оценивания приведены ниже.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний, и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков при изучении дисциплины.

### **20.1. Текущий контроль успеваемости**

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

- рефератов, выполняемых по тематике.

#### **Темы рефератов:**

1. История развития гидравлики и роль в этом отечественных ученых.
2. Физические свойства жидкости.
3. Силы, действующие в жидкости.
4. Виды и режимы движения жидкости.
5. Формула Шези и ее использование в практике инженерных расчетов.
6. Кривая свободной поверхности и ее виды.
7. История развития гидротехники и роль отечественных ученых.
8. Виды водохранилищ и их характерные уровни.
9. Особенности проектирования плотин в России и за рубежом.
10. Малые водопропускные сооружения на автомобильных и железных дорогах.

### **20.2. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

- контрольно-измерительных материалов, включающих 2 теоретических вопроса и расчетную аналитическую задачу в области гидравлики и гидротехники.

#### ***Теоретические вопросы:***

1. Гидравлика и гидротехника. История ее развития.
2. Основные физические свойства жидкости.
3. Силы, действующие в жидкости.
4. Гидростатическое давление и его свойства.
5. Основное уравнение гидростатики и его геометрический и энергетический смысл.
6. Сила давления жидкости на плоские и криволинейные поверхности. Центр давления.
7. Плавание тел. Остойчивость. Метацентр.
8. Виды движения жидкости.
9. Ламинарный и турбулентный режим. Число Рейнольдса.
10. Уравнение неразрывности.
11. Уравнение Д. Бернулли для элементарной струйки и потока.
12. Геометрическая, энергетическая и механическая интерпретация уравнения Бернулли.
13. Гидравлические сопротивления. Потери напора. Расчет трубопровода.
14. Основное уравнение равномерного движения.
15. Формула Шези.

16. Формулы для определения коэффициента Шези. Коэффициент шероховатости.
17. Гидравлические расчеты с помощью формулы Шези.
18. Примеры неравномерного движения в открытых руслах.
19. Основные понятия применяемые при изучении неравномерного движения: удельная энергия сечения, число Фруда, критическая глубина и уклон, нормальная глубина.
20. Дифференциальное уравнение неравномерного движения.
21. Формы свободной поверхности при неравномерном движении.
22. Применение закономерностей неравномерного движения для расчета гидротехнических сооружений.
23. Гидротехника и ее задачи. Краткая история развития гидротехники.
24. Задачи гидрологов в области гидротехники.
25. Классификация гидротехнических сооружений. Нормативные документы по гидротехническим сооружениям.
26. Специфика гидротехнических сооружений.
27. Плотины и их классификация.
28. Характерные уровни и объемы водохранилищ.
29. Водопусковые сооружения.
30. Фильтрационные расчеты плотин и дренажных сооружений.
31. Оросительные каналы и их расчет.
32. Осушительные каналы и их расчет.

**Технология проведения** промежуточной аттестации включает случайный выбор КИМа, подготовку и устный ответ по теоретическим вопросам.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие критерии:

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом гидравлики;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) владеть навыками применения основных законов гидравлики для решения инженерных задач.

***Критерии оценивания ответа:***

**Отлично**

Глубокое знание и понимание предмета, в том числе терминологии и основных понятий; теоретических закономерностей; фактических данных; удельный вес ошибок при контрольном опросе – не более 10 %.

**Хорошо**

Хорошее знание и понимание предмета, в том числе терминологии и теоретических понятий; грамотный ответ на экзамене без принципиальных ошибок; удельный вес ошибок при контрольном опросе от 11 до 35 %.

**Удовлетворительно**

Понимание в целом терминологии и теоретических закономерностей; существенные ошибки при изложении фактического материала; недостаточно логичный и аргументированный ответ на экзамене; удельный вес ошибок при контрольном опросе от 36 до 60 %.

**Неудовлетворительно**

Слабое и недостаточное знание терминологии и фактических данных, принципиальные ошибки при ответе; удельный вес ошибок при контрольном опросе более 60 %.

**Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения**

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими знаниями об основах гидравлики и гидротехники), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований; применять теоретические знания для решения практических задач в сфере гидравлики и гидротехники	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими знаниями об основах гидравлики и гидротехники), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований; допускает ошибки в интерпретации результатов расчетов в сфере гидравлики и гидротехники	Базовый уровень	Хорошо
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований; не умеет грамотно применять алгоритмы количественных методов оценки риска в сфере гидравлики и гидротехники	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Ответ на контрольно-измерительный материал содержит существенные ошибки. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, не умеет применять алгоритмы количественных методов оценки риска в сфере гидравлики и гидротехники	-----	Неудовлетворительно

**Тест**

1. Что такое гидравлика:

**а) раздел механики, наука о законах движения и равновесия жидкостей и практическом применении этих законов в инженерной практике (Правильный ответ);**

б) раздел механики, наука о законах равновесия и движения газов, а также посвящённая машинам, механизмам и устройствам, использующим разность давления газа (воздуха) для своей работы.

2. Тело, обладающее легкой подвижностью частиц или текучестью, вследствие чего она принимает форму сосуда, в котором находится называется:

**а) жидкость (Правильный ответ);**

б) газ;

- в) воздух.
3. Способность жидкости оказывать сопротивление касательным усилиям называется:  
а) плотность;  
б) сжимаемость;  
**в) вязкость (Правильный ответ).**
4. Массовые силы действуют:  
**а) на все частицы жидкости рассматриваемого объема, величина этих сил пропорциональна массе жидкости (Правильный ответ);**  
б) приложены к поверхности, ограничивающей рассматриваемый объем жидкости.
5. Основным понятием гидростатики является:  
**а) давление (Правильный ответ);**  
б) трение;  
в) скорость движения.
6. Траектория движения жидкости - это:  
**а) путь, который проходит частица жидкости (элементарный объем) за промежуток времени (Правильный ответ);**  
б) линия, для которой векторы мгновенной скорости являются касательными;  
в) совокупность линий тока, проведенная через все точки элементарной площадки и ограниченная замкнутой боковой поверхностью.
7. Какие существуют два режима движения жидкости:  
а) напорный и безнапорный;  
**б) ламинарный и турбулентный (Правильный ответ);**  
в) равномерный и неравномерный.
8. Движение, при котором все (или некоторые) гидравлические характеристики изменяются во времени, называется:  
а) установившееся движение;  
б) равномерное движение;  
**в) неустановившееся движение (Правильный ответ).**
9. Как называется уравнение, которое является наиболее фундаментальным уравнением гидравлики, устанавливающим связь между давлением и скоростью движения частиц:  
**а) уравнение Бернулли (Правильный ответ);**  
б) уравнение Паскаля;  
в) уравнение Рейнольдса.
10. Резкий переход потока из бурного состояния в спокойное называется:  
а) гидравлический удар;  
**б) гидравлический прыжок (Правильный ответ);**  
в) гидравлический напор.

11. Способность плавающего тела, выведенного из равновесия, восстанавливать исходное положение после прекращения действия сил, вызывающих крен называется:

- а) остойчивость (Правильный ответ);**
- б) водоизмещение;
- в) метацентр.

12. Поперечное сечение водотока - это:

**а) плоскость, перпендикулярная общему (среднему) направлению течения и ограниченная профилем русла и свободной поверхностью (Правильный ответ);**

б) длина соприкосновения движущегося потока с неподвижными стенками в пределах поперечного сечения русла.

13. Движение, при котором поток со всех сторон ограничен твердыми стенками, а само движение происходит под действием сил давления, сообщаемых внешним источником называется:

- а) безнапорное;
- б) полупонапорное;
- в) напорное (Правильный ответ).**

14. В бурном состоянии преобладает:

а) потенциальная энергия и движение жидкости характеризуется малыми скоростями и большими глубинами;

**б) кинетическая энергия и движение жидкости характеризуется большими скоростями и малыми глубинами (Правильный ответ).**

15. Потери напора, вызываемые трением внутри жидкости, между жидкостью и стенками, называются:

- а) потери напора по длине (Правильный ответ);**
- б) местные потери.

16. Водоподпорное сооружение, перегораживающее русло или долину реки, называется:

- а) плотина (Правильный ответ);**
- б) водосброс;
- в) водослив.

17. Объём водохранилища, используемый для различных хозяйственных целей - забора воды на орошение, увеличения водоснабжения, уменьшения уровней в нижнем бьефе, аккумуляции паводков, экологических попусков, называется:

- а) мертвый объём;
- б) полезный объём (Правильный ответ);**
- в) резервный объём.

18. Водосброс - это:

а) устройство, устраиваемое для осуществления полезных попусков воды из водохранилища в русло реки, или в специально устроенный в нижнем бьефе канал или трубопровод, транспортирующий воду потребителю;

б) устройство, служащее для полного опорожнения водохранилища в случае, например, аварийного состояния плотины;

**в) устройство, служащее для сброса излишней воды из водохранилища (из верхнего бьефа) во избежание его переполнения (Правильный ответ).**

19. Гидротехнические сооружения из местных строительных материалов - это:
- а) каменные плотины (Правильный ответ);**
  - б) бетонные плотины;
  - в) металлические плотины.

20. Сколько классов ответственности гидротехнических сооружений выделяют в соответствии с СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения»:

- а) 3 класса;
- б) 4 класса (Правильный ответ);**
- в) 5 классов.

### Эссе

1. Плотины и их классификация.

#### Ответ:

**Плотиной** называют водоподпорное сооружение, перегораживающее русло или долину реки (временного водотока).

**Водоподпорным** называется сооружение, удерживающее более высокий уровень воды с одной стороны, чем с другой. Часть водного объёма со стороны более высокого уровня называется **верхним бьефом**, по другую сторону – **нижним бьефом**.

Водоподпорные сооружения по берегам рек и для защиты земель от подтопления и затопления называют **дамбами**, или **валами**.

Плотины классифицируются по нескольким признакам:

- а) по цели устройства
  - для подпора воды – **водоподпорные плотины** (обычно в гидроэнергетике);;
  - для создания запасов воды – **водохранилищные плотины**. Часто обе цели совпадают.
- б) по возможности пропуска воды.
  - Глухие плотины**. Вода поверх плотины не пропускается. Пропуск воды осуществляется в обход плотины или водопропускные сооружения в теле плотины;
  - Водосборные плотины**, через которые относительно широким потоком осуществляется сброс воды.
- в) по основному материалу:
  - Земляные плотины**, основным материалом которых является земля, т. е. песчано-глинистый, песчаный и тому подобные грунты;
  - Плотины **из каменной наброски и из сухой каменной кладки**, в основном, выполняемые из камня без применения вяжущих средств;
  - Каменные плотины**, выполняемые из каменной (бутовой) кладки на растворе, широко распространенные в прошлом; в настоящее время не строятся из-за невозможности комплексной механизации процесса кладки;
  - Каменно-земляные плотины**, в которых применены земля и каменная наброска;
  - Бетонные плотины;**
  - Железобетонные плотины**, в которых, в основном, применен железобетон, хотя имеются и бетонные элементы;

7. **Деревянные плотины**, имеющие обычно каменную или земляную загрузку;

8. **Плотины из прочих материалов** (стали, синтетической пленки и т. д.) и комбинированные из различных материалов.

г) по высоте создаваемого напора:

1. низконапорные (до 25 м);
2. средненапорные (25-75 м);
3. высоконапорные (более 75 м);

д) по характеру основания :

1. плотины на проницаемых (мягких) грунтах;
2. плотины на скальных грунтах.

2. Водопропускные сооружения вне тела плотины.

Ответ:

Обычно использование плотины для размещения в ней водопропускных устройств дает наиболее экономичное решение. Но бывают случаи, когда это невыгодно, нецелесообразно и даже недопустимо. Так, в теле земляных и каменно-набросных плотин располагать отверстия водопропускных устройств нежелательно, а часто и невозможно. Поэтому такие отверстия приходится устраивать вне тела плотин из грунтовых материалов.

Рассмотрим конструкции наиболее часто встречающихся на практике водопропускных сооружений вне тела плотины.

**Открытый береговой водосброс** с прямым отводом воды от водослива. Такой тип водосброса особенно часто применяют в случае плотин малой и средней высоты.

В общем случае при наличии нескального грунта водосброс с прямым отводом воды состоит из четырех частей:

- 1) подходного канала или подходной выемки;
- 2) водослива в виде входного порога с соответствующим устройством за ним для гашения энергии;
- 3) отводящего промежуточного канала;
- 4) сбросного устройства, при помощи которого преодолевается сосредоточенное падение напора.

**Подходной канал** делают с горизонтальным дном или дном, имеющим обратный уклон. Скорости воды обычно в этом канале очень малы, как правило, берега и дно канала не покрывают креплением, даже если они образованы легко размываемым грунтом.

**Водослив** представляет собой водосливную плотину (с затворами или без них) - бетонную, железобетонную или деревянную.

**Отводящий промежуточный канал** рассчитывают на равномерное движение воды в нем, причем так, чтобы средняя скорость потока  $v$  не превышала максимально допустимой скорости  $v_{\text{макс}}$ ; зависящей от материала стенок канала.

С целью уменьшения объема земляных работ при строительстве канала его стараются сделать уже, но зато более глубоким. Чтобы в канале не образовалась кривая спада, обуславливающая увеличение скорости  $v$ , в конце канала устраивают порог. Высоту этого порога  $C'$  определяют по формуле

$$C' = h_0 - H',$$

где  $h_0$  - нормальная глубина воды в канале (при  $Q_{\text{расч}}$ );  $H'$  - напор на пороге, работающем как неподтопленный водослив;

Величину  $H'$  устанавливают по расходной формуле соответствующего водослива (для  $Q_{\text{расч}}$ ).

Если промежуточный отводящий канал достаточно короткий, то дно его можно проектировать горизонтальным. В этом случае канал приходится рассчитывать по формулам неравномерного движения воды. При благоприятных топографических условиях промежуточный канал может и отсутствовать. В этом случае вода, пройдя водослив, будет поступать непосредственно в сбросное устройство, и водослив будет являться головной частью этого устройства.

**Сбросное устройство** выполняют в виде быстротока или многоступенчатого перепада. **Быстроток** представляет собой канал большого уклона, значительно превышающий критический. Поток в пределах быстротока находится в бурном состоянии.

Иногда быстроток может иметь большую длину, превышающую, например, 1 км. Различают следующие части быстротока:

- а) входную, которая образуется порогом;
- б) транзитную;
- в) концевую.

**Транзитная часть** - собственно канал - выполняется из бетона, железобетона, дерева или прямо высекается в скале (без какой-либо отделки) и может иметь различную форму поперечного сечения.

**Концевую часть** быстротока можно проектировать без отброса струи или с отбросом струи от быстротока, при этом наиболее часто предпочтение отдается второй схеме.

**Многоступенчатый перепад**, как правило, строят колодезный. Здесь, в отличие от быстротока, энергия потока по длине сбросного устройства гасится относительно равномерно. Размеры ступеней перепада определяются гидравлическим расчетом. Многоступенчатый перепад можно устраивать при определенных уклонах местности и в случае нескального грунта. Эти перепады применяются только для плотин небольшой и средней высоты. Как правило, более экономичным сооружением является быстроток.

**Шахтный водосброс**. Для шахтного водосброса обычно используется туннель, пробитый в берегу для пропуска строительных расходов воды. По окончании постройки плотины существующий вход в туннель из водохранилища закрывают пробкой и делают новый вход в виде вертикальной или наклонной шахты. В период нормальной эксплуатации плотины вода в туннель может поступать только через воронку кольцевого водослива, образующего оголовок шахты.

Движение воды в шахте и в туннеле должно быть безнапорным, что обеспечивается соответствующим подбором их геометрических характеристик (диаметра, уклона). Шахтные водосбросы целесообразны при высоких плотинах в узких скальных ущельях с крутыми склонами, неблагоприятными для осуществления других типов водосбросов. При определенных условиях этот водосброс может пропускать весьма большие расходы воды, например до  $6000 \text{ м}^3 / \text{с}$ .

**Транзитная часть** водоспускного сооружения, имеющего глубинное входное отверстие, может быть выполнена в виде:

- а) туннеля (напорного или безнапорного), устраиваемого в основании плотины или в берегах (обычно в скальном грунте);
- б) бетонной галереи напорной или безнапорной, построенной в открытой выемке под плотиной (до ее возведения на поверхности материкового грунта);

По расположению затворов здесь различают водоспуски:

- 1) с затворами, расположенными в начале водопропускного тракта в специальных башнях (башенные водоспуски);
- 2) с затворами, расположенными в средней части водопропускного тракта в шахтах (шахтные водоспуски).

По сравнению с поверхностными водопропускными отверстиями глубинные обладают тем преимуществом, что вода в них поступает под напором и, следовательно, для пропуска одного и того же расхода воды размеры глубинных отверстий будут меньше, чем поверхностных.

### 3. Фильтрация в основании плотины.

#### Ответ:

Основания плотин – различные горные породы – обычно в той или иной мере проницаемы для воды (в том числе и скальные). Естественно поэтому, что после поднятия плотиной уровня воды в реке основание сооружения насыщается водой, которая движется по порам и трещинам из зоны большего давления в зону меньшего давления, т. е. из верхнего бьефа в нижний. Это движение называется фильтрационным или фильтрацией воды.

Область фильтрации под напорным гидротехническим сооружением ограничивается сверху поверхностями сооружения, которыми оно соприкасается с грунтом основания и берегов, а снизу – кровлей водоупора (иногда водоупор отсутствует на практически достижимой глубине). Входной поверхностью фильтрационного потока является дно верхнего бьефа, выходной – дно нижнего бьефа и проницаемые для воды части сооружения (рисберма, дренажные устройства и пр.).

Фильтрация воды под сооружением является напорной, так как свободная поверхность фильтрационного потока отсутствует. Линия контакта сооружения с грунтом основания по направлению продольной оси потока называется подземным или фильтрационным контуром, который обычно представляет собой ломаную линию.

Фильтрация воды под напорными гидротехническими сооружениями имеет следующие последствия.

1. Происходит потеря (утечка) воды из водохранилища в нижний бьеф.

2. Фильтрующаяся вода оказывает давление на подошву сооружения, направленное снизу вверх и называемое обычно противодавлением ввиду направленности его противоположно силе тяжести. Противодействие как бы облегчает сооружение, уменьшает его вес и сопротивление сдвигающим сооружение горизонтальным силам.

3. Фильтрующаяся вода может механически и химически действовать на грунт, слагающий основание сооружения, увлекая с собой мелкие частицы, а соли растворяя и унося их в нижний бьеф. В первом случае процесс называется механической суффозией грунта, а во втором – химической суффозией. Начавшаяся суффозия делает грунт основания более проницаемым для воды, скорости фильтрации возрастают, фильтрующийся поток оказывает способным выносить частицы большего размера и при дальнейшем развитии явления может закончиться разрушением основания и аварией сооружения.

Таким образом, борьба с последствиями фильтрации конкретно направлена на сокращение потерь воды из верхнего бьефа, уменьшение противодействия, на снижение скоростей фильтрационного потока. При одном и том же напоре на плотине фильтрация под сооружением и ее последствия будут тем меньше, чем больше путь фильтрации, т. е. длина фильтрационного контура.

Удлинение путей фильтрации создается устройством перед плотиной водонепроницаемого покрытия, называемого **понуром**, а под понуром и сооружением — вертикальных преград в виде **шпунтовых стенок** в мягких грунтах, либо в виде цементных, битумных и других завес в скальных основаниях. Аналогичный процесс фильтрации совершается и в берега русла или долинах, к которым примыкает подпорное сооружение. Борьба с этим явлением также ведется в основном

удлинением путей фильтрации. Для обоснованного определения размеров противофильтрационных элементов плотины и полного учета стока в створе гидроузла необходимо уметь рассчитывать значения основных параметров фильтрационного потока: его скорости, расходы и противодействия.

4. Водопропускные устройства в теле плотины и расчетные расходы воды для водопропускных устройств

Ответ:

По назначению различают следующие водопропускные устройства:

1) **водосбросы**, служащие для сброса излишней воды из водохранилища (из верхнего бьефа) во избежание его переполнения;

2) **хозяйственные водоспуски**, устраиваемые для осуществления полезных попусков воды из водохранилища в русло реки или в специально устроенный в нижнем бьефе канал или трубопровод, транспортирующий воду потребителю (в том числе и на ГЭС). Порог входного отверстия хозяйственного водоспуска закладывают несколько ниже УМО (уровня мертвого объема) с тем, чтобы при самом низком горизонте воды в водохранилище (при УМО) можно было бы подать потребителю необходимое количество воды; хозяйственный водоспуск именуют иногда рабочим водоспуском, или водоприемником, или водозаборным устройством;

3) **аварийный водоспуск**, служащий для полного опорожнения водохранилища в случае, например, аварийного состояния плотины; входной порог такого водоспуска устраивают на уровне дна водохранилища.

Водосброс при плотине устраивают почти всегда. Хозяйственный водоспуск делают в том случае, когда из водохранилища приходится подавать (самотеком) воду потребителю. Что касается аварийного водоспуска, то его делают не всегда.

Перечисленные водопропускные устройства являются постоянными, их называют **эксплуатационными**.

Размеры отверстий водопропускных устройств, обеспечивающие надлежащую их пропускную способность, устанавливают по обычным зависимостям гидравлики, исходя из соответствующего расчетного расхода.

1. **Расчетный расход воды для водосбросного устройства.** Для водосбросного устройства в качестве расчетного расхода принимают максимальный расход воды в реке заданной обеспеченности ( $Q_{расч}$ ). При этом значение обеспеченности (или, что то же, вероятности превышения максимального расхода) устанавливают в зависимости от класса капитальности сооружения, согласно рекомендациям СП 58.13330.2019, а само значение расхода заданной обеспеченности определяют известными гидрологам способами.

Расчетная ежегодная вероятность превышения максимального расхода воды

Класс капитальности сооружения	I	II	III	IV
Вероятность превышения, %	0,01	0,1	0,5	1

В том случае, если имеет место трансформация стока водохранилищем, при определении  $Q_{расч}$  необходимо исходить не из естественного гидрографа стока, а учитывать аккумуляцию воды в верхнем бьефе. Способы вычисления трансформации расходов воды водохранилищем изучаются в курсе "Водохозяйственные расчеты". Если часть  $Q_{расч}$  предполагают сбрасывать через хозяйственный водоспуск, то это должно быть учтено как при расчете водосброса, так и при расчете водоспуска.

2. **Расчетный расход воды для хозяйственного водоспуска** устанавливают непосредственно по предварительно построенному графику отдачи воды из водохранилища потребителю.

3. **Расчетный расход для аварийного водоспуска** назначают исходя, например, из заданного времени опорожнения водохранилища (которое, очевидно, должно быть небольшим).

4. **Расчетный расход для строительного водосброса** устанавливают, как указано в п. 1. Если строительный водосброс служит не полный год, кривую обеспеченности для него строят на основании гидрографов, относящихся только к тому сезону года, в течение которого эксплуатируется данное временное сооружение.

5. **«Санитарный расход».** При строительстве и эксплуатации плотины не должно создаваться такого положения, когда вода в нижний бьеф не поступает, и русло реки ниже плотины пересыхает. Это недопустимо по санитарным и хозяйственным соображениям. Поэтому водопропускные устройства проектируют с таким расчетом, чтобы обеспечить (в любой момент времени на протяжении периода строительства плотины и ее эксплуатации) сброс в нижний бьеф так называемого санитарного расхода воды, значение которого специально устанавливают в соответствии с местными условиями.

#### **Практические задачи:**

1. Определить площадь поперечного сечения лотка прямоугольного сечения  $\omega$ , смоченный периметр  $\chi$ , гидравлический радиус  $R$ .

**Дано:**

Ширина по дну  $b = 0,53$  м;

Глубина воды  $h' = 0,25$  м.

**Ход работы:**

$$1) \omega = b \cdot h;$$

$$2) \chi = b + 2 h;$$

$$3) R = \frac{\omega}{\chi}.$$

**Ответ:**  $\omega = 0,13$  м<sup>2</sup>;  $\chi = 1,03$  м;  $R = 0,13$  м

2. Определить коэффициент заложения откоса  $m$ , площадь поперечного сечения трапециoidalного лотка  $\omega$ , смоченный периметр  $\chi$ , гидравлический радиус  $R$ .

**Дано:**

Ширина по дну  $b = 0,51$  м;

Глубина в канаве  $h = 0,25$  м;

Длина откоса  $a = 0,375$  м.

**Ход выполнения работы:**

$$1) m = \frac{a}{h};$$

$$2) \omega = (b + m h) \cdot h;$$

$$3) \chi = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2};$$

$$4) R = \frac{\omega}{\chi}.$$

**Ответ:**  $m = 1,5$ ;  $\omega = 0,22$  м<sup>2</sup>;  $\chi = 1,41$  м;  $R = 0,16$  м

3. Определение элементов гидравлического прыжка.

**Дано:**

Ширина по дну  $b = 1,0$  м;

Глубина в начале прыжка  $h' = 0,20$  м;

Расход воды  $Q = 1,0$  м<sup>3</sup>/с.

Определить в русле прямоугольного сечения глубину после прыжка, форму прыжка и его длину по формуле Н.Н. Павловского.

**Ход работы:**

1. Определить критическую глубину в канале прямоугольного сечения.

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

$\alpha = 1,10$  - коэффициент кинетической энергии;

$g = 9,81$  – ускорение свободного падения, м / с<sup>2</sup>.

2. Определяем форму гидравлического прыжка исходя из уравнения.

$$\left(\frac{h_k}{h'}\right)^3 > 3 \text{ - гидравлический прыжок совершенной формы;}$$

$$\left(\frac{h_k}{h'}\right)^3 < 3 \text{ - гидравлический прыжок волнистой формы.}$$

3. Определяем глубину после гидравлического прыжка (учитывая форму прыжка) в русле прямоугольной формы.

$$h'' = \frac{h'}{2} \cdot \left[ \sqrt{1 + 8 \cdot \left(\frac{h_k}{h'}\right)^3} - 1 \right] \text{ - для совершенного прыжка;}$$

$$h'' = h' \cdot \left(\frac{h_k}{h'}\right)^3 \text{ - для волнистого прыжка.}$$

4. Определяем длину гидравлического прыжка (учитывая форму прыжка).

$$l_n = 2,5 \cdot (1,9 \cdot h'' - h') \text{ - формула Павловского для совершенного прыжка;}$$

$$l_n = 10,6 \cdot h' \cdot \left(\frac{h_k}{h'}\right)^3 \text{ - для волнистого прыжка.}$$

**Ответ:**  $h_k = 0,48$  м критическая глубина;  $\left(\frac{h_k}{h'}\right)^3 > 3$  - гидравлический

прыжок совершенной формы;  $h'' = 0,96$  м глубина после прыжка;  $l_n = 4,08$  м длина прыжка.

4. Определить критическую глубину, критический уклон и состояние потока в канале прямоугольного сечения.

**Дано:**

Ширина по дну  $b = 0,50$  м;

Глубина в канаве  $h = 0,40$  м;

Расход воды,  $Q = 0,45$  м<sup>3</sup>/с;

Коэффициент шероховатости  $n = 0,014$ .

**Ход выполнения работы:**

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{b^2 g}} - \text{критическая глубина,}$$

$\alpha = 1,10$  - коэффициент кинетической энергии;  
 $g = 9.81$  – ускорение свободного падения, м / с<sup>2</sup>;

$$i_k = \frac{g \omega_k}{\alpha b C_k^2 R_k} - \text{критический уклон;}$$

$v_k = C_k \sqrt{R_k i_k}$  - критическая скорость;

$$Fr = \frac{\alpha V^2}{gh} - \text{число Фруда}$$

(для спокойного состояния  $Fr < 1$ , для бурного –  $Fr > 1$ , для критического состояния –  $Fr = 1$ ).

Для прямоугольного русла:

$\omega = b \cdot h$  ( $\omega_k = b \cdot h_k$ ) – площадь поперечного сечения;

$\chi = b + 2 h$  ( $\chi = b + 2 h_k$ ) – смоченный периметр;

$$R = \frac{\omega}{\chi} \quad (R_k = \frac{\omega_k}{\chi_k}) - \text{гидравлический радиус;}$$

$C = \frac{1}{n} R^y$ , где  $y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10)$  - коэффициент Шези;

( $C_k = \frac{1}{n} R_k^y$ , где  $y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R_k}(\sqrt{n} - 0,10)$ );

$V = Q / \omega$  - скорость в русле при заданной глубине потока  $h$ .

**Ответ:  $h_k = 0,45$ ;  $\omega_k = 0,22 \text{ м}^2$ ;  $\chi_k = 1,40 \text{ м}$ ;  $R_k = 0,16 \text{ м}$ ;  $y = 0,16$ ;  $C_k = 53,3$ ;  $i_k = 0,009$ ;  $V_k = 2,0 \text{ м / с}$ ;  $\omega = 0,20 \text{ м}^2$ ;  $V = 2.25 \text{ м / с}$ ;  $Fr = 1,42$ .**

**Состояние потока бурное.**