

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский государственный университет
Факультет географии и геоинформатики
Кафедра общего землеведения и гидрометеорологии

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

_____ Гледко Ю. А.

«24» мая 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель

учебно-методической комиссии факультета

_____ Кольмакова Е.Г.

«26» мая 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

_____ Курлович Д.М.

«29» июня 2022 г.

Гидравлика и инженерная гидрология

Электронный учебно-методический комплекс для специальности
1-31 02 02 «Гидрометеорология»

Регистрационный № 2.4.2-20/269

Автор:

Новик А.А., доцент кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, кандидат географических наук, доцент.

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ 27.05.2022 г., протокол № 5.

Минск 2022

Утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ
Протокол № 5 от 27.05.2022 г.

Решение о депонировании вынес:
Совет факультета географии и геоинформатики
Протокол № 11 от 29.06.2022 г.

А в т о р:

Новик Алексей Александрович, доцент кафедры общего земледения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, кандидат географических наук, доцент.

Рецензенты:

Данилович И.С., ведущий научный сотрудник Центра климатических исследований Института природопользования НАН Беларуси, кандидат географических наук, доцент;

Власов Б.П., заведующий лабораторией озероведения факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, доктор географических наук, профессор.

Новик, А. А. Гидравлика и инженерная гидрология : электронный учебно-методический комплекс для специальности: 1-31 02 02 «Гидрометеорология» / А. А. Новик ; БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. общего земледения и гидрометеорологии. – Минск : БГУ, 2022. – 40 с. : ил., табл. – Библиогр.: с. 36–37.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов специальности 1-31 02 02 «Гидрометеорология» факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета. В ЭУМК рассматриваются наиболее важные теоретические научные достижения и научно-методические разработки в области гидравлики и инженерной гидрологии. Представлен теоретический раздел, практический раздел, с примерным перечнем практических заданий и примерными вариантами заданий практических работ, раздел контроля знаний с вопросами к экзамену и организацией самостоятельной работы и вспомогательный раздел с перечнем рекомендуемой литературы и учебно-методической картой учебной дисциплины.

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|---|------|
| ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА..... | 5 |
| 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ..... | 7 |
| 1.1. Предмет и задачи курса. Краткие сведения из истории развития и становления науки. Методы исследований. | 7 |
| 1.2. Определение гидравлики как науки. Физические свойства жидкости. Единицы измерения физических характеристик жидкости. | 8 |
| 1.3. Основные понятия и определения гидростатики. Гидростатическое давление. Пьезометрическая высота. Вакуум. | 9 |
| 1.4. Суммарное гидростатическое давление на плоские поверхности, центр давления. Равновесие плавающих тел. Закон Архимеда. | 10 |
| 1.5. Основные понятия и определения гидродинамики. Основные закономерности движения жидкости. Гидравлические параметры потока. | 11 |
| 1.6. Виды движения жидкости. Установившееся и неустановившееся, неравномерное и равномерное движение. Кривые спада. | 11 |
| 1.7. Два режима движения жидкости. Закон Ньютона. Число Рейнольдса. Гидравлический удар. Уравнение Бернулли. Формула Торричелли. | 13 |
| 1.8. Динамика речного потока. Силы, действующие на движение водных потоков. Гидравлические сопротивления. Формула Шези. | 14 |
| 1.9. Скорость течения в речном потоке. Турбулентные пульсации. Распределение скоростей по вертикали и живому сечению. Закономерности трансформации паводков. Кривая расходов воды. | 15 |
| 1.10. Поперечное равновесие потока. Центробежная сила и отклоняющая сила вращения Земли Поперечная циркуляция и поперечный уклон. | 17 |
| 1.11. Виды потоков по состоянию водной поверхности. Определение состояния потока. Число Фруда. Гидравлический прыжок. Движение грунтовых вод. | 18 |
| 1.12. Определение и классификация водосливов. Формулы для определения расходов воды с помощью водосливов. | 18 |
| 1.13. Инженерная гидрология. Водное хозяйство Республики Беларусь и его отрасли. | 20 |
| 1.14. Комплексные инженерно-гидрологические изыскания. Составление схем комплексного использования и охраны водных ресурсов. Основные гидрологические характеристики. | 21 |
| 1.15. Гидрологические расчеты в зависимости от наличия исходной информации. | 22 |
| 1.16. Понятие кривой обеспеченности, ее статистические параметры. | 23 |
| 1.17. Общие сведения о гидротехнических сооружениях (ГТС) и их классификация. | 24 |
| 1.18. Стадии и методы проектирования и нормы строительства ГТС в Республике Беларусь. | 25 |
| 1.19. Классификация экспедиционных гидрологических исследований. Состав и этапы работ. | 27 |
| 1.20. Обработка и обобщение результатов инженерно-гидрологических расчетов и экспедиционных исследований. | 28 |

| | |
|---|----|
| 1.21. Нормативные документы, регламентирующие проведение инженерно-гидрологических исследований и расчетов при водохозяйственном проектировании и строительстве в Республике Беларусь. | 29 |
| 2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ..... | 30 |
| 2.1. Тематика практических занятий..... | 30 |
| 2.2. Примерные варианты заданий практических работ | 30 |
| 2.3. Методические рекомендации к выполнению УСР | 32 |
| 3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ..... | 34 |
| Примерный перечень вопросов к экзамену..... | 34 |
| 4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ | 36 |
| 4.1. Рекомендуемая литература | 36 |
| 4.2. Электронные ресурсы | 37 |
| 4.3. Учебно-методическая карта учебной дисциплины | 37 |

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронный учебно-методический комплекс «Гидравлика и инженерная гидрология» предназначен для студентов факультета географии и геоинформатики, специальности 1-31 02 02 «Гидрометеорология» и в комплексе с другими дисциплинами специальности позволяет сформировать профессионально подготовленного специалиста в области гидрометеорологии.

ЭУМК по учебной дисциплине «Гидравлика и инженерная гидрология» создан на научно-методическом и программно-техническом уровнях, соответствующих современным информационно-коммуникационным технологиям и призван обеспечить реализацию учебных целей и задач на всех этапах образовательного процесса по данной дисциплине.

Назначение – реализация требований образовательного стандарта и учебной программы, обеспечение непрерывности и полноты процесса обучения, систематизации и контроля знаний по учебной дисциплине «Гидравлика и инженерная гидрология».

Цель ЭУМК – повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «Гидравлика и инженерная гидрология» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки квалифицированных специалистов-гидрометеорологов.

Область применения – улучшение знаний при дистанционном обучении, на практических занятиях по дисциплине «Гидравлика и инженерная гидрология», в ходе самостоятельной подготовки к аудиторным занятиям, текущему и итоговому контролю знаний по разделам дисциплины, ориентация в выполнении управляемой самостоятельной работы.

Функциональные возможности ЭУМК – средство ориентации в содержании дисциплины «Гидравлика и инженерная гидрология» в порядке изучения учебного предмета, освоение теоретического и практического материала, подготовка к контролю знаний. Весь материал ЭУМК структурирован по разделам таким образом, чтобы знаниями по учебной дисциплине «Гидравлика и инженерная гидрология» студент мог овладеть самостоятельно. ЭУМК по учебной дисциплине «Гидравлика и инженерная гидрология» включает 4 основных раздела: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный.

Теоретический раздел ЭУМК включает материалы для теоретического изучения курса «Гидравлика и инженерная гидрология», составленные в соответствии с учебной программой дисциплины и являющиеся базовой основой формирования теоретических знаний; [электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/260842> – Дата доступа: 12.05.2022 г.

Практический раздел ЭУМК состоит из тематики и структуры лабораторных занятий, методических рекомендаций к лабораторным заданиям

УСР; [электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/24249>– Дата доступа: 12.05.2022 г.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит общие правила, список вопросов к зачету.

Вспомогательный раздел ЭУМК состоит из учебно-методической карты дисциплины, списка рекомендуемой литературы, электронных ресурсов.

Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Гидравлика и инженерная гидрология» представляет собой один из вариантов реализации в образовательном процессе информационных технологий с целью повышения эффективности подачи учебного материала, обучения самостоятельному поиску нужной информации, проверке ее адекватности, повышения интереса студентов к новому содержанию обучения и контролю знаний. Настоящий ЭУМК можно рассматривать как способ организации учебного материала, преподносимый в обобщенном и наглядном виде, обеспечивающий эффективный и экономичный путь освоения знаний.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1. Предмет и задачи курса. Краткие сведения из истории развития и становления науки. Методы исследований.

Гидравлика изучает законы равновесия и движения жидкостей и служит теоретической основой для решения практических задач инженерной гидрологии. Гидравлика подразделяется на две части: *гидростатику* и *гидродинамику*.

Инженерная гидрология — совокупность областей гидрологии суши, связанных с практическим применением результатов гидрологических исследований при решении инженерных и водохозяйственных задач.

Цель изучения дисциплины «Гидравлика и инженерная гидрология» — сформировать у студентов необходимые знания и навыки для решения вопросов проектирования объектов водохозяйственного и гидротехнического строительства в республике Беларусь, комплексного использования и охраны водных ресурсов республики.

в задачи дисциплины входят:

- изучение основ гидростатики, гидродинамики и закономерностей движения воды в открытых потоках (реках, каналах, ручьях);
- усвоение комплекса методов инженерно-гидрологических изысканий, необходимых в практике водохозяйственного и гидротехнического проектирования, комплексного использования и охраны водных ресурсов;
- приобретение практических навыков инженерно-гидрологических расчетов и обобщений, использования нормативной документации и справочных изданий;
- ознакомление со спецификой проведения инженерно-гидрологических исследований и изысканий в республике Беларусь.

Развитие человеческого общества неразрывно связано с использованием воды. Еще в первобытное время реки, озера и моря являлись местами поселения человека. Они удовлетворяли его потребности в воде и пище, служили естественными путями сообщения. Через реки и моря шло распространение человеческой цивилизации по земному шару. Почти все крупнейшие города мира (в том числе многие столицы государств) расположены на реках, в устьях, на побережьях морей. Орошаемое земледелие и современная цивилизация в целом зародились в низовьях и дельтах великих рек мира, таких как Янцзы, Хуанхэ, Ганг, Инд, Нил, Тигр и Евфрат, Амударья и Сырдарья. Многоводные реки с плодородными речными долинами были центрами древнейших цивилизаций. История развития гидравлики и инженерной гидрологии тесно связана с историей развития торговли, сельского хозяйства, промышленности, науки и техники, с использованием водных объектов и ресурсов в практических целях. В ней можно выделить пять этапов:

- первый этап – с древнейших времен до XV в.
- второй этап – XV в. – 70-е гг. XVII в.
- третий этап – 70-е гг. XVII в. – конец XIX в.

- четвертый этап – начало XX в. – 60-е гг. XX в.

- пятый этап – 60-е гг. XX в. – настоящее время.

Современная гидравлика и инженерная гидрология располагают большим арсеналом взаимодополняющих методов исследований. При изучении гидравлических явлений применяют аналитический, экспериментальный, экспериментально-теоретический методы и др.

1.2. Определение гидравлики как науки. Физические свойства жидкости. Единицы измерения физических характеристик жидкости.

Гидравлика – наука, изучающая законы равновесия и движения жидкостей и разрабатывающая методы применения этих законов к решению практических задач. Гидравлику подразделяют на две части: гидростатику и гидродинамику. Первая изучает законы равновесия жидкостей, а вторая – законы их движения с учетом действующих сил. Гидравлика служит теоретической основой для инженерной гидрологии.

Физическое тело, обладающее легкой подвижностью, или текучестью, называется жидкостью. Объектом изучения гидравлики является любая капельная жидкость. Физические свойства воды выражаются соответствующими физическими величинами, для количественной оценки которых используются единицы измерения. Размер основных единиц измерения установлен международными соглашениями. В соответствии с решениями X и XI генеральных конференций по мерам и весам установлена Международная система единиц измерения (СИ, SI – System international).

Плотность воды – отношение ее массы к занимаемому ею объему.

Свойство воды с изменением температуры изменять свой объем называется *температурным расширением*.

При изменении давления, даже очень большого, вода незначительно изменяет свой объем, т.е. обладает *малой сжимаемостью*.

Удельный вес жидкости – отношение веса жидкого тела к его объему.

Вязкость воды – свойство воды оказывать сопротивление взаимному перемещению смежных слоев воды и обуславливающее возникновение сил трения.

Количественно вязкость воды выражается через *динамический коэффициент вязкости*.

Коэффициент динамической вязкости, отнесенный к плотности воды, называется *кинематическим коэффициентом вязкости*.

Благодаря малой вязкости вода *текуча*, и даже небольшие по величине внешние силы приводят ее в движение. Вода способна переносить большие количества растворенных и взвешенных веществ, а также теплоты.

При аналитических исследованиях часто пользуются таким понятием, как *идеальная жидкость* – воображаемая жидкость, которая характеризуется:

а) абсолютной неизменяемостью объема (при изменении температуры и давления);

б) полным отсутствием вязкости, т. е. сил трения при любом ее движении.

Идеальной жидкости в природе не существует. Ее создают в воображении

как некоторую приближенную модель реальной жидкости для облегчения вывода некоторых теоретических положений гидравлики.

Поверхностное натяжение – проявление сил притяжения, действующих между молекулами воды. На границе соприкосновения с твердым телом вода смачивает его поверхность, а действие силы поверхностного натяжения приводит к тому, что поверхность воды в непосредственной близости к телу искривляется, несколько приподнимаясь. По сравнению с другими жидкостями вода характеризуется очень высоким поверхностным натяжением, что способствует размыву почв и грунтов при выпадении дождей. Вода как хорошо смачивающаяся жидкость обладает способностью подниматься в порах и капиллярах почвы и растений.

1.3. Основные понятия и определения гидростатики. Гидростатическое давление. Пьезометрическая высота. Вакуум.

Гидростатикой называется раздел гидравлики, в котором изучаются законы равновесия жидкости и воздействия (т. е. давления) покоящейся жидкости на различные поверхности (или погруженные в нее твердые тела). Основным понятием гидростатики является *гидростатическое давление*.

В СИ гидростатическое давление выражается в паскалях (Па): $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$.

Гидростатическое давление обладает двумя основными свойствами.

1. Гидростатическое давление всегда направлено нормально (перпендикулярно) к площадке, воспринимающей давление жидкости.

2. Гидростатическое давление в любой произвольно взятой точке жидкости, находящейся в состоянии покоя, одинаково во всех направлениях и не зависит от направления воспринимающей его площадки.

Если в объеме жидкости взять две точки, из которых одна лежит на поверхности жидкости, а вторая на произвольной глубине h , то

$$p = p_0 + \gamma h,$$

где p_0 – давление на свободной поверхности жидкости (в открытых сосудах оно равно атмосферному давлению); γh – весовое давление жидкости глубиной h .

Данное неравенство называется *основным уравнением гидростатики*. Из него следует, что гидростатическое давление в точке жидкости, находящейся в состоянии равновесия, равно давлению на поверхности этой жидкости плюс произведение удельного веса жидкости на глубину погружения рассматриваемой точки. Следовательно, давление p_0 , имеющееся на свободной поверхности жидкости, передается без изменения в любую точку внутри жидкости, что соответствует известному *закону Паскаля*, который гласит: *внешнее давление, производимое на свободную поверхность жидкости, находящейся в замкнутом сосуде, передается внутри жидкости во все точки без изменения*.

Первое уравнение можно переписать в виде: $p_a = p_0 + p_{изб}$. Здесь величина p_a – абсолютное гидростатическое давление на произвольной глубине; p_0 –

внешнее поверхностное давление (в открытых сосудах или водоемах- внешним является атмосферное давление); величина $p_{изб}$ (yh) называется *избыточным гидростатическим давлением*. Оно зависит от глубины погружения данной точки. Таким образом, абсолютное гидростатическое давление равно сумме внешнего и избыточного давлений.

В *закрытом пьезометре*, представляющем собой запаянную трубку, создано полное разрежение (торричеллиева пустота).

Поскольку в стеклянной трубке атмосферное давление- $p_0 = 0$, то, абсолютное давление будет $p_a = p_0 + p_{изб}$. При этом уровень жидкости в трубке поднимется на некоторую высоту h_a , которая называется *абсолютной пьезометрической высотой*.

В *открытом пьезометре* уровень жидкости также поднимется на некоторую высоту $h_{изб}$, которая будет меньше h_a благодаря действию атмосферного давления.

Величина $h_{изб}$ называется *избыточной пьезометрической- высотой*. Как видно, пьезометрическая- высота $h_{изб}$ в отличие от пьезометрической высоты h_a выражает разность давлений: $p_a - p_{ат}$. Высоту h_a измеряет пьезометр закрытого типа, а высоту $h_{изб}$ – пьезометр открытого типа.

Если в некоторой области давление меньше атмосферного, то говорят, что в ней *вакуум*. Для измерения такого давления применяется обратный пьезометр, называемый *вакуумметром*.

Разница между атмосферным давлением и давлением в сосуде, если оно меньше атмосферного, называется *вакуумметрическим давлением*.

1.4. Суммарное гидростатическое давление на плоские поверхности, центр давления. Равновесие плавающих тел. Закон Архимеда.

Гидростатическое давление жидкости на всей площади поверхности, как сумма давлений во всех ее точках и называется *суммарным гидростатическим давлением* жидкости. Следует отметить, что атмосферное давление $p_{ат}$, действующее на свободную поверхность жидкости, уравнивается таким же атмосферным давлением, действующим снаружи на подпорную стенку. Поэтому при расчете стенок на прочность и устойчивость определяют и учитывают только избыточное гидростатическое давление $p_{изб} = gh$. Оно пропорционально глубине погружения точки h . В каждой точке давление нормально (перпендикулярно) к поверхности стенки. Графическое изображение распределения давления по высоте вертикальной стенки называется *эпюрой гидростатического давления*.

Избыточное *суммарное давление* P , оказываемое на плоскую стенку, находящуюся- под воздействием жидкости: $P = glh(h/2)$, где g – удельный вес воды; l – длина подпорной стенки; h – глубина воды перед стенкой; lh – площадь смоченной поверхности; $h/2$ – центр тяжести площади смоченной поверхности.

Способность тела удерживаться на поверхности жидкости или на определенном уровне внутри нее называется *плаванием*.

Подъемная сила, действующая на тело, погруженное в жидкость, равна весу объема жидкости, вытесненного телом.

Это положение известно, как закон Архимеда: *тело, погруженное в жидкость, находится под действием подъемной силы гидростатического давления, направленной снизу-вверх и равной весу объема жидкости, вытесненного телом.*

Если подъемная сила больше веса тела, погруженного в жидкость, тело всплывает, если вес тела больше подъемной силы, оно тонет. Если же подъемная сила и вес тела, погруженного в жидкость, равны, то тело плавает в полупогруженном состоянии. Способность тела плавать в полупогруженном состоянии называется *плавучестью*.

Способность плавающих тел восстанавливать нарушенное при крене равновесие называется *статической остойчивостью*.

1.5. Основные понятия и определения гидродинамики. Основные закономерности движения жидкости. Гидравлические параметры потока.

Гидродинамикой называется раздел гидравлики, в котором изучаются законы движения жидкостей с учетом действующих сил, а также взаимодействие потока жидкости с твердыми телами. Гидродинамику можно разделить на теоретическую и практическую части.

Основные гидравлические- параметры потока:

Площадь водного (поперечного) сечения ω (м²) площадь, ограниченная профилем русла и уровнем воды. Выделяют *площадь живого сечения*, которая меньше площади водного сечения на величину мертвого пространства (застойной зоны).

Ширина потока B (м) – расстояние между урезами русла по линии, перпендикулярной потоку.

Глубина потока h (м) – расстояние по вертикали от поверхности воды до дна. Различают *максимальную глубину h_{\max}* и *среднюю глубину $h_{\text{ср}}$* – частное от деления площади водного сечения на его ширину.

Смоченный периметр s (м) – длина подводного контура поперечного сечения.

Гидравлический радиус R (м) – частное от деления площади водного сечения на длину смоченного периметра

Скорость течения v (м/с) – расстояние, на которое перемещается некоторый объем воды за единицу времени. *Средняя скорость течения $v_{\text{ср}}$* – частное- от деления расхода воды на площадь водного сечения.

Расход воды Q (м³/с) – объем воды, протекающий через живое сечение потока в единицу времени.

Продольный уклон – отношение разности высотных отметок уровня воды на рассматриваемом участке к длине этого участка.

1.6. Виды движения жидкости. Установившееся и неустановившееся, неравномерное и равномерное движение. Кривые спада.

Движение воды можно классифицировать:

а) по изменению гидравлических характеристик водного потока во времени и по длине (установившееся, равномерное, неравномерное, неустановившееся);

б) по гидродинамическому режиму (ламинарное, турбулентное).

Установившееся движение. Такое движение воды в данном створе, при котором скорость течения, параметры поперечного сечения, а следовательно, и *расход воды* не изменяются с течением времени. Примером установившегося движения может быть течение воды в канале или на реке в период устойчивой межени. Установившееся движение, в свою очередь, подразделяют на равномерное и неравномерное.

Равномерное установившееся движение. Такое движение на рассматриваемом участке, при котором скорость и гидравлические параметры потока не меняются по его длине при постоянном расходе воды. Равномерным можно считать движение жидкости в канале неизменного сечения или трубе.

Неравномерное установившееся движение. Такое движение на рассматриваемом участке, при котором скорость и гидравлические параметры потока меняются по его длине при постоянном расходе воды. Такое движение наблюдается в естественном русле в период устойчивой межени.

При установившемся движении потока, расходы должны быть: $Q = \omega_1 v_1 = \omega_2 v_2 = \text{const}$. Это уравнение называется *уравнением неразрывности* или *постоянства расхода воды* по всей длине на рассматриваемом участке.

Отсюда следует, что увеличение площади поперечного сечения вдоль реки повлечет за собой уменьшение скорости течения на данном участке, а уменьшение площади поперечного сечения – увеличение скорости течения на этом участке.

При равномерном установившемся движении уклон поверхности потока I равен уклону дна i и водная поверхность параллельна поверхности дна.

Неравномерное установившееся движение может быть замедленным и ускоренным. При этом меняется форма *кривой свободной поверхности потока*

При замедленном течении она принимает форму *кривой подпора*. Поверхностный уклон становится меньше уклона дна ($I < i$), глубина ($h_{\text{подп}}$) возрастает, а скорость течения уменьшается. При ускоренном течении ($I > i$) кривая принимает форму *кривой спада*, глубина ($h_{\text{сп}}$) убывает, а скорость течения возрастает.

Кривые подпора наблюдаются в зоне влияния плотины, на реке при ее слиянии с другим потоком, на котором в данный момент проходит паводок, или при ее впадении в водоем в период повышенного уровня. Кривая спада наблюдается на реке, впадающей в реку или водоем, уровни воды в которых ниже. При построении кривой подпора или спада учитываются форма, параметры, уклон шероховатость русла, а также расход воды в нем.

Неустановившееся движение - такое движение воды, при котором все гидравлические параметры изменяются во времени и по длине потока. Примером неустановившегося движения может быть течение воды в периоды половодья и паводков, искусственного регулирования речного стока (попуски из водохранилищ).

1.7. Два режима движения жидкости. Закон Ньютона. Число Рейнольдса. Гидравлический удар. Уравнение Бернулли. Формула Торричелли.

В природе существует два режима движения воды (по гидродинамическому режиму) – ламинарное и турбулентное.

Ламинарное движение – режим, при котором частицы воды движутся по параллельным траекториям без перемешивания. Скорость течения зависит от вязкости жидкости, а сопротивление движению пропорционально первой степени скорости. Ламинарный режим характерен для подземных вод в мелкозернистых грунтах.

Турбулентное движение – режим, при котором движение имеет хаотический характер, наблюдаются процессы перемешивания воды, скорости течения непрерывно изменяются по величине и направлению. Скорость течения практически не зависит от вязкости, а сопротивление движению пропорционально квадрату скорости.

Ламинарный режим переходит в турбулентный при увеличении скорости течения. Гидродинамический режим потока характеризуется *числом Рейнольдса* Re : $Re = v_{cp}R/V$, или для равнинных рек $Re = v_{cp} h_{cp}/V$, где v_{cp} – средняя скорость течения, м/с; R – гидравлический радиус, м; h_{cp} – средняя глубина потока, м; V – кинематический коэффициент вязкости, равный для воды

Критическое значение Re , соответствующее переходу от ламинарного к турбулентному режиму, лежит в диапазоне от 300 до 3000. При $Re > 3000$ режим турбулентный, при $Re < 300$ – ламинарный, в диапазоне $300 < Re < 3000$ – переходный. В естественных открытых потоках (реках, ручьях) движение практически всегда турбулентное. С увеличением скорости течения интенсивность перемешивания усиливается. Оно способствует выравниванию температуры, концентрации взвешенных и растворенных- частиц в потоке.

Уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости дает связь между величиной гидродинамического давления p и скоростью движения частицы u в любой фиксированной точке элементарной струйки:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}.$$

С геометрической точки зрения здесь: z – высота, отсчитываемая от плоскости сравнения до произвольной точки живого сечения, и называемая высотой положения. Второе слагаемое уравнения - $\frac{p}{\gamma}$ называют пьезометрической высотой или высотой давления. Слагаемое $\frac{u^2}{2g}$ принято называть скоростной высотой или скоростным напором. Сумма высот положения и давления $\left(z + \frac{p}{\gamma} \right)$ называется пьезометрическим напором. Сумма пьезометрического и скоростного напором, представляющая собой сумму трех членов уравнения Бернулли, называется полным напором H . Формула для

скорости истечения жидкости из отверстия в открытом сосуде:

$$v = \sqrt{2g \cdot H},$$

Где H — высота уровня жидкости, отсчитываемая от центра отверстия, g — ускорение силы тяжести. Впервые установлена Э. Торричелли. Из данной формулы следует, что скорость истечения жидкости из отверстия одинакова для всех жидкостей и зависит лишь от высоты, с которой жидкость опустилась, то есть равна скорости свободного падения тела с той же высоты. Действительная же скорость истечения несколько отличается от скорости, определяемой формулой Торричелли: она зависит от формы и размера отверстия, от вязкости жидкости и от величины расхода.

Трубка Вентури — устройство для измерения расхода или скорости потока газов и жидкостей, представляющее собой трубу с горловиной, включаемую в разрыв трубопровода. Имеет наименьшие потери давления среди сужающих поток расходомеров, когда этот поток проходит через суженный участок трубы, что, в свою очередь, является прямым следствием действия закона Бернулли.

В ламинарном потоке возникающее между смежными слоями воды касательное напряжение (трение на единицу поверхности) зависит от вязкости. Ма-тематическим выражением величины вязкости, или силы внутреннего трения, является закон *Ньютона о внутреннем трении в жидкости*:

$$\tau_n = \mu \frac{\partial v}{\partial n},$$

где τ_n — касательное напряжение на площадке, имеющей нормаль n (или сила трения, отнесенная к единице поверхности); μ — динамический коэффициент

вязкости ($\mu = \rho \nu$), Н·с/м²; $\frac{\partial v}{\partial n}$ — производная скорости- течения по нормали n (или вертикальный градиент скорости по нормали- n к поверхности трения). В турбулентном потоке внутреннее касательное напряжение зависит от коэффициента турбулентного обмена A , характеризующего интенсивность- турбулентного перемешивания вод:

Для определения коэффициента A в гидравлике используют эмпирические зависимости, связывающие его с глубиной, скоростью течения, уклоном и другими характеристиками потока.

$$\tau_n = A \frac{\partial v}{\partial n}.$$

В ламинарном потоке вертикальное распределение скоростей течения описывается параболой. При этом максимальная скорость находится на поверхности потока, а у дна скорость течения равна нулю. В турбулентном потоке распределение скоростей по глубине более сложное.

1.8. Динамика речного потока. Силы, действующие на движение водных потоков. Гидравлические сопротивления. Формула Шези.

Изменения уклона, шероховатости, а также сужения и расширения русла приводят к изменению скорости течения в живом сечении и по длине потока.

Для вычисления средней скорости течения при отсутствии непосредственных измерений широко применяется формула Шези, которую он вывел в результате теоретических и экспериментальных исследований:

$$v_{\text{ср}} = C\sqrt{Ri} \approx C\sqrt{h_{\text{ср}}i},$$

где $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость течения, м/с; R – гидравлический радиус, м; $h_{\text{ср}}$ – средняя глубина потока, м; i – относительный продольный уклон, м/м; C – коэффициент Шези, $\text{м}^{0,5}/\text{с}^2$.

Величина коэффициента C зависит от глубины и шероховатости русла. Для его определения существует несколько формул. Ниже приведены наиболее распространенные формулы Павловского:

$$C = R_y/n,$$

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

где y – переменный показатель; n – коэффициент, зависящий от шероховатости, который находят по таблице М. Ф. Срибного. Для 12 выделенных категорий водотоков n колеблется от 0,02 – для каналов до 0,2 – для таежных рек с глухими заросшими поймами.

Скорость потока тем больше, чем больше глубина русла, уклон водной поверхности и меньше шероховатость русла. Формула Шези широко используется в гидрологии для определения расходов воды в реках, каналах и ручьях.

1.9. Скорость течения в речном потоке. Турбулентные пульсации. Распределение скоростей по вертикали и живому сечению. Закономерности трансформации паводков. Кривая расходов воды.

Для рек характерен турбулентный режим движения воды, и скорость течения в любой точке речного потока подвержена *турбулентным пульсациям* по величине и направлению, причем тем большим, чем больше скорость течения. Каждой точке речного потока присуща *местная мгновенная скорость течения*. Гидрометрические вертушки фиксируют скорость, осредненную за некоторый интервал времени (например, 100 с). Скорости течения изменяются по глубине и по ширине живого сечения. Кривые изменения скоростей по вертикали называются *годографами* или *эпюрами скоростей*.

При свободном состоянии русла типичным является следующее распределение скоростей по глубине, что связано с шероховатостью русла: максимальные скорости v_{max} наблюдаются на поверхности (или на глубине $0,2h$ от поверхности), скорость, близкая к средней на вертикали, – на глубине $0,6h$ и минимум (v_{min}), не равный нулю, – у дна. Однако под влиянием других факторов, кроме шероховатости русла, типичное распределение скоростей по глубине нарушается. Так, зимой под ледяным покровом, особенно под слоем внутриводного льда (шуги), под влиянием трения о нижнюю поверхность льда скорость течения уменьшается.

В период открытого русла при попутном ветре скорость течения на

поверхности увеличивается, а при встречном – уменьшается. Под влиянием растительности уменьшается скорость течения в придонном слое. Из-за неровностей дна скорость течения перед препятствиями уменьшается ко дну, а после препятствия – может возникнуть обратное течение.

При измерениях расхода воды на гидрологических постах средняя скорость течения на вертикали вычисляется делением площади эпюры скоростей на глубину вертикали или скоростей, измеренных в характерных точках по глубине, с помощью одной из формул.

В случае свободного от водной растительности и льда русла измерения проводят в пяти точках на вертикали ($h > 1,0$ м):

$$v_{\text{ср}} = 0,1 (v_{\text{пов}} + 3v_{0,2} + 3v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_{\text{дно}}),$$

или в трех точках (h от 0,6 до 1,0 м):

$$v_{\text{ср}} = 0,25 (v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8}),$$

или в двух точках (h от 0,4 до 0,6 м):

$$v_{\text{ср}} = 0,5 (v_{0,2} + v_{0,8}),$$

или в одной точке (h до 0,4 м):

$$v_{\text{ср}} = v_{0,6}.$$

В случае наличия водной растительности и под ледяным покровом измерения проводят в шести точках на вертикали:

$$v_{\text{ср}} = 0,1 (v_{\text{пов}} + 2v_{0,2} + 2v_{0,4} + 2v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_{\text{дно}}),$$

или в трех точках:

$$v_{\text{ср}} = (v_{0,15} + v_{0,5} + v_{0,85})/3,$$

или в одной точке:

$$v_{\text{ср}} = 0,9v_{0,5}.$$

При инженерно-гидрологических изысканиях для проектирования наиболее важных сооружений на реках измерения скоростей течения на вертикалях проводят на значительно большем количестве точек, а вычисление средней скорости на вертикалях – более точным графическим способом.

Наглядное представление о распределении скоростей течения в живом сечении дают *изотакси* – линии, соединяющие точки с одинаковыми скоростями течения.

У берегов скорость течения меньше, в центре потока она наибольшая. Продольная линия, соединяющая точки на поверхности реки с наибольшими скоростями, называется *стрешнем*. область максимальных скоростей расположена обычно на некоторой глубине от поверхности. линия, соединяющая по длине потока точки отдельных живых сечений с наибольшими скоростями, называется *Динамической осью потока*.

Кривая расходов воды — это графическая зависимость расхода от уровней воды $Q = f(H)$. она имеет большое практическое значение в инженерной гидрологии. Построив ее на основании сравнительно небольшого числа

расходов, измеренных в пределах амплитуды колебания уровней, по данным наблюдений за уровнями можно весьма просто получить значения расходов воды на любую дату календарного года, не производя непрерывно их измерения.

В большинстве случаев используется однозначная зависимость расхода от уровня. однако часто однозначность соотношения $Q = f(H)$ нарушается. При этом приходится применять более сложные способы установления зависимости расходов от определяющих их факторов. Нарушение однозначной связи $Q = f(H)$ происходит при появлении ледовых образований и развитии растительности (что обусловлено уменьшением поперечного сечения и увеличением шероховатости), а также при прохождении паводочных волн. в таких ситуациях для вычисления ежедневных расходов по кривой расходов используется хронологический график переходных коэффициентов $K_{зим} < 1$ и $K_{зар} < 1$.

1) речной поток — это саморегулирующийся природный объект, в котором глубина и скорость течения формируются в соответствии с внешними определяющими факторами — расходом воды, шириной, уклоном и шероховатостью русла;

2) между глубиной (и уровнем воды) и расходом воды в речном потоке складывается определенная нелинейная связь — «кривая расходов воды» $Q = f(H)$, используемая для расчета ежедневных расходов воды по уровням;

3) увеличение шероховатости русла (при неизменном расходе воды), например, в результате образования на реке ледяного покрова или зарастания дна и берегов водной растительностью, приводит к увеличению глубины и повышению уровня воды. Поэтому зимой на реках, покрытых льдом, уровень воды обычно выше, чем летом при тех же расходах воды. в период бурного развития растительности в руслах уровень воды также стоит выше, чем в другое время года при тех же расходах воды.

1.10. Поперечное равновесие потока. Центробежная сила и отклоняющая сила вращения Земли Поперечная циркуляция и поперечный уклон.

Движение воды происходит не только вдоль берегов под влиянием силы тяжести. внутри потока наблюдаются также поперечные течения в различных направлениях от оси общего движения.

Быстрое фарватерное течение втягивает в себя воду со стороны берегов в результате этого в зоне фарватера (зоне наибольших глубин) создается некоторое повышение уровня воды, вызывающее возникновение циркуляционных течений. они образуют два замкнутых контура, сходящихся у поверхности и расходящихся у дна; при этом поверхностное течение, направленное к стрежню, называется *сбойным* вследствие поступательного движения эти циркуляционные токи вдоль по реке проявляются в форме винтообразных течений. На закруглении фарватер приближается к вогнутому берегу тем ближе, чем круче поворот вогнутого берега. Происходит односторонний приток воды к фарватеру, а два циркуляционных кольца преобразуются в одностороннюю циркуляцию. Такое распределение скоростей

течения способствует размыву вогнутых и накоплению наносов у выпуклых берегов, что вносит свой вклад в развитие русловых процессов.

Наиболее полно природа циркуляционных токов может быть раскрыта в связи с воздействием на речной поток центробежной силы и отклоняющей силы вращения Земли.

Центробежная сила приводит к отклонению течения в поверхностных слоях в сторону вогнутого берега, что создает поперечный перекося уровня воды. в результате у вогнутого берега в придонных слоях возникает течение, направленное в сторону выпуклого берега. складываясь с основным продольным переносом воды в реке, разнонаправленные течения на поверхности и у дна создают спиралевидное движение воды на изгибе речного русла — *поперечную циркуляцию*

Частица воды, движущаяся на закруглении, испытывает действие центробежной силы P_1 :

$$P_1 = mv^2/r.$$

где v — скорость течения, м/с; m — масса, г; r — радиус изгиба русла, м.

1.11. Виды потоков по состоянию водной поверхности. Определение состояния потока. Число Фруда. Гидравлический прыжок. Движение грунтовых вод.

По состоянию водной поверхности потоки делят на *спокойные* и *бурные*. Спокойные потоки имеют плавную форму водной поверхности, препятствия обтекаются плавно. Бурные потоки имеют неровную форму водной поверхности со стоячими волнами, в местах препятствий образуются резкие перепады уровня.

Для определения состояния потока используют безразмерное *число Фруда* (Fr)

$$Fr = \frac{v_{cp}^2}{gh_{cp}},$$

где v — средняя скорость течения, м/с; g — ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$; h_{cp} — средняя глубина потока, м.

При $Fr = 1$ поток находится в критическом состоянии, при $Fr > 1$ поток бурный, при $Fr < 1$ поток спокойный. Бурные потоки характерны для горных рек, спокойные — для равнинных. Нельзя отождествлять бурные и турбулентные, спокойные и ламинарные потоки, так как характеристики этих движений качественно различны. спокойные потоки могут быть как ламинарными, так и турбулентными, бурные — почти всегда турбулентные.

1.12. Определение и классификация водосливов. Формулы для определения расходов воды с помощью водосливов.

Водослив представляет собой преграду на пути движения потока в виде вертикальной стенки или порога, через которые переливается вода. водосливы применяются в гидротехнических сооружениях в качестве водосливных плотин,

шлюзов-регуляторов, а в гидрометрии — для измерения расхода воды.

В гидрометрии для измерения расхода воды в реках, ручьях и каналах применяются водосливы с тонкой стенкой, широким порогом и практического профиля. из них наиболее часто применяется водослив с тонкой стенкой.

По форме выреза отверстия водосливы подразделяются на треугольные, прямоугольные, трапецеидальные и др. По условиям бокового сужения потока они делятся на водосливы с боковым сужением (ширина водослива меньше ширины русла) и водосливы без бокового сужения (ширина водослива равна ширине русла). По гидравлическому режиму работы водосливы могут быть незатопленными и затопленными. если отметка уровня воды нижнего бьефа ниже отметки уровня верхнего бьефа, режим называется незатопленным, и наоборот.

Для измерения расхода воды обычно применяются незатопленные водосливы. Основной формулой при определении расходов воды для всех видов водосливов является следующая:

$$Q = \mu_b b \sqrt{2g} \cdot H^{3/2},$$

где Q — расход воды, м³/с; μ_b — коэффициент расхода водослива; b — ширина водослива, м; g — ускорение свободного падения, равное 9,81, м/с²; H — напор на гребне водослива, м.

Водосливы с тонкой стенкой выполняются с треугольным (для замера малых расходов) или прямоугольным (для замера больших расходов) вырезом. При расходах воды $Q < 200$ л/с (малых) чаще всего применяется водослив с треугольным вырезом при величине угла выреза $\alpha = 90^\circ$.

При таком угле ширина $b = 2H$, а коэффициент расхода является постоянной величиной ($\mu_b = 0,316$). При этом указанная выше формула приводится к частному виду

$$Q = 1,4 H^{2,5}.$$

Таким водосливом удобно пользоваться для измерений расхода в гидравлическом лотке, в особенности если по этой формуле построить график $Q = f(H)$.

Водосливы с прямоугольным вырезом в тонкой стенке применяются при значительных расходах ($Q > 200$ л/с). Коэффициент расхода μ_b для незатопленного водослива с прямоугольным вырезом при отсутствии бокового сужения колеблется от 0,41 до 0,50.

Водосливы с широким порогом (при $5 > 2H$) в основном применяются в качестве водосливных плотин с низким напором.

В практике гидротехнического строительства широкое применение находят *водосливы практического профиля*, сливная поверхность которых выполняется в виде плавно изменяющейся формы. При этом учитываются не только условия протекания, но и прочности и устойчивости при воздействии водных потоков, когда величина напора значительна. Это достигается в результате увеличения толщины и изменения формы поперечного сечения. коэффициент расхода для таких водосливов изменяется в широких пределах — от 0,3 до 0,6.

При возведении плотин и других подпорных сооружений на водотоках

возникает необходимость произвести сопряжение отдельных участков потоков, находящихся на разных уровнях, или соединить участки водотоков, имеющих уклоны меньше критических, с участками, уклоны которых значительно превышают критические, т. е. $i > i_K$.

Участок водотока перед подпорным сооружением, например, плотиной, водопропускной трубой, с верховой его стороны называется верхним бьефом, а за сооружением с низовой стороны — нижним бьефом.

Падая с большой высоты, поток в нижнем бьефе водосливной плотины или в конце быстротока приобретает большую скорость, а его живое сечение с увеличением скорости уменьшается и у дна нижнего бьефа становится минимальным. Поток в бурном состоянии обладает большой кинетической энергией, а следовательно, и большой размывающей способностью. Такой поток, взаимодействуя с руслом, может вызвать значительные его деформации и привести к подмыву самого сооружения.

1.13. Инженерная гидрология. Водное хозяйство Республики Беларусь и его отрасли

Инженерная гидрология — совокупность областей гидрологии суши, связанных с практическим применением результатов гидрологических исследований при решении инженерных водохозяйственных задач.

Водное хозяйство — отрасль народного хозяйства, в задачи которой входят учет, изучение и комплексное использование поверхностных и подземных вод, включая охрану вод и борьбу с ущербом, причиняемым народному хозяйству наводнениями, а также вопросы водного права.

Ресурсы поверхностных вод Беларуси в средний по водности год составляют 57,9 км³/год, из них ресурсы местного стока — 34,0 км³/год, транзитного стока, поступающего с территорий сопредельных государств, — 23,9 км³/год. По последним официальным данным годовой объем водопотребления всеми отраслями народного хозяйства в среднем составляет около 1,6 млн м³ свежей воды, в том числе 0,7 млн м³ — из поверхностных источников и 0,9 млн м³ — из подземных. Годовой объем водоотведения превышает 1,0 млн м³ сточных вод. Таким образом, безвозвратное водопотребление составляет 0,6 млн м³ в год.

водное хозяйство республики Беларусь охватывает следующие основные направления, или отрасли:

- проектирование объектов водохозяйственного и гидротехнического строительства;
- водоснабжение и очистка сточных вод: обеспечение населенных мест, промышленных и транспортных предприятий водой надлежащего качества и в необходимом количестве, а также очистка и отвод сточных и отработанных вод;
- гидроэнергетика — строительство сооружений, в которых энергия падающей воды преобразуется в механическую, а затем в электрическую;
- гидромелиорация — использование воды для орошения земель, отвод избыточных поверхностных и подземных вод с территории (осушение), мероприятия по борьбе с подтоплением земель, эрозией почв и т. п.;

- рыбное хозяйство — освоение водохранилищ, строительство и реконструкция прудов и водоемов специального назначения, пропуск рыбы через гидроузлы при помощи рыбопропускных сооружений;
- водный транспорт — использование рек, озер, водохранилищ для судоходства и лесосплава;
- рекреация — строительство вдоль рек и водоемов объектов для отдыха и туризма;
- охрана водных ресурсов от загрязнения отходами промышленности и сельского хозяйства, нерационального использования и др.;
- составление бассейновых схем комплексного использования и охраны водных ресурсов (скиовр).

1.14. Комплексные инженерно-гидрологические изыскания. Составление схем комплексного использования и охраны водных ресурсов. Основные гидрологические характеристики.

Схемы комплексного использования и охраны вод, или СКИОВР, — систематизированные материалы исследований и проектных разработок о состоянии, перспективном использовании и охране поверхностных и подземных вод, разрабатываются в целях определения водохозяйственных и иных мероприятий для удовлетворения перспективных потребностей населения и хозяйственной деятельности в водных ресурсах, обеспечения рационального использования и охраны вод, а также для предотвращения и ликвидации вредного воздействия вод.

Основной задачей инженерной гидрологии является расчет параметров гидрологического режима с оценкой вероятности их появления для проектирования гидротехнических и других сооружений, связанных с водными объектами (мосты, трубопроводы, ЛЭП и др.).

Систематические наблюдения за гидрологическим режимом в Беларуси проводятся с 1870-х гг. и по состоянию на 1 января 2017 г. на 109 постах, из них 99 постов – на водотоках и 10 – на водоемах.

Кроме того, насчитывается еще около 150 постов (закрытых по разным причинам), на которых в свое время проводились регулярные наблюдения. Эти весьма ценные данные должны включаться в обработку при гидрологических обобщениях и максимально использоваться при проведении инженерно-гидрологических изысканий.

Определение расчетных гидрологических характеристик основывается на данных гидрометеорологических наблюдений, опубликованных в специальных документах (гидрологические ежегодники, справочники, монографии).

Технический кодекс устанавливает порядок определения расчетных гидрологических характеристик при проектировании: речных гидротехнических сооружений, железных и автомобильных дорог, сооружений мелиоративных систем, систем водоснабжения, планировки и застройки населенных пунктов, генеральных планов промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также порядок разработки природоохранных, противопаводковых мероприятий и схем комплексного использования и охраны водных ресурсов (или планов

управления речными бассейнами) на территории республики Беларусь.

согласно техническому кодексу «расчетные гидрологические характеристики» к основным гидрологическим характеристикам относятся:

- расход воды Q , м³/с;
- объем стока воды W , м³;
- модуль стока воды q , л/(с • км²);
- слой стока воды h , мм;
- уровень воды H , см.

1.15. Гидрологические расчеты в зависимости от наличия исходной информации.

При определении расчетных гидрологических характеристик в зависимости от наличия гидрологической информации необходимо применять следующие *методы расчетов*:

- при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности — непосредственно по этим данным;
- при недостаточности данных гидрометрических наблюдений — приведением их к многолетнему периоду с использованием данных рек-аналогов с более длинными рядами наблюдений;
- при отсутствии данных гидрометрических наблюдений — по формулам с применением данных рек-аналогов или интерполяцией по картам стока, основанным на совокупности данных наблюдений всей сети гидрометрических станций и постов конкретного гидрологического района.

При отсутствии данных гидрометрических наблюдений применяются методы расчетов статистических параметров стока, основанные на обобщении результатов наблюдений на изученных реках с использованием методов географической интерполяции, гидрологической аналогии, а также аналитических методов (с использованием расчетных формул).

Метод географической интерполяции основан на использовании специальных- гидрологических карт. Основной картой для определения среднего многолетнего годового расхода стока является карта среднего многолетнего модуля годового стока, q , л/(с • км²). Модуль стока представляет собой величину стока с единицы площади. Распределение этой величины по территории подчиняется закону географической зональности.

Средний многолетний годовой расход воды в расчетном створе при использовании карты определяется как

$$\bar{Q} = \bar{q}F \cdot 10^{-3}$$

где Q — средний многолетний годовой расход воды, м³/с; q — средний-многолетний годовой модуль стока, л/(с • км²); F — площадь водосбора, км².

Средний многолетний модуль стока по карте определяется для центра тяжести расчетного водосбора путем линейной интерполяции между изолиниями стока. В случае пересечения водосбора несколькими изолиниями-вычисляется средневзвешенное значение модуля стока. Средний многолетний

модуль стока также определяется интерполяцией между соседними (двумя, тремя или более) опорными реками-аналогами.

1.16. Понятие кривой обеспеченности, ее статистические параметры.

При наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности определение расчетных гидрологических характеристик стока (годового, максимального, минимального и др.) осуществляется путем применения *кривых распределения вероятностей превышения* — кривых обеспеченности.

Кривая обеспеченности — графическое или аналитическое выражение функции, характеризующей вероятность появления того или иного значения рассматриваемого ряда случайной величины.

Гидрологические расчеты следует проводить по *однородным рядам наблюдений*. Нарушение однородности рядов стока может происходить в результате изменения естественных факторов формирования гидрологического режима (переброска стока, строительство гидроузлов, водохранилищ и т. д.).

Оценка репрезентативности (представительности, или достаточной продолжительности) гидрологического ряда за рассматриваемый период осуществляется непосредственно при расчетах.

При гидрологических расчетах вначале выполняется построение *кривой обеспеченности* на *клетчатке вероятностей*. *обеспеченность* (вероятность превышения) величины годового стока (или любой другой гидрологической характеристики) — это вероятность того, что рассматриваемое значение может быть превышено в совокупности всех ее возможных значений за рассматриваемый период.

Для построения эмпирической кривой обеспеченности вычисляются ее статистические параметры. Члены исходного хронологического ряда наблюдений располагаются в порядке убывания. При этом эмпирическая вероятность определяется по формуле

$$P_m = \frac{m}{n+1} 100,$$

где P_m — эмпирическая ежегодная вероятность превышения годового стока, %; m — порядковый номер членов ряда годового стока, расположенных в убывающем порядке; n — количество членов ряда.

Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых обеспеченности в условиях Беларуси, как правило, применяется аналитическая кривая трехпараметрического гамма-распределения Крицкого — Менкеля. При надлежащем обосновании применяются и другие функции распределения вероятностей — биномиальная (кривая Пирсона III типа) и др.

Статистическими параметрами теоретической кривой обеспеченности (аналитической кривой распределения) являются:

- среднее многолетнее значение годового стока Q ; в расчетных формулах, приведенных ниже, величины годового стока выражены в виде расходов воды ($\text{м}^3/\text{с}$);

- коэффициент вариации, или изменчивости, C_v ;

- коэффициент асимметрии C_s .

Коэффициенты вариации и асимметрии теоретической кривой обеспеченности устанавливаются одним из следующих методов: методом моментов, методом наибольшего правдоподобия, графоаналитическим или графическим методом. В условиях Беларуси при значениях $C_v < 0,6$ наиболее часто используется *метод моментов*. он рекомендуется также как метод, наиболее наглядный для учебного процесса. Кривые обеспеченности основных гидрологических характеристик в условиях Беларуси имеют *положительную асимметрию*. из-за больших ошибок величин C_s . Перечень числовых значений *расчетных обеспеченностей*, для которых необходимо рассчитать величину среднего годового расхода воды (или любой другой гидрологической характеристики), назначается согласно утвержденным нормативным документам для каждого вида строительства.

Повторяемостью гидрологической величины (например, среднего годового стока и др.), которая приведена на верхней шкале клетчатки вероятностей, называется число лет N , в течение которых данная величина случается в среднем один раз. При обеспеченности $P < 50\%$ число лет $N = 100 / P$, при $P > 50\%$ число лет $N = 100 / (100 - P)$. Асимметричная кривая обеспеченности имеет характерные точки: a — центр распределения — точка, соответствующая средней арифметической величине гидрологического ряда; b — медиана — значение переменной, ордината которой соответствует обеспеченности $P = 50\%$. На симметричных кривых обеспеченности (при $C_s = 0$) эти характерные точки совпадают, а кривая обеспеченности приобретает вид прямой линии.

В условиях Беларуси длина репрезентативного ряда (для годового стока), как правило, должна составлять не менее 18-20 лет (репрезентативность каждого конкретного ряда определяется расчетами). гидрологические ряды постов, открытых за последние 20-30 лет, становятся репрезентативными, а гидрологические ряды закрытых постов следует проверять на репрезентативность и при необходимости использовать при инженерно-гидрологических расчетах.

1.17. Общие сведения о гидротехнических сооружениях (ГТС) и их классификация.

Согласно Водному- кодексу Республики Беларусь *гидротехнические сооружения (ГТС)* – инженерные сооружения и устройства, предназначенные для добычи (изъятия), транспортировки, обработки вод, сброса сточных вод, регулирования водных потоков, нужд судоходства, охраны вод и предотвращения вредного воздействия вод (водозаборные сооружения, каналы, плотины, дамбы, шлюзы, гидроузлы, насосные станции, водоводы,

коллекторы и иные подобные инженерные сооружения и устройства).

Наука, изучающая гидротехнические сооружения, устанавливающая методы их проектирования и разрабатывающая приемы их постройки и эксплуатации, называется *гидротехникой*. Гидротехника изучает влияние водных потоков на ГТС и русла, разрабатывает теорию устойчивости ГТС, методы регулирования речного стока. Различают ГТС общие (используются в разных отраслях водного хозяйства) и специальные (в одной отрасли).

Общие ГТС:

- водоподпорные (плотины, дамбы);
- водопроводящие (каналы, трубопроводы и т. п.);
- регулиационные (дамбы, берегоукрепительные сооружения и т. п.).

Специальные ГТС:

- для выработки электроэнергии (здания ГЭС, турбины и т. п.);
- для водного транспорта (судоходные шлюзы, причалы, пирсы, доки и т. п.);
- рыбохозяйственные (рыбоводные пруды, рыбопропускные сооружения);
- для водоснабжения и канализации (водозаборы, насосные станции, водонапорные башни, очистные сооружения);
- гидромелиоративные (шлюзы-регуляторы, трубы-регуляторы и др.).

При перекрытии реки проводятся необходимые гидрологические работы (наблюдения за уровнями и расходами воды в заранее намеченных и оборудованных гидростворах). На начальной стадии на берегу прорывается обводной канал, чтобы отвести воду в реку для строительства земляной плотины. Далее отсыпается временные ограждающие поперечные земляные перемычки, предотвращающие поступление воды из реки в котлован со стороны нижнего и верхнего бьефов. После замыкания котлована перемычками производится откачка воды из него и далее весь комплекс работ по строительству земляной плотины, возведению всех сооружений гидроузла и установке технологического оборудования. По завершении работ проводится рекультивация и благоустройство территории.

1.18. Стадии и методы проектирования и нормы строительства ГТС в Республике Беларусь.

ГТС сооружаются на реках, каналах, озерах, водохранилищах и прудах, их подразделяют на *классы капитальности*. Класс сооружения зависит от народохозяйственного значения объекта и размера ущерба народному хозяйству в случае аварии или нарушения правил эксплуатации сооружений. Постоянные ГТС имеют *четыре класса* капитальности.

От класса сооружения зависят принимаемые (назначаемые) расчетные обеспеченности гидрологических характеристик (годового стока, максимальных и минимальных расходов и уровней воды и др.). Чем выше класс капитальности сооружения, тем более экстремальные расчетные обеспеченности гидрологических характеристик назначаются при проектировании- (эти характеристики необходимо рассчитать гидрологам).

Комплекс ГТС, объединенных общей народохозяйственной целью

территориально расположенных в одном месте, называют *гидроузлом*.

Строительство и использование ГТС состоит из 4 этапов:

1. Изыскания (изучение геологического строения, рельефа, климата и гидрологического режима, хозяйственной деятельности в районе строительства).

2. Проектирование (определение на основании данных изысканий и водохозяйственных задач основных конструкций и параметров ГТС, выбор методов строительства).

3. Организация и проведение строительных работ в соответствии с проектом сооружений.

4. Эксплуатация (руководство использованием, надзор за состоянием, текущий и капитальный ремонт).

Проектирование и строительство ГТС осуществляются согласно техническому кодексу проектирования.

Метод теоретических исследований является основным. Он устанавливает зависимости и закономерности, которые позволяют рассчитывать ГТС, т. е. определять их форму и размеры, не прибегая к эксперименту, созданию моделей и т. п.

Экспериментальный лабораторный метод, при котором на основании лабораторного моделирования сооружений и конструкций проверяются те или иные положения теории, что позволяет находить правильные проектные решения.

Экспериментальный натурный метод, при котором опыты и наблюдения проводятся на строящихся, построенных и эксплуатируемых ГТС или на специальных опытных сооружениях, выполненных в натуральную величину.

Метод вариантного проектирования заключается в рассмотрении ряда вариантных решений задачи и их технико-экономическом сопоставлении, что позволяет найти наиболее целесообразное в техническом и экономическом отношении решение.

Статистический метод применяется для обобщения данных о многократно использовавшихся типах конструкций и получения статистических зависимостей, которые могут быть использованы в дальнейшем. Используя этот метод, необходимо учитывать тенденции дальнейшего развития теории и практики в данной области.

Метод аналогии и повторения решений – наиболее примитивный, но при правильном применении надежный. Он заключается в использовании решений или конструкций, уже применявшихся на практике в сходных условиях. С помощью метода аналогий разрабатываются типовые решения.

Управление водными ресурсами и их использование в тех или иных целях осуществляется посредством ГТС и гидроузлов, эффективность и надежность работы которых зависят во многом от качества разработки проектов и в первую очередь инженерно-гидрологических исследований и надежности расчетов.

1.19. Классификация экспедиционных гидрологических исследований. Состав и этапы работ.

Целью экспедиционных инженерно-гидрологических исследований является получение данных для всесторонней характеристики водного объекта в виде вероятностных характеристик гидрологического режима (уровень, расход воды и др.) в створе проектирования ГТС (гидротехнических сооружений).

Комплексные исследования и изыскания проводятся с учетом потребностей всех заинтересованных в использовании водного объекта отраслей народного хозяйства.

Изыскания некомплексного характера проводятся для какой-либо одной отрасли, например:

- гидротехнического строительства;
- водоснабжения населенных пунктов, промышленных предприятий;
- водных мелиораций;
- водного транспорта;
- рыбного хозяйства;
- защиты от вредного воздействия вод;
- железных и шоссейных дорог;
- трубопроводов (водных, газо- и нефтепроводов);
- переходов через реки линий электропередачи и др.

в последнее время изыскания проводятся, как правило, комплексно.

По характеру водного объекта различают гидрологические исследования на реках, каналах, озерах, водохранилищах (прудах), болотах, мелиоративных системах.

Различают также гидрологические исследования до постройки ГТС (гидроузла), в процессе его строительства и после — в период эксплуатации.

Основанием для производства изысканий служит ряд документов, главными из которых являются: 1) техническое задание, 2) программа исследований, 3) план работ, 4) смета. Формы и порядок составления технической, плановой, финансовой и материальной документаций, а также отчетности регламентируются ведомственными положениями.

Структура гидрологических экспедиций зависит от поставленных задач, программы, размещения объектов исследований и объема работ. Полевые гидрологические исследования могут производиться партиями во главе с ее начальником (инженером). Партия состоит из технического и рабочего персонала.

В зависимости от состава и объема работ партия может иметь отдельные отряды, которым поручается выполнение определенных видов работ (съемка участка местности, нивелировка, измерение расходов воды, гидрографическое обследование рек, озер и искусственных водоемов, агрогидрологические исследования и т. д.). Все исследования и изыскания на водных объектах проводятся в определенной последовательности. различают три этапа: 1) подготовительные работы; 2) полевые работы; 3) окончательные камеральные работы.

1.20. Обработка и обобщение результатов инженерно-гидрологических расчетов и экспедиционных исследований.

Все исследования и изыскания на водных объектах проводятся в определенной последовательности. различают три этапа: 1) подготовительные работы; 2) полевые работы; 3) окончательные камеральные работы.

Подготовительные работы включают в себя организационные и предварительные камеральные работы. в организационные работы входят: определение объема исследований и изысканий, составление программы и календарного плана, сметы. Предварительные камеральные работы заключаются в сборе, систематизации, изучении и анализе уже имеющихся материалов по гидрологической изученности объекта исследований (гидрологические ежегодники, материалы гидрометеофонда, топокарты, литературные источники, отчеты прошлых лет). Это позволяет более обоснованно составить программу экспедиционных гидрологических работ, определяемых поставленной задачей и наличием исходных данных, и максимально сократить объем этих работ.

Полевые работы выполняются непосредственно на местности (водном объекте). состав и объем их различны для каждого объекта.

Камеральные работы являются завершающим этапом изысканий и исследований. они включают в себя обработку всех материалов, их оформление, составление отчета.

каждой стадии проектирования ГТС соответствует определенная стадия гидрологических изысканий, призванная обеспечить проектировщиков всеми необходимыми материалами.

для разработки сложных и ответственных гидроузлов самым начальным шагом является составление технико-экономического обоснования (ТЭО). При использовании всего бассейна реки этот вид разработки называется составлением СКИОВР. ее основная задача — определение использования водных ресурсов с учетом перспективы развития прилегающего экономического района. При этом проводится выбор и обоснование первоочередных объектов гидротехнического строительства.

В задачи составления ТЭО входит изучение имеющихся материалов по бассейну реки для всестороннего освещения природных и экономических условий, а также рекогносцировочные обследования на местности для получения необходимых сведений, которые не могли быть почерпнуты из литературных и архивных источников. на основании ТЭО производится проектирование ГТС.

Осуществление изысканий и проектирования должно вестись при строгом соблюдении Водного кодекса Республики Беларусь. изыскания должны обеспечить возможность прогнозировать изменения гидрологических условий в результате работы ГТС и осуществлять необходимые водоохранные мероприятия.

В результате гидрологических исследований и изысканий должны быть получены следующие материалы:

- данные для выбора створа гидроузла (перехода);

- данные для определения отметок НПУ (при проектировании гидроузла), бровок мостов, дамб и т. д.;
- гидрологические данные о расходах воды для определения расчетных расходов турбин и расчета водосбросных сооружений;
- другие сведения о гидрологическом режиме, состав которых определяется спецификой проектируемого ГТС.

1.21. Нормативные документы, регламентирующие проведение инженерно-гидрологических исследований и расчетов при водохозяйственном проектировании и строительстве в Республике Беларусь.

К числу основных документов ГВК, используемых при инженерно-гидрологических исследованиях и расчетах, в Беларуси относятся следующие издания:

- а) справочники по ресурсам поверхностных вод;
- б) гидрологические ежегодники, издававшиеся по 1979 г.;
- в) ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, начиная с 1980 г.

Проведение инженерно-гидрологических расчетов и исследований должно основываться на данных систематических многолетних наблюдений, в том числе данных последних лет, опубликованных в специальных документах Белгидромета. Помимо этих материалов должны использоваться данные инженерно-гидрологических изысканий других ведомств и результаты специальных наблюдений- и исследований. При отсутствии наблюдений для объекта проектирования необходимо проводить инженерно-гидрологические изыскания в соответствии с П1 к СНБ 1.02.01, а также с действующими нормативными документами.

Основными нормативными документами, регламентирующие проведение инженерно-гидрологических исследований и расчетов при водохозяйственном проектировании и строительстве в Республике Беларусь являются:

- Технический кодекс установившейся практики проектирования в республике: Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования. ТКП 45-3.04-169-2009 (02250);
- Строительные нормы СН 3.04.01-2020 «Гидротехнические сооружения общего назначения». Гидротехнические сооружения.
- Водный кодекс Республики Беларусь: 30 апр. 2014 г., № 149-3.
- Кодекс Республики Беларусь о земле : 23 июля 2008 г., № 425-3 : Республики Беларусь
- Пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик.
- Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения, ТКП; 45-3.04-168-2009 (02250).

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1. Тематика практических занятий

1. Определение гидростатического давления в открытом водоеме
2. Определение силы суммарного гидростатического давления на стенку
3. Определение величины суммарного гидростатического давления и положение центра давления.
4. Определение аналитической величины суммарного гидростатического давления воды на затвор и нахождение графического положения центра давления.
5. Определение средней скорости течения и расхода воды.
6. Статистическая обработка расходов. Построение кривых обеспеченности.
7. Определение дебита совершенного колодца
8. Определение повышения давления при прямом гидравлическом ударе.
9. Определение расхода воды при постоянном напоре.
10. Определение поперечного уклона водной поверхности и разности уровней между берегами.
11. Определение числа Рейнольдса, числа Фруда и характера потока.
12. Определение критической глубины, критического уклона и критической скорости течения
13. Определение массового расхода и объемного расхода
14. Определение расхода воды ручья по тонкостенному треугольному водосливу
15. Расчет годового расхода воды заданной обеспеченности при отсутствии данных наблюдений.
16. Общие сведения о крупнейших гидроузлах Республики Беларусь
17. Строительные нормы проектирования ГТС в Республике Беларусь
18. Нормативные документы, регламентирующие проведение инженерно-гидрологических исследований и расчетов при водохозяйственном проектировании и строительстве в Республике Беларусь.

2.2. Примерные варианты заданий практических работ

ТЕМА 1. ОПРЕДЕЛИТЬ ВЕЛИЧИНУ СУММАРНОГО ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ И ПОЛОЖЕНИЕ ЦЕНТРА ДАВЛЕНИЯ.

Исходные материалы:

| | |
|---------------------|------------------------|
| высота крышки | $a = 2,9 \text{ м};$ |
| ширина крышки | $b = 1,3 \text{ м};$ |
| угол наклона крышки | $\alpha = 75^\circ;$ |
| высота | $h_1 = 1,4 \text{ м};$ |
| высота | $h_2 = 0,7 \text{ м}.$ |

Требуется:

I) Определить величину суммарного гидростатического давления и положение центра давления для плоской крышки АВ.

II) Построить эпюру давления.

Ход выполнения работы:

(I)

1. Рассчитывается высота вертикальной проекции крышки:

$$h_k = a \cdot \sin \alpha = 2,9 \cdot \sin 75^\circ$$

2. Определяется глубина погружения центра тяжести крышки:

$$h_0 = h_1 + h_2 + \frac{h_k}{2} = 1,4 + 0,7 + \frac{2,78}{2} = 3,5 \text{ м}$$

3. Находится площадь крышки:

$$F = a \cdot b = 2,9 \cdot 1,3 = 3,8 \text{ м}^2$$

4. Рассчитывается величина суммарного гидростатического давления на крышку:

$$P = \gamma \cdot h_0 \cdot F = 9,81 \cdot 3,49 \cdot 3,8 = 130,1 \text{ кПа}$$

5. Определяется глубина погружения центра давления:

$$h_l = h_0 + \frac{h_k^2}{12 \cdot h_0} = 3,49 + \frac{2,78^2}{12 \cdot 3,49} = 3,49 + \frac{7,7284}{41,88} = 3,49 + 0,18 = 3,67 \text{ м}$$

(II)

Строится эпюра гидростатического давления на крышку и находится центр давления графическим способом в соответствующем масштабе, как показано на рисунке 1:

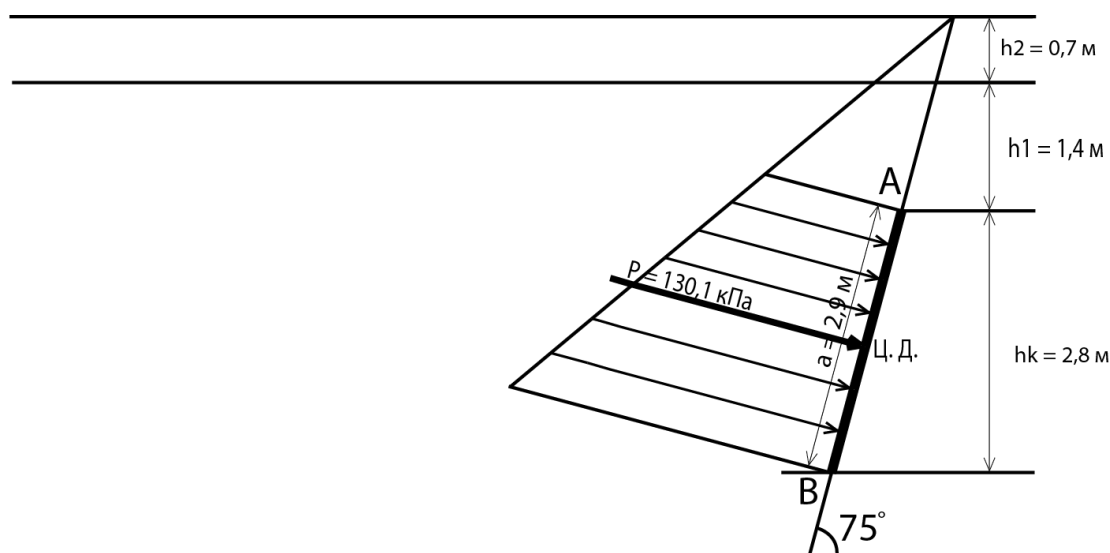


Рисунок 1 – Эпюра гидростатического давления на крышку

ТЕМА 2. ОПРЕДЕЛИТЬ РАСХОД ВОДЫ ЧЕРЕЗ КРУГЛОЕ ОТВЕРСТИЕ В ТОНКОЙ СТЕНКЕ И ЧЕРЕЗ ВНЕШНЮЮ ЦИЛИНДРИЧЕСКУЮ НАСАДКУ ПРИ ПОСТОЯННОМ НАПОРЕ.

Исходные материалы:

Диаметр отверстия и насадки $d = 4$ см, $H = 80$ см.

Требуется:

Определить расход воды через круглое отверстие в тонкой стенке и через внешнюю цилиндрическую насадку при постоянном напоре.

Ход выполнения работы:

Расход через отверстие в тонкой стенке рассчитывается по формуле:

$$Q = \mu * S * \sqrt{2 * g * H}$$

Где μ – коэффициент расхода через отверстие тонкой стенки ($\mu = 0,62$), S – площадь, которая равняется:

$$S = \pi * r^2 = 3,14 * 2^2 = 12,56 \text{ см}^2;$$

Подставив значения получаем расходы воды через отверстие в тонкой стенке:

$$Q = 0,62 * 1,256 * 10^{-3} * \sqrt{2 * 9,81 * 0,8} = 2,67 * 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 2,67 \text{ л/с},$$

или $2,67 * 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$

Расход через внешнюю цилиндрическую насадку рассчитывается по формуле:

$$Q = \mu * S * \sqrt{2 * g * H}$$

Где μ – коэффициент расхода через внешнюю цилиндрическую насадку ($\mu = 0,82$),

Подставив значения получаем расходы воды через внешнюю цилиндрическую насадку:

$$Q = 0,82 * 1,256 * 10^{-3} * \sqrt{2 * 9,81 * 0,8} = 3,53 * 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 3,53 \text{ л/с},$$

или $3,53 * 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$

2.3 Методические рекомендации к выполнению УСР

УСР по Гидравлике и инженерной гидрологии проводятся вне учебных аудиторий. Выполнение заданий осуществляется в соответствии с вариантами задания и направлено на изучение общих сведений о крупнейших гидроузлах Беларуси. Результат работы представляется в виде текстовой, графической и табличной информации согласно предложенного плана выполнения задания.

ТЕМА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КРУПНЕЙШИХ ГИДРОУЗЛАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Исходные материалы: Перечень крупнейших гидроузлов Беларуси, что отражено в таблице 1.

Таблица 1 – Крупнейшие гидроузлы Беларуси:

| | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Вилейско-Минская водная система | 7. Полоцкая ГЭС |
| 2. Днепро-Бугский гидроузел | 8. Заславский гидроузел |
| 3. Осиповичский гидроузел | 9. Краснослободский гидроузел |
| 4. Чигиринский гидроузел | 10. Солигорская ГЭС |
| 5. Витебская ГЭС | 11. Вилейский гидроузел |
| 6. Гродненская ГЭС | 12. Августовский канал |

Требуется:

Используя литературные источники и нормативные документы дать характеристику одного из крупнейших гидроузлов Беларуси по предложенному плану:

1. Название гидроузла.
2. Цель создания, местоположение, основное назначение.
2. Год начала строительства, ввода в эксплуатацию.
4. История и предпосылки создания.
5. Краткая характеристика режима водного объекта (или объектов) на котором создан и функционирует гидроузел.
6. Основные гидротехнические сооружения и элементы гидроузла, их тип и параметры (плотины, шлюзы, дамбы и т. д.).
7. Основные характеристики гидроузла (проектная мощность, количество вырабатываемой электроэнергии, расчетный напор, водопропускная способность, водоподводящие системы и т.д.).
8. Основные экологически и производственные проблемы, связанные с вводом в эксплуатацию и функционированием гидроузла.
9. Указать литературные и нормативные документы используемые при выполнении работы.

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Примерный перечень вопросов к экзамену

По учебной дисциплине «Гидравлика и инженерная гидрология» для студентов 4 курса дневного отделения факультета географии и геоинформатики, специальности 1-31 02 02 «Гидрометеорология»:

1. Предмет и задачи курса «Гидравлика и инженерная гидрология».
2. Краткие сведения из истории развития гидравлики и инженерной гидрологии.
3. Методы исследований в гидравлике и инженерной гидрологии.
4. Физические свойства жидкости, изучаемые в гидравлике. Идеальная жидкость.
5. Гидростатическое давление (суммарное, среднее) и его свойства.
6. Суммарное гидростатическое давление на плоские поверхности. Центр давления.
7. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля.
8. Пьезометрическая высота. Пьезометры открытого и закрытого типов.
9. Вакуум и вакуумметрическое давление. Вакуумметры.
10. Уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости и потока реальной жидкости его геометрический и энергетический смысл.
11. Равновесие плавающих тел. Закон Архимеда.
12. Статическая остойчивость плавающего судна и ее условия.
13. Гидравлические параметры потока. Формулы и определения. Гидравлический, пьезометрический и геометрический уклон.
14. Виды движения воды. Уравнение неразрывности потока.
15. Кривые свободной поверхности потока, их формы.
16. Два режима движения воды: ламинарное и турбулентное. Число Рейнольдса.
17. Закон Ньютона о внутреннем трении в жидкости.
18. Силы, действующие на движение открытых потоков. Формула Шези.
19. Распределение скоростей течения в речном потоке. Турбулентные пульсации.
20. Кривая расходов воды. Закономерности трансформации паводков.
21. Поперечное равновесие потока. Центробежная сила. Сила Кориолиса.
22. Виды потоков по состоянию водной поверхности. Число Фруда. Гидравлический прыжок.
23. Определение потерь напора на трение по длине потока и на местных сопротивлениях.
24. Расчет гидравлически коротких труб. Построение линии пьезометрического напора.
25. Определение расхода жидкости через отверстия и насадки при постоянном напоре.
26. Гидравлический расчет простого водопровода. Построение линии падения напора.

27. Определение средней скорости движения и расхода жидкости при равномерном движении.
28. Гидравлический удар. Пути борьбы с гидравлическим ударом.
29. Гидравлический расчет каналов. Проверка канала на размыв и заиливание.
30. Неравномерное движение жидкости. Удельная энергия сечения потока жидкости. Критическое, спокойное и бурное состояние потока.
31. Скорость звука и число Маха при движении сжимаемой жидкости.
32. Движение грунтовых вод и расчет притока воды к скважинам и дренам.
33. Осушение местности и расчет осушительной сети.
34. Дорожные водопропускные трубы и особенности их расчета.
35. Определение и классификация водосливов.
36. Водослив как гидрометрическое устройство. Формулы для расчета расхода воды.
37. Сопряжение бьефов и сопрягающие сооружения.
38. Практическое значение инженерной гидрологии. Водное хозяйство и водные ресурсы Республики Беларусь.
39. Понятие, назначение и принципы гидрологических расчетов. Основные гидрологические характеристики (расход, объем, модуль, слой стока воды). Расчетные формулы.
40. Расчеты стока при наличии данных наблюдений. Понятие репрезентативности исходного гидрологического ряда.
41. Эмпирическая и теоретическая кривая распределения ежегодных вероятностей превышения гидрологической величины (кривая обеспеченности), их построение и расчет.
42. Расчеты стока при недостаточности данных наблюдений. Коэффициент корреляции. Уравнение регрессии.
43. Метод гидрологической аналогии, его сущность и применение в практике гидрологических расчетов.
44. Расчеты стока при отсутствии данных наблюдений. Основные принципы построения гидрологических карт, их использование при гидрологических расчетах.
45. Общие сведения о гидротехнических сооружениях (ГТС) и их классификация. Класс капитальности ГТС. Гидроузлы.
46. Классификация рек и каналов Беларуси.
47. Водоподпорные плотины. Проектные характеристики водохранилища.
48. Основные сооружения при земляной плотине (каналы, шлюзы, водозаборы и др.).
49. Схема перекрытия русла реки при строительстве гидроузла (на примере Беларуси).
50. Стадии проектирования и строительства гидротехнических сооружений. Методы проектирования.
51. Классификация водных исследований. Этапы и состав работ. Гидрологические работы в составе экспедиционных исследований.

52. Нормативные документы и Технические кодексы Республики Беларусь. Государственный водный кадастр.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1. Рекомендуемая литература

Основная

1. Макаревич А.А. Гидравлика и инженерная гидрология [Электронный ресурс] Учебно-методическое пособие. Минск, БГУ, 2017. 115 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by>. – Дата доступа: 14.03.2022.

2. Волчек А. А., Шведовский П. В., Волчек А. А., Шешко Н. Н. Гидравлика, гидрология, гидрометрия. ч. 1. – М: Директ-Медиа, 2020. 367 с.

3. Волчек А. А., Шведовский П. В., Волчек А. А., Шешко Н. Н. Гидравлика, гидрология, гидрометрия. Ч.2. – М: Директ-Медиа, 2020. 233 с.

4. Шаталов И.М., Щербакова М.К., Кондратович А.Н., Ключников В.А., Вишняков В.Н. Практическая гидрометрия. Мн. БНТУ, 2020. 104 с.

Дополнительная

5. Волчек А.А. Гидрологические и водохозяйственные расчеты: учебно-методическое пособие. — Горки: БГСХА, 2015. — 294 с.

6. Жарский М.А., Рудковская Г.Н. Гидравлика, гидрология и метеорология: пособие. — Горки: БГСХА, 2013. — 292 с.

7. Пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. Издание официальное /Министерство строительства и архитектуры Республики Беларусь. Минск, 2000. — 174 с.

8. Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования. ТКП 45-3.04-169-2009 (02250) /Министерство строительства и архитектуры Республики Беларусь. — Минск, 2010. — 47 с.

9. Спицын И.П., Соколова В.А. Общая и речная гидравлика. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 355 с.

10. Чугаев Р.Р. Гидравлика: Учебник для вузов /4-е изд. — Л.: Энергоиздат, 1982. — 672 с.

11. Караушев А.В. Речная гидравлика. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 416 с.

12. Волчек А.А., Курсаков В.К., Волчек Ан.А. Гидрометрическая практика: пособие. — Горки: БГСХА, 2011. — 242 с.

13. Нестеров М.В. Гидротехнические сооружения. — Минск: Новое знание, 2006. — 616 с.

14. Орлов В.Г., Сикан А.В. Основы инженерной гидрологии. — СПб.: РГГМУ, 2003. — 187 с.

15. Субботин А.С. Основы гидротехники. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 318 с.

16. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. ТКП 45-3.04-168-2009 (02250) /Министерство строительства и архитектуры Республики Беларусь. — Минск, 2010. — 55 с.

17. Лучшева А.А. Практическая гидрология. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 440 с.

18. Плужников В.Н., Макаревич А.А., Петлицкий Е.Е. Оценка и прогноз ресурсов поверхностных вод и их изменений под влиянием хозяйственной деятельности / Минприроды Республики Беларусь; Центр. НИИ комплексн. использования водн. ресурсов. — Минск, 1995. — 93 с.

19. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 5. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. Ч. I. Ресурсы поверхностных вод. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — 718 с.

20. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 5.. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. Ч. II. Основные гидрологические характеристики. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — 718 с.

21. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 5. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. Описание рек и озер. Ч. I и II. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 1108 с; 336 с.

22. Справочник по гидравлическим расчетам /Под ред. Г.П. Киселева /4-е изд. — М.: Энергия, 1972. — 312 с.

23. Шмидт А.В. Водно-технические изыскания /3-е изд. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 357 с.

24. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь /3-е изд. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 308 с.

4.2. Электронные ресурсы

1. Образовательный портал БГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dl.bsu.by>. – Дата доступа: 12.05.2022.

2. Электронная библиотека БГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.bsu.by>. – Дата доступа: 12.05.2022.

4.3. Учебно-методическая карта учебной дисциплины

| № п/п | Название раздела, темы | Количество аудиторных часов | | Кол-во часов ДО | Форма контроля знаний |
|-------|--|-----------------------------|----------------------|-----------------|---------------------------------------|
| | | Лекции | Практические занятия | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1. | Предмет и задачи курса. Методы исследований | 2 | | | Устный опрос |
| 2. | Определение гидравлики как науки. Физические свойства жидкости: текучесть, плотность, изменяемость объема, вязкость, поверхностное | 2 | | 4 | Устный опрос Отчет по практической |

| | | | | | |
|----|--|---|---|---|--|
| | натяжение и др. Единицы измерения физических характеристик жидкости (в системах СИ, СГС, МКГСС). Идеальная и реальная жидкость. Статическая остойчивость плавающего тела. | | | | работе |
| 3. | Основные понятия и определения гидростатики. Гидростатическое давление и его свойства. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Абсолютное и избыточное гидростатическое давление. Пьезометрическая высота. Вакуум. | 2 | 2 | | Устный опрос Отчет по практической работе |
| 4 | Суммарное гидростатическое давление на плоские поверхности, центр давления. Графическое и аналитическое определение силы суммарного гидростатического давления и положения центра давления. Равновесие плавающих тел. Закон Архимеда. | 2 | 8 | | Устный опрос Отчет по практической работе |
| 5 | Основные понятия и определения гидродинамики. Основные закономерности движения жидкости. Гидравлические параметры потока: глубина, ширина, смоченный периметр, площадь поперечного сечения, скорость течения, расход воды, уклон. | 2 | 4 | | Устный опрос Отчет по практической работе |
| 6 | Виды движения жидкости. Установившееся и неустановившееся движение жидкости. Неравномерное и равномерное движение. Уравнение неразрывности. Равномерное и неравномерное движение жидкости. Кривые свободной поверхности потока. Кривая подпора. Кривая спада. | 2 | | | Устный опрос |
| 7 | Два режима движения жидкости: ламинарное и турбулентное. Закон Ньютона о внутреннем трении в жидкости. Число Рейнольдса. Гидравлический удар. Движение сжимаемой жидкости. Струйчатая модель потока. Уравнение Бернулли. Формула Торричелли. Трубочатый водомер Вентури. Истечение жидкости через отверстия и насадки. | 2 | 4 | 2 | Устный опрос Отчет по практической работе |
| 8 | Динамика речного потока. Силы, действующие на движение водных потоков. Гидравлические сопротивления. Формула Шези. Применение формулы Шези для определения расхода воды. | 2 | | | Устный опрос |
| 9 | Скорость течения в речном потоке. Турбулентные пульсации. Местная мгновенная скорость. Распределение скоростей по вертикали и живому сечению. Средняя скорость течения. Изотахи. Динамическая ось потока (стрежень). Закономерности трансформации паводков. Кривая расходов воды. | 2 | | | Устный опрос |
| 10 | Поперечное равновесие потока. Центробежная сила и отклоняющая сила вращения Земли (сила Кориолиса). Поперечная циркуляция и | 2 | 2 | | Устный опрос Отчет по практической |

| | | | | | |
|----|--|---|----|---|--|
| | поперечный уклон на изгибе речного потока. | | | | работе |
| 11 | Виды потоков по состоянию водной поверхности. Спокойные и бурные потоки. Определение состояния потока. Число Фруда. Обтекание препятствий спокойным и бурным потоком. Гидравлический прыжок. Движение грунтовых вод. Дорожные водопропускные сооружения. | 2 | 10 | 2 | Устный опрос Отчет по практической работе |
| 12 | Определение и классификация водосливов. Водослив с тонкой стенкой. Водослив с широким порогом. Водослив практического профиля. Сопряжение бьефов. Водослив как гидрометрическое устройство. Формулы для определения расходов воды с помощью водосливов. | 2 | 2 | | Устный опрос Отчет по практической работе |
| 13 | Водное хозяйство Республики Беларусь и его отрасли: гидромелиорация, водоснабжение и водоотведение, рыбное хозяйство, гидроэнергетика, водный транспорт, рекреация. Основные проблемы водного хозяйства Республики Беларусь. | 2 | | | Устный опрос |
| 14 | Комплексные инженерно-гидрологические изыскания. Составление бассейновых и районных «Схем комплексного использования и охраны водных ресурсов» (СКИОВР). Практическое значение гидрологических исследований в целях проектирования и строительства водохозяйственных объектов Республики Беларусь. | 2 | | | Устный опрос |
| 15 | Гидрологические расчеты в зависимости от наличия исходной информации: при наличии, недостаточности или отсутствии данных гидрометрических наблюдений. Основные гидрологические характеристики. | 2 | 4 | | Устный опрос Отчет по практической работе |
| 16 | Понятие кривой обеспеченности, ее статистические параметры: норма гидрологической величины, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии. Погрешности гидрологических расчетов. Специальные гидрологические карты. | 2 | | 4 | Устный опрос Отчет по практической работе |
| 17 | Общие сведения о гидротехнических сооружениях (ГТС) и их классификация. Общие и специальные ГТС. Гидроузлы. Крупнейшие гидроузлы Республики Беларусь. Общая схема перекрытия русла реки при строительстве гидроузла. | 2 | | 4 | Устный опрос Отчет по практической работе |
| 18 | Стадии проектирования и строительства ГТС. Методы проектирования. Строительные нормы проектирования ГТС в Республике Беларусь. Понятие класса капитальности гидротехнического сооружения. Нормативный документ «Гидротехнические сооружения». | 2 | | 2 | Устный опрос Отчет по практической работе |

| | | | | | |
|----|--|---|--|---|--|
| | «Строительные нормы проектирования. ТКП»)» | | | | |
| 19 | Классификация экспедиционных гидрологических исследований в зависимости от целей, задач и вида проектируемого сооружения или комплекса сооружений. Состав и этапы работ. | - | | 2 | Устный опрос |
| 20 | Обработка и обобщение результатов инженерно-гидрологических расчетов и экспедиционных исследований. Составление отчетных документов по выполненным исследованиям и расчетам. | - | | 2 | Устный опрос |
| 21 | Нормативные документы, регламентирующие проведение инженерно-гидрологических исследований и расчетов при водохозяйственном проектировании и строительстве в Республике Беларусь. Новые технические кодексы установившейся практики проектирования в республике. Водный кодекс Республики Беларусь Кодекс Республики Беларусь о земле. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик» и «Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения, ТКП» | 2 | | 4 | Устный опрос Отчет по практической работе |