

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

Е. А. Нелюбина

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Учебно-методическое пособие по лабораторным работам
для студентов, обучающихся в бакалавриате
по направлению подготовки
20.03.02 «Природообустройство и водопользование»

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2020

УДК 556.04:556.086(076)

Рецензент

доктор технических наук, профессор кафедры водных ресурсов и водопользования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» В. А. Наумов

Нелюбина, Е. А.

Комплексное использование водных объектов: учебно-методическое пособие по лабораторным работам / Е. А. Нелюбина. – Калининград: Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ», 2020. – 34 с.

Учебно-методическое пособие включает семь лабораторных работ по темам, предусмотренным программой дисциплины, а также методические указания по их выполнению. Пособие соответствует рабочей программе дисциплины «Комплексное использование водных объектов». Учебно-методическое пособие может быть рекомендовано для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование».

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено кафедрой водных ресурсов и водопользования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 15 октября 2020 г., протокол № 2.

Учебно-методическое пособие рекомендовано к изданию методической комиссией строительного факультета ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 27 ноября 2020 г., протокол № 2.

УДК 556.04:556.086(076)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2020 г. © Нелюбина Е. А., 2020 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1. Устройство водомерного поста и наблюдения за уровнем воды	5
Лабораторная работа № 2. Обработка данных наблюдений за уровнями воды	10
Лабораторная работа №3. Выполнение промерных работ	12
Лабораторная работа № 4. Обработка материалов промерных работ, определение морфометрических характеристик русла.....	14
Лабораторная работа № 5. Изучение устройства гидрометрической вертушки	17
Лабораторная работа № 6. Измерение скорости течения воды гидрометрической вертушкой	22
Лабораторная работа № 7. Измерение скорости течения воды поверхностными поплавками	25
Список используемой литературы	28
Приложения	29
Приложение А. Данные для построения поперечного профиля водомерного поста	29
Приложение Б. Данные ежедневных уровней воды в реке	30
Приложение В. Выписка из книжки для записи промеров глубин	31
Приложение Г. Тарировочная таблица к гидрометрической вертушке.....	32
Приложение Д. Данные измерения скорости поверхностными поплавками	33

ВВЕДЕНИЕ

Рабочей программой дисциплины комплексное использование водных объектов предусмотрены семь лабораторных работ.

Бакалавр водного хозяйства для успешной работы в области проектирования и эксплуатации природно-техногенных комплексов и гидротехнических сооружений должен не только знать теоретические основы формирования водохозяйственных комплексов, но и владеть методами выполнения водохозяйственных, водно-балансовых и гидрохимических расчетов; уметь проводить экологическую и экономическую оценки водохозяйственной деятельности. А также приобрести навыки проведения гидрологических изысканий на водных объектах с помощью профессионального оборудования для получения необходимых исходных данных.

Навыки проведения гидрологических изысканий на водных объектах, знание физических основ устройства приборов и средств для их проведения и, оценки погрешностей измерений и умение обрабатывать полученные результаты приобретаются на лабораторных занятиях.

Полученные при выполнении лабораторных работ знания и навыки в дальнейшем будут использованы во время прохождения производственной практики, а также могут быть полезны при сборе материала для написания выпускной квалификационной работы.

В настоящем учебно-методическом пособии содержатся задания к лабораторным работам, методические указания и справочные сведения, необходимые для их выполнения.

УСТРОЙСТВО ВОДОМЕРНОГО ПОСТА И НАБЛЮДЕНИЯ ЗА УРОВНЕМ ВОДЫ

Задачи лабораторной работы

1. Изучить типы и устройство водомерных постов и приборов для измерения уровня воды.
2. Для заданного поперечного профиля реки определить конструкцию водомерного поста и составить его проект.
3. Выполнить основную обработку измеренных уровней.

Уровень воды – высота водной поверхности относительно постоянной горизонтальной плоскости, называемой нулем графика («О») водомерного поста. Плоскость принимается ниже наинизшего уровня воды.

Устройство для определения уровня воды в водотоке или водоеме называется *водомерным постом*.

Типы водомерных постов

По назначению водомерные посты подразделяются на следующие виды:

- **основные** (уровенные), по которым систематически ведут наблюдения за уровнем в определенном пункте;
- **гидростворные**, устраиваемые в гидрометрическом створе, уровни по которым наблюдаются только при измерении расходов воды;
- **гидропрогностические**, по которым (в дополнение к основным) ведут наблюдения в целях гидрологических прогнозов, т. е. предсказания водного режима;
- **уклонные** (парные), наблюдения по которым позволяют определить падение водотока, т. е. разность отметок поверхности воды;
- **специального назначения** – для изучения русловых процессов, пусковых волн и т. д.

Водомерные посты в зависимости от срока действия бывают:

- постоянные**, предназначенные для длительных наблюдений за уровнями воды;
- временные**, создаваемые на период изысканий или строительства;
- передвижные**, устанавливаемые в местах стоянок изыскательских партий.

По конструкции водомерные посты можно подразделить на следующие типы:

- непередаточные**, на которых уровень воды отсчитывают непосредственно по делениям рейки, смачиваемой водой; сюда относятся речные, свайные и речно-свайные посты;

п е р е д а т о ч н ы е, где уровень фиксируется на некотором расстоянии от свободной поверхности воды.

Передаточные посты, в свою очередь, подразделяются на следующие основные типы: с неавтоматическими отметчиками уровня; с автоматическими отметчиками уровня; с непрерывной регистрацией уровня при помощи приборов, называемых самописцами уровня воды; с дистанционными устройствами, позволяющими измерять уровни на значительном расстоянии от водного объекта.

Устройства для измерения уровней воды

Постовые водомерные рейки бывают металлические эмалированные, чугунные и деревянные (рис. 1.1). Деревянные рейки недостаточно прочны, масляная краска с них быстро смывается водой, поэтому на постоянных постах рекомендуется устанавливать чугунные рейки, металлические с фарфоровыми вкладышами или металлические эмалированные. На скальных берегах, у мостов и гидротехнических сооружений водомерная рейка прочно прикрепляется в вертикальном положении к обрыву скального берега, к набережной, устью моста, стенке шлюза, плотине. В сооружениях рейку заделывают заподлицо с поверхностью стенки в специально выбранном пазу.

Для производства наблюдений за высотой уровня на водомерном устройстве свайного типа применяются переносная металлическая ГР-104 или деревянная рейка, а также рейки с успокоителем ГР-23 (рис. 1.2). Рейка в момент наблюдений ставится вертикально на головку металлической сваи или шляпку костыля, забитого в деревянную сваю.

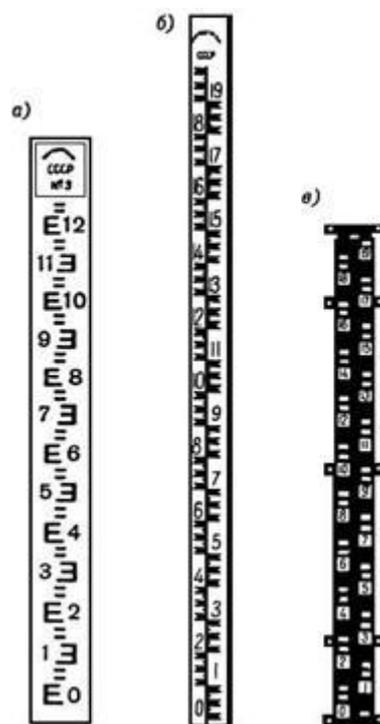


Рис. 1.1. Типы постовых реек:
а, б – металлическая эмалированная; в – чугунная

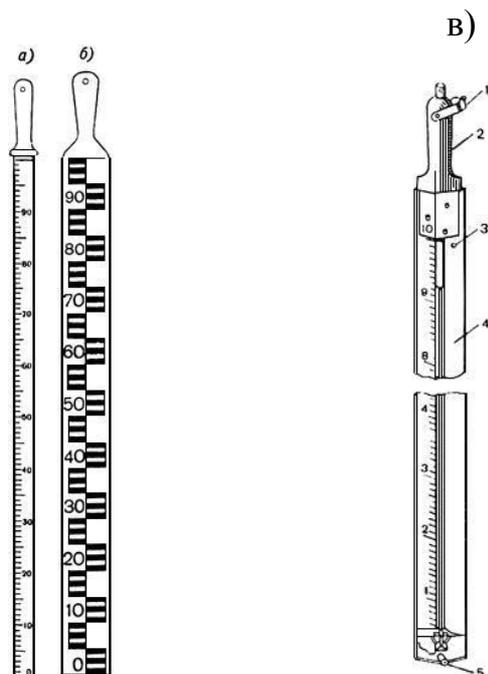


Рис. 1.2. Переносные водомерные рейки:

а – металлическая ГР-104; б – деревянная; в – с успокоителем ГР-23:

- 1 – скоба для закрытия отверстий клапанами; 2 – ручка; 3 – отверстие для выхода воздуха и слива воды после измерения уровня; 4 – резервуар из плексигласовых пластин;
5 – отверстие с ниппелем для поступления воды в резервуар

Сроки измерения уровней воды на водомерных постах, предназначенных для изучения гидрологического режима рек в естественном состоянии, нормированы. За основные сроки наблюдений приняты 8.00 и 20.00 ч по местному времени ежесуточно. Частота регистрации уровней увеличивается или уменьшается в зависимости от распределения во времени характеристик гидрологического режима. Оптимальная частота измерений уровней вырабатывается в ходе изучения режима водотока. Существуют основная, статистическая и специальная обработки уровней. В состав основной обработки входят приведение измеренных уровней к нулю графика, вычисление среднесуточных уровней.

Исходные данные:

1. Координаты поперечного профиля реки в створе водомерного поста (приложение А).
2. Данные наблюдений за уровнем воды (приложение Б).

Указания к выполнению работы

1. При определении типа водомерного поста учитывается размер годовой амплитуды колебаний уровня, особенности строения берега реки, наличие мостов и гидротехнических сооружений и другие местные условия.

Речной водомерный пост устраивают на водотоках и водоемах с крутыми берегами, небольшими (до 2–3 м) годовыми амплитудами колебаний уровней воды, при наличии условий, обеспечивающих сохранность поста от повреждения волнением, ледоходом, при сплаве леса или судами. При больших амплитудах колебаний уровней воды речные посты применяются в случае наличия возможности прикрепления водомерной рейки к мостовой опоре или гидротехническому сооружению.

При умеренной крутизне берегов и малой амплитуде колебаний уровней рейку следует помещать в ковш-котлован, который свободно сообщается с рекой и служит успокоителем для волн. В местах с искусственным укреплением береговых откосов целесообразна установка поста с наклонной рейкой.

Для равнинных рек со значительной амплитудой колебаний уровней наиболее удобен свайный водомерный пост. В скалистых берегах вместо установки свай делаются высечки в виде ступеней с установкой зацементированных в скалу металлических штырей.

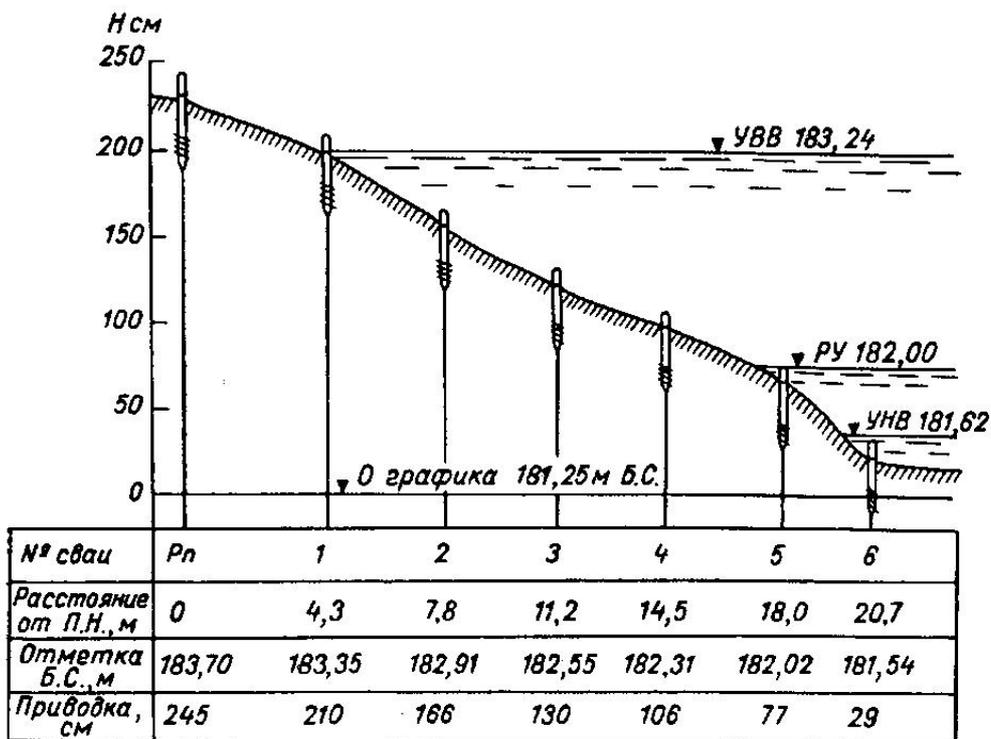


Рис. 1.3. Схема свайного водомерного поста (пример)

2. Выбрав конструкцию водомерного поста, приступают к составлению его проекта. На поперечном профиле размещаются постовые устройства, определяется положение нуля графика. Контрольный репер размещается выше возможной границы затопления на расстоянии 15–20 м. Головка верхней сваи должна быть на 0,25–0,5 м выше наивысшего уровня воды, а головка нижней сваи – на 0,5 м ниже наинизшего уровня. Превышение головок свай над поверхностью земли должно быть не более 0,1–0,15 м. Количество

устанавливаемых свай определяется исходя из допускаемой разности отметок головок смежных свай, равной 0,7 – 0,8 м, и расстояния между ними не более 50 м (рис. 1.3).

На стандартном листе миллиметровой бумаги в принятых масштабах абсцисс и ординат строится поперечный профиль реки, который является основой для составления проекта водомерного поста. На поперечный профиль наносятся отметки уровня высоких вод (УВВ) и уровня низких вод (УНВ), которые позволяют установить амплитуду колебания уровней в реке.

На профиле водомерного поста условными знаками наносится тип реперов и свай (металлические винтовые, бетонные, деревянные), а также характер грунта (скальный, камни, валуны, галька, суглинок, песок и пр.). Под профилем составляется таблица, в которую заносятся номера реперов и свай, расстояние от постоянного начала или от репера до свай, абсолютные отметки свай (м) и приводки (см).

Данные наблюдений за уровнем воды (приложение Б) необходимо привязать к составленному проекту водомерного поста. Учитывая, что в приложении 2 уровни воды указаны для периода весеннего половодья как расстояние до плоскости, расположенной ниже УВВ, а для летней межени – выше УНВ, при заполнении книги водомерных наблюдений необходимо эти данные представить в виде отсчета уровня по соответствующей свае (рейке), используя составленный проект водомерного поста.

3. Для обработки данных наблюдений используются приводки, взятые с профиля водомерного поста. Уровень воды над нулем графика (Н, см) определяется как:

$$N = h \pm a, \quad (1.1)$$

где а – отсчет по водомерной рейке, см; h – приводка, см.

Вычисление средних суточных уровней производится по данным двухсрочных наблюдений как среднее арифметическое значение.

Результаты вычислений представляются в табл.1.1.

Таблица 1.1. **Вычисление средних суточных уровней воды**

Дата	Час	Уровень воды, см				Температура, С ⁰			Ветер и волнения	Осадки	Примечание
		номер свай, рейки	отсчет	над нулем график а	средний за сутки	наблюдения	средняя за сутки	воздуха			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Контрольные вопросы

1. В какие сроки производятся наблюдения на водомерном посту?
2. Какие рейки используются для измерения уровней воды?
3. Состав камеральной обработки материалов наблюдений водомерного поста.
4. Что такое «нуль графика поста»?
5. Как рассчитать приводку свай?

Лабораторная работа № 2

ОБРАБОТКА ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЯМИ ВОДЫ

Задачи лабораторной работы

1. Построить график колебаний среднесуточных уровней воды.
2. Построить графики повторяемости и продолжительности стояния уровней.
3. Определить характерные статистические уровни воды.

Для решения ряда практических задач (например, определение периода, в течение которого уровень воды в реке не опускается ниже заданного; значение уровня, ниже которого вода не опускалась в течение определенного числа дней, или определение уровня, чаще всего встречающегося, и т. п.) проводят статистическую обработку уровней. Такая обработка, основанная на принципах и методах математической статистики, выполняется для любых гидрологических величин: уровней, расходов воды, стока и т. п. в различные периоды (многолетний, отдельный год, период ледохода и весеннего половодья, межень и т. д.). В результате определяются повторяемость (частота) и продолжительность (обеспеченность), строятся кривые частоты и обеспеченности. Повторяемость уровней представляет число случаев (количество дней или лет) стояния уровней в заданном уровне интервале. Повторяемость, выраженная в процентах от общего количества дней рассматриваемого периода, называется *частотой*. Продолжительность стояния уровня – это количество дней или лет, в течение которых наблюдались уровни выше заданного или равные ему. Продолжительность, выраженная в процентах от всего расчетного периода, называется *обеспеченностью* (P, %).

Исходные данные: 1.

ЕУВ (ежегодные уровни воды) (приложение Б).

Указания к выполнению работы

1. График колебания среднесуточных уровней воды строят на миллиметровой бумаге формата А-3. Горизонтальный масштаб: в 1 мм – 1 сут;

вертикальный – зависит от годовой амплитуды уровней. На графике показывается средний уровень и ледовая обстановка.

2. Составляется ведомость повторяемости (частоты) и продолжительности (обеспеченности) стояния уровней (табл. 2.1). Для этого всю амплитуду колебания уровней разбивают на интервалы через 10, 20... 100 см (в зависимости от амплитуды), начиная с наивысшего и кончая наименьшим уровнем. Число интервалов должно быть не менее 10–15.

Таблица 2.1. **Повторяемость и продолжительность стояния уровней воды**

Интервалы уровней над нулем графика, см	Повторяемость, сут													Продол- житель- ность, сут
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	За год	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Итого	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	

Интервалы уровней располагают в порядке убывания (графа 1). Подсчитывают число суток стояния уровня в пределах каждого интервала в течение каждого месяца и за год. Результаты занося в графы 2–14.

Продолжительность стояния уровней (сут) вычисляют путем последовательного суммирования повторяемости уровней за год. Для последнего интервала продолжительность должна быть равна числу дней в году.

3. Графики повторяемости и продолжительности строят на той же миллиметровке, в тех же координатах, что и график колебания ежедневных уровней воды. При построении графика повторяемости ординаты принимают равными серединам интервалов, а при построении графика продолжительности – нижним границам интервалов.

4. По графикам определяют следующие характерные уровни воды: *медианный* – уровень, продолжительность которого равна 50 %; *верхний квартильный* с обеспеченностью 25 %; *нижний квартильный* с обеспеченностью 75 %; *модальный* – уровень, имеющий наибольшую повторяемость.

Контрольные вопросы

1. В каком порядке записываются интервалы уровней воды?
2. Чему равна повторяемость уровней за год?
3. Чему равна продолжительность стояния самого низкого уровня?
4. Назовите характерные уровни воды.
5. Как по графику определить характерные уровни воды?

ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОМЕРНЫХ РАБОТ

Задачи лабораторной работы

1. Изучить типы и устройство приборов для измерения глубины воды.
2. Выполнить первичную обработку измеренных глубин.

Глубиной потока называется расстояние по вертикали от его свободной поверхности до дна. Глубины в отдельных точках потока называют *местными* глубинами. При помощи измеренных глубин можно определить форму рельефа дна водотока или водоема, объем воды в водохранилище или озере и пр. Определение скоростей течения воды, расходов воды и наносов всегда сопровождается измерением глубин.

В состав работ по производству измерений глубин воды, кроме измерения самих глубин, входит также определение в плане положения вертикалей для измерения глубин. Вертикали для измерения глубин воды в реках, водохранилищах и других водоемах называют *промерными* вертикалями.

Водные сечения, в которых измеряют глубины, ориентируют по отношению к направлению движения потока различным образом. Наиболее типичными являются сечения: поперечное, продольное и косое.

Количество промерных вертикалей на гидрометрическом створе назначают исходя из цели промерных работ и характера рельефа дна. Для средних условий на реках шириной от 10 до 50 м берут 10–20 промерных вертикалей, на реках шириной от 100 до 300 м – 20–30 вертикалей и при ширине до 1000 м – 40–50. Чем сложнее рельеф дна, тем больше степень сгущения промерных сечений и промерных вертикалей.

Гидрометрический створ закрепляется на обоих берегах знаками-столбами. Столб на одном из берегов принимается за *постоянное начало*, от которого всегда измеряются расстояния до каждой промерной вертикали.

Для производства промеров в гидрометрическом створе поперек реки при ширине ее не более 300 м натягивается разметочный трос.

Приборы и устройства для промерных работ

Глубины измеряют гидрометрической штангой (наметкой) (рис. 3.1, а), лотом (рис. 3.1, б), гидрометрическими профилографами, эхолотом. Лот представляет собой груз, подвешенный к размеченному лотлиню. Лотлинь размечают через 10 см, как показано на рис. 3.1, в.

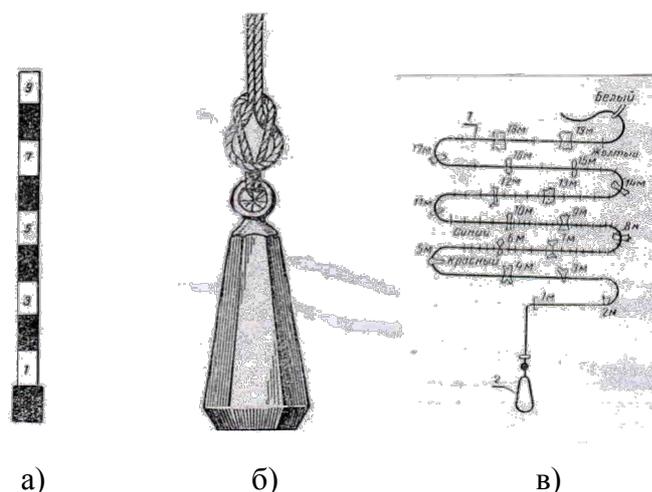


Рис. 3.1. Устройства для промерных работ:
а – металлическая штанга; б – лот; в – лотлинь

Если наибольшие глубины по створу не превышают 3,0 м, для промеров применяется металлическая штанга.

При глубинах 3–4 м для промеров применяется наметка, представляющая собой круглый деревянный шест толщиной 4–6 см (или нарощенная штанга). Штанга и наметка для промеров глубин на реках с илистым дном снабжаются поддоном, чтобы конец штанги или наметки не заглоблялся в дно.

Измерение глубин производится с точностью отсчета до 1 см.

Во время промеров глубин необходимо следить, чтобы штанга или наметка стояли вертикально. В случае набега воды на штангу отсчет следует производить точно по горизонтальной поверхности воды, учитывая повышения и понижения уровня, которые создаются вокруг штанги.

При проведении промерных работ обязательно ведут наблюдения за уровнем воды. Уровень воды во время промеров называется рабочим. Если в период выполнения промерных работ уровень не менялся, то рабочий уровень принимают за расчетный. При незначительных изменениях уровня во время промеров (1–5 см для промеров наметкой и 5–10 см – лотом) за расчетный уровень принимают средний из наблюденных. При значительных колебаниях уровней глубины, измеренные в разное время, приводят к одному уровню, называемому *срезочным*, который принимают за расчетный.

В качестве срезочного уровня удобно принимать наиболее низкий уровень, наблюдавшийся в период выполнения промерных работ. Разность между рабочим и срезочным уровнями воды называют срезкой:

$$\Delta H = H_p - H_c. \quad (3.1)$$

На величину срезки исправляют измеренные глубины:

$$H_{\text{расч}} = H_p \pm \Delta H. \quad (3.2)$$

Исходные данные:

1. Промеры глубин поперечного сечения русла в гидрометрическом створе (приложение В).

Указания к выполнению работы

1. Вычисляют расчетный уровень воды.
2. Определяют величину срезки.
3. Определяют рабочие глубины на вертикалях как средние из двух измерений.
4. Равномерно распределяют срезку между всеми промерными вертикалями.

Результаты вычислений заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1. **Обработка результатов промерных работ**

Номер вертикали промерной 1	Расстояние от постоянного начала, м 2	Глубина, м				Отметки дна реки, м
		I 3	II 4	средняя 5	со срезкой 6	

Контрольные вопросы

1. Что называется рабочим уровнем?
2. Что называется расчетным уровнем?
3. Что называется срезочным уровнем?
4. Как определить величину срезки?
5. Как определить отметку дна реки?

Лабораторная работа № 4

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ПРОМЕРНЫХ РАБОТ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУСЛА

Задачи лабораторной работы

1. Построить поперечный профиль водотока.
2. Определить основные морфометрические и гидравлические характеристики профиля водного сечения.

Промерные работы на участке реки заканчиваются подсчетом основных морфометрических и гидравлических характеристик. Эти характеристики профиля водного сечения реки используются при гидрологических и

гидравлических расчетах, вычислениях расходов воды, экстраполяции кривых $Q = f(H)$.

Исходные данные:

Промеры глубин поперечного сечения русла в гидрометрическом створе (лабораторная работа № 3).

Указания к выполнению работы

1. Поперечный профиль водотока строят по глубинам и расстояниям от постоянного начала до промерных вертикалей.

При построении поперечного профиля водотока вертикальный масштаб назначается крупнее горизонтального. Урезы воды левого и правого берегов на чертеже должны быть слева и справа. Поверхность воды обозначают горизонтальной линией (рис. 4.1). Под профилем выписывают номера промерных вертикалей, расстояния от постоянного начала, глубины.

2. По поперечному профилю водотока определяются морфометрические характеристики, необходимые для гидрологических и гидравлических расчетов.

К морфометрическим и гидравлическим характеристикам относятся: площадь поперечного сечения, ширина реки, средняя глубина, наибольшая глубина, гидравлический радиус, параметр В. Г. Глушкова.

Результаты вычислений для построения поперечного профиля сводят в табл. 4.1.

Таблица 4.1. **Определение площади поперечного сечения водотока**

Номер промерных вертикалей	Расстояние от постоянного начала, м	Глубина на промерной вертикали h , м	Средняя глубина между вертикалями $h_{ср}$, м	Отметка дна реки, м	Расстояние между вертикалями B , м	Площадь между промерными вертикалями ω_i , м ²	Площадь поперечного сечения ω , м ²
1	2	3	4	5	6	7	8

Площадь поперечного сечения реки ω вычисляется аналитически как сумма площадей треугольников и трапеций между промерными вертикалями.

В поперечном профиле реки возможны небольшие участки мертвого пространства, в котором отсутствуют скорости. Вся остальная площадь поперечного сечения между дном и поверхностью воды, в которой скорости наблюдаются во всех точках, называется *живым сечением*, в отличие от *водного сечения*, занимаемого водой.

Ширина реки B определяется как разность расстояний от постоянного начала до урезов берега.

Средняя глубина h_{cp} водного сечения вычисляется как частное от деления площади водного сечения на его ширину:

$$h_{cp} = \frac{\omega}{B} \quad (4.1)$$

Максимальная глубина h_{max} на профиле определяется по данным промеров глубин (табл. 4.1).

Смоченный периметр χ – длина соприкосновения воды с дном водотока между урезами воды (табл. 4.2). Величина χ вычисляется как сумма гипотенуз

прямоугольных треугольников (4.2) по формуле:

$$\chi = \sqrt{b_1^2 + h_1^2} + \sqrt{b_2^2 + h_2 - h_1^2} + \dots + \sqrt{b_n^2 + h_n^2} \quad (4.2)$$

Гидравлический радиус R – частное от деления площади водного сечения на длину смоченного периметра:

$$R = \omega / \chi \quad (4.3)$$

Для равнинных рек, ширина русел которых близка к смоченному периметру ($B \approx \chi$), величина гидравлического радиуса близка к средней глубине ($R \approx h_{cp}$).

Параметр Глушкова (Γ) представляет собой характеристику взаимодействия размываемого русла и потока:

$$\Gamma = \frac{\bar{B}}{\sqrt{h_{cp}}}, M^{-0.5} \quad (4.4)$$

Результаты определения морфометрических и гидравлических характеристик показывают на рис. 4.1.

Таблица 4.2. Масштабы для построения поперечных профилей (горизонтальный)

Масштаб горизонтальный	Ширина реки, м						
	5	5-10	10-30	30-60	60-150	150-300	>300
	1:20	1:50	1:100	1:200	1:500	1:1000	1:10000

Таблица 4.3. Масштабы для построения поперечных профилей (вертикальный)

Масштаб вертикальный	Глубина воды, м				
	1	1-2	2-5	5-10	>10
	1:10	1:20	1:50	1:100	1:1000

Пример оформления поперечного профиля реки (рис. 4.1).

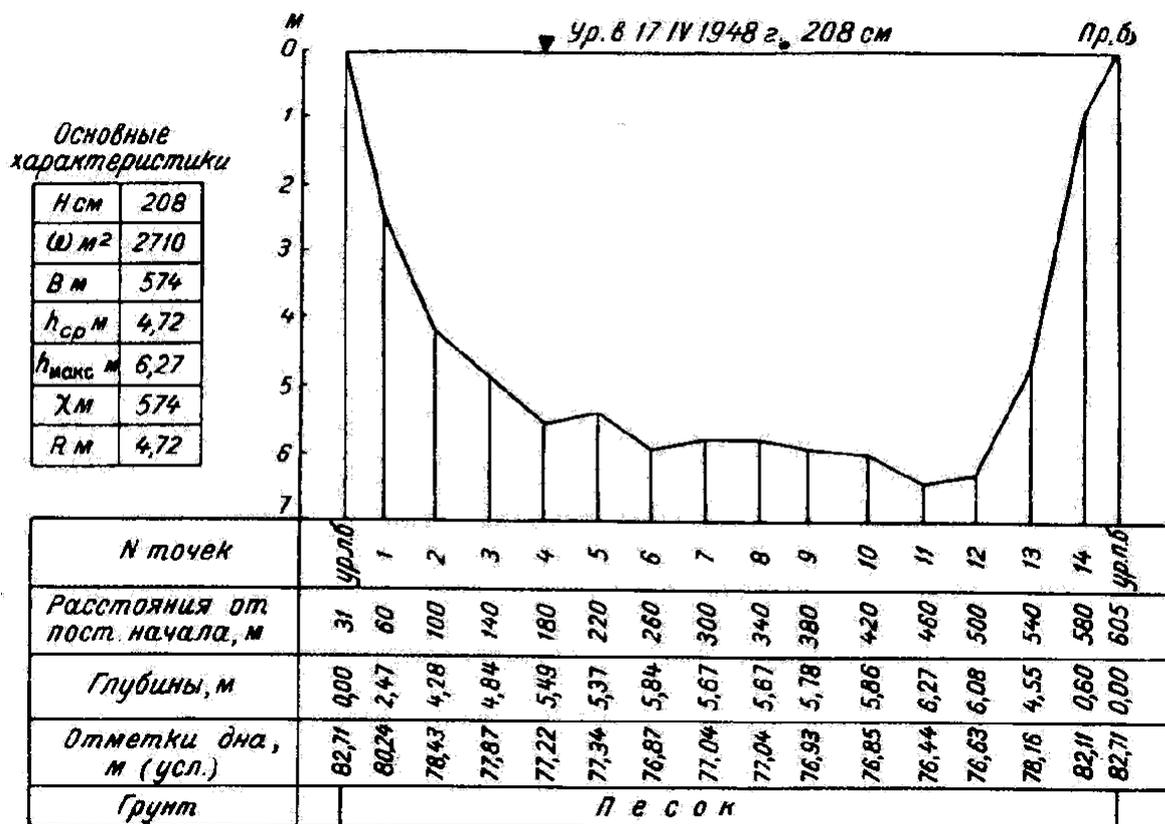


Рис. 4.1. Поперечный профиль реки

Контрольные вопросы

1. Как составить поперечный профиль реки?
2. Как вычислить площадь водного сечения реки?
3. Чем отличается водное сечение от живого сечения?
4. Какие известны характеристики водного сечения?

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ГИДРОМЕТРИЧЕСКОЙ ВЕРТУШКИ

Задачи лабораторной работы

1. Ознакомиться с классификацией гидрометрических вертушек.
2. Изучить устройство и технические характеристики гидрометрической вертушки ГР-21М и измерителя скорости потока.
3. Составить отчет по работе.

Гидрометрическая вертушка является измерительным прибором, предназначенным для измерения осредненного по времени значения скорости течения воды в различных точках поперечного сечения потока. Принцип действия вертушки основан на вращении лопастного винта под воздействием

набегающего потока. Для установления зависимости между скоростью течения воды и скоростью вращения лопастного винта каждая выпускаемая заводом вертушка тарируется, т. е. обеспечивается графиком связи $v = f(n)$. При этом в прямолинейной части графика скорости вращения лопастного винта пропорциональны скорости течения воды. Эта зависимость несколько нарушается в диапазоне малых скоростей, где особенно сказывается влияние трения в подшипниках и контактной группе. Величина трения зависит от особенностей каждой вертушки и не является постоянной.

Из существующего многообразия типов и конструкций гидрометрических вертушек современные вертушки различаются по ряду признаков: направлению оси вращения, устройству лопастного винта или ротора, устройству опор и подшипников, способу регистрации числа оборотов ротора, способу опускания вертушки в воду, способности ротора регистрировать проекцию скорости на направление оси вертушки.

Гидрометрическая вертушка ГР-21М (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Гидрометрическая вертушка ГР-21М

Технические данные. Вертушка гидрометрическая ГР-21М предназначена для измерения скорости течения воды в естественных водотоках в диапазоне от 0,04 до 5 м/с. Вертушка имеет два лопастных винта, отличающихся между собой конструкцией. Винт № 1 (основной) – компонентный, диаметром 120 мм с геометрическим шагом 200 мм, применяется при работе со штанги. Погрешность измерения при скоростях течения от 0,2 до 2,0 м/с составляет 1,5 %. При скоростях течения воды меньше

0,2 м/с погрешность измерения не более 10 %. Винт № 2 – некомпонентный, диаметром 120 мм с геометрическим шагом 500 мм, применяется во время работы с троса при скоростях течения воды более 2,0 м/с. Погрешность измерения скорости при этом не превышает 1,5 %.

Малые скорости течения не приводят лопасть вертушки во вращение. Наименьшая скорость, при которой силовое воздействие потока на лопасть винта равно величине сопротивлений, а лопасть винта вращается неравномерно, называется начальной скоростью вертушки. Для вертушки ГР-21М начальная скорость (винт № 1) составляет 0,04 м/с.

Критическая скорость – это скорость движения воды, при которой и выше которой влияние механических сопротивлений на вращение лопастного винта становится стабильным и незначительным. Верхняя критическая скорость лопастного винта № 2 составляет 8,0 м/с.

Устройство гидрометрической вертушки ГР-21М

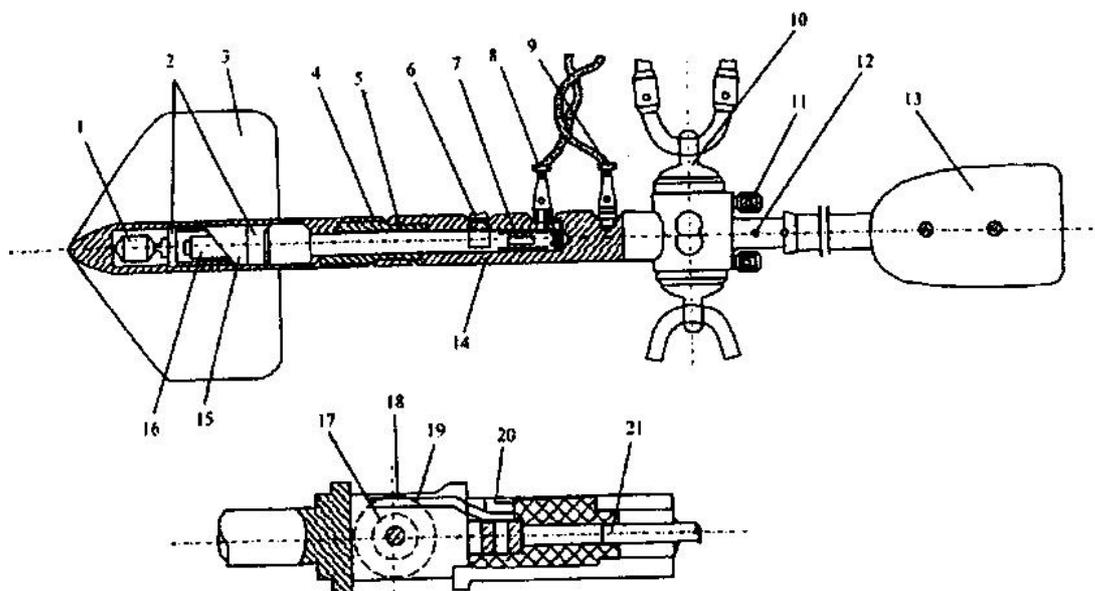


Рис. 5.2. Устройство гидрометрической вертушки ГР-21М:

- 1 – осевая гайка; 2 – шарикоподшипники; 3 – лопастной винт; 4 – зажимная муфта; 5 – ось;
 6 – винт стопорный; 7 – гнездо штепселя; 8 – изолированная клемма; 9 – клемма, соединенная с корпусом; 10 – вертлюг; 11 – зажимные винты; 12 – винт стабилизатора; 13 – стабилизатор; 14 – корпус; 15 – наружная втулка; 16 – внутренняя распорная втулка;
 17 – червячная шестерня; 18 – контактный штифт; 19 – контактная пружина; 20 – контактный винт; 21 – токопроводящий стержень

Гидрометрическая вертушка (рис. 5.2) состоит из корпуса 14, стабилизатора 13, ходовой части с контактным механизмом и лопастным винтом 3, сигнального устройства. Корпус вертушки служит для сочленения частей вертушки, для крепления ее на штанге или вертлюге и для подключения сигнальной цепи. Ось собранной ходовой части вставляется в полость корпуса

и закрепляется стопорным винтом 6. Клеммы 8 и 9 служат для крепления проводов сигнальной цепи. В тыльной части корпуса имеется втулка для крепления вертушки на штанге или вертлюге 10 зажимными винтами 11. К тыльной части корпуса при помощи винта 12 крепится стабилизатор. Сбоку втулка имеет фигурное отверстие с указателем для снятия отсчета высоты положения оси вертушки на штанге.

Стабилизатор вертушки служит для ориентирования прибора навстречу течению. Он состоит из штока и двух симметрично расположенных на конце его профилированных пластин.

Измеритель скорости потока (рис. 5.3, 5.4)

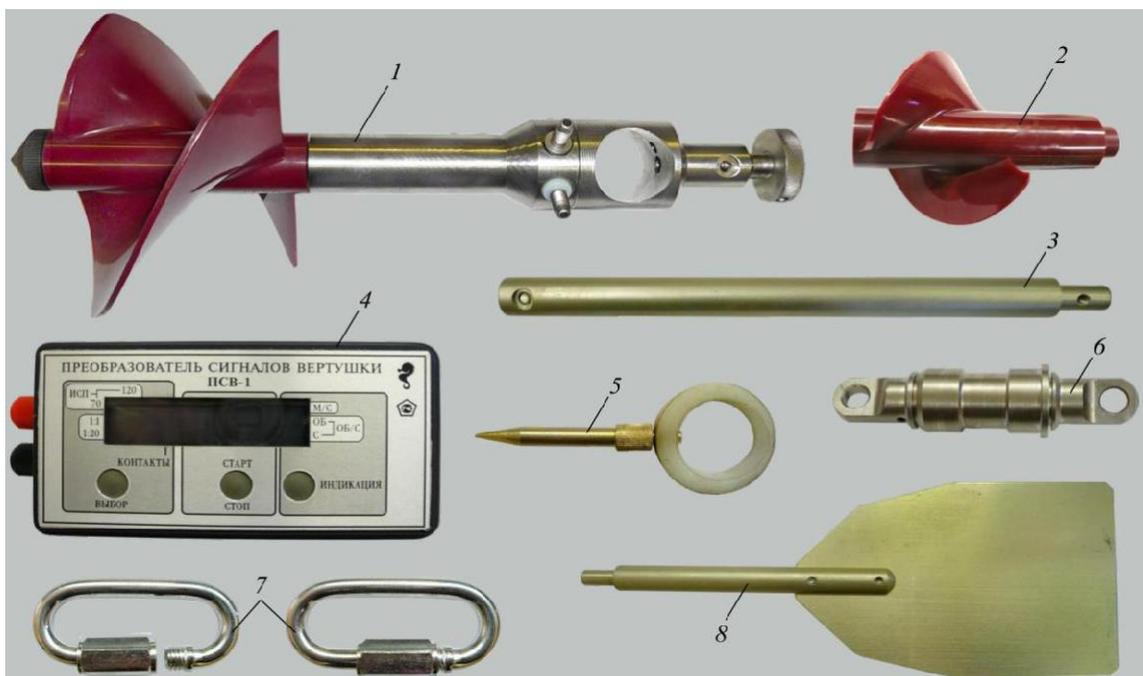


Рис. 5.3. Измеритель скорости потока: 1 – вертушка; 2 – сменный лопастной винт; 3 – шток для удлинения стабилизатора; 4 – преобразователь сигналов вертушки; 5 – указатель направления; 6 – вертлюг; 7 – карабины; 8 – стабилизатор

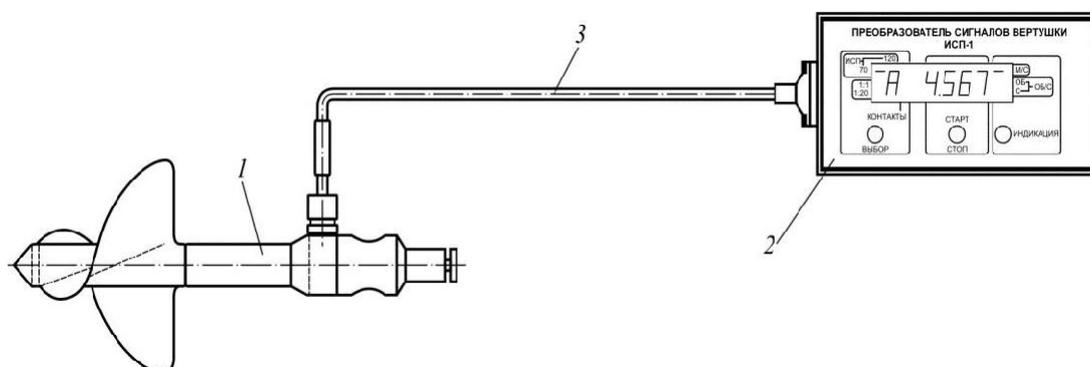


Рис. 5.4. Схема измерителя скорости потока

В состав измерителя скорости потока входит гидрометрическая вертушка со сменными лопастными винтами и преобразователь сигналов вертушки. Гидрометрическая вертушка применяется в качестве датчика, преобразующего скорость набегающего водного потока в частоту импульсов выходного электрического сигнала вертушки. Преобразователь, связанный с выходной цепью вертушки сигнальным проводом, формирует из выходных сигналов вертушки последовательность электрических импульсов, измеряет их частоту следования и в соответствии с градуировочной характеристикой лопастного винта вертушки, заложенной в памяти преобразователя, вычисляет значение измеряемой осредненной скорости потока.

Подготовка вертушки к работе

1. Открывается укладочный ящик, вынимается из него корпус вертушки с ходовой частью.
2. Легким поворотом от руки или дутьем на лопастный винт проверяют легкость вращения ходовой части.
3. При работе со штанги корпус вертушки надевают на штангу и закрепляют на ней двумя зажимными винтами.
4. Собирают электрическую сигнальную цепь.
5. До погружения вертушки в воду проверяют надежность работы контактного механизма, сигнальной цепи, а также звуковые и световые сигналы.

Уход за вертушкой

После работы вертушка и принадлежности к ней должны быть протерты сухой тряпкой и только после этого уложены в укладочный ящик. После работы в тот же день в помещении должны быть просушены полость корпуса вертушки и стабилизатор, а затем протерты тканью, слегка смоченной машинным маслом.

Ходовая часть вертушки должна быть разобрана, все детали ее промыты в керосине для удаления грязи, вновь собраны без лопастного винта и в собранном виде тщательно промыты в ванночке с чистым керосином. Отдельно промывается полость лопастного винта. После того как стечет керосин, в полость винта заливается масло, а затем окончательно собирается ходовая часть.

Ремонт вертушки, не касающийся ходовой части и не требующий специального оборудования, может производиться на месте. Другие виды ремонта выполняются в специальных мастерских. Каждая вертушка тарируется через два года, если она не имеет явных повреждений.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с классификацией гидрометрических вертушек.
2. Изучить устройство гидрометрической вертушки.
3. Составить краткий отчет, отражающий содержание данной работы.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются гидрометрические вертушки?
2. Назовите современные типы отечественных гидрометрических вертушек и дайте им краткую характеристику.
3. Какое оборудование и принадлежности используются для работы с вертушками?
4. Для чего и как производится тарирование вертушек?

Лабораторная работа № 6

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОЙ ВЕРТУШКОЙ

Задачи лабораторной работы

1. Определить общее число оборотов вертушки по способу приемов и по способу регистрации общего числа сигналов за время более 100 с.
2. Вычислить местные скорости на скоростной вертикали по данным измерений.

Измерение местных осредненных скоростей в поверхностных водных потоках производится при помощи гидрометрических вертушек *точечным* способом. Точечный способ заключается в измерении местных скоростей течения воды в строго фиксированных точках потока на скоростных вертикалях. Число скоростных точек назначается из расчета достаточного освещения и распределения местных скоростей по всему живому сечению.

Рабочей глубиной на вертикали называется глубина от поверхности воды до дна, а при наличии льда или шуги – от нижней поверхности льда или шуги.

Местные скорости на вертикалях измеряются в 6, 5, 3, 2 или 1 точке в зависимости от величины рабочей глубины на скоростной вертикали, состояния водотока и размеров лопастного винта вертушки. Скорости в точках обозначаются: $U_{\text{пов}}$, $U_{\text{дно}}$, $U_{0,2}$ и т. д.

При глубине водотока более 1 м скорость течения измеряется в пяти точках: на поверхности, 0,2 h, 0,6 h, 0,8 h (считая от поверхности воды) и на дне. При ледяном покрове или водной растительности добавляется местная точка 0,4 h (на поверхности, 0,2 h, 0,4 h, 0,6 h, 0,8 h и на дне). При измерении скорости на поверхности и на дне ось вертушки устанавливается на глубину соответственно 0,1 м от поверхности и от дна, чтобы исключить искажение показаний прибора под влиянием ветра, а также донных неровностей.

Для ускорения работ применяется двухточечный способ с измерением скоростей на 0,2 h и 0,8 h. Продолжительность измерения скорости в точке должна быть не менее 100 с.

Существуют два способа измерения местных скоростей:

1. Способ приемов.

2. Способ регистрации общего числа сигналов за время более 100 с.

Приемом называется число сигналов или соответствующее им количество оборотов лопастного винта, поступающих за промежуток времени между записями. При способе регистрации общего числа сигналов за время более 100 с подсчитывается общее число поступивших сигналов.

Порядок проведения работы

Способ приемов

1. Установив вертушку, пропускают два-три сигнала и по следующему включают секундомер (пусковой сигнал в счет не входит).

2. Устанавливается число сигналов в приеме, которое зависит от промежутка времени между сигналами (принимается по табл. 6.1).

Таблица 6.1. **Зависимость числа сигналов за прием от времени между сигналами**

Время между сигналами, с	Число сигналов за прием
20	1
10–20	2
5–10	3
4–5	4
3–4	5

3. Производится запись времени поступления сигналов по секундомеру.

4. Общая продолжительность измерения скорости должна быть не менее

100 с.

5. Общее число приемов за время измерения принимается четным, обычно не более восьми и не менее двух.

6. Продолжительность первой половины наблюдений не должна отличаться от второй половины более чем на 5 с. Если они отличаются более чем на 5 с, то измерения продолжаются на два, четыре или шесть приемов.

Пример

Номер приема	1	2	3	4	5	6
Отсчет по секундомеру	20	39	59	80	100	121

Продолжительность первой половины периода измерений составляет 59 с. Следовательно, за весь период, т. е. по шести приемам, должна бы получиться продолжительность $59 + 59 = 118$ с, получилась же

продолжительность 121 с. Разница составляет 3 с, что меньше 5 с. Поэтому в данном случае измерения можно прекратить.

Способ регистрации общего числа сигналов

1. По данному способу ведется подсчет общего числа сигналов за 100 с.
2. Измерения прекращают на сигнале по истечении 100 с, при этом пусковой сигнал в счет не входит.

Обработка результатов

1. Определяется общее число оборотов лопастного винта за весь период измерения местной скорости по способу приемов:

$$N = 20 dm, \quad (6.1)$$

где 20 – число оборотов лопастного винта между сигналами; d – число сигналов за прием; m – число приемов.

2. Определяется общее число оборотов лопастного винта по способу регистрации общего числа сигналов за время более 100 с:

$$N=20N', \quad (6.2)$$

где N' – общее число сигналов.

3. Вычисляется частота вращения лопастного винта

$$n = N/t, \quad (6.3)$$

где t – продолжительность измерения скорости в точке, с.

4. Определяется местная скорость в точках по тарировочной зависимости, заданной в виде таблицы (приложение Г).

Контрольные вопросы

1. Как производится подготовка вертушки к работе?
2. Как определяется общее число оборотов лопастного винта по способу приемов и по способу регистрации общего числа сигналов за время более 100 с?
3. От чего зависит число сигналов в приеме?
4. Какой существует контроль при определении числа оборотов по способу приемов?
5. Как определяется местная скорость в точке?

Лабораторная работа № 7

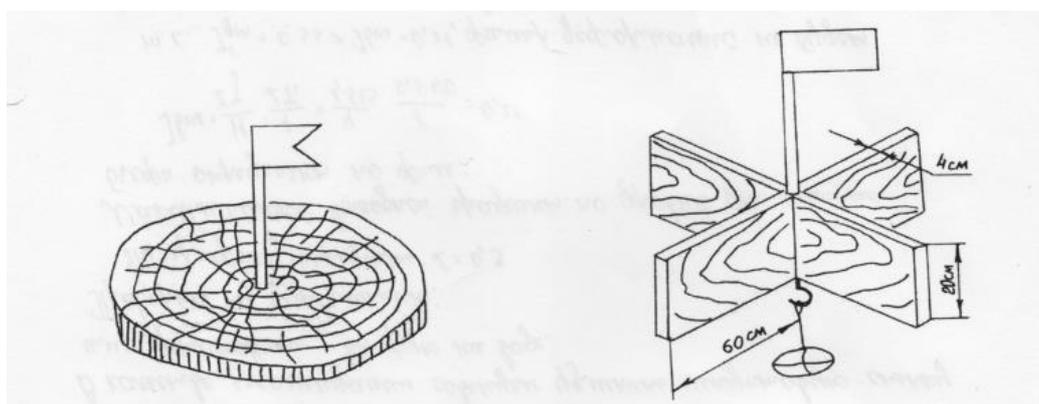
ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ВОДЫ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ПОПЛАВКАМИ

Задачи лабораторной работы

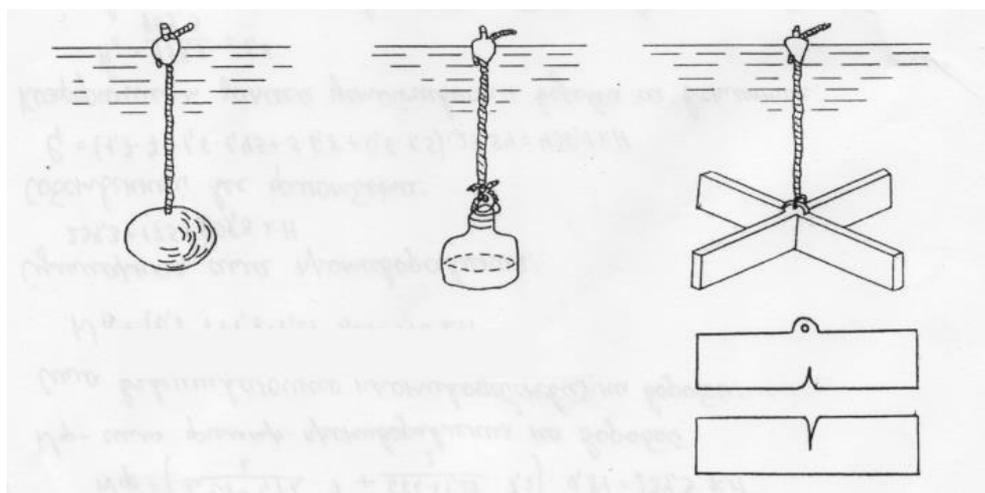
1. Изучить типы и конструкции поплавков.
2. Изучить методику измерения скоростей течения поплавками.
3. Выполнить обработку данных измерения скоростей течения поверхностными поплавками.

При рекогносцировочных исследованиях или повреждении гидрометрической вертушки расходы воды измеряют с помощью поверхностных поплавков. Точность измерений при этом существенно ниже, чем при измерении гидрометрической вертушкой.

Типы и конструкции поплавков. Поплавки бывают поверхностные, глубинные, поплавки-интеграторы.



а)



б)

Рис. 7.1. Поверхностные (а) и глубинные поплавки (б)

Поверхностные поплавки применяют для измерения скоростей течения на поверхности. Обычно их изготавливают в виде деревянных кружков диаметром 15–20 и толщиной 3–5 см. Для рек шириной 100–300 м поплавки изготавливаются в виде крестовин из досок с подвешенным грузом. Поплавки снабжаются ярким флажком (рис. 7.1, а).

Глубинные поплавки применяют для измерения скоростей течения на некоторой глубине, когда малые скорости (менее 0,15 м/с) не могут быть измерены гидрометрической вертушкой. Поплавки состоят из двух: одного крупного, погруженного на определенную глубину, и поверхностного мелкого, перемещающегося со скоростью глубинного и служащего указателем (рис. 7.1, б).

Поплавки-интеграторы служат для определения средней скорости на вертикали. Основная его деталь – шарик из материала, плотность которого меньше плотности воды. Шарик прикрепляется ниткой, пропущенной через кольцо в нижней части штанги. После опускания штанги на глубину l м нитка обрывается и шарик всплывает через t с. Средняя скорость на вертикали определяется:

$$u_{\text{ср}} = l/t. \quad (7.1)$$

Измерения проводят при штиле или небольшом ветре 2–3 м/с и на реках с течением менее 0,5 м/с.

По берегу параллельно основному направлению течения прокладывают ход и перпендикулярно к нему разбивают три створа: верхний, средний и нижний. Расстояние между створами назначают такое, чтобы продолжительность хода поплавков между ними была не менее 20 с.

Измерение скорости течения поверхностными поплавками состоит в определении времени прохождения ими расстояния от верхнего до нижнего створа и мест прохождения через средний створ.

Исходные данные:

1. Результаты измерения скоростей течения поверхностными поплавками (приложение Д).

Указания к выполнению работы

1. На миллиметровке строится эпюра средней продолжительности хода поплавков по ширине реки (рис. 7.2). По оси ординат откладывают продолжительность хода поплавков между верхним и нижним створами, а по оси абсцисс – расстояния от постоянного начала до места прохождения поплавками среднего створа. Около точек указывают номера поплавков. По точкам проводят плавную кривую.

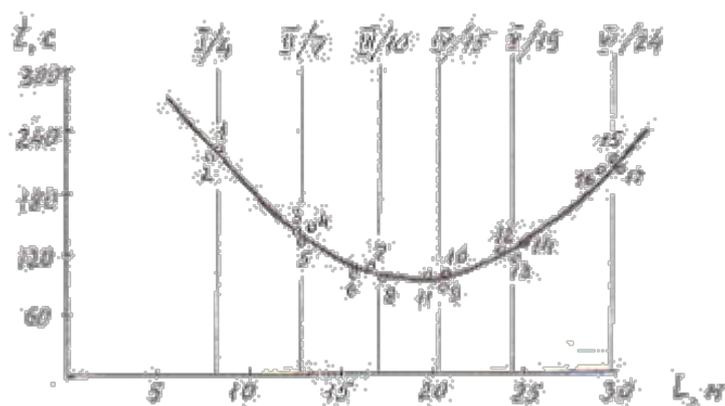


Рис. 7.2. Эюра средней продолжительности хода поплавков (пример)

2. Через равные расстояния намечают скоростные вертикали, совмещая их с промерными. Поверхностные скорости на вертикалях вычисляют по формуле:

$$U_{\text{пов}} = l/t_i, \quad (7.2)$$

где l – расстояние между верхним и нижним створами, м; t_i – средняя продолжительность хода поплавка, с. Расчеты записывают в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Расчет скоростей измеренных поверхностными поплавками

Номер поплавков	Расстояние от постоянного начала, м	Продолжительность хода поплавка между створами, с	Поверхностная скорость, м/с	Номер группы, к которой отнесен поплавок
1	2	3	4	5

Контрольные вопросы

1. Виды поплавков для измерения скоростей течения.
2. Условия применения поплавков различного вида.
3. Как назначаются гидрометрические створы?
4. Как определить скорость течения, измеренную поплавками различного вида?

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев, С. В. Комплексное использование водных ресурсов: учеб. пособие / С. В. Яковлев, И. Г. Губий, И. И. Павлинова, В. Н. Родин. – Москва: Высш. шк., 2005. – 382 с.
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2. Ч. II. Гидрологические наблюдения на постах. Утверждено Главным управлением гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР 1 ноября 1973 г. – Изд. третье, перераб. и доп.
3. Практикум по гидрологии, гидрометрии и регулированию стока / под ред. Е. Е. Овчарова. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 224 с.
4. Гладков, Г. Л. Водные изыскания: учебно-метод. пособие по выполнению лабораторных и практических работ / Г. Л. Гладков, М. В. Журавлев. – Санкт-Петербург: СПГУВК, 2009. – 66 с.
5. Желязко, В. И. Основы строительной климатологии и инженерной гидрологии: лабораторный практикум / В. И. Желязко, В. К. Курсаков, Г. Н. Рудковская. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2006. – 110 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Данные для построения поперечного профиля водомерного поста

Расстояния от репера, м	Отметки поверхности земли, см (по вариантам)		
	342	330	320
Рп	342	330	320
5	325	316	310
10	320	305	300
20	260	265	295
30	225	225	270
40	195	195	230
50	150	150	180
60	55	50	145
70	-	49	55
УНВ, см	63.45	62.05	63.60
УВВ, см	65.15	65.00	64.50

Приложение Б

Данные ежедневных уровней воды в реке, см

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	220	224	282	198	201	156	159	160	128	155	157	154
2	224	224	275	197	194	162	187	154	134	152	156	154
3	230	224	266	198	195	159	205	164	136	152	158	156
4	232	227	260	196	194	158	204	154	154	152	156	157
5	218	226	254	196	192	161	196	158	154	152	158	158
6	220	222	262	198	192	157	186	177	147	154	154	145
7	218	226	256	212	190	152	170	175	150	149	160	180
8	212	216	260	218	187	151	177	182	164	150	158	180
9	217	212	255	216	174	156	168	162	138	152	154	170
10	218	210	250	212	183	162	164	170	142	149	150	158
11	211	216	246	207	182	166	161	163	148	152	148	154
12	200	208	248	205	182	166	159	163	148	144	162	152
13	209	208	242	204	175	176	156	162	148	136	157	154
14	198	219	238	208	175	168	160	160	146	154	157	156
15	209	218	235	206	184	160	139	160	148	149	153	164
16	221	218	230	203	170	156	143	159	148	146	150	155
17	228	204	229	198	178	164	154	158	152	147	152	158
18	234	202	226	198	167	160	160	146	148	149	154	157
19	219	202	220	200	167	162	162	143	148	139	154	162
20	202	205	208	208	168	154	134	143	147	143	156	162
21	212	210	212	203	166	150	158	140	151	142	159	159
22	214	209	212	216	166	150	164	126	150	149	152	160
23	238	208	206	240	168	145	149	146	152	151	156	156
24	248	212	204	244	164	149	146	126	150	143	159	150
25	236	214	206	242	159	148	146	135	156	154	162	147
26	228	236	201	235	168	134	152	150	156	156	153	152
27	226	266	203	220	162	156	172	164	147	164	152	171
28	228	278	200	220	163	142	169	149	158	162	150	177
29	229		198	210	162	124	148	142	156	162	157	170
30	228		198	208	162	142	171	150	153	156	155	167
31	224		198		161		170	138		157		174
Сред.	221	219	232	211	176	155	164	154	149	151	155	160
Выш.	250	281	291	245	208	184	208	195	166	167	167	187
Низш.	197	200	194	194	156	121	125	122	122	121	140	130

Приложение В

Выписка из книжки для записи промеров глубин
(Нуль графика поста – 80 м усл.)

Номер промерной вертикали	Расстояние от постоянного начала, м	Глубина, м	
		I	II
1	2	3	4
Урез правого берега	1	0	0
1	2	0.91	0.86
2	4	1.70	1.66
3	6	2.14	2.06
4	8	2.23	2.22
5	10	2.29	2.30
6	12	2.27	2.31
7	14	2.26	2.23
8	16	2.20	2.18
9	18	2.21	2.20
10	20	2.12	2.16
11	22	2.25	2.21
12	24	2.28	2.31
13	26	2.11	2.16
14	28	0.86	0.88
Урез левого берега	31.62	0	0

Приложение Г

Тарировочная таблица к гидрометрической вертушке (м/с)

Частота вращения, с ⁻¹	0	2	4	6	8
0.0	0	0.009	0.018	0.027	0.036
0.1	0.045	0.046	0.047	0.048	0.049
0.2	0.050	0.053	0.056	0.059	0.062
0.3	0.065	0.069	0.074	0.078	0.083
0.4	0.087	0.092	0.096	0.101	0.105
0.5	0.110	0.114	0.119	0.123	0.128
0.6	0.132	0.137	0.141	0.146	0.150
0.7	0.155	0.160	0.164	0.169	0.173
0.8	0.177	0.180	0.186	0.190	0.195
0.9	0.200	0.204	0.208	0.213	0.218
1.0	0.222	0.227	0.231	0.236	0.240
1.1	0.245	0.249	0.254	0.258	0.262
1.2	0.267	0.272	0.276	0.281	0.285
1.3	0.290	0.294	0.299	0.303	0.308

Приложение Д

Данные измерения скорости поверхностными поплавками

Номер поплавков	Расстояние от постоянного начала, м	Продолжительность хода поплавков между створами, с
1	2	3
1	9.3	238
2	8.8	228
3	11.6	196
4	12.8	191
5	12.2	180
6	14.5	150
7	15.7	152
8	16.2	138
9	20.5	108
10	20.8	116
11	19.7	110
12	23.8	136
13	24.5	138
14	25.6	142
15	28.5	198
16	29.6	206
17	30.3	215

Примечание. Расстояние между верхним и нижним створами $l = 30$ м.

Учебное издание

Елена Андреевна Нелюбина

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Редактор Е. Билко

Подписано в печать 20.02.2020 г. Формат 60x84 (1/16). Уч.-изд. 2,5. Печ. л. 2,1.
Тираж 30 экз. Заказ 16.

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