

КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

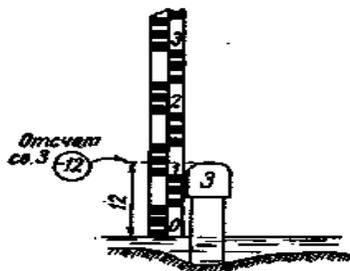
Кафедра метеорологии, экологии и охраны окружающей среды

Г.П. Фролова

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ

Часть 2

Методы и средства гидрологических наблюдений



Издательство Кыргызско-Российского
Славянского университета

Бишкек – 2004

Ф 91

Фролова Г.П.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ. Часть 2. Методы и средства гидрологических наблюдений / Под ред. О.А. Подрезова. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2004. – 104 с.

Представлены теоретические вопросы постановки гидрологических наблюдений, дано описание их проведения и обработки данных полевых измерений в соответствии с программой курса «Методы и средства гидрометеорологических наблюдений». Основой изложения материала явились Наставления гидрометеорологическим станциям и постам.

Предназначено для студентов-метеорологов, а также для преподавателей, инженеров, аспирантов и научных работников, специализирующихся в области метеорологии, но также может быть полезно для инженеров, по комплексному использованию и охране водных ресурсов, инженеров-гидрологов, мелиораторов, гидротехников и др. специалистов, занимающихся вопросами гидрологического обоснования при инженерно-строительном проектировании.

Под редакцией докт. геогр. наук, проф. *О.А. Подрезова*

Рецензент: докт. геогр. наук, проф. *А.Н. Диких*

Печатается по решению
кафедры метеорологии, экологии
и охраны окружающей среды
и РИСО КРСУ

© КРСУ, 2004

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	6
1. КЛАССИФИКАЦИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ. СОСТАВ И СРОКИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ.....	7
1.1. Размещение и классификация гидрологических станций и постов	7
1.2. Выбор участка реки для организации и оборудования гидрологического поста.....	9
1.3. Состав и сроки гидрологических наблюдений.....	12
1.4. Контрольные вопросы	14
2. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВЫСОТОЙ УРОВНЯ ВОДЫ.....	15
2.1. Устройства и приборы для наблюдения за уровнем воды....	15
2.2. Устройства и приборы для регистрации максимальных и минимальных уровней воды. Приспособления и приборы для увеличения точности отсчета уровня воды.....	22
2.3. Наблюдения за уровнями воды.....	24
2.4. Наблюдения за ветром и волнением (визуально)	28
2.5. Обработка результатов наблюдений за уровнями воды.....	28
2.6. Обработка лент самописца.....	32
2.7. Контрольные вопросы	34
3. ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИН.....	35
3.1. Задачи промерных работ	35
3.2. Приборы для измерения глубин.....	36
3.3. Способы выполнения промерных работ.....	38
3.4. Обработка материалов промерных работ.....	41
3.5. Контрольные вопросы	46
4. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОДЫ И ВОЗДУХА	47
4.1. Приборы для измерения температуры воды.....	47
4.2. Наблюдения за температурой воды	48
4.3. Обработка результатов наблюдений за температурой воды	50

4.4. Сведения об осадках.....	52
4.5. Наблюдения за температурой воздуха.....	52
4.6. Контрольные вопросы	53
5. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ.....	53
5.1. Распределение скоростей в водном потоке	53
5.2. Классификация методов измерения скоростей течения воды	55
5.3. Приборы для измерения скорости течения воды	56
5.4. Градуировка гидрометрических вертушек.....	61
5.5. Методика измерения скорости течения воды	63
5.6. Уход за гидрометрическими вертушками	68
5.7. Обработка полевых данных по измерению скорости течения гидрометрической вертушкой	68
5.8. Контрольные вопросы	70
6. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДОВ ВОДЫ	71
6.1. Модель расхода. Методы определения скоростей течения воды	71
6.2. Оборудование гидрометрического створа.....	73
6.3. Измерение расхода воды с помощью гидрометрических вертушек.....	75
6.4. Вычисление расходов воды по измеренным скоростям и глубинам	76
6.5. Измерение и вычисление расхода воды поверхностными поплавками.....	79
6.6. Определение расхода воды по площади живого сечения и продольному уклону водной поверхности	81
6.7. Связь между расходами и уровнями воды	82
6.8. Вычисление ежедневных расходов и стока воды	83
6.9. Контрольные вопросы	84
7. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДОВ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ	85
7.1. Общие понятия о речных наносах и мутности воды.....	85
7.2. Приборы для отбора проб воды со взвешенными наносами	85
7.3. Наблюдения за мутностью воды	87
7.4. Взятие проб для определения крупности взвешенных наносов	88
7.5. Обработка проб наносов на посту.....	89
7.6. Вычисление расходов взвешенных наносов	90
7.7. Контрольные вопросы	92

8. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВЛЕКОМЫХ И ДОННЫХ НАНОСОВ	93
8.1. Приборы для отбора проб влекомых наносов	93
8.2. Измерение расходов влекомых наносов	93
8.3. Вычисление расхода влекомых наносов	94
8.4. Гранулометрический состав наносов.....	94
8.5. Определение характеристик донных отложений горных рек	95
8.6. Контрольные вопросы	96
9. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ.....	97
9.1. Общие положения.....	97
9.2. Наблюдения за химическим составом воды	98
9.3. Контрольные вопросы	101
Л и т е р а т у р а.....	102

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методическое пособие по учебной гидрологической практике разработано в соответствии с программой курса «Методы и средства гидрометеорологических наблюдений».

Гидрометрия является составной частью обширной науки – Гидрологии, изучающей водную оболочку Земли и ее свойства. Она дает теоретические знания и практические навыки по применению единой системы Государственного учета и использования всех видов вод по количественным и качественным показателям, необходимые студентам-метеорологам при изучении дисциплин «Гидрология суши» и «Океанология».

Представленные в пособии виды гидрологических наблюдений частично выполняются студентами в ходе практических и лабораторных работ во время учебного семестра и в полном объеме проводятся в период летней учебной практики. Для лучшего усвоения материала по каждому виду наблюдений приведены методы и приборы для количественного определения и учета элементов режима водных объектов (уровней воды, глубин, скоростей и т.д.), порядок их производства и способы обработки полевого материала, включающие расчетные формулы, построение графиков и эпюр. Приведен необходимый справочный материал, используемый при обработке измерений. Контрольные вопросы дают возможность студентам сосредоточить свое внимание на главном, основном содержании наблюдений.

Основой изложения материала лабораторного практикума явились Наставления гидрометеорологическим станциям и постам, выполнение которых является обязательными при гидрологических наблюдениях.

Данное пособие составлено для студентов университетов специальности 012600 – Метеорология, но также может быть полезно для инженеров, по комплексному использованию и охране водных ресурсов, инженеров-гидрологов, мелиораторов, гидротехников и других специалистов, занимающихся вопросами гидрологического обоснования при инженерно-строительном проектировании.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ. СОСТАВ И СРОКИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

1.1. Размещение и классификация гидрологических станций и постов

Гидрометеорологические наблюдения за режимом рек, каналов, озер, болот, водохранилищ ведутся на гидрологических станциях и постах. Государственная опорная гидрологическая сеть состоит из основных и специальных станций и постов, находящихся в ведении Главного управления по гидрометеорологии Министерства экологии и чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики (Кыргызгидромет, УГМС).

Основные станции и посты предназначены для изучения многолетних колебаний гидрологического режима. Они создаются на продолжительное (нередко – неограниченное) время и могут быть перенесены и закрыты лишь в исключительных случаях.

Специальные станции и посты создаются для детального изучения гидрологических процессов в специальных целях (например, для изучения влияния осушения болот на сток рек и т.п.). Срок их действия ограничен поставленными перед ними задачами.

Гидрологические станции бывают I и II разряда. Станции I разряда изучают регион водных объектов на территории своей деятельности, руководят прикрепленными станциями II разряда и гидрологическими постами, обобщают материалы наблюдений, подготавливают их к опубликованию и передают необходимые сведения заинтересованным организациям и учреждениям. Станции II разряда ведут полевые гидрологические наблюдения и гидрометрические работы, обрабатывают материалы наблюдений.

Гидрологический пост (водомерный) – это пункт на водном объекте (реке, озере, водохранилище и т.д.), место для которого выбрано с учетом физико-географических и экономических условий района, гидрологических и других особенностей водного объекта и который оборудован устройствами и приборами для проведения систематических гидрологических наблюдений и сбора информации по определенной программе и методике. В соответствии с водным объектом, на котором оборудован гидрологический пост, он называ-

ется *речным, озерным* (на реке, водохранилище) или *болотным* постом. Речные гидрологические посты в зависимости от состава наблюдений разделяются на три разряда (I, II и III). На постах I разряда ведутся наблюдения за уровнями и температурой воды, ледяными образованиями и ледовой обстановкой, измеряются расходы воды, проводятся метеорологические наблюдения. На отдельных постах дополнительно измеряются расходы взвешенных и влекомых наносов, берутся пробы воды для анализа на химический состав и качество. На постах II разряда наблюдения ведутся по программе для постов I разряда, за исключением измерения расходов воды и взвешенных наносов. На постах III разряда производятся те же виды наблюдений и работ, что и на постах II разряда, за исключением метеорологических наблюдений и отбора проб на химический анализ.

Государственная гидрологическая сеть осуществляет учет ресурсов поверхностных вод и обеспечивает заинтересованные организации и учреждения данными о водных объектах (кроме подземных вод) и их гидрологическом режиме, а также гидрологическими прогнозами, необходимыми для проектирования, строительства и эксплуатации предприятий и сооружений.

Кроме опорной государственной сети Кыргызгидромета имеются ведомственные станции и посты, организуемые различными ведомственными учреждениями (научными, проектными и пр.) для удовлетворения их специфических запросов. Ведомственные станции и посты организуются по согласованию с управлением Гидрометслужбы и входят в единую систему государственного учета вод и их использования.

Важное место в этой системе отведено Департаменту водного и сельского хозяйства КР, на который возложен контроль за правильностью первичного учета количества забираемых из водных объектов и сбрасываемых в них вод, их качеством. Им создана гидрологическая сеть станций и постов на ирригационных каналах. Государственный учет подземных вод, а также наблюдение за их режимом и качеством осуществляет Министерство геологии КР. На реках, зарегулированных крупными водохранилищами ГЭС, учет стока организуется и ведется их персоналом по действующим инструкциям.

Основная сеть гидрологических постов Кыргызгидромета и ведомств является составной частью системы Государственного учета вод и их использования. Результаты наблюдений этих постов включаются в фонд данных на технических носителях и гидрологические ежегодники ГВК.

1.2. Выбор участка реки для организации и оборудования гидрологического поста

Выбор участка реки для гидрологических наблюдений, а также их организация в соответствии с планом развития гидрометеорологической сети выполняется при непосредственном участии и под руководством начальника станции или инженера-гидролога.

Место для проведения гидрологических наблюдений на посту должно удовлетворять условиям: 1) режим реки в этом месте должен быть характерным для достаточно большого участка (района), чтобы результаты наблюдений можно было использовать для гидрологических прогнозов, расчетов и информации; 2) место (участок) должно быть удобно для наблюдений, обеспечивая наибольшую возможную их точность в данных условиях; 3) необходимо выявить наличие знаков геодезической сети – высотных реперов, пунктов триангуляции и полигонометрии, которые могут служить для высотно-плановой привязки геодезической основы участка; 4) вблизи от участка должны быть средства связи (телефон, телеграф, радио), что особенно важно для информационных (оперативных) постов.

Участок реки, предназначенный для организации стационарных гидрологических наблюдений за стоком воды, должен быть прямолинейным, по крайней мере на протяжении трехкратной ширины между бровками меженного русла реки, с однообразными по длине участка реки шириной, глубиной и продольным уклоном водной поверхности и по возможности с правильной формой профиля поперечного сечения. Берега и русло должны быть устойчивыми, а также не подвержены значительному зарастанию растительностью. На равнинных реках предпочтение отдается плесовым участкам. На горных реках участок должен располагаться выше стремнин и порогов, иметь относительно спокойное течение и наиболее ровное, не загроможденное камнями русло.

На участке, а также непосредственно ниже его, не должны впадать крупные притоки, находиться неустойчивые перекаты и острова, способные вызвать косоструйность течения, поперечные уклоны, заторы и зажоры льда и другие явления, нарушающие правильность и однообразие течения. Выбрать такой участок, где в полной мере и всегда отсутствовал бы переменный подпор, почти невозможно, поэтому приходится искать место, в котором эффект переменного подпора наиболее ослаблен (периоды наличия и отсутствия подпора сменяются плавными наиболее длительными периодами во времени).

На участке и выше его не должно быть сбросов промышленных и канализационных вод и других отходов производства, искажающих естественный режим реки в отношении всех изучаемых элементов.

Приведенные выше требования к участку наблюдений не распространяются на посты, организуемые со специальными целями, например при изучении режима перекатов, исследованиях заторов, химического состава воды и термического режима в связи со сбросами промышленных вод и в других подобных случаях.

В состав работ по выбору участка реки для гидрологических наблюдений входит:

- 1) предварительное ознакомление с районом намечаемого поста по справочным гидрологическим изданиям и другим печатным и архивным источникам, а также по данным опроса местных жителей;
- 2) рекогносцировочное обследование реки в намеченном районе и выбор участка для наблюдений;
- 3) подробные изыскания на выбранном участке;
- 4) составление отчета о произведенных работах.

Размеры района обследования определяются местными условиями и особенностями реки; они должны быть указаны в задании по выбору участка.

В процессе ознакомления с районом выясняются или уточняются следующие характеристики:

- 1) общие физико-географические условия (климатические, почвенно-геологические) той части бассейна, сток с которой намечается изучить;
- 2) основные черты гидрографии, гидрологического режима (питание, сток, ледовые явления) и его изученность. Основными источниками для ознакомления с районом являются: справочник «Ресурсы поверхностных вод СССР» (серии: «Гидрологическая изученность», «Основные гидрологические характеристики», Монографии «Ресурсы поверхностных вод СССР» «Описания рек, озер и водохранилищ»);
- 3) современное использование реки (лесосплав, водоснабжение, орошение, гидроэнергетика и т.д.). Полнота этих характеристик должна быть достаточной для выбора участков и обоснования программ наблюдений;
- 4) перспективное развитие народного хозяйства, намеченные изменения на водосбросе реки (мелиорация, облесение и т.д.), а также изменения в использовании реки;
- 5) топографические материалы: карты, планы, профили, реперы государственной и ведомственной нивелирной сети;
- 6) положение населенных пунктов, пути сообщения, средства связи.

Тщательное ознакомление перед выездом в поле с материалами по району облегчает и ускоряет выбор участка для наблюдений.

На основании собранных об участке сведений и имеющихся картографических материалов предварительно по карте намечается

один или несколько участков реки, после чего производится рекогносцировка на месте (при этом обследуется территория выше и ниже предварительно намеченной) и выбор (из числа предварительно намеченных) участка, наиболее пригодного для оборудования гидрологического поста.

Предварительное рекогносцировочное обследование, как правило, проводится дважды: при низком стоянии уровня воды (обычно в летнее время) и во время половодья или паводков (весной и летом).

В процессе рекогносцировки участка реки с целью организации на нем гидрологического поста производятся следующие работы:

- 1) общий осмотр участка;
- 2) исправление выкопировки топографического плана или фотосхемы, промер глубин, определение скоростей и уклонов (при отсутствии необходимых топографических съемок или аэрофотоматериалов производится глазомерная съемка);
- 3) выяснение основных характеристик гидрологического режима реки (уровни, скорости, глубины) путем выполнения измерений и опроса местного населения. Промер глубин производится по стрежню через 50–100 м в зависимости от размера реки в пределах длины обследуемого участка и на нескольких поперечных профилях в характерных сечениях русла (на плесах, перекатах, закруглениях); в тех же профилях измеряются скорости течения. На участке определяется также уклон водной поверхности.

После проведения всех необходимых работ и выбора участка гидрологическая станция высылает материалы рекогносцировки со своими предложениями на утверждение УГМС, здесь проводятся подробные изыскания, в которые входят: инструментальная топографическая съемка; обследование грунтов дна и берегов реки и получение физико-механических характеристик; определение направления и величины скорости течения. По завершении этих работ дается исчерпывающий материал для последующего выбора типа, проектирования и строительства гидрометрического сооружения или для организации гидроствора в русле реки.

Устройство гидрологического поста производится на основе проекта, составленного по материалам изысканий, а оснащение – в соответствии с «Типовым табелем приборов и оборудования для гидрологических постов».

Открытие поста оформляется актом, который составляется в присутствии наблюдателя поста и представителя местных органов власти (сельсовета, айыл окмотуу). Кроме того, составляется паспорт, в который заносят все сведения о водном объекте, приборах и оборудовании поста, составе и сроках наблюдений, а также прилагаются план участка реки, профиль створа, зарисовки, схемы. Для на-

блюдателя разрабатывается инструкция, определяющая порядок наблюдений и их записи.

1.3. Состав и сроки гидрологических наблюдений

Гидрологические станции организуют и проводят гидрологические наблюдения и связанные с ними работы на прикрепленных постах; осуществляют техническое руководство работой этих постов, обработку и обобщение материалов наблюдений; выполняют специальные и исследовательские работы; осуществляют обеспечение народного хозяйства материалами и сведениями по гидрологическому режиму.

Состав и сроки наблюдений и работ, выполняемых гидрологическими постами I разряда, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Состав и сроки наблюдений на гидрологических постах

Вид наблюдений	Сроки наблюдений, работ
1. Гидрологические наблюдения:	
а) за высотой уровня воды	Ежедневно в 08 и 20 ч. по местному времени; в период половодья и дождевых паводков учащенно; по указанию гидрологической станции
б) за температурой воды	Ежедневно в 08 и 20 ч. по местному времени в период, свободный от ледяного покрова; выполняется по указанию станции
в) за толщиной льда, шуги и высотой снега на льду	10, 20 числа и последний день месяца; учащенно, по указанию гидрологической станции
г) за ветром и волнением (визуально)	Ежедневно при измерении уровня воды в период, свободный от ледяного покрова
д) за явлениями ледового режима	Ежедневно при измерении уровня воды; в период замерзания и вскрытия – учащенно
е) за распространением водной растительности (визуально)	10, 20 числа и в последний день месяца
ж) за высотой уровня подземных вод	По указанию станции
2. Измерение расходов воды, расходов взвешенных наносов, взятие проб воды на мутность, химический анализ и проб наносов и донных отложений на механический анализ	По плану гидрологической станции
3. Наблюдения за уклоном водной поверхности	По указанию станции

4. Составление и передача телеграмм о гидрологическом режиме и осадках	В сроки и в адреса по указанию УГМС
5. Метеорологические наблюдения:	
а) за осадками	Ежедневно в 08 и 20 ч. по местному времени
б) за атмосферными явлениями	В течение суток
в) за снежным покровом (высотой и плотностью снега) - на постоянных участках - при снегомерных съемках	В 08 ч. по местному времени По плану станции
г) за метеорологической видимостью, облачностью и ветром (визуально)	По указанию УГМС
д) составление и передача телеграмм об осадках и опасных метеорологических явлениях в светлое время суток	В сроки и адреса по указанию УГМС
6. Участие в работе при проведении гидрологических и геодезических работ	По плану гидрологической станции
7. Первичная обработка материалов наблюдений и составление месячных таблиц	Регулярно в течение месяца

Гидрологические посты II разряда выполняют наблюдения и работы, указанные в пп.1, 4, 5, 6 и 7 программы постов I разряда; из п.2 выполняется только взятие проб воды на химический анализ.

Гидрологические посты III разряда проводят те же виды наблюдений и работ, что и посты II разряда, за исключением метеорологических наблюдений (п.5) и взятия проб на химический анализ. Объем и сроки наблюдений на постах II и III разрядов те же, что и на постах I разряда.

Основными сроками гидрологических наблюдений приняты 08 и 20 ч. по местному времени. На ведомственных и временных постах состав наблюдений зависит от их назначения и поставленных задач. При проведении на посту нескольких видов наблюдений в один срок станция дает расписание, в котором в зависимости от взаимного расположения пунктов и значимости наблюдений указывается, какие именно наблюдения проводятся несколько раньше срока, точно в срок или позже. Наблюдатель обязан соблюдать указанные сроки проведения каждого вида наблюдений, а в случае нарушения должен отмечать точное время выполнения данного наблюдения. Это относится и к наблюдениям в дополнительные сроки. Запись времени осуществляется обычно с точностью до 5 мин; на самописцах – с точностью до 1 мин.

Некоторые явления водного режима и погоды должны наблюдаться круглосуточно, например прохождение пика паводка, ледовая

обстановка, метеорологические явления (осадки, гроза, гололед, туман и т.п.). Если указанные явления наблюдались не в срок наблюдения, то их отмечают в ближайший очередной срок с указанием приблизительно промежутка времени, когда они наблюдались (ночью, между 11–13 ч. и т.п.).

Результаты наблюдений записываются в соответствующих книжках и бланках. Полевая книжка для записи водомерных наблюдений (форма КГ-1) заполняется в двух экземплярах: подлинник, заполняемый в поле (у реки), и копия, в которую переписываются данные сразу же по возвращении с места наблюдений. Записи ведутся простым карандашом, аккуратно, разборчиво; стирать резинкой или подтирать написанное запрещается. Если запись сделана неверно, она должна быть перечеркнута так, чтобы можно было прочесть неверную запись, а сверху или рядом следует сделать правильную запись. *Все результаты наблюдений должны быть записаны в книжку немедленно, на месте наблюдения.*

По возвращении с поста наблюдатель должен сразу же произвести в подлинных экземплярах книжек необходимую первичную обработку результатов наблюдений (привести высоты уровня к нулю графика, ввести инструментальные поправки к отсчетам по приборам, вычислить расход воды и т.д.). Результаты наблюдений и их обработки сразу же переписываются в копии книжек. По окончании месяца наблюдатель должен выполнить обработку данных за месяц и не позднее 2-го числа следующего месяца выслать на станцию подлинники книжки, таблицы, ленты самописцев и др. Копии книжек для записи водомерных наблюдений высылаются на станцию по окончании года.

1.4. Контрольные вопросы

1. Какова структура (составные части) гидрологической сети?
2. Как классифицируется гидрологическая сеть?
3. Что понимают под гидрологическим сроком наблюдения?
4. Каким условиям должно отвечать место для обустройства под гидропост?
5. Для чего и сколько раз проводится рекогносцировка участка реки при организации на нем гидрологического поста?
6. Какое время (часы) принято за основные сроки гидрологических наблюдений?
7. Какие гидрологические явления необходимо наблюдать в установленный срок, какие круглосуточно?

2. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВЫСОТОЙ УРОВНЯ ВОДЫ

2.1. Устройства и приборы для наблюдения за уровнем воды

Уровнем воды в водотоке (водоеме) называется высота водной поверхности над условной горизонтальной плоскостью сравнения, неизменной по высоте, принимаемой за **нуль графика гидрологического поста**. Эта плоскость выбирается приблизительно на 0,5 м ниже самого низкого уровня H в створе поста, а на реках с неустойчивым руслом – с учетом возможного размыва дна. Измерение высотного положения нуля графика поста допускается лишь в исключительных случаях и только с разрешения соответствующих органов Кыргызгидромета.

Наблюдения за уровнями воды ведутся на гидрологических постах I, II, и III разрядов.

В зависимости от срока действия посты для наблюдений за уровнями воды могут быть **постоянными**, предназначенными для длительных (стационарных) наблюдений, и **временными**, создаваемыми на период изысканий и строительства.

Гидрологический пост включает водомерные устройства, по которым производятся измерения уровня воды, и репера, предназначенные для систематического контроля высотного положения водомерных устройств. Каждый гидрологический пост оборудуется для наблюдений за уровнями воды так, чтобы на нем можно было проводить наблюдения при самых низких и самых высоких уровнях в течение всего года.

По конструкции водомерные устройства (посты) подразделяются на следующие типы:

- **реечные** – уровень воды отсчитывают непосредственно по делениям рейки на высоте поверхности воды;
- **свайные** – уровень отсчитывают по его превышению над головкой сваи;
- **реечно-свайные** – комбинация первых двух типов;
- **передаточные** – где положение уровня передается различными способами от датчика к регистрирующей части прибора;
- **автоматизированные** или автоматические дистанционные уровнемеры – устанавливаются при автоматизации гидрологических наблюдений на посту. Такие посты называют **самопишущие**.

Выбор того или иного типа водомерного устройства зависит от условий и требований к точности получаемых результатов наблюдений.

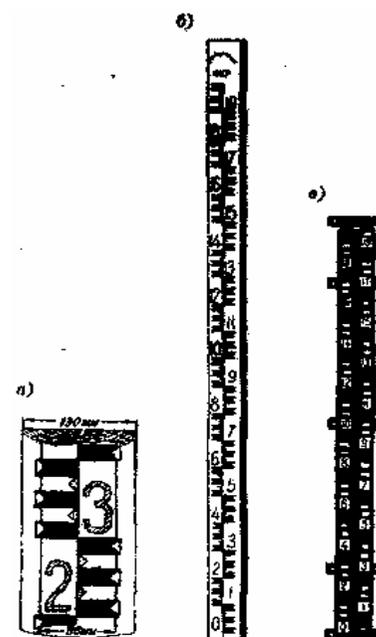


Рис. 2.1. Типы постовых реек:
а – деревянная; б – металлическая эмалированная; в – чугунная.

Постовые водомерные рейки бывают деревянные, металлические эмалированные, чугунные с делениями через $a=2$ см (рис. 2.1).

Для получения более точного отсчета уровня иногда рейку устанавливают в береговом ковше, который свободно сообщается с рекой и служит усилителем волн (рис. 2.2). Длина рейки должна превышать амплитуду колебаний уровня воды примерно на 0,5–1 м.

Реечные водомерные устройства отличаются простотой и удобством измерения. Получили широкое применение на водных объектах с небольшими (до 3 м) годовыми амплитудами колебания уровня воды. Обычно их применяют на достаточно крутых берегах рек или крепят на стенках и/или устоях гидротехнических сооружений. На реках с большими годовыми амплитудами колебаний уровня воды реечные устройства применяют только в том случае, если можно прикрепить водомерную рейку к мостовой опоре или гидротехническому сооружению. Рейку заделывают заподлицо в паз гидротехнического сооружения для предотвращения поломки ее плавучими предметами или льдом. Реечные устройства состоят из одной или нескольких вертикальных или наклонных реек.

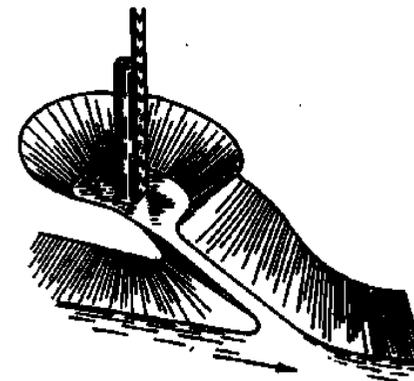


Рис. 2.2. Уровнемерная рейка, установленная в водомерном ковше.

Нередко применяются наклонные рейки, которые устанавливают на откосах берегов с искусственным креплением (рис. 2.3). Эти рейки располагаются в небольших углублениях и лучше защищены от повреждений плавающими предметами. Они не создают подпора, а поэтому обеспечивают более точный отсчет уровня. Каждое деление наклонной рейки $a=2 \text{ см}/\sin\alpha$, где α – угол наклона рейки к горизонту. В этом случае одно деление наклонной рейки будет соответствовать 2 см вертикальной рейки.

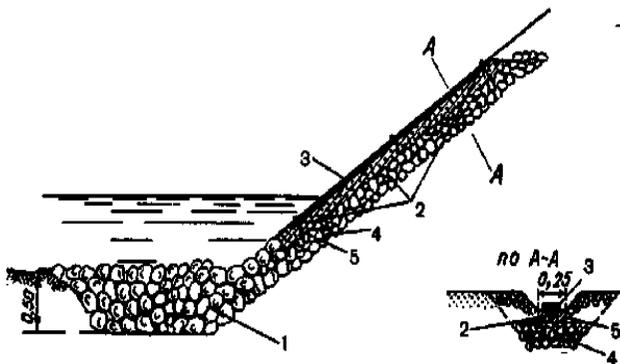


Рис. 2.3. Схема установки наклонной рейки:

1 – упор из каменной наброски; 2 – опоры рейки (закладываются при устройстве щебеночной подготовки); 3 – рейка; 4 – щебеночная подготовка; 5 – бетонная подготовка 10 см.

При использовании нескольких реек желательно, чтобы нулевые деления смежных реек были смещены по высоте на целое число метров.

Высоту уровня воды измеряют от нуля рейки. Горизонтальную плоскость, совпадающую с нулевым делением рейки, называют **нулем наблюдений**. Отметка нуля наблюдений (абсолютная или условная) устанавливается нивелированием.

Отсчеты по рейке приводят к нулю графика гидрологического поста, который назначается для каждого поста при его устройстве.

Разность между отметками нуля наблюдений и нуля графика гидрологического поста называют **приводкой к нулю графика поста**:

$$h_{пр.} = H_{0,н} - H_{0,г}, \quad (2.1)$$

где $h_{пр.}$ – приводка, м; $H_{0,н}$ – отметка нуля наблюдений, м; $H_{0,г}$ – отметка нуля графика поста, м.

Таким образом, высота уровня воды над нулем графика равна:

$$H = h_{пр.} + h, \quad (2.2)$$

где h – отсчет по рейке, см (при вычислении необходимо перевести отсчет из сантиметров в метры).

Свайное водомерное устройство представляет собой группу свай, забитых в берег и дно реки в одном створе, перпендикулярном среднему направлению течения потока воды (рис. 2.4). Оно наиболее удобно на реках с пологими берегами. Количество свай и их размещение зависит от поперечного профиля берега и амплитуды колебания уровня воды. Отметка головки верхней сваи должна быть на 0,25–0,50 м выше наивысшего исторического уровня воды, а головка последней (нижней) сваи – на 0,50 м ниже наинизшего уровня. Разность высот головок соседних свай, как правило, не должна превышать 0,80 м. Расстояние между сваями назначается из условия удобства подхода к ним при проведении наблюдений. Глубину забивки свай устанавливают в зависимости от вида грунта и глубины его промерзания.

Применяют деревянные и металлические сваи.

Деревянные сваи изготавливают из дерева прочных пород (дуба, сосны, лиственницы и т.п.) с диаметром ствола 0,20–0,25 м. После забивки головки свай спиливают горизонтально, оставляя над поверхностью земли 10–15 см. В торец сваи забивают железный костыль или большой гвоздь с широкой шляпкой; выступающую над землей часть окрашивают масляной краской.

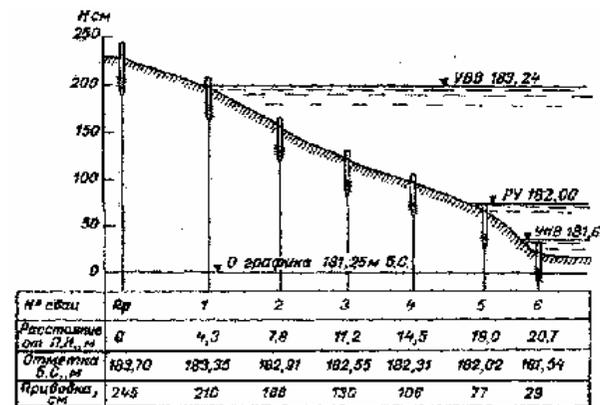


Рис. 2.4. Схема свайного водомерного поста:

Рр – репер; УВВ – уровень высокой воды; РУ – рабочий уровень; УНВ – уровень низкой воды; ПН – постоянное начало; БС – отметка базисной сваи.

Стандартные металлические сваи имеют длину 220 см и диаметр 8 см. Нижняя часть их на расстоянии 35 см от конца имеет винтовую нарезку, а верхняя часть, длиной 15 см, представляет собой

головку диаметром 10 см. Головка имеет плоские срезы для ключа, с помощью которого свая закручивается в грунт. Применяются также сваи из обрезков металлических труб и прокатных балок двутаврового или швеллерного профиля.

Сваи нумеруют сверху вниз от репера, устанавливаемого в незатопленной зоне берега, и нивелируют. Каждая свая получает свою отметку – нуль наблюдений. Назначается нуль графика поста и устанавливаются приводки свай, т.е. превышения их головок (нулей наблюдений) над нулем графика поста.

Уровни воды в реке измеряют при помощи переносной рейки, которая устанавливается на головку ближайшей к берегу сваи, находящейся под водой. Прибавляя к приводке сваи отсчет по рейке, по формуле (2.2) устанавливают высоту уровня воды над нулем графика поста (см. рис. 2.4). Стандартная переносная рейка из легкой металлической трубы имеет длину 100 см и деления через 1 см.

Если берег реки скалистый, то вместо установки свай целесообразнее сделать в скале высечки в виде ступеней. Горизонтальные площадки ступеней должны быть достаточного размера для прохода по ним наблюдателя, т.е. не менее 20х30 см. В центре площадок устанавливают металлические штыри, зацементированные в скалу.

Водомерные устройства **речечно-свайного типа** устраивают на участках рек с резкими переломами поперечного профиля. Этот тип состоит из рейки в обрывистой части берега и свай в пологой части, расположенных в одном створе.

Передаточные водомерные посты устраивают там, где доступ к воде затруднен. В зависимости от местных условий передаточные посты бывают различных видов.

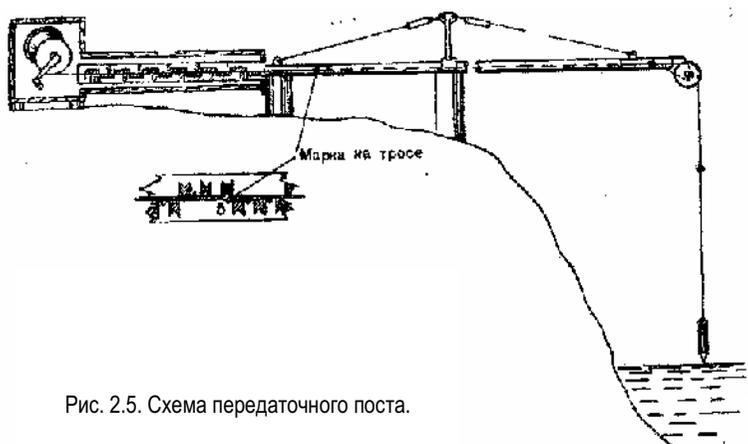


Рис. 2.5. Схема передачного поста.

Мостовой пост устраивают там, где на реке или водоеме имеется сооружение, хотя бы частично расположенное над водой. На мосту меткой закрепляется постоянная точка (ноль наблюдения) для отсчета уровня. Высота этой точки определяется нивелировкой от ближнего репера. Уровень воды от этой метки определяется рейкой, рулеткой или размеченным тросом.

Тросовый пост устраивается обычно на горных реках с обрывистыми скалистыми берегами, где доступ к воде затруднен и опасен.

Основной частью поста является вынос (стрела), устройство которого видно на рис. 2.5. Вдоль консоли закрепляется рейка с делениями. На тросе закрепляется марка, соответствующая нулю графика. На свободном конце троса закрепляется груз, который касается поверхности воды. Для более точного определения момента касания трос можно оборудовать электроконтактом. Для этого нужно иметь источник электропитания – батарейку и сигнализатор-амперметр или вольтметр.

Самопишущие водомерные посты непрерывно регистрируют колебания уровня воды. Самопишущий пост устанавливают при значительном суточном ходе уровня, а также при резких его колебаниях, вызываемых дождевыми паводками, приливами, сгонно-нагонными ветрами, работой гидротехнических сооружений.

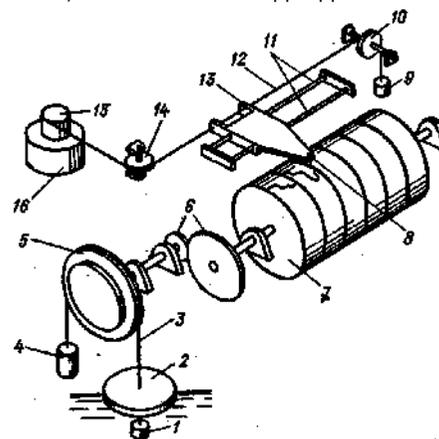


Рис. 2.6. Кинематическая схема самописца уровня «Валдай»:

1 и 9 – груз; 2 – поплавок; 3 – мягкий трос; 4 – противовес; 5 – поплавковое колесо; 6 – шестерни; 7 – барабан; 8 – перо; 10 и 14 – ролики; 11 – направляющие стержни; 12 – струна; 13 – каретка; 15 – барабан; 16 – часовой механизм.

Основной частью самопишущего поста является прибор – самописец для автоматической записи колебаний уровня воды. При большом разнообразии систем самописцев уровня все типы их состоят из двух основных элементов: датчика уровня и записывающего устройства.

В настоящее время на гидрологической сети Кыргызстана наиболее распространены самописцы «Валдай». Предназначены они для непрерывной записи колебания уровня воды в пределах 600 см. Он состоит из поплавковой системы и регистрирующего механизма (рис. 2.6).

Поплавковая система включает в себя пустотелый металлический поплавок 2 с грузом 1 и противовес 4, подвешенные с помощью мягкого троса 3 на поплавковом колесе 5. Поплавковое колесо представляет собой два спаренных диска: малый – с длиной окружности 300 мм и большой – 600 мм. При колебаниях уровня воды происходят перемещения поплавка, которые через поплавковое колесо и систему шестеренок 6 преобразуются в пропорциональное вращение барабана 7 с закрепленной на нем разграфленной бумажной лентой.

Регистрирующий механизм самописца состоит из барабана 7, часового механизма 16 и каретки 3 с пером 8, скользящей по двум направляющим стержням вдоль барабана. Каретка с пером перемещается под действием часового механизма, который снабжен двумя смежными барабанами для записи времени в масштабах 12 и 24 мм/час. Время работы часового механизма ограничено ходом каретки и равно 26 час для масштаба 12 мм/час и 13 час для масштаба 24 мм/час. Запуск часового механизма производится рычагом, расположенным на корпусе прибора.

Наличие двух дисков на поплавковом колесе (малого и большого) 5, а также сменных шестеренок позволяет самописцу «Валдай» записывать на диаграмме уровни в четырех масштабах: 1:1; 1:2; 1:5; 1:10. Погрешность записи в масштабе 1:1 равна ± 3 мм, а при масштабе 1:10 – ± 10 мм. График колебаний уровня воды вычерчивается так, что ось времени располагается параллельно оси барабана, а ось уровня – перпендикулярно.

Для нормальной работы самописца необходимо заводить часовой механизм и менять ленты.

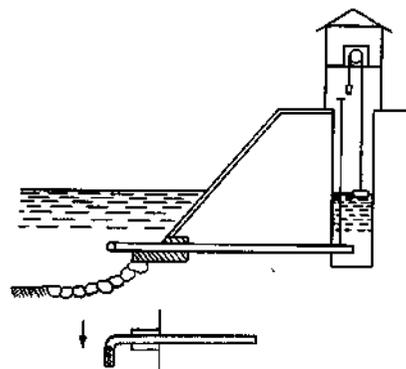


Рис. 2.7. Береговой тип установки самописца.

посты автоматически измеряют колебания уровня воды, и результаты

передают на значительные расстояния (например, телемеханическая система управления каналом Туш в Аламединском районе – ТИМ-72).

Дистанционные водомерные посты состоят из датчика, канала связи, регистрирующего устройства, источника питания. Все элементы по исполнению могут быть различными.

2.2. Устройства и приборы для регистрации максимальных и минимальных уровней воды. Приспособления и приборы для увеличения точности отсчета уровня воды

Наблюдения за уровнем воды, выполняемые на водомерных постах один или два раза в сутки, во многих случаях не позволяют зафиксировать наивысшее и наименьшее положение уровня, значения которых необходимы для установления пределов колебания водности. Регистрацию экстремальных уровней между сроками производят

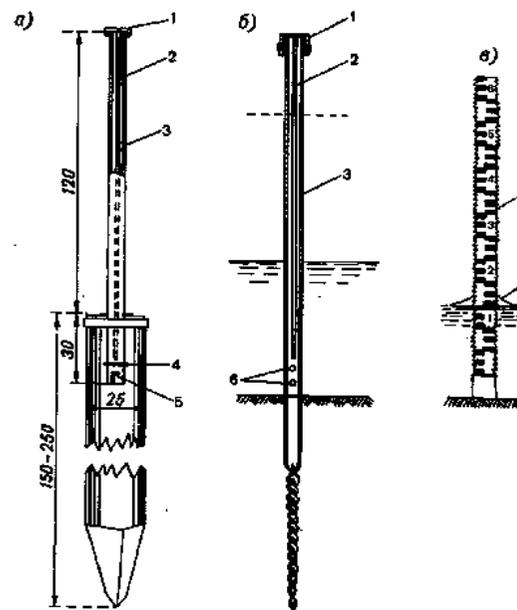


Рис. 2.8. Типы максимальных и минимальных реек: а, б – максимальные рейки; в – минимальная рейка.

1 – головка; 2 – стержень-указатель; 3 – труба; 4 – скоба; 5 – болт; 6 – отверстия; 7 – зубчатая рейка; 8 – поплавок с пружинами.

по максимальным и минимальным водомерным рейкам или по указателю уровня воды более совершенной конструкции.

Максимальные и минимальные рейки располагают в створе основного поста или рядом с ним. Длина реек должна быть не более 2 м. При значительной амплитуде колебаний уровня устанавливают две (и более) максимальные рейки. Максимальная рейка в стальной трубе на свае показана на рис. 2.8,а, металлическая рейка с винтовым наконечником – на рис. 2.8,б. Стержень-указатель 2 перед установкой в трубу покрывают разведенным в воде ме-

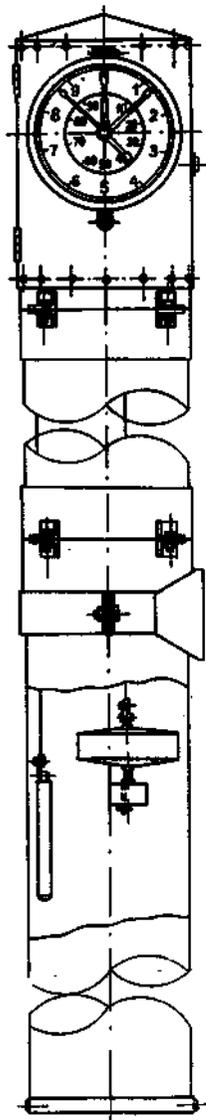


Рис. 2.9. Стрелочный указатель уровня У-52.

лом. Высота уровня определяется по границе смытого раствора мела по делениям на стержне. Зубчатая рейка Фролова (рис. 2.8,в) предназначена для фиксации минимального уровня. Надетый на рейку поплавков опускается вместе с уровнем воды, но при его подъеме задерживается пружинами и тем самым отмечает положение самого низкого уровня между сроками наблюдений. Эта же рейка в перевернутом виде может служить для фиксации максимальных уровней.

Более точными устройствами для регистрации крайних значений уровня являются стрелочные отметчики, один из них показан на рис. 2.9. Стрелочный механизм приводится в действие от поплавка. На циферблате прибора кроме стрелок, указывающих уровень в данный момент (одна указывает метры, а другая – сантиметры по соответствующим шкалам), имеются две стрелки, указывающие максимальный и минимальный уровни воды в период между двумя наблюдениями.

Для увеличения точности отсчета уровня воды применяются различные приспособления и приборы. Рейку устанавливают в ковше (см. рис.2.2). Выполняют рейку из органического стекла с успокоителем (рис. 2.10, а).

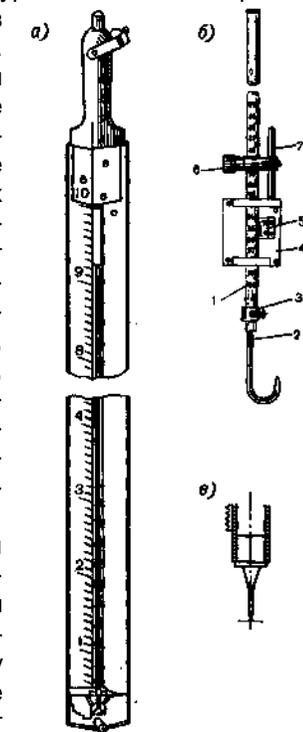


Рис. 2.10. Приборы для увеличения точности измерения уровня: а – водомерная рейка с успокоителем; б – крючковая рейка; в – игольчатая рейка.

Данные устройства применяют при волнении и на горных реках с турбулентным течением. Крючковая рейка (рис. 2.10,б) обеспечивает точность отсчета ± 1 мм уровня при отсутствии волнения. Она предназначена для измерения высоты уровня воды в верхних бьефах водосливов, мерных баках и гидрометрических лотках. При измерении крючок опускается в воду, а затем иглу крючка необходимо поднять до накалывания ею поверхности воды, после чего делается отсчет уровня. Сходную с ней конструкцию имеет игольчатая рейка, с той лишь разницей, что на конце рейки вместо крючка прикреплена игла (рис. 2.10, в). При измерении уровня необходимо концом иглы прикоснуться к воде, не прокалывая ее. Трубка игольчатой рейки разделена на миллиметры, что позволяет при помощи нониуса производить отсчеты с точностью до $\pm 0,1$ мм.

2.3. Наблюдения за уровнями воды

Сроки измерения уровней воды устанавливают в зависимости от режима водного объекта и назначения поста. На постах государственной гидрологической сети за основные сроки наблюдений за уровнем приняты 08 и 20 часов по местному времени. Частота регистрации уровней увеличивается или уменьшается в зависимости от характера изменения их во времени. Дополнительные наблюдения за уровнем между указанными стандартными сроками производятся: а) в период половодья; б) в период дождевых паводков в виде ряда следующих друг за другом волн разной продолжительности и высоты; в) в период межени во время одиночных дождевых паводков; г) в период шуго- и ледохода и интенсивного таяния льда.

Наиболее частые наблюдения проводятся в четыре срока, т.е. в 02, 08, 14 и 20 часов. На некоторых постах, в основном на малых реках, при отсутствии самописца уровня воды наблюдения в отдельные периоды назначаются через 2 часа (с привлечением дополнительного наблюдателя). На постах, где колебания уровня зависят от режима попусков воды из вышерасположенного водохранилища или от работы ГЭС, сроки наблюдений за уровнем назначаются гидрологической станцией по результатам анализа хода уровня при разных режимах. На гидромелиоративных системах число срочных суточных наблюдений за уровнями воды в каналах и на гидросооружениях устанавливается эксплуатационной службой в зависимости от назначения поста и времени года. Например, в вегетационный период на оросительных системах уровни измеряют через 2...4 часа.

По указанию специалистов станции, в зимнее время при ледоставе, при условии медленного и плавного изменения уровня, наблюдения осуществляются один раз в сутки в 08 часов.

Таблица 2.1

Пример записи наблюдений в книжке КГ-1 за уровнем воды при волнении

Число	Час	№ сваи (рейки)	Уровень воды, см		
			Отсчет (гребень/ложбина; среднее)	Над нулем графика	Средний за сутки
1	8	3	38/12; 25 42,6; 24 35/15; 25 44/8 26 10/19; 24		87
	20	3	Средний за срок 25 48/10; 29 46,14; 30 50/6; 28 45,9; 27 51,10; 30	85	
			Средний за срок 29	89	

На постах, оборудованных самописцами типа «Валдай», контрольные измерения уровня проводят один или два раза в сутки в указанный гидрологической станцией срок. На постах, оборудованных самописцами длительного действия типа 501, ГР-38 и др., контрольные измерения уровня ведутся один раз в два дня, в неделю, в две недели или в месяц. Порядок и сроки наблюдений указываются наблюдателю в письменном задании. Наблюдатель приходит на пост заблаговременно (за 10–15 минут до срока наблюдений), проверяет сохранность и состояние водомерных устройств и выполняет подготовительные работы. Наблюдения на посту должны выполняться в такой последовательности, чтобы высота уровня воды была измерена в точно установленный срок наблюдений.

Высота уровня воды измеряется с точностью, зависящей от вида оборудования поста и предъявляемых требований к точности измерений (назначается гидрологической станцией).

На речном посту уровень измеряется по ближайшей к берегу рейке, погруженной в воду; на свайном – при помощи переносной рейки, устанавливаемой вертикально на площадке ближайшей к берегу сваи, покрытой водой.

Отсчеты значений уровня на речном посту и по переносной рейке на свайном посту должны производиться так, чтобы глаза наблюдателя находились возможно ближе к поверхности воды, иначе будут получаться неправильные отсчеты.

Отсчеты значений уровня на речном посту и по переносной рейке на свайном посту должны производиться так, чтобы глаза наблюдателя находились возможно ближе к поверхности воды, иначе будут получаться неправильные отсчеты. При точности отсчета уровня в 1 см записывается ближайшее из делений, около которого находится поверхность воды. Если уровень находится посередине между делениями рейки, записывается четное из них (например: 10,5 – записывается 10 см, а 13,5 – записывается 14 см). Во время волнения, если высота волны на глаз не превышает 15 см, наблюдатель следит за колебаниями уровня и замечает высшее и низшее деления, которых достигает вода на рейке (рис. 2.11). В полевую книжку записывается среднее из этих двух отсчетов. Если высота волны более 15 см, необходимо сделать 10 отсчетов высоты уровня при прохождении гребней и ложбин пяти волн. В водомерной книжке отсчеты уровня по рейке (свае) записываются в графу 4 книжки КГ-1. Пример записи при волнении приведен в табл. 2.1.

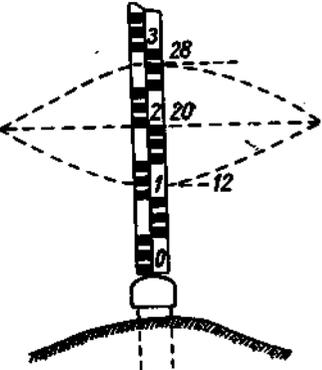


Рис. 2.11. Отсчет высоты уровня при волнении.

На свайном посту при подъеме или спаде уровня воды следует два срока подряд производить так называемые переходные измерения по двум сваям одновременно: над которой вода возвышается незначительно и которая находится уже глубоко под водой. Это необходимо для проверки постоянства высотного положения свай.

Если окажется, что свая, по которой необходимо произвести измерения уровня, обсохла, а другой сваи, которая должна находиться под водой, нет, то необходимо забить временную сваю (кол), провести ватерпасовку ее или нивелирование и продолжать наблюдения по этой временной свае.

Измерение высоты уровня воды по свае, головка которой вышла из воды (или по постоянной рейке, нулевое деление которой вышло из воды), допускается только в исключительных случаях, когда нет возможности сразу же забить дополнительную сваю или кол. При отсчете высоты уровня ниже головки сваи переносная рейка приставляется отвесно к свае так, чтобы низ ее касался поверхности воды, а отсчет делается на уровне головки сваи (рис. 2.12).

При наличии на посту отметчика высшего уровня – максимальной рейки

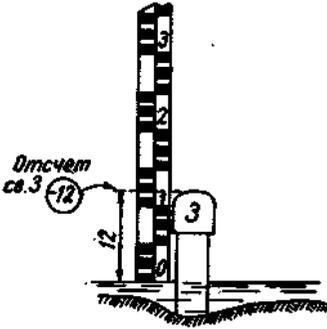


Рис. 2.12. Отсчет высоты уровня воды ниже нуля наблюдения.

или другого какого-либо устройства – наблюдатель измеряет высоту оставленной высшим уровнем метки и снова приводит устройство в готовность для дальнейших наблюдений. Отмеченный высший уровень записывается в полевой водомерной книжке в следующей строчке после записи за предыдущий срок.

Во время паводков при отсутствии отметчиков предельных значений уровня помимо учащенных измерений высоты уровня наблюдатель должен постараться измерить самый высокий уровень на пике паводка, в крайнем случае установить величину его прохождения по следам, оставленным высокой водой (кочки травы, мелкого мусора на ветках и стволах деревьев, навалы хвороста и отложений песка на берегах, следы свежих размывов берегов и др.) и пронивелировать их. О всех случаях катастрофических подъемов уровня воды наблюдатель должен немедленно сообщить на станцию, а в полевой книжке или на отдельном листке бумаги, который подклеивается в книжку, кратко описать прошедший паводок и произведенные им разрушения и убытки.

В тех случаях, когда река пересыхает не от истощения грунтового питания, а вследствие проведения водохозяйственных мероприятий: водозабора на орошение, задержание воды в прудах и т.п., в водомерной книжке в примечаниях указывается причина пересыхания реки на участке поста.

При промерзании реки в створе поста в водомерной книжке отмечается сокращенно «прмз» (промерзло).

Наблюдения на посту при наличии самописца уровня заключаются в смене ленты и проведении контрольных измерений уровня воды по основному посту и водомерному устройству в колодце. Лента меняется обычно утром.

При смене ленты необходимо выполнить следующие работы:

- 1) подготовить новую ленту, на ней проставить порядковый номер, дату ее установки, название реки и пункта наблюдения;
- 2) измерить уровень воды на внешнем (на реке, озере) и внутреннем (в приемном резервуаре – колодце самописца) постах с приведением отсчета к нулю графика поста;
- 3) на старой ленте сделать засечку пером самописца на конце линии записи уровня и около засечки записать часы и минуты снятия ленты и величину уровня, приведенного к нулю графика поста, после чего старую ленту снять;
- 4) завести часовой механизм и проверить действие пера. Перо проходит всю длину барабана за 24 часа; прочистить и заправить чернилами перо самописца; надеть на барабан новую ленту, на ленте сделать засечку пером и записать время и уровень воды в этот момент по контрольному посту.

2.4. Наблюдения за ветром и волнением (визуально)

Для оценки точности результатов наблюдений за уровнем воды в каждый срок наблюдений визуально определяются **сила и направление ветра и волнения**.

Направление ветра оценивается по отношению к течению реки: в полевой книжке (в графе «Ветер и волнение») ставится знак ↓, если ветер дует вниз по реке, знак ↑ – вверх по реке, знак ← – с правого берега и знак → – с левого берега. Сила ветра отмечается прибавлением черточек (оперения) к стрелке направления. При слабом ветре ставится стрелка без черточки.

Ветер считается слабым, когда поверхность воды почти спокойная, умеренным – на поверхности воды слабое волнение, сильным – на воде волны с гребешками пены. На малых реках, на которых даже сильный ветер не создает заметного волнения и не вызывает явления сгона и нагона воды к одному из берегов, наблюдения за ветром не производятся (в соответствии с указанием станции).

Волнение отмечается только на постах, расположенных на больших реках. Оценивается оно баллами, которые пишутся в графе «Ветер и волнение» после записи оценки ветра. Балл 0 пишется, когда поверхность воды гладкая или имеется мелкая рябь; 1 – слабое волнение; 2 – волнение умеренное, на поверхности волны появляются пена и гребешки; 3 – волнение сильное, вся поверхность воды покрыта большими волнами и с гребней срывается и стелется по поверхности воды белая пена.

На постах, расположенных на горных реках с бурным течением, вместо волнения отмечается (баллами) характер течения. Балл 1 – течение спокойное, на поверхности воды ровная или мелкая рябь; 2 – течение беспокойное, поверхность воды неровная, появляются пенистые гребешки; 3 – течение бурное, поверхность воды почти сплошь покрыта белой клубящейся пеной.

2.5. Обработка результатов наблюдений за уровнями воды

Основная обработка наблюдений. В состав обработки материалов наблюдений водомерного поста входит: 1) проверка полевой книжки наблюдателя с целью установления правильности и необходимой полноты записей; 2) вычисление окончательных приводок нулей наблюдений и приведение отсчетов высоты уровня к нулю графика; 3) анализ результатов наблюдений; 4) составление годовой таблицы «Ежедневные уровни воды».

Первичная обработка записей производится ежедневно наблюдателем поста и заключается в приводе отсчетов к нулю графика по-

ста и вычислению среднесуточного уровня. Записи наблюдателя проверяются на гидрологической станции сразу же после получения книжки за истекший месяц и выполняется их последующая обработка.

Вычисление приводок нулей наблюдений и высоты уровня воды над нулем графика поста определяется по формулам (2.1) и (2.2). При наблюдениях через равные промежутки времени среднесуточный уровень воды вычисляется как среднее арифметическое значение из всех отсчетов за соответствующие сутки (см. табл. 2.1), при неодинаковых интервалах – как средневзвешенное. Если измерения проведены с помощью самописца, то ленту прибора разбивают на ряд интервалов (по времени или по характерным точкам) и среднесуточный уровень определяют как среднее арифметическое значение отсчетов, соответствующих границам назначенных интервалов в пределах суток.

Среднесуточные значения уровней воды сводят в таблицу «Ежедневные уровни воды» (сокращенно ЕУВ), которые публикуются в гидрологических ежегодниках. В таблице явления ледового режима и некоторые другие характеристики водного объекта отмечают условными обозначениями (рис. 2.13), проставляемыми справа от значений уровня.

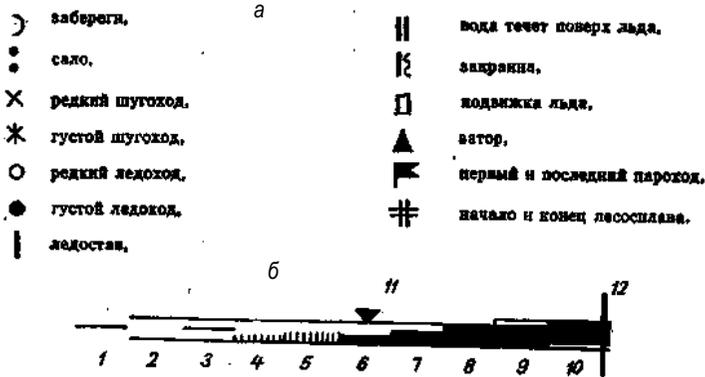


Рис. 2.13. Условные обозначения характеристик водного объекта и фаз ледового режима: а – для таблицы; б – для графиков: 1 – сало; 2 – забереги; 3 – сало при заберегах; 4 – редкий шугоход; 5 – шугоход; 6 – редкий ледоход; 7 – ледоход; 8 – неподвижный ледяной покров; 9 – вода течет поверх льда; 10 – закраины и лед подняло; 11 – дата зажога или зазора; 12 – дата подыжки льда.

В таблицу вписывают также *характерные уровни* – наивысшие и наиминимальные уровни из срочных наблюдений за каждый отдельный месяц и год в целом, уровень, при котором река очистилась ото льда,

уровень, при котором начали появляться ледяные образования. В примечаниях к таблице отмечают особые явления: случаи пересыхания или промерзания реки в районе поста, отборы воды на орошение или другие нужды, сбросы сточных вод и др.

Среднемесячные уровни вычисляют как среднее арифметическое из среднесуточных уровней, а среднегодовой – из среднемесячных.

Высший и низший уровни за соответствующие месяцы и год устанавливают путем выборки экстремальных значений из материалов срочных наблюдений на постах. Они заносятся в таблицу ЕУВ, где отмечаются и даты их наступления.

По данным таблицы ЕУВ строится график колебаний среднесуточных уровней воды (кривая 1 на рис. 2.14), на котором условными обозначениями (см. рис. 2.13) отмечают также фазы ледового режима. Для сопоставления нередко на данном чертеже совмещают графики колебаний уровней воды на соответствующем посту за несколько лет.

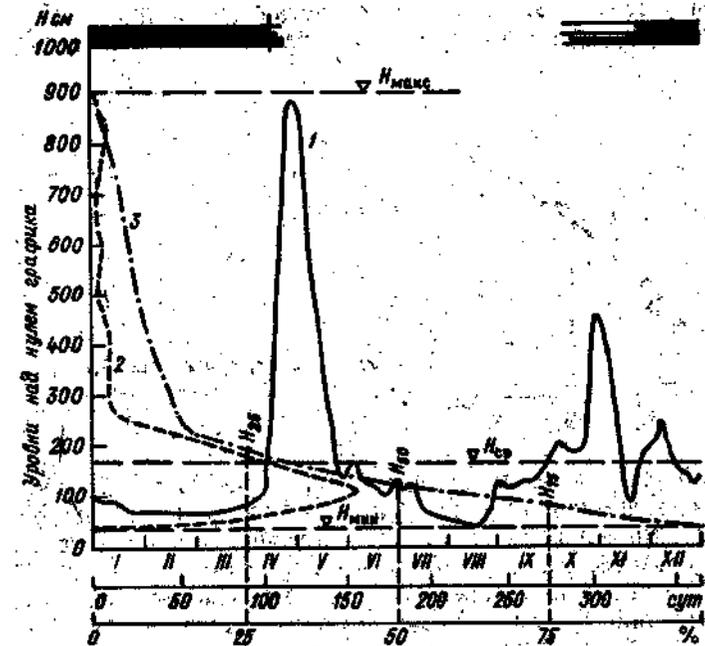


Рис. 2.14. Графики колебаний (1), повторяемости (2) и продолжительности (3) уровней воды.

Для контроля и анализа окончательно установленных значений уровней строят *комплексный график* результатов гидрометеорологических наблюдений, на который наносят температуру воздуха и воды, уровни воды, а также осадки, запас воды в снеге, высоту снега на льду, толщину льда и пр. Для постов с полным комплексом гидрологических наблюдений на этот график наносят вычисленные элементы режима реки (расходы воды, мутность рек и др.).

Специальная обработка уровней воды. При эксплуатации рек (судоходство, сплав, орошение и пр.), а также при проектировании гидротехнических сооружений необходимо знать такие важные характеристики как *повторяемость (частоту) уровней и продолжительность (обеспеченность) их стояния* в течение года, отдельного его периода (зимнего, летнего) или многолетнего периода. С этой целью проводят специальную обработку материалов наблюдений за уровнями воды.

Повторяемость уровня называют число случаев (суток или лет) появления уровня в пределах какого-либо заданного интервала. Повторяемость, выраженная в процентах от общей длительности рассматриваемого периода, называется *частотой*.

Продолжительностью стояния уровня называется число суток (или лет) в расчетном периоде, когда наблюдались уровни выше данного или равные ему. Продолжительность, выраженная в процентах всего расчетного периода, называется *обеспеченностью уровня*.

Для подсчета повторяемости и продолжительности стояния соответствующих уровней амплитуда их колебания разбивается по высоте на равновеликие интервалы через 5–50 см в зависимости от общей амплитуды колебаний уровня. Подсчеты ведут путем выборки соответствующих данных из годовых таблиц уровней. Результаты выборки заносят в ведомость, где уровни в интервалах удобно размещать в убывающем порядке.

На графике повторяемости (частоты) и продолжительности (обеспеченности) уровней (кривые 2 и 3 на рис. 2.14) точки повторяемости откладывают в середине соответствующего интервала, а точки продолжительности – в конце интервала. Из рис. 2.14 видно, что кривая продолжительности является интегралом кривой повторяемости. Эти графики используют для определения характерных статистических уровней, имеющих большое значение для выбора их расчетных значений при проектировании гидромелиоративных систем и сооружений. В частности, с помощью кривой повторяемости можно установить высоту уровня наибольшей частоты, называемого *модальным*, а с помощью кривой продолжительности – *медианный* уровень, обеспеченный на 50%, более объективно характеризующий среднее положение уровня, чем среднее арифметическое его значение.

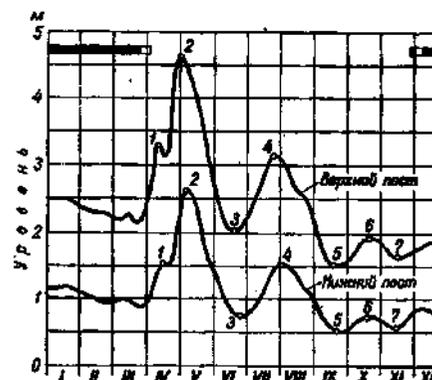


Рис. 2.15. Схема к определению соответственных уровней.

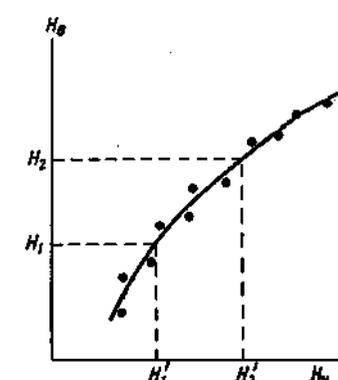


Рис. 2.16. График связи соответственных уровней.

Соответственные уровни воды. Если сопоставить графики колебаний уровня воды на двух постах одной и той же реки, то можно обнаружить подобие в их очертаниях. Уровни в сопоставляемых поперечных сечениях водотока, соответствующие одинаковым фазам его режима, называют *соответственными*. Во времени соответственные уровни двух постов сдвинуты, и этот сдвиг равен продолжительности добега воды от верхнего поста к нижнему. На рис. 2.15 однозначными номерами отмечены соответственные уровни по фазе на верхнем и нижнем постах.

Построение графика связи соответственных уровней для двух постов выполняется следующим образом. Парные значения соответственных уровней наносится на график (рис. 2.16), на котором по вертикальной оси расположена шкала уровней верхнего поста, а по горизонтальной – нижнего. Нанесенные точки соединяют прямой или кривой линией связи. Имея непрерывные наблюдения за уровнями по одному из постов, можно восполнить пропущенные наблюдения на другом посту. При значительных расстояниях между постами необходимо при построении графика связи соответственных уровней учитывать время добега отдельно для периодов подъема и спада уровней.

2.6. Обработка лент самописца

В состав обработки лент самописца уровня входит: 1) проверка качества записи; 2) разметка записи штрихами для нахождения значения уровней, 3) снятие ординат (высот) уровней с записи; 4) приведение показаний самописца к нулю графика; 5) составление месяч-

ной и годовой таблиц уровней. Обработка пп. 1–4 ведется на самой ленте.

Проверка качества записи заключается в ее критическом просмотре, установлении наличия на ленте контрольных отметок и их соответствия записям в полевой книжке, а также надписей с указанием водного объекта, даты и отметки нуля графика.

Перед разметкой штрихами линии записи необходимо вывернуть запись во времени. Для этого из начальной и конечной контрольных засечек, сделанных на ленте при ее наложении и снятии, опускаются перпендикуляры на ось времени. Допустимая невязка во времени определяется точностью хода часового механизма ± 5 мин в сутки. Если невязка превышает допустимую величину, то она распределяется пропорционально длине отрезка ленты между контрольными засечками.

Разметка записи может быть сделана через равные интервалы времени или же по характерным точкам. Способ разметки по равным интервалам применяется в случае плавного хода уровня с выделением суточного максимума и минимума. При разметке записи по способу характерных точек намечают точки на всех пиках, впадинах и характерных переломах линии записи с таким расчетом, чтобы отрезки кривой записи между выбранными характерными точками могли быть приняты за прямые. Небольшие зубцы на линии записи при обработке срезаются (т.е. не учитываются). Для выделения характерных точек используется специальная прозрачная палетка с прорезью 1,5 и 6 мм для различных масштабов записи уровня. В тех местах, где линия записи пересекается с краями прорези, отмечается точка перелома.

Для определения высоты уровня для каждого установленного при разметке ленты срока на ленте, слева от линии записи, строят шкалу уровней в сантиметрах таким образом, чтобы величина уровня над нулем графика, полученная для первой контрольной засечки при установке ленты, находилась напротив соответствующего деления на шкале. Затем по шкале уровней определяют величину уровня по последней контрольной засечке (поставленной при снятии ленты) и проверяют, соответствует ли разность уровней для контрольных засечек, полученная по шкале, разности уровней, вычисленной по записям измерений на контрольном посту при наложении и снятии ленты. Если между показаниями поста и самописца есть разница, то обнаруженную невязку разносят пропорционально для каждого отсчета уровня по ленте и отсчет по ней соответственно исправляют. Если удается выяснить причину невязки, это учитывается при обработке.

Уровни для каждого штриха на размеченной линии записи определяются по шкале уровней в сантиметрах над нулем графика. Ес-

ли лента размечается по методу характерных точек, около каждого штриха выписывается карандашом время в часах и минутах с точностью от 5 мин. до 1 ч. (в зависимости от масштаба времени) по выверенной шкале времени. Величины уровня указываются от 0,5 до 4 см в зависимости от масштабов уровня.

В результате обработки ленты вычисляют средний уровень за сутки и определяют наивысший и наименьший суточные уровни. Средний суточный уровень определяют: 1) в случае разметки записи через равные интервалы – как среднее арифметическое значение из всех отсчетов уровня; 2) в случае разметки записи по характерным точкам – путем суммирования площадей, ограниченных линией записи уровня, границами интервалов и осью времени, и деления полученной суммы на продолжительность записи, т.е. по формуле:

$$H_{\text{ср.сут.}} = \frac{\frac{H_1 + H_2}{2} T_{1-2} - \frac{H_2 + H_3}{2} T_{2-3} + \dots + \frac{H_{n-1} + H_n}{2} T_{(n-1)-n}}{24}, \quad (2.3)$$

где H_1, H_2, \dots, H_n – высоты уровня в характерных точках; $T_{1-2}, T_{2-3}, \dots, T_{(n-1)-n}$ – промежуток времени между соседними характерными точками.

Средний суточный уровень можно также определить планиметрированием площади, ограниченной линией записи, с последующим делением ее на длину (абсциссу) записи.

При многосрочных наблюдениях за уровнем воды заполняется форма ТГ-11. Пример оформления для случая разметки записи через равные интервалы приведен в табл. 2.2. Аналогичная форма записи делается и при разметке по характерным точкам.

Таблица 2.2

Пример заполнения таблицы ТГ-11 при многосрочных наблюдениях за уровнем воды (разметка записи через равные интервалы времени)

Число	Время, час.														Макс.	Мин.	Средн.
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	2	4	6	8				
Уровень, см	90	86	104	155	158	132	113	102	90	116	98	94	90	185	86	114	

2.7. Контрольные вопросы

1. Основные типы устройств для наблюдений за уровнями воды. Условия их применения.
2. Что такое уровень воды, нуль наблюдений, приводка и нуль графика гидрологического поста?
3. Состав и сроки наблюдений за уровнями воды.
4. Как измеряется уровень воды на свайных устройствах?
5. Передаточные устройства, их особенности и условия применения.

6. Самописцы уровня, их принцип действия и установка.
7. В чем заключается основная обработка наблюдений за уровнями воды? Какие уровни воды относят к характерным?
8. Что такое повторяемость и продолжительность стояния уровня воды; как они определяются?
9. Как строятся и для чего необходимы графики повторяемости и продолжительности уровней воды?
10. Соответствующие уровни воды и их использование.

3. ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИН

3.1. Задачи промерных работ

Расстояние по вертикали от свободной поверхности воды до дна реки (канала, озера, водохранилища и т.п.) называется **глубиной**.

Важным видом гидрометрических работ является измерение глубины (промерные работы) с целью определения глубины и характера рельефа дна реки, озера, водохранилища. В результате промерных работ могут быть получены план русла реки или ложа водоема в изобатах (линиях равных глубин) или горизонталях, а также поперечные и продольные профили. Для рек по материалам промеров определяются площади водных сечений, а для озер и водохранилищ вычисляется объем содержащейся в них воды.

Задачами промерных работ являются:

- исследования водных объектов в гидрографических целях;
- измерение глубин для гидрометрических работ (при измерении расходов воды, наносов и т.п.);
- определение глубин для нужд судоходства и лесосплава;
- измерение глубин и профилей дна в связи с составлением проектов гидротехнических сооружений;
- измерение глубин и профилей дна в связи с изучением режима перекатов, переформирования береговой зоны водохранилищ, размывов дна в нижних бьефах гидроузлов и пр.

Промерные работы удобнее проводить при низких (меженных уровнях), когда обнажаются мели, косы, выступы скал и пр. Определение наименьших глубин важно для целей судоходства и лесосплава.

Промерные работы можно проводить путем измерения глубин в отдельных точках или же путем непрерывной записи профиля дна. В первом случае определяются глубины в отдельных точках, отстоя-

щих одна от другой на определенных расстояниях в зависимости от требуемой точности промеров. Непрерывная запись профиля дна производится с помощью автоматических промерных приборов.

Измерение глубин всегда сопровождается плановым координированием промерных точек или створов, т.е. определением их координат в плане. Для этого создается геодезическая основа. **При промерах глубин необходимо вести наблюдения за уровнями воды.**

Глубины, измеренные в разное время в одной и той же точке, могут иметь разное значение, так как уровень воды изменяется. При измерении глубин на значительном протяжении реки проходит много времени, за которое уровень может меняться. Это приведет к тому, что глубины, измеренные в разное время, будут несопоставимы. Для устранения этого в конце работ все измеренные глубины приводят к одному расчетному (условному) уровню, соответствующему определенному моменту времени.

3.2. Приборы для измерения глубин

Для измерения глубин воды применяют простейшие приспособления, механические приборы и электронные ультразвуковые приборы – эхолоты. Эти приборы применяются в зависимости от того, в каких условиях проходят измерения, с какой точностью необходимо их выполнить, каков объем выполняемых работ.

Гидрометрические штанги. При измерении небольших глубин (до 6 м) применяют гидрометрическую штангу (наметку), которая представляет собой деревянный шест длиной до 7 м и диаметром 4–5 см. Нижняя часть наметки заканчивается железным башмаком массой 0,5–1 кг, который предохраняет ее от повреждения от ударов о дно. Наметка размечается 10-сантиметровыми делениями, которые попеременно окрашиваются белой и красной масляной краской. В момент измерения наметка должна занимать вертикальное положение. Отсчет глубины делают с погрешностью 2–5 см.

При измерениях малых глубин нередко используют также водомерные и нивелирные рейки, штанги от гидрометрических вертушек.

Лоты. Измерение глубин более 6 м выполняют с помощью ручных или механических лотов.

Ручной лот представляет собой металлический груз массой 3–6 кг конической и пирамидальной формы (рис. 3.1), подвешенный на пеньковом или капроновом шнуре или же мягком тросе (лотлине). Лотлинь размечают марками



Рис. 3.1. Лот промерный ручной.

ми на метры и дециметры. При измерении глубин лот забрасывают против течения воды, а отсчет берут в тот момент, когда лотлинь в натянутом состоянии займет вертикальное положение.

Ручные лоты применяют при небольших скоростях течения (до 1 м/с). Вследствие прогиба лотлиня и отношения течением погрешность измерения глубины лотом составляет 5–10 см.

При измерении глубин речных потоков с большими скоростями течения применяют *лоты механические*, в которых груз опускается и поднимается с помощью лебедки.

Стандартные гидрометрические грузы имеют обтекаемую форму (рис. 3.2) и массу от 5 до 100 кг. К тросу они крепятся посредством вертлюга, обеспечивающего свободное вращение груза в горизонтальной плоскости и установку его по направлению течения. Грузы опускают в воду и поднимают при помощи гидрометрической лебедки.



Рис. 3.2. Груз гидрометрический стандартный.

Длина вытравленного троса регистрируется установленным на лебедке счетчиком. Момент соприкосновения груза с дном устанавливают по уменьшению натяжения лотлиня или по сигналу от донного электроконтакта, расположенного под грузом.

Эхолоты. При проведении промерных работ с движущегося судна широкое применение получили эхолоты – приборы, автоматически измеряющие и регистрирующие глубины.

Действие эхолота основано на посылке ультразвуковых импульсов от вибратора-излучателя в водную среду и приеме отраженных от дна импульсов (эха) вибратором-приемником. Промежуток времени, за который ультразвуковой импульс проходит путь от излучателя до дна и обратно до приемника, пропорционален глубине. Эта зависимость используется для определения глубин и осуществляется посредством механических или электрических развертывающих устройств.

Скорость распространения ультразвука в воде зависит от ее температуры и солености (при $t=14^{\circ}\text{C}$ в пресной воде скорость ультразвука равна 1462 м/с). Для обеспечения необходимой точности измерения глубин перед началом каждого промера производят полевую тарировку эхолота, при этом автоматически осуществляется коррекция показаний эхолота в соответствии с температурой во время работ и соленостью воды.

Эхолоты выпускают различных марок. Они могут быть стрелочными, стробоскопическими и с записью профиля дна на бумажной ленте.

3.3. Способы выполнения промерных работ

В промерные работы входят: измерение глубины, определение координат промерных вертикалей, а также наблюдения за уровнем воды.

Применяют следующие способы промеров: по поперечникам, по продольникам и косым галсам.

Измерение глубин **по поперечникам (по гидрометрическим створам)** на малых реках выполняют с гидрометрических мостиков или люлек, подвешенных на тросе, на средних и больших реках – с лодок и катеров. Глубины измеряют наметкой, рейкой, штангой или лотом. Положение промерной вертикали, т.е. ее **координату**, относительно постоянного начала (закрепленной на берегу точки отсчета расстояний) при работе с мостика определяют с помощью мерной ленты или рулетки, а при измерениях с люльки – по мерному тросу, натянутому параллельно ездовому тросу и размеченному марками через 1–2 м.

На участке станции (поста) должен быть, как правило, один гидрометрический створ, совпадающий со створом гидрологического поста или находящийся в непосредственной близости от него. Если река имеет протоки, то гидрометрические створы должны быть устроены как в главном русле, так и в протоках.

Гидрометрический створ назначается перпендикулярно среднему направлению течения, которое определяется следующим образом.

Первоначально створ назначается на глаз перпендикулярно общему направлению течения реки, ориентируясь на очертания берегов. Затем в 8–10 точках, равномерно распределенных по ширине реки, определяется направление течения воды при помощи измерителя течения ГР-42, привязными поверхностными поплавками или по траекториям движения поверхностных поплавков. Одновременно скорость течения измеряется вертушкой.

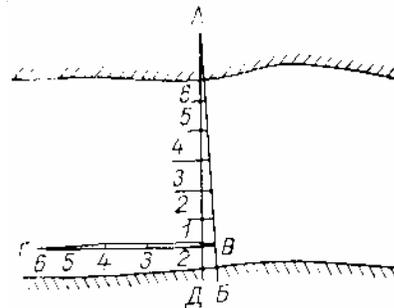


Рис. 3.3. Разбивка гидрометрического створа с учетом направления течения.

Значения полученных скоростей наносят на план в определенном масштабе, выбранном для скорости течения, в виде векторов, т.е. под соответствующим углом к линии гидроствора АВ, полученным при измерениях направления течения (для поплавков направление векторов параллельно прямым линиям, соединяющим начало и конец траектории каждого поплав-

ка) (рис. 3.3). Затем к первому от берега вектору пристраивают последовательно с сохранением измеренного направления и линейных размеров все остальные векторы. Прямая *ВГ*, соединяющая начало первого и конец последнего векторов, и будет являться равнодействующей и показывать среднее направление течения.

Перпендикуляр *АД* к равнодействующей *ВГ* будет означать правильное положение гидроствора, которое при оборудовании гидроствора и должно быть закреплено на местности.

На реках шириной до 300 м при скоростях течения до 1,5 м/с промеры обычно выполняют с лодки, перемещающейся вдоль туго натянутого через реку стального размеченного троса.

На реках шириной более 300 м положение промерных вертикалей на поперечнике определяют с помощью геодезических угломерных приборов (теодолита, гониометра, кипрегеля с мензулой и др.), установленных на берегу, или секстантом с лодки.

На одном из берегов прокладывают базис, перпендикулярно к которому разбивают и закрепляют геодезическими вешками промерные створы – поперечники (рис.3.4). На реках шириной до 500 м для обозначения поперечника достаточно двух вешек на одном берегу, а на реках, ширина которых превышает 500 м, необходима установка вешек в створе поперечника и на другом берегу. Расстояния между поперечниками назначают в зависимости от ширины реки, рельефа дна, задач промерных работ (1/3 – 1/4 ширины реки). Взаимное положение базиса, промерных створов и стоянок инструментов должно быть таково, чтобы углы между направлением поперечника и лучом визирования были не менее 30°.



Рис. 3.4. Определение положения промерных точек на поперечнике (по створу) с помощью угломерного прибора.

Промеры выполняют с лодки (или катера), перемещающейся от одного берега к другому строго в створе поперечника. Контроль движения лодки вдоль поперечника выполняется также геодезическим инструментом.

Количество промерных вертикалей на поперечнике назначают в зависимости от ширины реки и рельефа дна (табл. 3.1).

При плавном изменении рельефа дна промерные вертикали назначают реже, а при неровном дне – чаще в соответствии с особенностями профиля дна.

Таблица 3.1

Расстояния между промерными вертикалями по гидроствору

Ширина реки, м	Расстояния между промерными вертикалями, м
<20	0,5 – 1,0
21 – 30	1,0 – 1,5
31 – 40	1,5 – 2,0
41 – 60	2,0 – 3,0
61 – 80	3,0 – 4,0
81 – 100	4,0 – 5,0
101 – 200	5,0 – 10
201 – 300	10 – 15
301 – 500	15 – 25
501 – 800	25 – 40
Более 800	>40

При больших скоростях течения (более 1,5 м/с), когда лодку (катер) трудно удержать в створе поперечника, переходят к измерениям глубин по продольникам (лодка перемещается по течению примерно параллельно береговой линии) и галсам (лодка под воздействием течения пересекает реку под углом 30–40° к фарватеру).

Данные измерения глубин записывается в журнал (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Журнал промеров глубин р. Камчатка – пос. Паратунка, 15.07.2002 г.
Нуль графика поста 90 м усл.

№ промер. вертикали	Расстояние от постоянного начала, м	Глубина, м					Отметка дна русла, м усл.	Расстояние между вертикалями, м	Площадь водного сечения между вертикалями, м ²
		I	II	средняя	со срезкой	между вертикалями			
Урез п.б.	5	0	0	0	0		92,96		
						0,44		1	0,44
1	6	0,91	0,86	0,88	0,87		92,09		
						1,27		2	2,54
2	8	1,70	1,66	1,68	1,67		91,29		
						1,88		2	3,76
...									
14	32	0,86	0,88	0,87	0,86				
						0,43		1	0,43
Урез п.б.	33	0	0	0	0		92,96		
									ω= 54, 43 м ³

кладывая глубины вниз от расчетного уровня. Разность между отметкой поверхности воды и глубиной даст отметку дна реки или водоема.

Для каждого профиля вычисляют следующие **морфометрические характеристики**, необходимые для гидрологических и гидравлических расчетов: площадь водного сечения ω ; ширину реки или водоема B ; смоченный периметр χ ; среднюю глубину h_{cp} ; наибольшую глубину $h_{наиб}$; гидравлический радиус R .

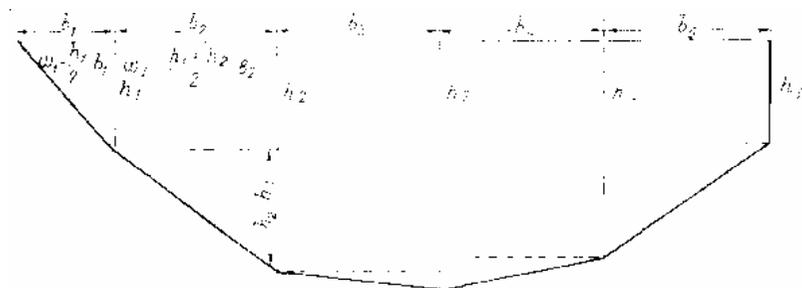


Рис. 3.6 Схема вычисления площади водного сечения и длины смоченного периметра.

Площадь водного сечения ω может быть определена планиметрированием профиля или аналитически – суммированием площадей, ограниченных промерными вертикалями, дном и поверхностью воды (рис. 3.6). Для прибрежных участков:

$$\omega_1 = h_1 b_1 / 2 \text{ и } \omega_n = h_n b_n / 2. \quad (3.2)$$

Для всех остальных участков площади, ограниченные промерными вертикалями, представляют собой трапеции и могут быть вычислены по формуле:

$$\omega_i = \frac{1}{2} (h_i + h_{i+1}) b_i. \quad (3.3)$$

Общая площадь водного сечения:

$$\omega = \frac{1}{2} h_1 b_1 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} \omega_i + \frac{1}{2} h_n b_n, \quad (3.4)$$

где h_1, h_i, \dots, h_n – рабочие глубины, м; b_1, b_i, b_n – расстояния между промерными вертикалями, м.

На гидрометрических створах, где измеряют расходы воды, помимо площади водного сечения, определяют площадь живого сечения, которая при наличии течения воды в пределах всего сечения будет равна площади водного сечения, а при наличии застойной зоны (мертвой) будет меньше площади водного сечения на размер площади мертвого пространства.

Ширина реки определяется как разность расстояний от постоянного начала до урезов берегов:

$$B = l_{н.б.} - l_{п.б.} \quad (3.5)$$

Смоченный периметр χ – длина линии дна реки на профиле, заключенная между урезами воды.

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

$$R = \frac{\omega}{\chi}. \quad (3.6)$$

Вычисление смоченного периметра и гидравлического радиуса обычно бывает необходимо для узких русел со значительной глубиной, так как в этом случае длина смоченного периметра может значительно отличаться от ширины реки.

Средняя глубина h_{cp} – частное от деления площади водного сечения на ширину реки:

$$h = \frac{\omega}{B}. \quad (3.7)$$

Для равнинных рек при сравнительно небольшой глубине и значительной ширине русла значение гидравлического радиуса близко к средней глубине $R \approx h_{cp}$.

Наибольшая глубина $h_{макс}$ – выбирается по данным промерной книжки или на профиле водного сечения.

Морфометрические характеристики профиля водного сечения

изменяются в зависимости от высоты уровня воды. Это изменение

обычно представляют графически в виде кривых зависимости площади

водного сечения и ширины реки от уровня воды (рис. 3.7). При наличии

профиля водного сечения, построенного до отметки наивысшего уровня

воды, кривую зависимости площади водного сечения от уровня строят

следующим образом. Площадь профиля (см. рис. 3.5) расчленяют через

определенные интервалы по высоте уровня (горизонтальными линиями), а

затем определяют площади при различных значениях уровня воды. При

плавном очертании профиля кривая $\omega=f(H)$ (рис. 3.7) получает вид

плавной кривой, обращенной выпуклостью к

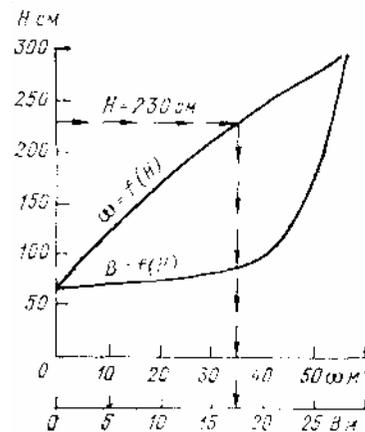


Рис. 3.7. Кривые зависимости площади водного сечения и ширины реки от уровня воды.

оси H ; в местах резкого изменения сечения, например при выходе воды из меженного русла на пойму, направление кривой резко меняется.

При вертикальных берегах, например в каналах прямоугольного сечения, приращение площади $\Delta\omega$ на единицу уровня ΔH постоянно и кривая $\omega=f(H)$ обращается в прямую.

Зависимость $\omega=f(H)$ будет постоянной только при условии постоянства во времени очертаний русла в профиле. Если русло реки изменчиво и подвергается размыву или заилению, то в соответствии с этим изменяется и положение кривой $\omega=f(H)$.

С увеличением высоты уровня изменяется и ширина реки B . Зная ширину реки при различной высоте уровня, нетрудно построить кривую $B=f(H)$.

При устойчивом русле как в глубинном, так и в плановом отношении кривые $\omega=f(H)$ и $B=f(H)$ позволяют определять ширину и площадь водного сечения реки при любой высоте уровня.

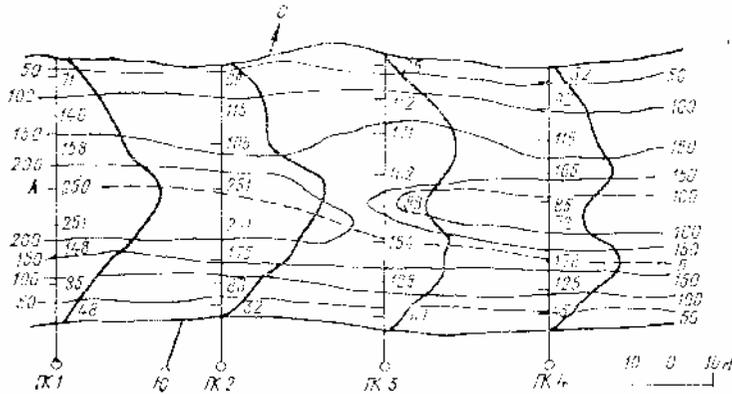


Рис. 3.8. План участка реки в изобатах.

По материалам промерных работ строят также план участка реки или водоема в горизонталях или изобатах (рис. 3.8). Сначала проводят урезы воды, т.е. линии соприкосновения водной поверхности с суши. При составлении плана в горизонталях эти линии соответствуют отметке расчетного уровня воды, а на плане в изобатах – нулевым глубинам. Затем около промерных точек, местоположение которых определяется засечками или непосредственно по измеряемому расстоянию от постоянного начала, выписываются глубины (для плана в изобатах) или отметки дна (для плана в горизонталях). На поперечниках целесообразно построить профили водного сечения, горизонтальный масштаб которых должен совпадать с масшта-

бом плана. Используя профили дна и ориентируясь на глубины или отметки дна, выписанные около промерных точек, проводят изобаты (линии равных глубин) или горизонтали (линии равных отметок). Сечение изобат и горизонталей выбирают в зависимости от масштаба плана, рельефа дна и амплитуды измерения глубин, от 0,2 до 2 м.

Продольный профиль реки позволяет судить об изменении глубин, падений и уклонов реки на отдельных участках, а также о высоте берегов, границах их затопления высокими водами. Профиль составляют обычно по линии наибольших глубин. По горизонтальной оси откладывают расстояния вдоль линии профиля до промерных точек (до поперечников), а по вертикальной – отметки дна, а также отметки правого и левого берега. Могут быть приведены и другие характеристики водного режима, необходимые для исследований (рис. 3.9).

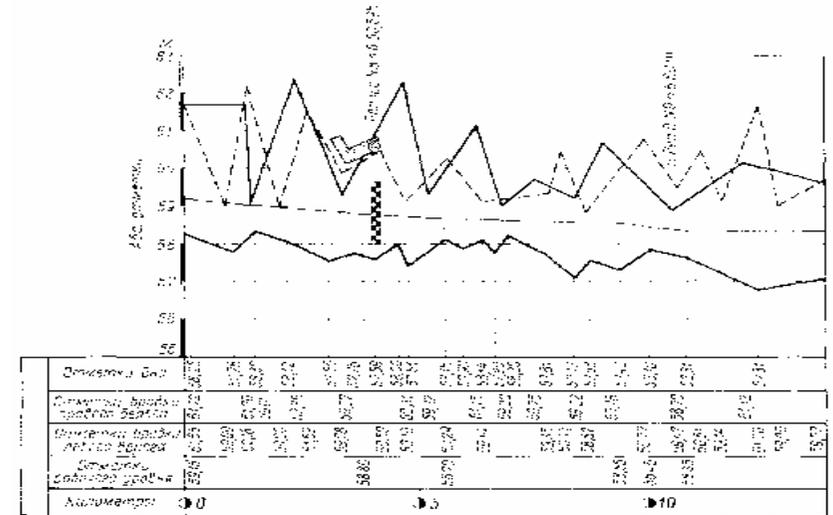


Рис. 3.9. Продольный комплексный профиль участка реки.

3.5. Контрольные вопросы

1. Приборы, применяемые при промерных работах в зависимости от глубины и скорости воды.
2. Каков принцип действия эхолота?
3. Когда применяют и в чем заключается способ промеров по поперечникам?
4. Условия применения промеров глубин по продольникам и косым галсам.

5. Особенности выполнения промерных работ на озерах и водохранилищах.
6. Что такое срезочный уровень и в чем сущность приведения измеренных глубин к этому уровню?
7. Профиль водного сечения и его построение.
8. Основные морфометрические характеристики профиля водного сечения и их определение.
9. Как построить кривую зависимости площади водного сечения от уровня воды?
10. Как составить план участка реки или водоема в изобатах и горизонталях?

4. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОДЫ И ВОЗДУХА

4.1. Приборы для измерения температуры воды

Для измерения температуры воды применяют *водные термометры в металлической оправе* (рис. 4.1) и *микротермометры* (рис. 4.2).

У обычных водных термометров шкала имеет деления через $0,2^{\circ}\text{C}$, что позволяет производить отсчеты с точностью до $0,1^{\circ}$.

Оправа водного термометра 2 (рис. 4.1) состоит из двух трубок с продольными прорезями, вставленными одна в другую. В нижней своей части она имеет стаканчик 1 с отверстиями в стенках. Трубки оправы служат для предохранения шкалы термометра 3 от повреждения. При погружении термометра в воду наружная трубка должна быть повернута так, чтобы шкала термометра была закрыта. При снятии отсчетов трубка поворачивается, прорези совпадают и шкалу видно на просвет. Стаканчик оправы при опускании термометра наполняется водой, которая остается в нем при подъеме и способствует сохранению термометром той температуры, которая была на глубине.

Рис. 4.1. Водный термометр в оправе:
1 -- стаканчик с отверстиями;
2 -- оправка; 3 -- шкала.



Рис. 4.2. Микротермометр.

Для измерения температуры воды в переходные периоды – осенью и весной, – когда она бывает близка к нулю, на некоторых гидрологических постах, расположенных на реках с большой шугоноостью, применяются специальные микротермометры со шкалой, рассчитанной на измерение температуры от $0,8$ до $1,2^{\circ}\text{C}$ с делениями через $0,01^{\circ}$ (рис. 4.2).

С термометрами следует обращаться очень осторожно, оберегая их от ударов и сотрясений. Переносить и хранить их следует в вертикальном положении. Нельзя держать термометры вблизи источников тепла; их следует также затенять от прямых лучей солнца.

Для измерения температуры воды, наряду с ртутными термометрами, находят применение **электрические термометры сопротивления**. Электротермометром ГР-41М (рис. 4.3) измеряют температуру воды в реках в безледный период, а микроэлектротермометр ГР-51 – в переходные периоды при температуре воды, близкой к нулю. Такие термометры целесообразно применять в тех случаях, когда в реке можно ожидать изменения температуры по ширине и глубине (при больших глубинах и слабом течении).



Рис. 4.3. Электротермометр ГР-41М (общий вид).

4.2. Наблюдения за температурой воды

Наблюдения за температурой воды проводятся на гидрологических постах по указанию гидрологической станции и включают:

- 1) систематические ежедневные измерения температуры воды в постоянном месте – в прибрежной зоне или на стрежне реки;
- 2) временные эпизодические измерения температуры воды в нескольких точках по длине и ширине реки с целью выявления типичности выбранного постоянного поста наблюдений.

Измерения температуры воды начинаются весной еще при ледоставе, с наступлением оттепелей. В это время температура воды обычно бывает близка к точке ее замерзания (0°C). Осенью, с наступлением ледостава, после 3–5 суток измерений подо льдом наблюдения за температурой воды прекращаются. Если зимой наступают длительные оттепели, сопровождаемые паводками, измерения температуры воды в это время должны самостоятельно возобновляться наблюдателем и вестись опять вплоть до ледостава.

По указанию станции на некоторых реках наблюдения за температурой воды проводятся и в зимний период (при ледоставе) в определенные станцией сроки.

Температура воды измеряется два раза в сутки в основные сроки водомерных наблюдений (в 08 и 20 ч.).

Место для измерения температуры воды выбирается в створе или вблизи гидрологического поста в прибрежной, обязательно проточной полосе реки на таком расстоянии от берега, чтобы глубина была не менее 0,3–0,5 м. К месту измерений не должны подходить струи родниковых или сбросы промышленных вод. Температура воды в месте измерений должна быть типичной, т.е. мало отличаться от средней температуры воды во всем водном сечении и на участке поста.

На малых реках (при ширине реки менее 10 м) и на реках с отмельными берегами измерения производятся на стрежне, а при малых глубинах – в самом глубоком, но не застойном месте реки.

При измерении температуры воды в прибрежной полосе по мере падения уровня место измерения может постепенно передвигаться ближе к середине реки, а при повышении уровня – к берегу; место, выбранное на стрежне, остается в течение всего сезона наблюдений постоянным.

Наблюдения за температурой воды водными термометрами проводятся в следующем порядке:

1. Перед тем как приступить к измерению температуры, наблюдатель должен осмотреть термометр и убедиться в том, что столбик ртути не имеет разрывов.

Разрыв столбика можно устранить у обычного термометра легким встряхиванием, а у микротермометра – согреванием его в руке. Подогревать термометры иным путем категорически запрещается. Если разрыв столбика устранить не удастся, такой термометр признается негодным и заменяется запасным. О негодности термометра немедленно сообщается на станцию, а также делается запись в книжке КГ-1.

2. Термометр опускается в воду на бечевке в отвесном положении так, чтобы стаканчик оправы термометра находился на глубине 0,3–0,5 м от поверхности воды. Верхний конец бечевки подвязы-

вается к перилам мостика, подмосткам, борту лодки и т.п. При необходимости измерить температуру воды на малых глубинах (меньше 10–15 см) термометр опускается в горизонтальном положении в понижение дна (на проточном месте) на небольшие деревянные вилки-рогатки так, чтобы трубка оправы не касалась дна.

3. Термометр выдерживается в воде не менее 5–8 мин. В это время наблюдатель может выполнять другие виды наблюдений: измерить высоту уровня, обследовать обстановку на участке поста и др.

4. При извлечении из воды и при отсчете термометр следует держать отвесно, чтобы из стаканчика оправы не вылилась вода. Немедленно после извлечения термометра из воды поворачивается трубка, прикрывающая прорезь, и быстро делается отсчет. У обычного водного термометра сначала замечаются десятые доли градуса, а потом целые градусы.

В темное время суток шкалу у термометра следует освещать фонарем сзади, на просвет, держа его возможно дальше, чтобы тепло фонаря не повлияло на показания термометра.

Запись отсчетов температуры воды производится в книжке КГ-1 в графе 8 по обычному водному термометру – с точностью до $0,1^{\circ}$, а по микрометру с точностью до $0,01^{\circ}$

При наличии на посту микроэлектротермометра и ртутного микротермометра предпочтение следует отдавать первому, так как он дает более высокую точность. Наблюдения за температурой воды при помощи электротермометров производятся по инструкции, прилагаемой к прибору после инструктажа наблюдателя специалистом станции.

4.3. Обработка результатов наблюдений за температурой воды

В состав первичной обработки результатов наблюдений за температурой воды выполняемой наблюдателем в полевой книжке, входит:

1) введение инструментальных поправок в отсчеты по термометру при температуре воды ниже 2°C ;

2) вычисление средних суточных значений температуры воды по исправленным отсчетам в 8 и 20 ч. (для систематических ежедневных измерений);

3) вычисление средних декадных температур воды и выборка наибольших за месяц их значений;

4) вычисление среднемесячных температур.

Инструментальные поправки выписываются в соответствующую табличку книжки КГ-1 согласно выписке из свидетельства о последней проверке термометра, высылаемой станцией вместе с тер-

мометром. Исправленные значения температуры записываются в графу «Исправленная температура». При температуре 2⁰С и выше поправки в показания термометра не вводятся.

Средняя температура за сутки вычисляется как среднее арифметическое из значений температуры за 08 и 20 ч. и вписывается в соответствующую графу книжки КГ-1. В случае пропуска измерения температуры воды в один из сроков средняя температура за данные сутки не вычисляется.

Средняя декадная температура воды вычисляется делением суммы значений средней суточной температуры воды за все дни декады на число дней в декаде (10, 11, 8, 9 дней) и записывается в соответствующую графу выводов в конце полевой книжки. В тех случаях, когда средняя суточная температура не вычислена в течение декады более чем за двое суток (по тем или иным причинам), средняя температура за данную декаду не вычисляется; в соответствующей графе выводов ставится знак тире (–).

Если сумма средних значений температуры воды за декаду получается равной 0,5⁰С и меньше, средняя температура за данную декаду принимается равной нулю.

При пересыхании реки в створе поста в течение трех и более суток в декаде вместо среднего значения температуры воды за данную декаду ставится «прсх».

По окончании месяца делением суммы средних декадных значений температуры воды на три (число декад в месяце) вычисляется средняя температура за месяц. Средние месячные значения температуры воды вычисляются только при наличии данных за три декады. Если хотя бы за одну из декад среднее значение средней суточной температуры воды не вычислено, то и среднее месячное ее значение не вычисляется. Затем из всех значений температуры за отдельные сроки выбирается наибольшая температура за месяц и подчеркивается красным карандашом.

Вычисленные средние декадные и месячные значения температуры воды и наибольшее ее значение за месяц записываются в табличку в конце раздела записи срочных наблюдений температуры воды.

Станция ежемесячно проверяет первичную обработку результатов наблюдений, проведенную наблюдателем и, кроме того, выполняет:

- 1) построение хронологического графика хода изменения средних суточных температур воды на комплексном графике;
- 2) анализ результатов наблюдений;
- 3) восполнение пропусков в наблюдениях (по интерполяции) там, где это возможно, и перевычисление или вычисление вновь в связи с

этим средних декадных и месячных назначений температуры воды;

- 4) проверенные средние декадные и месячные, а также наибольшие годовые значения температуры воды (с датой их наступления) переписываются из полевых водомерных книжек в таблицу «Температура воды» для Гидрологического ежегодника.

4.4. Сведения об осадках

Сведения о суточных суммах осадков на постах, где проводятся наблюдения за осадками, переписываются в книжку гидрологических наблюдений КГ-1. Если наблюдения за осадками по осадкомеру на посту не проводятся, в книжке КГ-1 записываются результаты визуальных наблюдений с указанием вида осадков (Д – дождь, С – снег) и их интенсивности в баллах (1 – слабый, 2 – средний, 3 – сильный). Например, Д3 означает сильный дождь.

4.5. Наблюдения за температурой воздуха

Наблюдения за температурой воздуха проводятся по указанию УГМС на некоторых гидрологических станциях и постах из числа тех, которые удалены от метеорологических станций на расстоянии свыше 30–50 км в зависимости от условий местности, и на таких станциях и постах, где сведения о температуре воздуха необходимы для службы гидрологических прогнозов или для других гидрологических исследований и расчетов.

Наблюдения проводятся у уреза воды вблизи гидрологического поста по сухому термометру аспирационного психрометра в соответствии с «Наставлениями» по проведению данного вида метеорологических наблюдений. Местоположение пункта наблюдений изменяется в связи с изменением уровня воды в реке.

Пункт наблюдений оборудуется деревянной переносной вехой высотой в наземной части около 2,5 м и стандартной переносной лесенкой. В веху ввинчивается металлический стержень (крюк) для подвешивания прибора с таким расчетом, чтобы резервуар термометра находился на высоте 2 м над поверхностью земли. Вблизи прибора не должно быть никаких посторонних предметов, которые, имея температуру, отличную от температуры воздуха, могли бы исказить показания прибора.

Наблюдения за температурой воздуха записываются в книжку для записи водомерных наблюдений (КГ-1М).

4.6. Контрольные вопросы

1. Назовите приборы, применяемые для измерения температуры воды.
2. В какое время года и в какие сроки производятся измерения температуры воды?
3. Условия выбора места для измерения температуры воды.
4. Порядок проведения наблюдения за температурой воды водными термометрами.
5. Состав первичной обработки результатов наблюдений за температурой воды, выполняемой наблюдателем в полевой книжке.
6. Какие виды обработки результатов наблюдений выполняются гидрологической станцией?
7. Как учитываются осадки, выпавшие на территории гидропоста?
8. Как производятся наблюдения за температурой воздуха? На каких станциях и постах необходимо выполнять данный вид наблюдений?

5. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ

5.1. Распределение скоростей в водном потоке

Скорости течения воды изменяются как вдоль потока, так и по его ширине и глубине. Они зависят от многих факторов: уклона дна и свободной поверхности воды, шероховатости русла и морфометрических характеристик водного сечения (R , h_{cp} , B), извилистости потока в плане и русловых образований (плесов, перекатов, гряд и т.п.). В одной и той же точке скорость течения непостоянна, она непрерывно колеблется – пульсирует, изменяясь по числовому значению и по направлению. В связи с этим различают мгновенную и осредненную местные скорости.

Мгновенной скоростью называют скорость в точке потока в данное мгновение, а **осредненной** – скорость в точке за достаточно продолжительный период времени. Продолжительность периода осреднения зависит от степени турбулентности потока: чем больше турбулентность, тем больше период осреднения. В гидрометрии в большинстве случаев имеют дело с осредненными скоростями течения. Допустимым *периодом осреднения* считается 100 секунд. Если

за это время скорость течения не стабилизировалась, продолжительность измерения увеличивают.

Распределение скоростей по глубине потока. Распределение местных скоростей в вертикальной плоскости, перпендикулярной живому сечению потока, называется **эпюрой скоростей**. Эпюру скоростей строят в прямоугольных координатах, откладывая по вертикальной оси значения глубины h точек, в которых измерялись скорости, а по горизонтальной – значения измеренных осредненных скоростей u . Концы горизонтальных отрезков соединяют плавной линией (рис. 5.1). Вид эпюры скоростей зависит от положения вертикали в потоке, состояния русла (его шероховатости, наличия водной растительности, русловых деформаций и т.п.), характера течения (напорное, безнапорное) и других факторов. В безнапорных потоках со свободной поверхностью воды скорости плавно возрастают от дна, достигая наибольшего значения на поверхности (рис. 5.1,а). Наличие ледяного покрова приводит к смещению максимальной скорости на некоторую глубину от поверхности (рис. 5.1,б). В напорных потоках (трубах) максимальная скорость находится на оси потока (рис. 5.1,в).

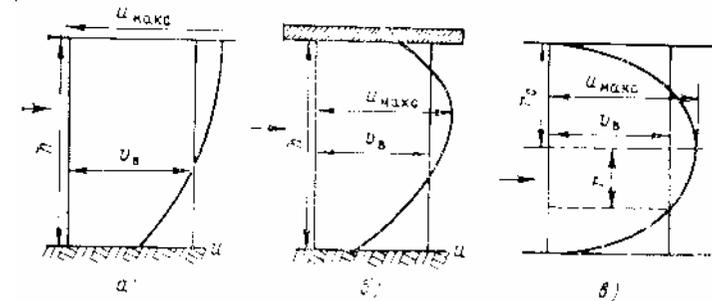


Рис. 5.1. Распределение местных осредненных скоростей течения по вертикали: а – в безнапорном потоке; б – при ледяном покрове; в – в напорном потоке.

Распределение скоростей в живом сечении потока. Скорости течения меняются и по ширине потока. Наиболее наглядную картину их распределения в живом сечении потока дают линии равных скоростей – **изотакхи**, которые строят по данным измерения скоростей на вертикалях. Для потока со свободной поверхностью воды изотакхи имеют вид плавных кривых, а их значения, соответствующие им скорости, убывают к берегам и дну (рис. 5.2,а). Под влиянием ледяного покрова происходит переформирование поля скоростей и смещение изотакхи с максимальным значением скорости в глубь потока (рис. 5.2,б).

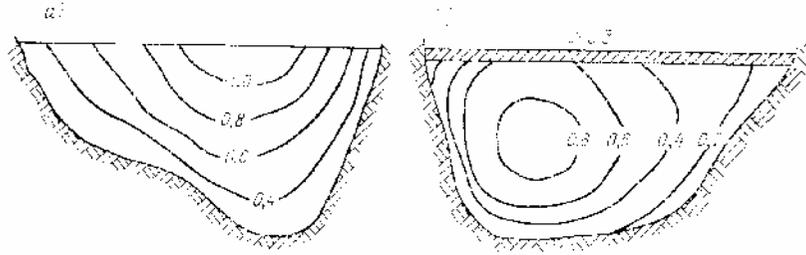


Рис. 5.2. Изотехи в открытом русле (а) и подо льдом (б).

5.2. Классификация методов измерения скоростей течения воды

Существует большое количество методов для измерения скоростей течения воды и приборов, действие которых основано на различных физических принципах. В гидрометрии могут быть применены следующие.

Метод, основанный на регистрации числа оборотов лопастного винта (ротора). Наиболее распространенные приборы для измерения скорости течения – гидрометрические вертушки. Ими обычно измеряется местная скорость течения в отдельных точках потока. Реже применяют вертушки для интеграционного определения средней скорости на вертикали или, например, средней поверхностной скорости потока.

Метод, основанный на регистрации скорости плавущего тела. Для измерения скорости используются различного рода поплавки, которые могут запускаться как на поверхность потока, так и на требуемую глубину. При поплавочных измерениях получаем значение скорости, осредненное для участка потока по траектории движения поплавка.

Метод, основанный на регистрации скоростного напора. Для измерения скоростей используются гидрометрические трубки различной конструкции, прообразом которых является трубка Пито (1732 г.). Скорость определяется в зависимости от скоростного напора, для этого трубка вводится в поток отверстием навстречу течению. Скоростной напор измеряется непосредственно по высоте подъема уровня в трубке. Гидрометрические трубки дают местную скорость в отдельных точках потока.

Метод, основанный на регистрации силового воздействия потока. Для измерения скорости используют приборы, в которых имеется чувствительный элемент, воспринимающий силовое

воздействие потока (тензометр). Они позволяют исследовать пульсацию скоростей, делать непрерывную запись значений скоростей в отдельных точках потока.

Метод, основанный на принципе теплообмена. Для измерения скорости используются приборы, имеющие в качестве рабочего органа нагретый элемент. Скорость течения определяется в зависимости от быстроты охлаждения чувствительного элемента: чем больше скорость, тем выше темп охлаждения. С помощью таких приборов измеряют скорости обычно с непрерывной записью.

Метод, основанный на измерении объема воды, вошедшей в прибор за время наблюдения. В поток помещается прибор – батометр, входным отверстием навстречу течению, и выдерживается определенное время, после чего вынимается; измеряется объем воды, вошедший в прибор. Скорость определяется по тарировочному графику в зависимости от объема воды, вошедшей за единицу времени.

Метод, основанный на применении ультразвука. При распространении ультразвуковых колебаний в движущейся среде, в частности в воде, скорость ультразвука относительно неподвижной системы координат равна векторной сумме скорости звука и скорости самой среды. Основная часть прибора – генератор и приемник звуковой волны, в месте измерения скорости помещается отражатель звуковой волны.

В настоящее время скорость течения воды в реках, каналах, водохранилищах чаще всего измеряется гидрометрическими вертушками. Реже применяются поплавки. Однако при аэрофотосъемках применяются поплавки. Остальные из перечисленных методов применяются в основном при выполнении научно-исследовательских работ.

5.3. Приборы для измерения скорости течения воды

Для измерения скорости течения воды в реках и каналах наиболее широко применяются гидрометрические поплавки и гидрометрические вертушки. При проведении научно-исследовательских работ в лабораторных условиях используются также и другие приборы: гидрометрические трубки, флюгеры и динамометры, ультразвуковые и лазерные измерители скорости, микровертушки и др.

Гидрометрические поплавки. Тело, опущенное в поток, приобретает скорость, равную скорости движения воды. На этом и основано применение поплавков для измерения скорости течения воды.

Поверхностные поплавки применяют для измерения поверхностных скоростей и направлений течения. Делают их обычно из дерева в виде цилиндрических кружков толщиной 3–5 см и крестовин из досок

(рис. 5.3). Для лучшей видимости с берега поплавки снабжают яркими флажками, а для устойчивости снизу к ним подвешивают грузик. Для поплавков применяют и бутылки, погруженные так, чтобы на поверхности находилось лишь горлышко с флажком.

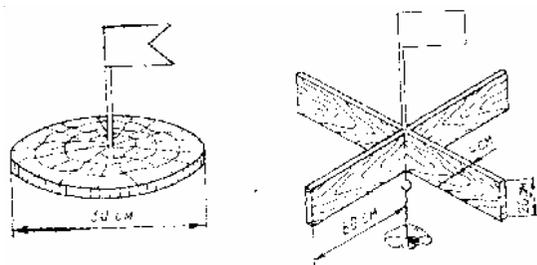


Рис. 5.3. Поверхностные поплавки.

Для уменьшения воздействия ветра поплавки должны как можно меньше выступать над поверхностью воды.

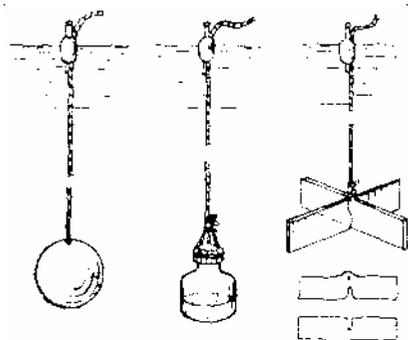


Рис. 5.4. Глубинные поплавки.

Глубинные поплавки применяют для измерения скорости и направления течения на некоторой глубине. Они состоят из двух соединенных тонкой нитью поплавков, один из них (верхний) находится на поверхности воды, а другой (нижний) погружен на заданную глубину (рис. 5.4.).

Верхний поплавок является указателем и должен иметь необходимую плавучесть для поддержания нижнего поплавка. Делается он из пробки или поролона.

Нижний поплавок должен быть немного тяжелее воды; изготавливают его из дерева, проваренного в олифе, в виде шарика диаметром 4–5 см или из пузырька, частично заполненного водой.

Если нижний поплавок по своим размерам намного больше верхнего, то скорость движения всей системы приблизительно равна скорости течения на глубине погружения нижнего поплавка. В случае одинаковых размеров и формы поплавков средняя скорость системы:

$$u_n = (u_{пов} + u_h) / 2, \quad (5.1)$$

откуда следует, что

$$u_h = 2 u_n - u_{пов}, \quad (5.2)$$

где u_h – скорость течения на глубине погружения нижнего поплавка; u_n – скорость движения системы поплавков; $u_{пов}$ – поверхностная скорость течения воды.

Поплавки-интеграторы применяются для определения средней скорости течения на вертикали v_s . Принцип измерения заключа-

ется в следующем. Шарик из дерева, пластмассы или другого материала с плотностью меньше плотности воды закрепляется на поддоне штанги и погружается на дно (рис. 5.5). В момент измерения с помощью несложного приспособления шарик освобождается и через время t всплывает на поверхность воды на расстоянии l от штанги. Очевидно, что чем больше средняя скорость течения v_s , тем больше l ; время всплытия зависит от глубины. На одной вертикали запускают 4–6 поплавков, измеряют в каждом случае l и t и определяют среднюю скорость на вертикали по формуле:

$$v_s = \frac{\sum l}{\sum t}. \quad (5.3)$$

Поплавки-интеграторы используют для измерения небольших скоростей течения, менее 0,2 м/с.

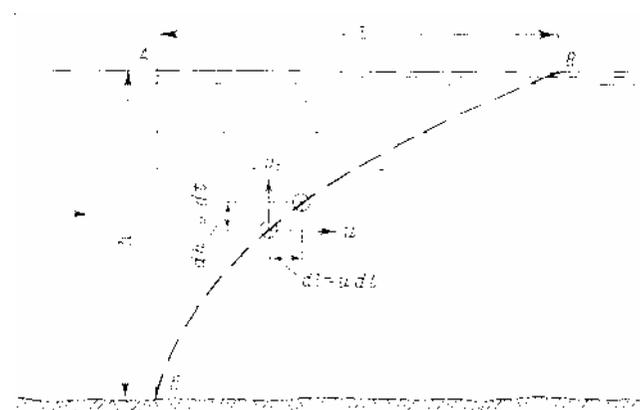


Рис. 5.5. Схема всплытия поплавка-интегратора.

Гидрометрические вертушки. Гидрометрическая вертушка – основной и наиболее распространенный прибор для измерения скорости течения речных потоков. Конструкции гидрометрических вертушек постоянно совершенствуются. Различаются они по ряду признаков: направлению оси вращения, устройству лопастного винта или ротора, устройству контактного и счетного механизмов, способу опускания вертушки в воду и пр.

Чувствительным элементом вертушки (датчиком), воспринимающим действие движущегося потока жидкости, является лопастной винт (ротор), вращающийся на оси. Чем больше скорость течения, тем быстрее вращение ротора, тем больше делает он оборотов (n) в единицу времени. На этом и основывается принцип действия гидромет-

рической вертушки: скорость течения воды и определяется в зависимости от числа оборотов ротора n в точке измерения.

Основными частями гидрометрической вертушки являются: корпус, ходовая часть с лопастным винтом (ротором), счетно-контактный механизм и стабилизатор направления (рис. 5.6).

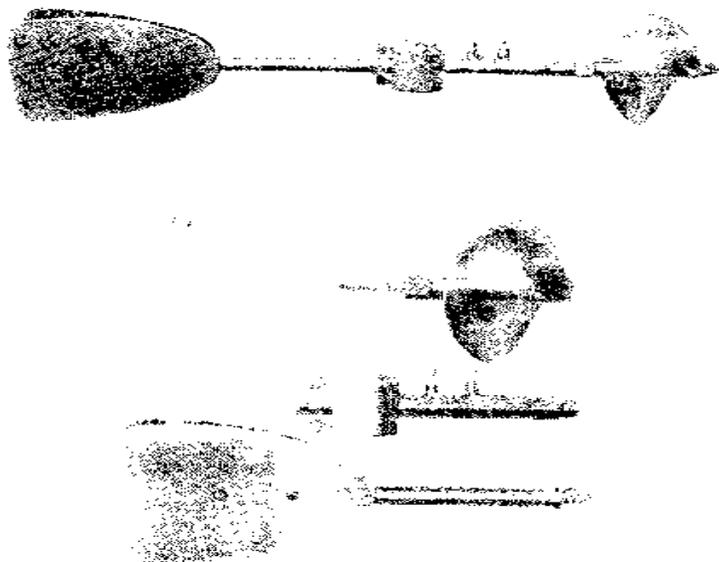


Рис. 5.6. Гидрометрическая вертушка ГР-21М и ее основные части:
а – общий вид; б – основные части: ходовая часть, корпус, стабилизатор направления.

В корпусе закрепляется ходовая часть, размещается счетно-контактный механизм, имеются две клеммы для проводов сигнальной цепи, а также приспособления для присоединения стабилизатора направления и крепления вертушки на штанге или тросе; в последнем случае применяется вертлюг, входящий в комплект прибора.

Ходовая часть является главным узлом вертушки и состоит из оси, лопастного винта, контактного механизма, находящегося во внутренней камере, заполняемой маслом. Замыкание контактов происходит при вращении лопастного винта через определенное число оборотов. Большинство гидрометрических вертушек имеют лопастные винты, образованные винтовой поверхностью с параболической образующей, и горизонтальную ось вращения. Применяются также вертушки с ротором, состоящим из конусообразных чашек, расположенных на вертикальной оси.

Счетно-контактный механизм, или сигнальное устройство, служит для передачи сигналов при замыкании контактов вертушки. В некоторых типах вертушек применяются счетно-импульсные механизмы, например у вертушки ГР-99. У вертушек с механическим счетчиком, например у морской вертушки ВМ-М, определение числа оборотов ротора производится визуальным отсчетом по шкалам счетчика. Показания вертушек с электрической сигнализацией можно записывать на бумажной ленте с помощью хронографа, а при надобности – на ленте шлейфового осциллографа; последнее иногда бывает нужно при проведении научных исследований.

Стабилизатор направления крепится к задней части корпуса вертушки на тросе; с его помощью вертушка располагается в потоке лопастным винтом навстречу течению.

В комплект вертушки входят принадлежности для ее опускания в воду и обеспечения сигнализации, запасные части, отвертки, масло для заполнения контактной камеры, а также описание с правилами эксплуатации и тарифовочное свидетельство.

Наиболее распространенными на гидрологической сети в нашей республике являются гидрологические вертушки ГР-21 и ГР-21М, а также малогабаритные вертушки ГР-55 и ГР-99, которые являются модернизацией вертушки Н.Е. Жестовского. Индекс «ГР» означает гидрологический речной; им обозначают все речные приборы (морские приборы обозначаются индексом «ГМ»).

Рассмотрим более подробно устройство и принцип работы гидрометрической вертушки ГР-21, с которой нам непосредственно предстоит работать (рис. 5.7).

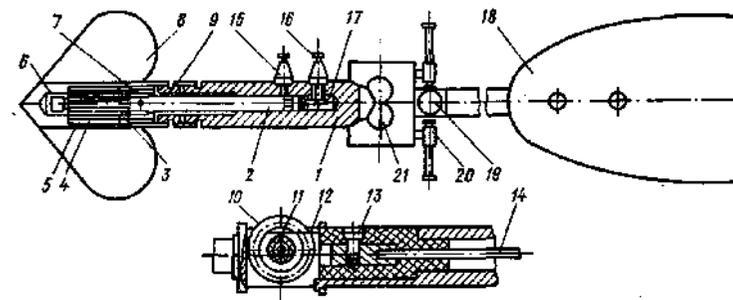


Рис. 5.7. Гидрометрическая вертушка ГР-21:

- 1 – корпус; 2 – ось; 3 – подшипник; 4 – внутренняя втулка; 5 – наружная упорная втулка; 6 – осевая гайка; 7 – червячная втулка; 8 – лопастной винт; 9 – зажимная муфта; 10 – червячная шестерня; 11 – контактный штифт; 12 – контактная пружина; 13 – контактный винт; 14 – токопроводящий стержень; 15 – массовая клемма; 16 – изолированная клемма; 17 – штепсельное гнездо; 18 – хвостовое оперение; 19 – винт; 20 – зажимные винты; 21 – указатель.

Вертушка снабжена двумя лопастными винтами: винт №1 диаметром 120 мм с геометрическим шагом 215 см применяют при измерении скоростей течения от 0,1 до 2 м/с; винт №2 диаметром 120 мм с геометрическим шагом 500 мм применяют при измерении скоростей течения от 2 до 5 м/с.

Контактный механизм помещен во внутренней полости оси, заполненной трансформаторным маслом. Он состоит из червячной шестерни 10 с 20 зубцами, контактного штифта 11, пружины 12, винта 13 и токопроводящего стержня 14, изолированного от массы корпуса и соединяющего контактную пружину с клеммой 16. Другая клемма 15 соединена с массой корпуса 1. Питание электрической цепи осуществляется от двух гальванических элементов по 1,5 В. Через каждые 20 оборотов лопастного винта происходит замыкание электрической цепи путем соприкосновения контактного штифта 11 с контактной пружиной 12 (массой) и подается сигнал в виде звонка или зажигания лампочки.

Стабилизатор направления вертушки 18 состоит из штока и двух плавно изогнутых пластин. Такое устройство обеспечивает устойчивую ориентировку вертушки навстречу течению даже при небольших скоростях и оказывает большое сопротивление потоку, вследствие чего уменьшается угол отбоя прибора.

В комплект вертушки входят также вертлюг и два карабина для подвешивания на трос, указатель направления установки вертушки на штанге, штанга, состоящая из двух звеньев общей длиной 3,0 м и диаметром 27 мм, запасные части, инструменты.

Начальная скорость вертушки ГР-21, т.е. наименьшая скорость набегающего потока, при которой начинается вращение ротора, $u_0=0,04$ м/с. Нижним пределом применения гидрометрической вертушки считают скорость равную $2u_0$. Максимальная скорость течения, которую можно измерить вертушкой ГР-21 (ГР-21М) равна 8 м/с. Эта скорость имеет название верхняя критическая – $u_{кр.верх}$. Погрешность измерений $\pm 2\%$.

5.4. Градуировка гидрометрических вертушек

Гидрометрической вертушкой непосредственно измеряют число оборотов ротора N и время t , в течение которого продолжается процесс измерения.

По результатам измерений число оборотов в 1 с:

$$n = \frac{N}{t} \quad (5.4)$$

Для определения скорости течения в точке измерения необходимо иметь зависимость числа оборотов лопастного винта вертушки

в секунду n от скорости набегающего потока u . Эту зависимость получают опытным путем. Испытания, в результате которых устанавливается зависимость $u=f(n)$ между скоростью течения и числом оборотов лопастного винта, называют **градуировкой или тарированием гидрометрической вертушки**. Первую градуировку вертушки проводят после ее изготовления, на основании чего составляется градуировочная характеристика, являющаяся обязательным документом для каждой вертушки. В процессе эксплуатации вертушки в среднем один раз в два года проводят контрольные градуировки – после измерения 20–50 расходов воды.

Градуировку производят в специальных градуировочных каналах или в круглых бассейнах. Основным способом градуировки является перемещение вертушки в неподвижной воде в прямолинейном канале с различными скоростями. Вертушка, установленная на штанге и погруженная в воду, закрепляется на специальной тележке, которая перемещается с помощью электродвигателя по рельсовому пути вдоль канала. В процессе градуировки автоматически регистрируются (записываются) данные: сигналы вертушки, пройденный путь l и время t , за которое этот путь пройден. Вертушку перемещают в потоке с различной скоростью – от наименьшей до наибольшей. Всего делают 12–15 заездов и для каждого вычисляют скорость перемещения вертушки $u=l/t$ и число оборотов лопастного винта в секунду $n=N/t$.

Результаты градуировки вертушки обрабатываются графическим или аналитическим способом.

Графический способ заключается в том, что по данным градуировки строится график связи $u=f(n)$ (рис. 5.8).

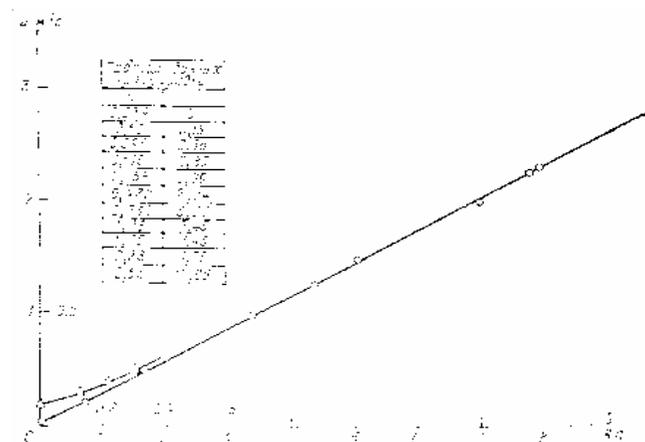


Рис. 5.8. Градуировочная (тарировочная) кривая гидрометрической вертушки.

График состоит из двух участков: криволинейного (при малых скоростях) и прямолинейного (при больших значениях u). Поэтому нижнюю часть градуировочной кривой обычно вычерчивают в более крупном масштабе. На оси ординат градуировочная кривая отсекает отрезок, соответствующий начальной скорости u_0 , т.е. наименьшей скорости течения, при которой начинается неравномерное вращение лопастного винта вертушки. При скорости $u < u_0$ лопастной винт не вращается, так как силы воздействия потока в этом случае недостаточно для преодоления механических сопротивлений в подшипниках и контактном механизме вертушек.

Аналитический способ обработки результатов градуировки вертушки заключается в подборе коэффициентов уравнений градуировочной кривой. Криволинейный участок аналитически описывается уравнением гиперболы:

$$u = an + \sqrt{bn^2 + u_0^2}, \quad (5.5)$$

а прямолинейный – уравнением прямой, проходящей через начало координат:

$$u = k \cdot n, \quad (5.6)$$

где n – число оборотов лопастного винта в секунду, u_0 – начальная скорость вертушки по данным градуировки, k – гидравлический шаг лопастного винта, a и b – параметры. Уравнение (5.5) справедливо при $u \leq u_{кр}$, а уравнение (5.6) – при $u > u_{кр}$, где $u_{кр}$ – критическая скорость, соответствующая переходу криволинейного участка градуировочной кривой в прямолинейный. Эту скорость определяют по формуле Г.В. Железнякова, через начальную скорость u_0 .

5.5. Методика измерения скорости течения воды

Измерение скорости течения гидрометрическими поплавками. При измерении скорости течения воды поверхностными поплавками на одном из берегов выбранного прямолинейного участка реки или канала разбивают базис и перпендикулярно к нему три створа: верхний, средний и нижний (рис. 5.9).

Расстояние между верхним и нижним створами назначают таким образом, чтобы продолжительность хода поплавков между ними была не менее 20 секунд (для равнинных рек). При скоростях течения более 2 м/с принимают меньшую продолжительность хода поплавков, но не менее 10 с. Кроме того, в 5 м выше верхнего створа намечают пусковой створ АБ. На нешироких реках ($B < 100$ м) по среднему створу натягивают трос, размеченный хорошо заметными с берега метками; нулевое деление должно быть совмещено с базисом. На широких реках створы закрепляют вешками, а в одной из точек бази-

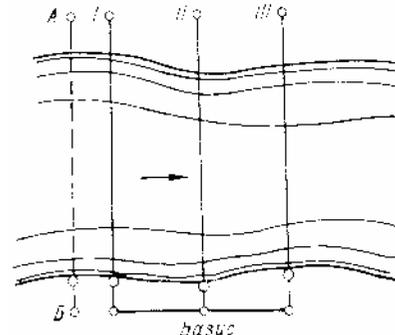


Рис. 5.9. Схема к измерению скоростей течения поверхностными поплавками:
I – верхний створ; II – основной створ;
III – нижний створ; АБ – пусковой створ.

са устанавливают угломерный геодезический инструмент (мензула, теодолит, гониометр и т.п.).

Измерение скоростей течения поплавками производится в такой последовательности:

1. На пусковом створе с берега или лодки последовательно забрасывают 15–25 поплавков с таким расчетом, чтобы через основной створ II они проходили группами по два-четыре штуки и распределялись по всей ширине;

2. При прохождении каждого поплавка через створы наблюдатели дают сигналы: когда поплавок проходит верхний створ,

включают секундомер, а когда проходят нижний – выключают. Таким образом определяется время t_n прохождения каждым поплавком расстояния L между верхним и нижним створами.

3. На среднем створе по размеченному тросу или способом геодезических засечек определяют расстояние от постоянного начала до точки, в которой поплавок пересек гидрометрический створ II.

4. По результатам измерений вычисляют поверхностные скорости течения воды в точках прохождения поплавков через гидроствор:

$$u_{пов} = \frac{L}{t_n}. \quad (5.7)$$

Данные по замеру скоростей течения воды поплавками заносят в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Вычисление скоростей течения воды поверхностными гидрометрическими поплавками

№ поплавок	Расстояние прохождения поплавка от постоянного начала, через створ II, м	Расстояние между створами I-III, м	Время хода поплавка между створами I-III, с	Скорость поплавка $u_{пов} = \frac{L}{t_n}$, м/с	Примечание
1	2	3	4	5	6

Материалы измерений поверхностными поплавками используются для уточнения направления гидроствора, построения эпюры распределения поверхностных скоростей по ширине потока и вычисления расхода воды.

Глубинные поплавки применяют для измерения малых скоростей течения воды ($u < 0,15$ м/с), поэтому расстояния между створами принимают также небольшими, 2–4 м.

Принцип измерения скорости поплавком-интегратором изложен выше (раздел 5.3), и дополнительных пояснений не требуется.

Измерение скорости течения гидрометрической вертушкой. Гидрометрической вертушкой измеряют местные скорости течения воды u в строго фиксированных точках потока на заранее назначенных вертикалях. Вертикали, на которых измеряют скорости течения, называют *скоростными*. Вертикали обозначаются порядковыми номерами, начиная от постоянного начала. Номера вертикалей проставляются на марках разметочных канатов и у меток на конструкциях гидротехнических сооружений, расстояние от постоянного начала заносится в книжку (КГ-ЗМ). Число точек измерения скорости зависит от глубины на вертикали, состояния водотока, требуемой точности измерений, размеров лопастного винта вертушки. *Рабочей глубиной* на вертикали называется глубина от поверхности воды до дна, а при ледяном покрове – от нижней поверхности льда до дна; при наличии подледной шуги – от нижней поверхности шуги до дна.

В зависимости от состояния русла водного потока и требуемой точности измерения скорости течения производят несколькими способами (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Способы измерения скорости течения гидрометрической вертушкой на вертикали с учетом состояния русла

Состояние русла	Число точек измерения по глубине вертикали
<i>Многоточечный (детальный) способ</i>	
Если русло свободно от водной растительности и льда	В пяти точках: у поверхности воды; на 0,2; 0,6; 0,8 рабочей глубины и у дна
При наличии в русле водной растительности и под ледяным покровом	В шести точках: у поверхности воды/ при наличии ледяного покрова у нижней поверхности льда; на 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 рабочей глубины и у дна
При проведении научно-исследовательских работ, когда глубина на вертикали больше 1,5 м	В десяти точках: у поверхности; на 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 рабочей глубины и у дна
<i>Основной и сокращенный способ</i>	
В свободном русле и при ледяном покрове	В двух точках: 0,2 и 0,8 рабочей глубины, а если глубина менее 0,75 м – в одной точке, соответственно на 0,6 или 0,5 рабочей глубины
При наличии в русле водной растительности	В трех точках: 0,15; 0,5 и 0,85 рабочей глубины, а при недостаточной глубине на 0,5 рабочей глубины
<i>Одноточечные измерения</i>	
В свободном русле	0,6 рабочей глубины
При наличии льда и водной растительности	0,5 рабочей глубины

Для измерения скорости у поверхности воды ($u_{пов}$) ось вертушки должна быть погружена в воду на глубину 0,15 м, а для измерения скорости у дна ($u_{дон}$) ось вертушки при работе со штанги устанавливается на расстоянии 0,15 м от дна. При креплении вертушки на тросе это расстояние зависит от способа подвешивания груза и обычно составляет 15–40 см.

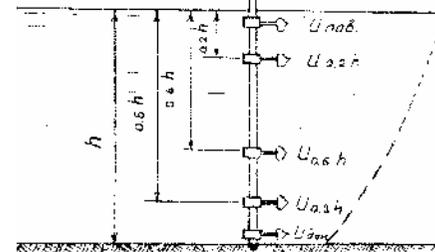


Рис. 5.10. Расположение вертушки при детальном способе измерения скорости течения.

На рис. 5.10 приведена схема расположения вертушки при детальном способе измерения скорости течения. Схема дана для русла, свободного от ледяного покрова.

Средняя скорость на скоростной вертикали определяется в зависимости от состояния русла и числа точек измерения по одной из следующих формул:

а) при свободном русле:

в случае измерения в пяти точках на вертикали

$$v_e = 0,050u_{пов} + 0,347(u_{0,2h} + u_{0,6h}) + 0,173u_{0,8h} + 0,083u_{дон} \quad (5.8)$$

или при монотонном убывании скорости от поверхности ко дну

$$v_e = 0,1(u_{пов} + 0,3u_{0,2h} + 3u_{0,6h} + 2u_{0,8h} + u_{дон}); \quad (5.9)$$

в случае измерения в десяти точках на вертикали

$$v_e = 0,1(u_{пов} + u_{0,2h} + u_{0,3h} + u_{0,4h} + u_{0,5h} + u_{0,6h} + u_{0,7h} + u_{0,8h} + u_{0,9h} + u_{дон}); \quad (5.10)$$

в случае измерения в двух точках на вертикали

$$v_e = 0,5(u_{0,2h} + u_{0,8h}); \quad (5.11)$$

при измерении в одной точке на вертикали

$$v_e = u_{0,6h}; \quad (5.12)$$

б) при наличии ледяного покрова и растительности:

в случае измерения в трех точках на вертикали

$$v_e = \frac{1}{3}(u_{0,15h} + u_{0,5h} + u_{0,85h}); \quad (5.13)$$

при измерении в одной точке на вертикали

$$v_e = ku_{0,5h}, \quad \text{где } k = 0,9. \quad (5.14)$$

Существуют два способа технологии измерения скорости течения воды гидрометрической вертушкой:

- 1) с записью времени поступления отдельных сигналов - применяется при многоточечных измерениях скорости течения на вертикали;
- 2) с записью общего числа сигналов за время измерения в точке – применяют тогда, когда хотят ускорить процесс измерения скоростей течения и расхода воды.

Первый способ. Вертушку устанавливают в соответствующей точке скоростной вертикали лопастным винтом навстречу потоку. Пропустив два сигнала (зажигание лампочки или звонок), в начале третьего сигнала включают секундомер и начинают отсчет времени. При редких сигналах (небольшая скорость течения) записывают (время в секундах) появления каждого сигнала; при частых сигналах (большая скорость течения) – один или два сигнала. Число сигналов, поступивших за промежутки времени между записями, называется приемом. Счет времени ведут нарастающим итогом, т.е. секундомер не выключают до последнего сигнала. Общая продолжительность работы в точке должна быть не менее 100 с, число приемов – четным, обычно не более восьми и не менее двух. Продолжительность первой половины периода измерения не должна отличаться от продолжительности второй более чем на 5 с.

Например, получены следующие записи по секундомеру: 19, 40, 62, 102, 126. Приемов – 6, число оборотов вертушки за прием – 20. Продолжительность первой половины периода измерения (по трем приемам) составляет 62 с, продолжительность второй (от третьего до шестого сигнала) $126 - 62 = 64$ с. Разница составляет $64 - 62 = 2$ с. Это считается допустимым.

Если разница получится больше 5 с, то измерение в точке нужно продолжить до получения удовлетворительного результата, т.е. до четного числа приемов. Далее подсчитывают общее число оборотов лопастного винта за время измерения:

$$N = p \cdot s, \quad (5.15)$$

где p – число оборотов за прием, s – общее число приемов в точке измерения.

Затем определяют число оборотов за одну секунду по формуле (5.4):

$$n = \frac{N}{t},$$

где t – общая продолжительность измерения (отсчет по секундомеру на последний сигнал), с. Скорость течения в точке измерения находят по градуировочной таблице или по графику как $u=f(n)$ (см. рис. 5.8).

Второй способ заключается в том, что фиксируется лишь общее число сигналов лопастного винта (или показание счетчика импульсов, например, вертушки ГР-99) и общая продолжительность измерения в точке в секундах. Установив вертушку в заданной точке скоростной вертикали и пропустив два сигнала, по третьему включают секундомер и начинают отсчет сигналов. Если в течение 60 с поступит два и более сигнала, то по первому сигналу по истечении 60 с секундомер останавливают и измерение прекращают. Выдержка 60 с считается допустимой для условий равнинных рек. В потоках с по-

вышенной пульсацией скоростей (горные реки и т.п.) ускоренный способ не применяется, так как в этом случае время измерения скорости в точке должно быть более 100 с.

При измерении скоростей течения в зарастающих руслах необходимо выкашивать водную растительность по всей ширине реки на участке 5–10 м выше и ниже гидроствора. Если сигналы поступают неравномерно, следует вынуть вертушку из воды и очистить от плавающих растений. В зимнее время при переходе с одной вертикали на другую вертушку помещают в ведро с теплой водой для предохранения от обмерзания.

5.6. Уход за гидрометрическими вертушками

Гидрометрические вертушки требуют ухода и бережного к ним отношения. В процессе работы необходимо следить за тем, чтобы не повредить лопастной винт, не погнуть ось ходовой части.

По окончании измерений вертушку следует протереть сухой тряпкой и уложить в ящик так, чтобы все детали вошли точно на свои места. Затем в помещении вертушку надо просушить, ходовую часть, кроме подшипников, разобрать и все части промыть бензином. Особенно осторожно следует промывать контактную пружину, чтобы не повредить ее и не нарушить градуировку. После прочистки в полость лопастного винта заливают трансформаторное масло, собирают ходовую часть, корпус и стабилизатор смазывают тонким слоем масла и вертушку укладывают в ящик.

Если будут обнаружены неполадки, пятна ржавчины, то вертушку необходимо отправить в ремонт и на градуировку.

При работе зимой вертушка при извлечении из воды может обледенеть. Скалывать лед ни в коем случае нельзя, а следует погрузить вертушку в воду, выждать, пока обледенение исчезнет, а затем протереть ее сухой тряпкой.

Внимательный уход требуется и за всеми принадлежностями к вертушке, тросам, лебедке и др. После работ они должны быть очищены от грязи и ржавчины, смазаны маслом.

Хранить вертушки и принадлежности к ним надо в сухом, проветриваемом помещении.

5.7. Обработка полевых данных по измерению скорости течения гидрометрической вертушкой

По данным измерений гидрометрической вертушкой вычисляются местные скорости течения на скоростных вертикалях, а затем – средние скорости (табл. 5.3).

Журнал измерения и обработки скоростей течения воды
р. Камчатка – пос. Паратунка, 15.07.2002 г.

69

№ вертикали	Расстояние от постоянного начала, м	Рабочая глубина, м	Глубина опускания вертушки		Отсчет по штанге, м	Число оборотов за прием	Отсчеты по секундомеру, с								Сумма оборотов, N	Число оборотов n, с	Скорость в точке, м/с	Средняя скорость на вертикали, м/с	
			в долях рабочей глубины	в метрах			1	2	3	4	5	6	7	8					
I	6,0	2,10	пов.	0,10	2,0	20	21	43	65	86	108	130					120	0,92	0,15
			0,2	0,42	1,68		24	48	70	93	113	134	120	0,89					
			0,6	1,26	0,84		39	74	113	145			80	0,55					
			0,8	1,68	0,42		39	77	115	153			80	0,52					
II	12,0	2,29	дно	2,0	0,10	20	50	102	155	205							80	0,39	0,20
			пов.	0,10	2,19		18	37	56	75	94	114	120	1,05					
			0,2	0,46	1,83		20	40	62	84	103	121	120	0,99					
			0,6	1,37	0,92		21	42	63	84	105	127	120	0,94					
III	16,0	2,19	0,8	1,83	0,46	20	25	51	77	102	132	158					120	0,76	0,23
			дно	2,19	0,10		34	69	104	140			80	0,57					
			пов.	0,10	2,09		17	34	52	69	87	105	120	1,14					
			0,2	0,44	1,75		18	35	55	72	90	107	120	1,12					
IV	22,0	2,23	0,6	1,31	0,88	20	1,8	35	54	72	89	108					120	1,11	0,14
			0,8	1,75	0,44		21	42	63	83	107	130	120	0,92					
			дно	2,09	0,10		32	63	97	128			80	0,62					
			пов.	0,10	2,13		28	55	82	108			80	0,74					
V	26,0	2,14	0,2	0,45	1,78	20	29	54	81	110							80	0,72	0,12
			0,6	1,34	0,89		27	58	85	112			80	0,71					
			0,8	1,78	0,45		49	95	146	194			80	0,41					
			дно	2,13	0,10		54	110	164	224			80	0,36					
			пов.	0,10	2,04	20	28	57	86	115							80	0,70	
			0,2	0,43	1,71		31	62	94	126			80	0,63					
			0,6	1,28	0,86		36	72	96	146			80	0,54					
			0,8	1,71	0,43		47	95	144	192			80	0,42					
			дно	2,04	0,10		56	114	170	227						80	0,35		

Вычисления выполняются в следующей последовательности:

1. По формуле (5.15) подсчитываем суммарное число оборотов лопастного винта вертушки за время измерения в каждой точке (графа 16): $N = p \cdot s$. Например, на скоростной вертикали I (графа 1) при измерении скорости у поверхности число приемов $s_1=6$. Поскольку ротор вертушки делает 20 оборотов за прием, суммарное число оборотов за время измерения $N=20 \cdot 6=120$.

2. По формуле (5.4) вычисляем число оборотов лопастного винта в точках измерения за секунду (графа 17): $n = \frac{N}{t}$. Для рассмотренной в п.1 точки $n_1=120/130=0,92$ об./с.

3. По градуировочной таблице (табл. 5.4) или по градуировочному графику (см. рис. 5.8) определяем скорость течения в точках измерения (графа 18). В частности, при $n_1=0,92$ об./с местная скорость $u_1=0,20$ м/с.

Таблица 5.4

Градуировочная таблица вертушки ГР-21 № ____ (скорости в м/с)

n	0	2	4	6	8	n	0	2	4	6	8
0	0	0,009	0,018	0,027	0,036	0,7	0,155	0,160	0,164	0,169	0,173
0,1	0,045	0,046	0,047	0,048	0,049	0,8	0,177	0,180	0,186	0,190	0,195
0,2	0,050	0,053	0,056	0,059	0,062	0,9	0,200	0,204	0,208	0,213	0,218
0,3	0,065	0,069	0,074	0,078	0,083	1,0	0,222	0,227	0,231	0,236	0,240
0,4	0,087	0,092	0,096	0,101	0,105	1,1	0,245	0,249	0,254	0,258	0,262
0,5	0,110	0,114	0,119	0,123	0,128	1,2	0,267	0,272	0,276	0,281	0,285
0,6	0,132	0,137	0,141	0,146	0,150	1,3	0,290	0,294	0,299	0,303	0,308

4. Далее определяем средние скорости на скоростных вертикалях (графа 19). При этом в зависимости от числа точек измерения скорости по глубине и состояния русла применяем одну из формул (5.8) – (5.14). В данном примере на всех вертикалях скорости измерялись в пяти точках и поэтому использовалась формула (5.9): $v_e=0,1(u_{пов}+0,3u_{0,2h}+3u_{0,6h}+2u_{0,8h}+u_{дон})$. Для первой вертикали $v_{e1}=0,1 \cdot (0,20+3 \cdot 0,20+3 \cdot 0,12+2 \cdot 0,11+0,08)=0,15$ м/с.

5.8. Контрольные вопросы

1. Что такое мгновенная и осредненная скорость в точке? В чем разница между ними?
2. Как распределяются скорости по глубине и в живом сечении открытого потока и при наличии ледяного покрова? Что понимают под эпюрой скоростей и изотахой?

3. Как измерить скорость течения поверхностными и глубинными поплавками?
4. Каков принцип действия поплавка-интегратора?
5. Гидрометрические вертушки, их принцип действия и устройство.
6. Для чего и как выполняют градуировку вертушки?
7. В каких стандартных точках по глубине потока измеряют скорости на скоростной вертикали при свободном русле и при наличии водной растительности и ледяного покрова?
8. Как измеряют скорость в точке гидрометрической вертушкой? Уход за вертушкой.
9. Как определяется средняя скорость на скоростной вертикали в зависимости от числа точек измерения и состояния русла?

6. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДОВ ВОДЫ

6.1. Модель расхода.

Методы определения скоростей течения воды

Расходом воды называют объем воды, протекающий через живое сечение потока в единицу времени. Его выражают в кубических метрах в секунду (м³/с) или в литрах в секунду (л/с) и обозначают Q.

Расход воды – одна из главных гидравлических характеристик потока жидкости, определяющая другие его параметры: уровень воды, скорости течения, уклон свободной поверхности, движение наносов и пр. На основании систематических определений расходов воды вычисляют средние суточные расходы, максимальные и минимальные расходы, а также объемы стока реки за тот или иной интервал времени. Систематические измерения расходов воды используются при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений и гидромелиоративных систем. Модель расхода можно получить путем следующего построения (рис. 6.1). Во всех

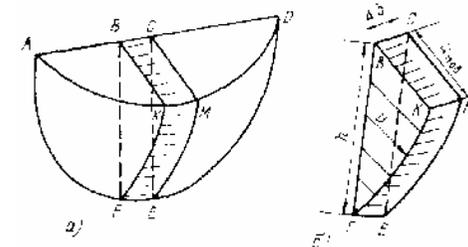


Рис. 6.1. Модель расхода воды (а) и ее элемент (б).

точках живого сечения потока восстановим перпендикуляры, равные по длине местной скорости течения u , и через концы этих векторов проведем криволинейную поверхность. Объем воды, заключенный между вертикальной плоскостью $ADCDEF$, представляющей собой живое сечение, свободной поверхностью воды $AKMD$ и криволинейной поверхностью $AKMDEFA$, характеризующей распределение скоростей по ширине и глубине потока, и представляет собой модель расхода, т.е. объем, численно равный расходу воды Q . Следовательно, для того чтобы определить расход воды, необходимо измерить объем модели расхода.

Объем модели расхода можно определить различными способами. Рассмотрим один из них.

Если рассечь модель расхода вертикальными плоскостями по направлению течения, то получим профили (эпюры) распределения скоростей течения по глубине потока (рис. 6.1,а). Выделим из модели расхода небольшой ее элемент с глубиной h , шириной Δb и средней высотой v (рис. 6.1,б). Объем этого элемента

$$\Delta Q = v \cdot h \cdot \Delta b \quad (6.1)$$

и соответствует расходу воды через элементарную площадку живого сечения

$$\Delta \omega = h \cdot \Delta b. \quad (6.2)$$

Объем модели расхода, а следовательно, и расход воды через всю площадь живого сечения равен сумме частичных объемов:

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i. \quad (6.3)$$

Таким образом, для того чтобы определить расход воды, необходимо измерить скорости течения в различных местах по ширине и глубине потока, а также глубины в местах измерения скоростей и расстояния по ширине потока между скоростными вертикалями.

Способ определения расходов воды, основанный на измерении местных скоростей течения и площади живого сечения потока, является основным в гидрометрии; его сокращенно называют способом «**скорость-площадь**».

Для измерения расходов малых водотоков (ручьев, родников и т.п.) и в лабораторных условиях применяется **объемный способ**, заключающийся в непосредственном измерении времени t наполнения мерного сосуда или проградуированного резервуара объемом W . Расход при этом вычисляется по формуле:

$$Q = \frac{W}{t}. \quad (6.4)$$

Для измерения расходов воды на гидротехнических сооружениях и в каналах гидромелиоративных систем широко применяются различные **мерные устройства и сооружения** (водосливы, водомерные насадки, приставки гидрометрические лотки и т.д.). В данном случае измеряемой величиной является напор на водосливе или входной части лотка, при этом расход определяется по гидравлическим зависимостям.

На горных реках или на порожистых участках равнинных рек с большими скоростями течения, малыми глубинами, высокой турбулентностью потока, где измерение расхода воды методом «скорость-площадь» затруднено, применяют **способ смешения**. Расход воды определяется в зависимости от изменения электрической проводимости воды после введения в поток раствора электролита и перемешивания его с водным потоком.

Существует способ, сокращенно называемый «уклон-площадь», основанный на измерении гидравлического уклона и площади живого сечения потока и использовании уравнения равномерного движения жидкости.

Для измерения расходов воды больших рек, особенно во время половодий и ледохода, применяют **аэрогидрометрические способы**, когда скорости и глубины потока устанавливают методами аэрофотосъемки с самолета.

Существуют и другие способы, например **физические способы**, в которых используются явления теплообмена, электромагнетизма, ультразвука и т.п.

6.2. Оборудование гидрометрического створа

Как правило, на участке измерений стараются назначить один гидрометрический створ, совпадающий со створом водомерного поста или находящийся вблизи него. Но в некоторых случаях возникает необходимость иметь два, а иногда и три створа. Это связано с тем, что в различные периоды года могут существенно изменяться условия протекания воды. Например, в период половодья, при развитии водной растительности, при возникновении ледяных образований и т.п. Каждый створ в этом случае назначается с соблюдением тех же условий, что и выбор участка реки для водомерных наблюдений. Но имеется и ряд дополнительных требований: равномерность движения воды; общее направление воды по всей ширине; отсутствие зон со стоячей водой или обратными течениями; скорости течения воды в период половодий и паводков не более 3,0–4,0 м/с и др. Также должно учитываться то, чтобы между створами не было увеличения или потерь стока, например впадения притоков, водозаборных сооружений и пр.

Водомерный пост необходимо устраивать при гидрометрическом створе. За нуль графика поста на створе желателно принимать ту же отметку, что и на основном водомерном посту.

Выбранное направление гидрометрического створа закрепляют на местности столбами-реперами. Одни из реперов служат постоянным началом, от которого определяются расстояния до промерных и скоростных вертикалей. Периодически, не реже чем через два – три года, правильность направления гидрометрического створа должна проверяться контрольными измерениями.

Для выполнения гидрометрических работ гидрометрический створ оборудуется необходимыми устройствами. В зависимости от ширины реки (канала) и скоростей течения применяются гидрометрические мостики, люлочные или паромные переправы, дистанционные гидрометрические установки (рис 6.2).

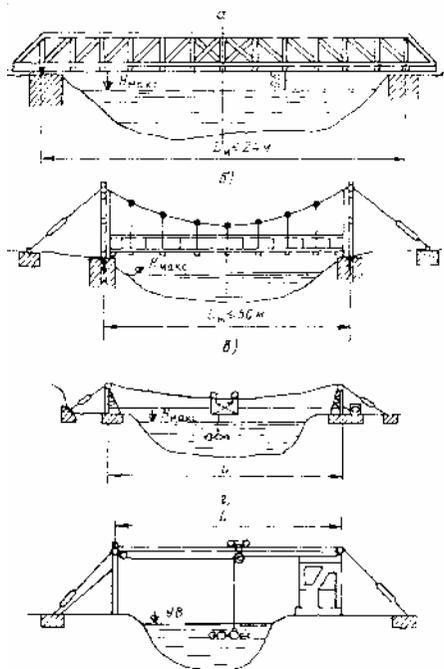


Рис. 6.2. Оборудование гидрометрических створов в зависимости от ширины реки: а – балочный гидрометрический мостик (ширина реки до 20 м); б – подвесной мостик (ширина реки до 80–100 м); в – люлочная переправа (на реках с быстрым течением, высокими берегами, шириной русла 150–200 м); г – дистанционная гидрометрическая установка (ширина русла 100–200 м).

На малых реках, осушительных и оросительных каналах шириной до 10 м целесообразно применять переносные металлические мостики облегченной конструкции. Лодочные и паромные переправы устраивают на реках шириной до 300 м и более. Лодка или паром перемещаются вдоль ездового троса, натянутого поперек реки. На суходонных реках трос может опускаться на дно для пропуска судов.

6.3. Измерение расхода воды с помощью гидрометрических вертушек

При измерении расхода воды гидрометрической вертушкой выполняются следующие работы: наблюдения за уровнем воды, промеры глубин по гидрометрическому створу, измерение скоростей течения в отдельных точках живого сечения на скоростных вертикалях. Кроме того, ведутся визуальные наблюдения за состоянием реки и обстановкой работ. Результаты всех наблюдений и измерений заносят в «Книжку для записи измерений расходов воды» стандартного образца.

При устойчивом положении уровня воды или плавном его изменении высота уровня измеряется перед началом и по окончании измерения скоростей течения. Если же за время измерения расхода можно ожидать изменение уровня более чем на 10 см, то измерения уровня делают чаще.

Промеры глубин, измерение скоростей на гидростворе выполняют согласно методикам измерения на водомерном посту (рассмотрены ранее).

Число вертикалей и количество точек измерений скоростей на них зависит от способа измерения расхода. При этом скоростные вертикали назначают таким образом, чтобы отсеки между ними пропускali равные доли общего расхода воды. В зависимости от ширины реки, рельефа дна и требуемой точности применяют следующие способы: детальный, основной, сокращенный и ускоренный.

При *детальном* способе скоростные вертикали назначают через равные расстояния – примерно через одну промерную. В *основном* способе количество скоростных вертикалей и точек измерения скорости сокращается при условии, что измеренные расходы будут отличаться от расходов воды, определенных детальным способом, не более чем на $\pm 3\%$. Обычно их число сокращают вдвое (наименьшее число – пять). *Сокращенный* способ предусматривает измерение скоростей на одной, двух или трех вертикалях. Применение сокращенного способа целесообразно на реках и каналах с устойчивым руслом, когда необходимы частые и быстрые измерения расходов воды. Ускоренное измерение расхода применяется при резких коле-

баниях уровня воды (более 10 см в час), интенсивной деформации русла. Число скоростных вертикалей и точек измерения при этом может быть таким же, как в основном или сокращенной способе, однако продолжительность измерения скорости в точке сокращается до 30 с или до двух сигналов.

6.4. Вычисление расходов воды по измеренным скоростям и глубинам

Применяют следующие способы вычисления расходов воды, измеренных с помощью гидрометрических вертушек: аналитический, графический, по изотахам.

Аналитический способ основан на расчленении модели расхода вертикальными плоскостями, перпендикулярными живому сечению, и определении расхода воды Q как суммы частичных расходов между соседними плоскостями, проходящими через скоростные вертикали. Расчетная схема к этому способу представлена на рис. 6.3.

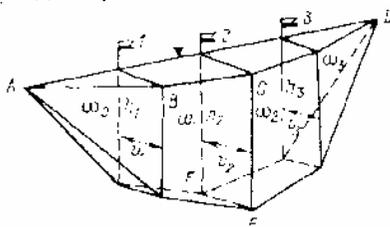


Рис. 6.3. Расчетная схема к вычислению расхода воды аналитическим способом.

Сложная по форме модель расхода на этой схеме заменяется рядом правильных геометрических фигур (пирамид и призм), объем которых может быть подсчитан довольно просто. Частичный расход

между соседними скоростными вертикалями равен:

$$\Delta Q_i = \frac{1}{2} (v_i + v_{i+1}) \omega_i, \quad (6.5)$$

где v_i и v_{i+1} – средние скорости соответственно на первой и второй скоростных вертикалях; ω_i – площадь живого сечения между этими вертикалями.

Для прибрежных участков, ограниченных урезами берегов первой и последней скоростными вертикалями, частичные расходы определяются по формулам:

$$\Delta Q_0 = kv_1 \omega_0 \quad \text{и} \quad \Delta Q_n = kv_n \omega_n, \quad (6.6)$$

где v_1 и v_n – соответственно средние скорости на первой и последней скоростных вертикалях; ω_0 и ω_n – площади живого сечения соответственно между урезом левого берега и первой скоростной вертикалью, между последней скоростной вертикалью и урезом правого берега; k – коэффициент для скоростей на прибрежных вертикалях, принимаемый по табл. 6.1.

Таблица 6.1

Значения коэффициента k

Условия прибрежных зон	k
Пологий берег с глубиной на урезе $h=0$	0,7
Обрывистый берег или неровная стенка	0,8
Гладкая стенка	0,9
Наличие мертвого пространства	0,5

Полный расход через живое сечение вычисляется как сумма частичных расходов:

$$Q = \Delta Q_0 + \sum_{i=1}^n \Delta Q_i + \Delta Q_n. \quad (6.6)$$

Для каждого измеренного расхода воды должен быть указан расчетный уровень $H_{расч}$. При изменении уровня воды не более чем на 10 см за расчетный уровень принимают его среднее значение за время измерения расхода.

Приведем полный порядок вычисления расхода воды аналитическим способом на конкретном примере (табл. 6.2).

1. Обрабатываем материалы промеров глубин по гидроствору и подсчитываем площади водного сечения между промерными и скоростными вертикалями. Площади между промерными вертикалями (графа 8) вычисляем как площади трапеций, образованных промерными вертикалями, линиями дна и свободной поверхностью, как было рассмотрено в теме «Измерение глубин».

2. Площади водного сечения между скоростными вертикалями (графа 9) подсчитываем как суммы площадей между соответствующими промерными вертикалями. Например, площадь между урезом правого берега и скоростной вертикалью I равна $\omega_0 = 0,44 + 2,54 + 3,76 = 6,74 \text{ м}^2$; площадь между скоростными вертикалями I и II $\omega_1 = 4,30 + 4,50 + 4,56 = 13,36 \text{ м}^2$ и т.д.

Общая площадь водного сечения ($\omega = 55,56 \text{ м}^2$) получена как сумма частичных площадей между промерными или скоростными вертикалями.

3. Вычисляем местные скорости течения на скоростных вертикалях по журналу измерений скоростей (рассмотрено ранее) и результаты расчета записываем в графу 10.

4. Вычисляем средние скорости между соседними скоростными вертикалями как половину суммы величин средних значений скоростей на вертикалях (графа 11).

5. Расходы воды между скоростными вертикалями (графа 12) вычисляем по формулам (6.4) и (6.5). Для прибрежных участков коэффициент k принимаем 0,7 (см. табл. 6.1).

6. Общий расход воды получим суммированием частичных расходов между скоростными вертикалями – сумма графы 12.

Таблица 6.2

Вычисление расхода воды аналитическим способом
р. Камчатка – пос. Паратунка, 15.07.2002 г.

№ вертикали	промерной	скоростной	Глубина, м			Расстояние между промерными вертикалями, м	Площадь живого сечения, м ²		Средняя скорость, м/с		Расход воды между скоростными вертикалями, м ³ /с
			средняя	со срезкой	между промерными глубинами		между промерными вертикалями	между скоростными вертикалями	на вертикали	между скоростными вертикалями	
Урез п.б.			1	0,00	0,00	0,44	1	0,44			
1			2	0,88	0,87	1,27	2	2,54			
2			4	1,68	1,67	1,88	2	3,76	6,74	0,11	0,74
3	I		6	2,1	2,09	2,15	2	4,30		0,15	
4			8	2,21	2,21	2,25	2	4,50	13,36	0,18	2,41
5			10	2,30	2,29	2,28	2	4,56			
6	II		12	2,29	2,28	2,26	2	4,52	8,92	0,20	1,96
7			14	2,24	2,23	2,20	2	4,40			
8	III		16	2,19	2,18	2,18	2	4,36	13,04	0,23	2,35
9			18	2,20	2,19	2,16	2	4,32			
10			20	2,14	2,13	2,18	2	4,36			
11	IV		22	2,23	2,22	2,26	2	4,52	8,94	0,14	1,16
12			24	2,30	2,29	2,21	2	4,42			
13	V		26	2,14	2,13	1,50	2	3,0		0,12	0,36
14			28	0,87	0,86	0,43	2	1,56	4,56	0,08	0,36
Урез л.б.			31,62	0,00	0,00	3,62	1,56	1,56		0,00	

$\omega = 55,56; \quad \omega = 55,56 \quad Q = 8,98$

Графический способ применяется когда нужна повышенная точность вычисления расхода воды, измеренного детальным способом. Сущность способа заключается в графических построениях, используя которые определяют значение расхода воды.

Вычисление расхода воды по изотаксам применяют при наличии мертвых пространств, большом количестве шуги, наличии широкой поймы.

6.5. Измерение и вычисление расхода воды поверхностными поплавками

Пользоваться поплавками для измерения расходов воды следует по возможности при установившемся уровне воды, тихой погоде, свободном от водной растительности русле.

При этом должны быть выполнены следующие гидрометрические работы: наблюдения за уровнем воды в начале и конце работ; промеры глубин по гидрометрическому створу; измерения поверхностных скоростей течения воды по ширине потока, которые состоят в определении времени прохождения каждым поплавком известного расстояния от верхнего до нижнего створа. Методика выполнения данных работ описана выше.

Вычисление расхода выполняется в следующей последовательности.

1. На клетчатке в «Книжке для записи измерения расхода воды поплавками» строят эпюру средней продолжительности хода поплавков по ширине реки (рис. 6.4). Для этого в выбранном масштабе по оси ординат откладывают продолжительность хода поплавков между верхним и нижним створами, а по оси абсцисс – расстояния от постоянного начала до места прохождения поплавков через средний створ на примерно равных расстояниях от постоянного начала. Поплавки, отклоняющиеся от общей закономерности более чем на 10%, не учитывают.

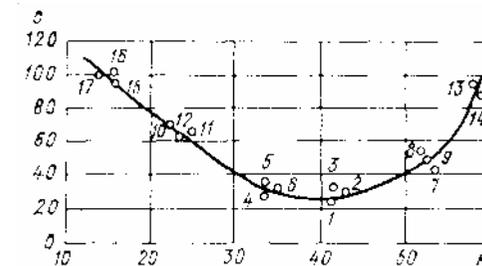


Рис. 6.4. Эпюра средней продолжительности хода поплавков.

Для каждой группы поплавков определяют координаты «центра тяжести», т.е. средние арифметические значения расстояний поплавков данной группы от постоянного начала и продолжительности их хода между створами; обозначают полученные точки условными знаками и по ним проводят плавную кривую – эпюру средней продолжительности хода поплавков по ширине реки.

2. Через равные расстояния на эпюре, обязательно совмещая с промерными, намечают скоростные вертикали (не менее пяти).

Вычисляют поверхностные скорости на каждой скоростной вертикали по формуле (5.7) $u_{пов} = \frac{L}{t_n}$.

3. По данным промеров глубин путем суммирования соответствующих площадей между промерными вертикалями вычисляют площади водного сечения между скоростными вертикалями по формулам (3.2), (3.3) и общей (3.4)

$$\omega = \frac{1}{2} h_1 b_1 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} \omega_i + \frac{1}{2} h_n b_n,$$

где h_1, h_i, \dots, h_n – рабочие глубины, м; b_1, b_i, b_n – расстояния между промерными вертикалями, м.

4. Вычисляют фиктивные расходы воды $\Delta Q_{\phi,i}$ между скоростными вертикалями:

$$\Delta Q_{\phi,i} = \frac{1}{2} (u_{пов,i} + u_{пов,i+1}) \omega, \quad (6.7)$$

где $u_{пов,i}$ и $u_{пов,i+1}$ – поверхностные скорости на двух смежных скоростных вертикалях, м/с; ω_i – площадь водного сечения между этими скоростными вертикалями, м².

Для береговых участков фиктивные расходы равны:

$$Q_{0,\phi} = k \cdot u_{пов,1} \cdot \omega_0, \quad Q_{n,\phi} = k \cdot u_{пов,n} \cdot \omega_n. \quad (6.8)$$

k – коэффициент, зависящий от крутизны берега (принимают по табл. 6.1); ω_0 и ω_n – соответственно площади водного сечения между первой скоростной вертикалью и урезом правого берега.

5. Общий фиктивный расход воды равен сумме частичных расходов:

$$Q_{\phi} = \sum_0^n \Delta Q_{\phi,i}. \quad (6.9)$$

6. Действительный расход воды:

$$Q_{\phi} = k_1 Q_{\phi}, \quad (6.10)$$

где k_1 – переходный коэффициент от фиктивного расхода к действительному. Вычисляется по формулам.

При приближенных расчетах и отсутствии опытных данных по формулам Г.В. Железнякова для русел прямых, чистых земляных (глина, песок), галечных, гравийных

$k_1 = 0,80/0,64$ при средней глубине < 1 м;

$k_1 = 0,84/0,66$ при средней глубине $1 - 5$ м;

$k_1 = 0,86/0,67$ при средней глубине > 5 м.

6.6. Определение расхода воды по площади живого сечения и продольному уклону водной поверхности

Этот способ сокращенно называется способом «уклон-площадь». Он основан на применении формулы равномерного движения жидкости (формула Шези), которая имеет вид:

$$Q = \omega C \sqrt{R I}, \quad (6.11)$$

где ω – площадь водного сечения потока, м²; C – коэффициент Шези, м^{0.5}/с; I – уклон водной поверхности; R – гидравлический радиус, м.

Из формулы (6.11) следует, что для определения расхода воды необходимо измерить площадь водного сечения ω , продольный уклон водной поверхности I , вычислить коэффициент Шези C и гидравлический радиус R .

Площадь водного сечения подсчитывают по материалам промерных работ на гидрометрическом створе (см. табл. 3.3).

Продольный уклон водной поверхности определяется нивелированием урезных кольев, забитых одновременно вровень с поверхностью воды на концах выбранного участка реки.

Коэффициент Шези может быть вычислен по одной из эмпирических формул например, по формуле Н.Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (6.12)$$

где n – коэффициент шероховатости русла определяется в зависимости от характеристики русла. Для естественных русел в весьма благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное, земляное, со свободным течением) $n = 0,025 - 0,033$.

Показатель степени y в формуле Н.Н. Павловского может быть определен по приближенным зависимостям: $y = 1,5 \sqrt[3]{n}$ при $R < 1$ м; $y = 1,3 \sqrt[3]{n}$ при $R > 1$ м.

Гидравлический радиус R для рек и широких каналов обычно принимают равным средней глубине, т.е. $R \approx h_{cp}$.

Формула Шези справедлива для равномерного движения воды, которое характеризуется тем, что живое сечение, глубина, ширина, скорость и уклон не изменяются по длине потока. В реках, да и в каналах указанные условия соблюдаются далеко не всегда. Поэтому способ «уклон-площадь» находит применение в основном при рекогносцировочных обследованиях, когда можно ограничиться приближенным определением расхода воды.

6.7. Связь между расходами и уровнями воды

Измерение расходов воды весьма трудоемкое дело, поэтому их измеряют сравнительно редко. Значительно проще и чаще ведутся наблюдения за уровнями воды. Между расходом воды и уровнем существует гидравлическая связь. Имея ряд расходов воды, измеренных при различных уровнях, можно установить эту связь для соответствующего сечения водотока. Обычно она выражается графически в виде кривой $Q=f(H)$ и называется *кривой расходов воды* (рис. 6.5). Имея кривую расходов, можно по наблюдаемым уровням H определять расходы воды Q , не измеряя их.

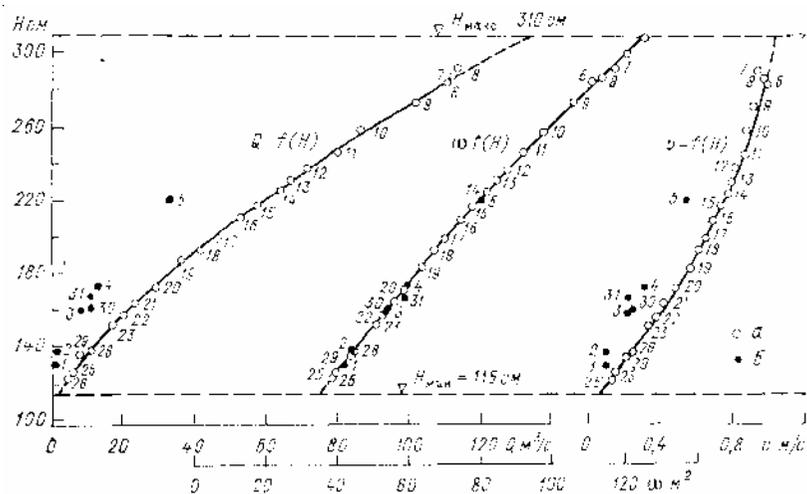


Рис. 6.5. Кривые расходов воды, площадей живого сечения и средних скоростей при установившемся движении воды.

Кривая $Q=f(H)$ строится в прямоугольной системе координат, причем по оси ординат откладывают уровни воды H , а по оси абсцисс – значения измеренных расходов воды Q . На этом же чертеже строят также кривые площадей живого сечения $\omega=f(H)$ и средних скоростей $v=f(H)$. Масштаб для построения кривой $Q=f(H)$ следует выбирать так, чтобы хорда, соединяющая концы кривой, была расположена под углом примерно $40-45^\circ$ к оси абсцисс, а для кривых $\omega=f(H)$ и $v=f(H)$ – под углом 60° . Около нанесенных точек проставляются цифры, соответствующие порядковым номерам расходов по ведомости измеренных расходов воды.

Увязка построенных кривых. Кривые $Q=f(H)$, $\omega=f(H)$ и $v=f(H)$ связаны между собой равенством:

$$Q = \omega \cdot v, \quad (6.13)$$

поэтому расход, снятый с кривой расходов воды для какого-нибудь уровня, должен быть равен произведению соответствующих данному же уровню значений площади и средней скорости, снятых с кривой площадей и скоростей. Увязка производится в табл. 6.3, в которую помещаются значения ω , v и Q , снятые с кривых через равные интервалы уровней (10, 20, 50, 100 см и т.д.); число увязываемых точек не должно быть менее 10. Если расхождения превышают 1%, то следует проверить кривые в рассматриваемом интервале уровня и исправить их.

Таблица 6.3

Увязка кривых $Q=f(H)$, $\omega=f(H)$ и $v=f(H)$

H , см	ω с кривой, m^2	v с кривой, m/c	Q с кривой, m^3/c	$Q = \omega v$, m^3/c	% расхождения

После увязки кривые закрепляют окончательно. В тех случаях, когда при помощи кривой расходов воды приходится определять большое количество значений расходов, целесообразно составить расчетную таблицу. При этом с кривой снимаются значения расходов воды через интервалы уровня от 5 до 20 см, а промежуточные значения расходов (через 1 см) определяются прямолинейной интерполяцией между расходами, снятыми с кривой для установленных интервалов. При необходимости определить расход за пределами значений измеренных расходов производят экстраполяцию кривой $Q=f(H)$.

6.8. Вычисление ежедневных расходов и стока воды

Ежедневные (среднесуточные) расходы воды определяют по среднесуточным уровням. Для устойчивого свободного ото льда и растительности русла, периодов межени и паводка ежедневные расходы воды определяют непосредственно по кривой расходов или по расчетной таблице. Вычисление расходов при ледовых явлениях может быть произведено способом зимних переходных коэффициентов.

Вычисленные ежедневные расходы выписываются в таблицу «Ежедневные расходы воды» (ЕРВ).

Таблицы ЕРВ публикуются в гидрологических ежегодниках. В них помещают значения расходов воды за весь год и, кроме того, указывают значения наименьших и наибольших срочных расходов за месяцы и год. Данные таблицы ЕРВ служат основой для определения стока воды.

Стоком называют суммарное количество воды, стекающей с водосбора за какой-либо период времени.

Суточный сток равен:

$$W_c = 86400 Q_c, \quad (6.14)$$

где Q_c – среднесуточный расход воды; 86 400 – число секунд в сутках.

Сток за месяц:

$$W_{мес} = \sum_1^N W_c, \quad (6.15)$$

где N – число суток в месяце.

Аналогично можно подсчитать объем стока за год:

$$W_{год} = \sum_1^{12} W_{мес}. \quad (6.16)$$

6.9. Контрольные вопросы

1. Что представляет собой модель расхода?
2. Как определить направление гидрометрического створа?
3. Назовите устройства, которыми оборудуются гидрометрические створы.
4. Какие существуют способы измерения расходов воды с помощью гидрометрической вертушки?
5. В чем заключается аналитический способ вычисления расхода воды, в чем сущность графического способа вычисления?
6. Что такое изотахи?
7. Как определить расход с помощью поверхностных поплавков?
8. В чем заключается и когда применяется способ измерения расхода воды по уклону свободной поверхности воды и площади живого сечения?
9. В чем сущность способа измерения расхода воды способом смешения?
10. Что называют кривой расходов воды и каково ее назначение?
11. Какие кривые строят одновременно с кривой расходов и с какой целью?
12. В чем заключается увязка кривых?
13. Как вычислить сток воды за сутки и в любой другой период времени?

7. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДОВ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ

7.1. Общие понятия о речных наносах и мутности воды

Водные потоки всегда содержат твердые частицы, которые принято называть наносными. Наносы – это твердые частицы, образованные в результате эрозии водосборов и русел, переносимые потоком и формирующие их ложе. Переносимые потоком во взвешенном состоянии наносы называются **взвешенными**. Наносы, перемещаемые в ридонном слое воды и движущиеся путем скольжения, перекатывания и сальтации (перебрасывания на короткие расстояния), называются **влекомыми**. Наносы, слагающие русло и пойму и находящиеся во взаимодействии с водными массами, называются **донными**.

Количество наносов, проносимых потоком через живое сечение потока в единицу времени, называется расходом наносов (G). Обычно расход наносов выражают в килограммах в секунду (кг/с). О степени насыщения речной воды наносами судят по величине мутности. **Мутность воды – это содержание массы взвешенных наносов в единице объема смеси воды с наносами (ρ)**. Выражается величина мутности в граммах на кубический метр ($г/м^3$). **Количество наносов, проносимых через живое сечение потока за определенный промежуток времени (сутки, месяц, год), называется стоком наносов (твердым стоком)** и выражается в килограммах или тоннах.

Изучение стока наносов имеет большое значение для решения важных водохозяйственных проблем, связанных со строительством и эксплуатацией гидротехнических сооружений и гидромелиоративных систем (при разработке мероприятий по предупреждению заиления каналов и водохранилищ, обеспечение условий для судоходства и т.п.).

Для того чтобы определить сток наносов и выяснить их режим, организуются систематические гидрометрические наблюдения, в состав которых входят измерения расходов взвешенных и влекомых наносов.

7.2. Приборы для отбора проб воды со взвешенными наносами

Приборы, с помощью которых берут пробы воды для определения ее мутности, называют **батометрами**. Различают батометры мгновенного и длительного наполнения. Батометры мгновенного наполнения (батометр Н. Н. Жуковского и др.) в основном применяются

при проведении научных исследований для определения мгновенных значений мутности воды. Батометры длительного наполнения позволяют определить осредненную за период измерения мутность, учитывая ее пульсацию. Применяют следующие типы батометров длительного наполнения: батометр-бутылка на штанге, батометр-бутылка в грузе и вакуумный батометр. Рассмотрим устройство одного из них.

Батометр-бутылка на штанге ГР-16 (рис. 7.1) состоит из литровой широкогорлой бутылки, укрепленной на штанге при помощи специальной обоймы 4 под углом 25° к горизонтальной плоскости. Бутылка снабжена головкой 3, через которую проходят водозаборная 2 и воздухоотводящая 1 трубки. Водозаборная трубка направлена навстречу течению, а воздухоотводящая отогнута по течению для выпуска из бутылки воздуха во время ее наполнения. Трубки снабжаются наконечниками (насадками), диаметр которых подбирается в зависимости от скорости течения. Для определения объема взятой пробы верхняя часть бутылки градуируется.

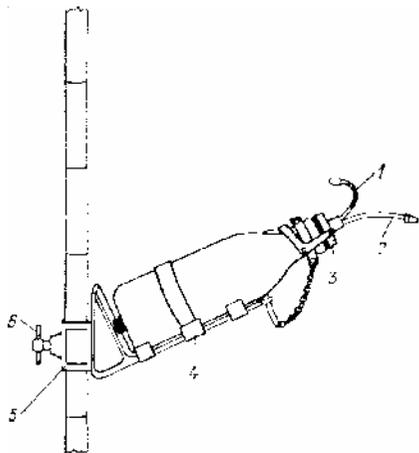


Рис. 7.1. Батометр-бутылка на штанге.

При взятии пробы батометр, укрепленный на штанге, опускается в воду так, чтобы водозаборная трубка была направлена против течения. Для правильной ориентации прибора в потоке служит указатель, укрепляемый на верхнем конце штанги в одной плоскости с водозаборной трубкой. Взятая проба после определения ее объема переливается в другую бутылку и отправляется в лабораторию для определения количества взвешенных наносов.

Наряду с батометрами ГР-16 применяется модернизированный батометр-бутылка на штанге ГР-16М, который отличается наличием стабилизатора, обеспечивающего установку прибора по течению. Кроме того, батометру можно придать горизонтальное положение при закреплении его на штанге, что позволяет брать пробы в разных слоях потока, в том числе в придонном слое.

Для отбора проб со взвешенными наносами может быть применена и обычная однолитровая бутылка, прикрепляемая к штанге или грузу при помощи специальной обоймы под углом 25° к горизонтальной плоскости. Бутылка закрывается пробкой с привязанным к

ней шнуром и устанавливается горлышком навстречу течению. В точке отбора пробы пробка выдергивается и бутылка заполняется водой. Время выдержки бутылки в точке измерения определяется по прекращению выхода пузырьков на поверхность воды.

7.3. Наблюдения за мутностью воды

Наблюдения за мутностью воды в реке заключаются в ежедневных взятиях проб воды в постоянном месте и во взятии проб воды при измерении расходов взвешенных наносов, из которых затем соответствующими способами выделяются содержащиеся в них наносы.

При этом применяют следующие способы отбора проб воды на мутность: *точечный (детальный и основной), суммарный и интеграционный*.

Точечный способ заключается в том, что пробы воды берут в тех же точках скоростных вертикалей, в которых измеряют скорости течения. При детальном способе измерения скорости мутность измеряют в пяти точках: у поверхности, на 0,2, 0,6, 0,8 рабочей глубины и у дна.

При основном способе пробы берут в двух точках (0,2 h и 0,8 h), а на малых реках при небольших глубинах – в одной точке (0,6 h). На реках с водной растительностью в качестве основного применяется трехточечный способ с отбором проб в точках 0,15 h, 0,5 h и 0,85 h; при малых глубинах пробу отбирают в точке 0,5 h.

Пробы воды, взятые в разных точках вертикали, обрабатывают отдельно.

Детальный способ применяют при необходимости более подробного изучения распределения мутности по живому сечению потока при специальных исследованиях русловых процессов, а также в первые 2–3 года наблюдений для выяснения возможности перехода на сокращенное количество вертикалей и точек. В дальнейшем переходят на двух- и одноточечные способы измерений. При средней мутности реки от 50 до 100 г/м^3 на больших и средних реках расходы взвешенных наносов измеряют двухточечным способом, а на малых реках – одноточечным.

В летнюю и зимнюю межень, когда мутность воды бывает незначительная, для получения необходимого большого объема в каждый срок берутся пробы по 1 л и сливаются вместе в бутылки большей емкости для отстоя в течение 5 или 10 дней.

Суммарный способ применяют при малой мутности реки – менее 100 г/м^3 . Пробы воды берут в двух точках на скоростной вертикали (0,2 h и 0,8 h), сливают в одну бутылку и определяют содержание

наносов в суммарной пробе. Таким образом, определяют среднюю мутность воды на всех скоростных вертикалях. При средней мутности менее 20 г/м^3 допускается сливать вместе пробы по всем скоростным вертикалям и определять среднюю мутность по живому сечению. Объем суммарной пробы при этом должен быть не менее 10 л.

Интеграционный способ обычно применяют в случаях быстрого изменения уровня воды, а также при больших глубинах воды. На каждой вертикали берут только одну пробу путем плавного, равномерного перемещения батометра от поверхности воды до дна и обратно. Объем пробы должен быть несколько меньше полной вместимости прибора. Это служит контролем того, что проба собрана по всей глубине вертикали и характеризует среднюю мутность воды на ней. Скорость перемещения прибора на вертикали подбирают опытным путем в зависимости от глубины и скорости течения.

При средней мутности воды менее 50 г/м^3 пробы, взятые интеграционно на вертикалях, можно объединить в одну пробу и определить среднюю мутность по всему живому сечению. Объем пробы в этом случае должен быть не менее 5 л при мутности от 20 до 50 г/м^3 и не менее 10 л при мутности менее 20 г/м^3 .

Пробы воды со взвешенными наносами в закупоренных бутылках с наклеенными этикетками, на которых указаны дата, название реки, створ, номер расхода, вертикаль, глубина на вертикали, объем пробы, доставляются в лабораторию. В лаборатории пробы фильтруют, выделенные наносы высушивают и взвешивают. По массе наносов в пробе вычисляют мутность воды:

$$\rho = 10^6 p_n / V, \quad (7.1)$$

где ρ – мутность воды, г/м^3 ; p_n – масса наносов в пробе, г; V – объем пробы, см^3 .

7.4. Взятие проб для определения крупности взвешенных наносов

Пробы для определения крупности взвешенных наносов берутся в гидрометрическом створе одновременно с измерением расходов воды и взвешенных наносов на всех скоростных вертикалях отдельно от проб, которые отбираются для измерения расхода взвешенных наносов. При мутности более 100 г/м^3 и плавном изменении скоростей течения по ширине потока пробы на крупность отбираются через одну промерную скоростную вертикаль. Число вертикалей, на которых отбираются пробы воды с взвешенными наносами для определения крупности, должно быть не менее четырех. Пробы берутся тем же прибором и теми же способами, каким берутся пробы мутно-

сти для измерения расхода наносов. Они объединяются в одну суммарную пробу по всему сечению потока. При детальном способе определения расходов наносов пробы берутся на 0,2 и 0,8 рабочей глубины.

При мутности меньше 100 г/м^3 суммарный объем пробы необходимо взять не менее 10–20 л; а при мутности более 500 г/м^3 – 5–10 л.

В книжку для записи о взятии проб воды со взвешенными наносами для определения их крупности КГ-10 записывают суммарный объем пробы, место взятия каждой отдельной пробы, их объем, номера сосудов или бутылей, в которые выливаются пробы. Необходимо также записать высоту слоя пробы в отстойных сосудах (в сантиметрах), продолжительность периода отстоя (в сутках) и температуру в помещении отстоя. В книжке измерений расходов воды и взвешенных наносов (КГ-5 или КГ-6) в разделах «Особые замечания», относящихся к отдельным вертикалям, делается пометка о взятии проб на крупность и записывается суммарный объем пробы.

7.5. Обработка проб наносов на посту

Обработка на посту взятых наблюдателем проб воды со взвешенными наносами заключается в выделении из воды наносов путем отстоя или фильтровании с последующей отсылкой их в лабораторию при станции или УГМС для дальнейшей обработки.

Взвешенные наносы, предназначенные для определения мутности, выделяются из проб следующими способами: 1) автоматическим фильтрованием, 2) фильтрованием с предварительным отстоем наносов, 3) ускоренным фильтрованием под давлением.

При большой мутности воды, если весь объем взятой пробы не более 1 л, наносы выделяются путем фильтрования. Фильтрование заключается в том, что вода с наносами пропускается через фильтр, изготовленный из специальной мелкопористой бумаги, которая задерживает на поверхности и в порах все частицы наносов. Вода, прошедшая через такой фильтр, получается прозрачной.

При малой мутности, когда взятые отдельно пробы сливаются в одну общую бутылку и объем их составляет более 1 л, наносы выделяются путем предварительного отстоя, в результате которого они осаждаются на дне в нижнем слое воды. Осветленная верхняя часть воды при помощи сифона сливается, а остаток воды, насыщенный наносами, объемом не более 1 л отфильтровывается.

При большой мутности воды и наличии наносов, состоящих из очень мелких частиц, быстро заиляющих фильтр, для ускорения фильтрования применяется предварительная коагуляция. Для этого приливают в пробу 20-процентный раствор химически чистого хлори-

стого кальция, который образует в воде из отдельных мелких частиц наносов хлопья, ускоряя этим отстой проб в 2–3 раза.

Выделение взвешенных наносов из проб воды для определения крупности наносов выполняется только путем отстоя.

7.6. Вычисление расходов взвешенных наносов

Расходы взвешенных наносов, измеренные точечным детальным способом (в пяти точках на вертикали), вычисляют графически, а измеренные одно- и двухточечным способом, а также суммарным и интеграционным способами, — аналитически.

Вычисление расхода взвешенных наносов *графическим способом* (рис. 7.2) выполняют в следующей последовательности.

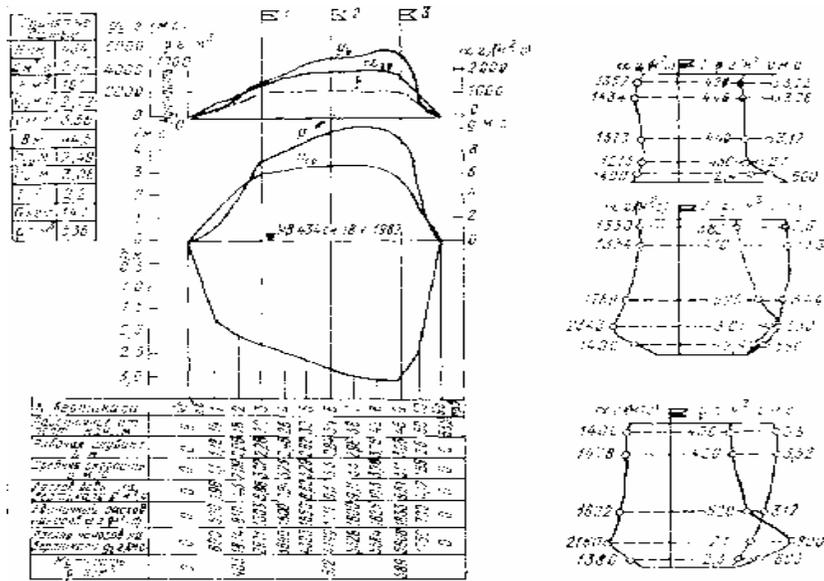


Рис. 7.2. Вычисление расходов взвешенных наносов графическим способом.

1. Строят эпюры мутности. Для этого на эпюрах скоростей течения в точках, в которых были отобраны пробы воды, откладывают значения мутности, вычисленные по формуле (7.1).

2. Вычисляют единичные расходы взвешенных наносов для каждой точки измерения в граммах на квадратный метр в секунду ($\text{г}/(\text{м}^2/\text{с})$):

$$\alpha = \rho \cdot v. \quad (7.2)$$

На эпюрах скоростей течения (слева) строят эпюры единичных расходов наносов на вертикалях.

3. Планиметром или с помощью палетки вычисляют площади эпюр единичных расходов наносов и определяют таким образом элементарные расходы взвешенных наносов на вертикалях g_e $\text{г}/(\text{м}\cdot\text{с})$.

4. Делением значений единичных расходов на глубину на вертикалях находят средние значения единичных расходов на вертикалях:

$$\alpha_{cp} = g_e / h, \quad (7.3)$$

по которым строят кривую их распределения по ширине потока. При этом значения α_{cp} откладывают от линии уровня воды на каждой вертикали в том же масштабе, в котором строились эпюры единичных расходов.

5. С этой эпюры снимают значения средних единичных расходов для каждой промерной вертикали и, умножая их на соответствующие глубины, получают значения элементарных расходов взвешенных наносов для каждой вертикали:

$$g_e = \alpha_{cp} \cdot h. \quad (7.4)$$

6. Над профилем водного сечения строят эпюру элементарных расходов взвешенных наносов g_e по ширине потока. Площадь этой эпюры численно равна расходу взвешенных наносов $G_{взв}$ $\text{г}/\text{с}$.

7. Для анализа распределения мутности по ширине реки вычисляют средние мутности на каждой скоростной вертикали:

$$\rho_{в,ср} = g_e / q_{эл}, \quad (7.5)$$

где g_e — элементарный расход взвешенных наносов, $\text{г}/(\text{м}\cdot\text{с})$; $q_{эл}$ — элементарный расход воды, $\text{м}^2/\text{с}$.

Строят эпюру средней мутности по ширине потока. Средняя мутность для всего живого сечения определяется по формуле:

$$\rho_{ср} = 1000 G_{взв} / Q, \quad (7.6)$$

где $G_{взв}$ — расход взвешенных наносов, $\text{кг}/\text{с}$; Q — расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; тогда $\rho_{ср}$ — в $\text{г}/\text{м}^3$.

Аналитический способ заключается в следующем. При точечном способе измерения расхода взвешенных наносов сначала для каждой точки вычисляют значения мутности ρ и единичного расхода наносов. Затем определяют средние единичные расходы наносов для каждой скоростной вертикали. При двухточечном способе отбора проб средний единичный расход вычисляют по формуле:

$$\alpha = (\alpha_{0,2h} + \alpha_{0,8h}) / 2, \quad (7.7)$$

где $\alpha_{0,2h} = U_{0,2h}\rho_{0,2h}$ и $\alpha_{0,8h} = U_{0,8h}\rho_{0,8h}$ – единичные расходы наносов в точках соответственно на глубине 0,2 h и 0,8 h.

При одноточечном способе отбора проб:

$$\alpha_{cp} = \alpha_{0,6h}, \quad (7.8)$$

где $\alpha_{0,6h} = U_{0,6h}\rho_{0,6h}$ – единичный расход наносов в точке на глубине 0,6h.

Общий расход взвешенных наносов вычисляют по формуле:

$$G_{взв} = 0,001(k\alpha_1\omega_0 + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\omega_1 + \dots + \frac{\alpha_{n-1} + \alpha_n}{2}\omega_{n-1} + k\alpha_n\omega_n), \quad (7.9)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – средние единичные расходы взвешенных наносов на скоростных вертикалях, г/(м²·с); ω_0 и ω_n – площади живого сечения соответственно между урезами и первой и последней скоростными вертикалями, м²; $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n-1}$ – площади живого сечения между скоростными вертикалями, м²; k – коэффициент, зависящий от характера распределения скоростей в прибрежной зоне потока, определяемый по табл. 6.1.

При измерении расхода взвешенных наносов суммарным или интеграционным способами по формуле (7.1) определяют сразу средние мутности на вертикалях. В этих случаях расход взвешенных наносов:

$$G_{взв} = 0,001(\rho_1\Delta Q_0 + \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}\Delta Q_1 + \dots + \frac{\rho_{n-1} + \rho_n}{2}\Delta Q_{n-1} + \rho_n\Delta Q_n), \quad (7.10)$$

где $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ – средние мутности воды на вертикалях, г/м³; $\Delta Q_0, \Delta Q_n$ – частичные расходы воды между урезами и соответственно первой и последней скоростными вертикалями, м³/с; $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_{n-1}$ – частичные расходы воды между скоростными вертикалями, м³/с.

Если пробы, взятые на отдельных вертикалях, были объединены в одну суммарную пробу, то мутность этой пробы принимается за среднюю для всего сечения и расход взвешенных наносов вычисляют по формуле:

$$G_{взв} = 0,001\rho_{cp}Q, \quad (7.11)$$

где ρ_{cp} – мутность суммарной пробы, г/м³; Q – расход воды, м³/с.

7.7. Контрольные вопросы

1. Что называют речными наносами, на какие виды они подразделяются?
2. Что такое мутность воды и расход взвешенных наносов?
3. Перечислите приборы, применяемые для измерения мутности воды. Каковы принципы их действия?

4. Какие применяются способы измерения расхода взвешенных наносов?
5. Как вычислить расход взвешенных наносов графическим способом?
6. В чем заключается аналитический способ вычисления расхода взвешенных наносов?

8. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВЛЕКОМЫХ И ДОННЫХ НАНОСОВ

8.1. Приборы для отбора проб влекомых наносов

Для измерения расходов влекомых наносов применяют приборы, называемые *донными батометрами*. Принцип их действия заключается в следующем: прибор устанавливают на дне и в течение определенного времени улавливают перемещающиеся наносы на участке дна, по ширине равно входному отверстию прибора. После подъема прибора определяют объем и массу пробы, а также проводят ее анализ. Существует большое количество различных конструкций донных батометров. Рассмотрим один из них.

Для отбора проб наносов, состоящих из гравия и гальки, применяется батометр-сетка ГГИ (рис. 8.1). Батометр состоит из металлической рамы шириной 20–40 см и прикрепленной к ней проволочной сетки. Размер ячеек сетки определяется в зависимости от наименьшего диаметра гальки, улавливаемой батометром. Батометр опускается на дно на штанге. Основным недостатком сетчатых батометров заключается в том, что улавливаются не все наносы; частицы с диаметром меньше размера ячеек сетки в приборе не задерживаются.

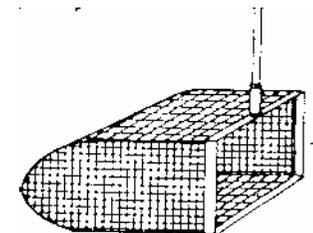


Рис. 8.1. Батометр – сетка ГГИ.

8.2. Измерение расходов влекомых наносов

Расходы влекомых наносов измеряют одновременно с измерением расходов воды и взвешенных наносов. Пробы берут на всех скоростных вертикалях гидрометрического створа. Так как влекомые наносы передвигаются скачкообразно, а количество перемещающихся наносов непостоянно во времени, то на каждой вертикали измере-

ния повторяют не менее 3 раз и определяют среднее значение пробы. Выдержка батометра в точке измерения устанавливается опытным путем с таким расчетом, чтобы в ловушку поступило не менее 50 г наносов. Однако держать батометр на дне более 10 мин не рекомендуется во избежание подмыва.

После извлечения батометра из воды наносы из ловушки помещаются в ванночку, а затем – в мерный сосуд для определения объема пробы. Измерение объема наносов производят спустя 5–10 мин после их осаждения и уплотнения. Каждая проба просушивается, помещается в отдельную баночку или мешочек и направляется в лабораторию для определения массы и крупности наносов.

8.3. Вычисление расхода влекомых наносов

Расход влекомых наносов обычно вычисляют аналитическим способом. Сначала для каждой скоростной вертикали, где отбирали пробы, определяют значения элементарных расходов наносов (g г/(м·с)):

$$g = 100p/(t \cdot l), \quad (8.1)$$

где p – масса наносов в пробе, г; t – продолжительность выдержки батометра на дне, с; l – ширина входного отверстия батометра, см.

Полный расход донных наносов вычисляют по формуле:

$$G_{\text{вп}} = 0,001 \left(\frac{g}{2} b_0 + \frac{g_1 + g_2}{2} b_1 + \dots + \frac{g_{n-1} + g_n}{2} b_{n-1} + \frac{g_n}{2} b_n \right), \quad (8.2)$$

где g_1, g_2, \dots, g_n – элементарные расходы влекомых наносов на 1 м ширины русла, г/(м·с); b_1, b_2, \dots, b_{n-1} – расстояние между скоростными вертикалями, м; b_0 и b_n – расстояние между урезами воды и соответственно первой и последней вертикалями, м.

Расход влекомых наносов можно вычислить и графическим способом. Для этого над профилем водного сечения строят эпюру элементарных расходов влекомых наносов по ширине русла. Площадь этой эпюры численно равна расходу влекомых наносов.

8.4. Гранулометрический состав наносов

Гранулометрический состав наносов называют состав пробы наносов по крупности слагающих их частиц. Обычно крупность выражается в виде относительного содержания (в процентах) групп частиц примерно одного размера, называемых *фракциями*, по отношению к массе абсолютно сухого вещества в пробе.

Гранулометрический анализ проб речных наносов выполняется в лаборатории. При этом применяют различные методы: непосредст-

венный обмер (крупных) частиц, просеивание через грохоты и сита, с помощью пипеточной установки, фракциометра и др. Наносы классифицируются в зависимости от их крупности в соответствии с табл. 8.1.

В равнинных реках наносы представлены в основном илистыми фракциями, тонкими и мелкими песками. В горных реках преобладают крупные песчаные фракции, гравий и галька.

Таблица 8.1

Классификация наносов по крупности фракций

Фракция	Галька	Гравий	Песчаная фракция				Пыль	Ил	Глина
			крупная	средняя	мелкая	тонкая			
Диаметр частиц, мм	60–10	10–2	2–0,5	0,5–0,25	0,25–0,10	0,10–0,05	0,05–0,005	0,01–0,001	<0,005

8.5. Определение характеристик донных отложений горных рек

Изучение донных отложений в русле реки производится с целью получения данных о гранулометрическом составе (крупности), плотности смеси наносов в естественном залегании и содержании в донных наносах органических веществ. Методика наблюдений, приборы и оборудование, применяемые при наблюдениях за донными наносами, различны для условий равнинных и горных рек.

Донные наносы равнинных рек изучаются путем отбора проб в русле. Пробы отбираются в основном гидростворе четыре–шесть раз в году в разные фазы водного режима: на подъеме, пике и спаде половодья, в период летне-осенних паводков и в межень. Для отборов проб используются механические конструкции, основным рабочим элементом которых является ковш, состоящий из двух шарнирно соединенных створок, вращающихся на шарнирной оси.

Для определения гранулометрического состава донных наносов горных рек с валунно-галечным руслом рекомендуется фотографический метод. Сущность метода заключается в фотографировании наносов и последующем определении количества частиц различных фракций. Фотографический метод позволяет определить крупность поверхностного слоя русловых наносов без нарушения их естественного состояния, значительно сокращает затраты труда и времени в полевых условиях, отвечает допустимой точности гранулометрического анализа ($\pm 3\%$). Измерение донных наносов следует выполнять 1–2 раза в год при низких уровнях в межень, когда достаточно хорошо просматривается дно или его часть на прибрежных участках, островах и косах, расположенных в районе поста. Состав донных наносов определяется на площадках размером $1 \times 1 \text{ м}^2$ в тех местах, где

9. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ

9.1. Общие положения

Главными задачами систематических наблюдений на водотоках являются:

- наблюдения и контроль за уровнем загрязнения вод по физическим, химическим и гидробиологическим показателям с целью определения и оценки уровня загрязнения во времени и пространстве, выяснения источников загрязнения, а также оценки эффективности мероприятий по защите от загрязнения объектов окружающей среды;

- обеспечение заинтересованных предприятий, организаций и учреждений систематической информацией об уровне загрязнения водных объектов, возможности его изменения под влиянием хозяйственной деятельности и гидрометеорологических условий, а также экстренной информацией о резких изменениях уровня загрязнения вод.

Кроме того, проводятся специальные наблюдения, задачи которых состоят:

- в установлении главных закономерностей процессов самоочищения;

- в изучении процессов накопления загрязняющих веществ в донных отложениях и их влияния на качество воды;

- в составлении баланса веществ участков водотоков;

- в изучении выноса загрязняющих веществ;

- в определении предельно допустимых выбросов в водные объекты.

В результате проведенных наблюдений должен быть получен материал для:

- прогнозирования состава и свойств воды объектов с учетом влияния хозяйственной деятельности человека;

- разработки мероприятий по усилению охраны и рациональному использованию водных источников и оценки их эффективности;

- оценки эффективности водоохраных мероприятий, проводимых по бассейну в целом;

- разработки разделов по охране природных вод в планах развития народного хозяйства страны.

Количество отбираемых для анализа проб назначается в зависимости от особенностей водного режима отдельных водотоков:

- на реках с длительным половодьем (больше месяца) увеличивается до 8 в год (на спаде половодья отбираются две пробы – в начале и конце спада);

отложившиеся наносы являются характерными для данного участка. Количество площадок назначается от трех до семи в зависимости от однородности/неоднородности наносов, расстояние между ними 3–5 м. В полевых условиях выясняют тип донных наносов, чтобы установить, имеется ли естественная отмостка из наиболее крупных наносов на поверхности русла или же крупность наносов равномерно распределена в толще донных наносов. После этого приступают к фотографированию выбранных площадок.

На фотографируемую площадку накладывается металлическая рама-сетка размером 1×1 м, разделенная шнуром или проволокой на квадраты 10×10 см. При этом рама-сетка располагается горизонтально, чтобы на фотографии не получалось значительного искажения масштабной сетки и размеров отдельных частиц. Каждый снимок (кадр) должен иметь свой порядковый номер и подпись наименования реки и пункта. Фотографирование производится с высоты 2 м.

В тех случаях, когда применение фотографического метода по каким-либо причинам затруднено, определение гранулометрического состава выполняется наблюдателем путем обмера частиц поверхностного слоя отложений на глубину самой крупной частицы на площади 1 м² с помощью мерной ленты (рулетки), калибров (колец разного диаметра от 20 до 200 мм) и грохотов (сит с ячейками диаметром 50 и 20 мм) или визуально с помощью рамы-сетки. Подразделенные на фракции частицы взвешиваются безменом. Этими способами донные отложения подразделяются на фракции 1000 – 500; 500 – 200; 200 – 100; 100 – 50; 50 – 20; 20 – 10 мм.

Процентное содержание каждой фракции определяется относительно общей массы всего образца, которая получается как сумма весов всех фракций. Стороны ячеек рамы-сетки, равные 100 мм, служат масштабом для измерения отдельных частиц, а площадь каждой ячейки соответствует 1%. Сумма ячеек, занятых частицами определенной фракции, дает их процентное содержание в образце.

При наличии в русле наряду с крупными донными наносами больше 5 – 10% мелких частиц диаметром меньше 10 мм следует с каждой фотографируемой площадки лопаточкой отобрать пробу мелких наносов (300–500 г), упаковать ее в мешочек и направить в лабораторию для дальнейшего анализа.

8.6. Контрольные вопросы

1. Какие существуют приборы для отбора проб влекомых наносов?
2. Как измеряют и вычисляют расход влекомых наносов?
3. Как проводят наблюдения за донными отложениями? Какие способы при этом используются?

- на реках с устойчивой летней меженью, где осенний подъем воды выражен слабо, снижается до 5–6 в год;
- на временных водотоках, несущих воду только во время весеннего снеготаяния, уменьшается до 3–4 в год;
- на реках, характеризующихся паводочным режимом в течение всего года, число проб должно быть не менее 8.

Количество проб воды в створе определяется комплексом местных условий исследуемого водотока или его участка. Максимальный объем работ включает в себя отбор проб воды на трех вертикалях с трех горизонтов: поверхностного (0,2–0,5 м от поверхности воды при свободном ото льда русле и у нижней поверхности льда зимой), придонного (0,5 м от дна) и промежуточного (соответствующего примерно половине глубины водотока). При глубине до 5 м пробы воды отбираются только с поверхностного горизонта; от 5 до 10 м – с поверхностного и придонного горизонтов, а при глубине более 10 м – дополнительно с промежуточного горизонта.

Основным принципом организации наблюдений является их комплексность. Комплексность наблюдений предусматривает согласованную программу работ по гидрохимии, гидрологии, гидробиологии, обеспечивающую наблюдения за качеством воды по физическим, химическим и гидробиологическим показателям и проведение сопутствующих гидрологических работ. Гидрохимические работы выполняются у водного объекта, в химической лаборатории станции и в гидрохимической лаборатории УГМС.

В целях повышения надежности получаемых результатов химического анализа воды, гидрохимические работы по возможности следует выполнять в лабораторных условиях. Однако содержание некоторых ингредиентов в воде быстро изменяется и потому их определение приходится выполнять непосредственно у объекта, т.е. на гидрологическом посту.

9.2. Наблюдения за химическим составом воды

Работы, выполняемые непосредственно на посту, проводят в следующей последовательности:

- 1) определяют температуру воды слоя, из которого должна отбираться проба;
- 2) ведром или батометром отбирают пробу воды из заданного слоя;
- 3) в отобранной пробе воды определяют содержание ионов водорода (рН), двуокиси углерода (СО₂) и фиксируют растворенный в воде кислород;

4) исследуемой водой для ее консервации наполняют бутылки, закупоривают и отправляют в лабораторию УГМС на полный химический анализ.

Температуру воды в поверхностном слое измеряют термометром в металлической оправе с делениями через 0,2°. Для этого термометр опускают на шнурке таким образом, чтобы резервуар с ртутью находился на глубине 0,2 м. Выдержав 10 мин, термометр вынимают и производят отсчет с точностью до 0,1°.

Температуру воды глубинных слоев измеряют термометром, смонтированным в батометр, которым отбирают пробу с требуемой глубины.

Места отбора проб, их количество, а также сроки указываются наблюдателю в задании, выдаваемом станцией.

Пробы воды на стрежне потока с поверхности водоема осторожно, без взбалтывания, зачерпывают ведром, предварительно сполоснув его отбираемой водой 2–3 раза. Во избежание загрязнения пробы ведро должно употребляться только для этой цели. Глубина погружения ведра не должна превышать 0,2–0,5 м. Из глубинных слоев пробу воды отбирают при помощи батометра, опускаемого на заданную глубину.

Из взятой пробы воды сразу же на борту лодки или на берегу определяют рН, СО₂, фиксируют растворенный кислород и наполняют бутылки для отправки их в лабораторию УГМС.

Для проведения анализа на посту применяют полевые химические лаборатории. Необходимые для анализа растворы и запасные реактивы обеспечивают гидрохимические лаборатории УГМС.

В зимнее время при температуре воздуха ниже 0°С отобранную пробу воды сразу же после измерения температуры переносят в теплое помещение, где и производят перечисленные выше определения.

Определение концентрации ионов водорода рН производят сразу же после отбора пробы электрометрическим или колориметрическим методом.

Для электрометрического определения используется специальный прибор – рН-метр с пределами измерения величин рН от 2 до 12. Основная погрешность прибора не превышает ±0,05 рН.

При отсутствии на постах рН-метра величину рН определяют колориметрическим методом по шкале рН.

Колориметрическая шкала, выпускаемая экспериментально-производственными мастерскими при ГГИ, состоит из 19 запаянных пробирок с растворами и двух пустых с резиновыми пробками, предназначенных для отобранной пробы воды. Исследуемую воду наливают в одну из пробирок при помощи сифона – чистой резиновой

трубки, снабженной зажимом и стеклянным наконечником. Пробирку ополаскивают два раза исследуемой водой, а затем наполняют до метки. Прилагаемые к шкале индикаторы действуют только в определенной части шкалы: бромтимоловый синий – от 6,00 до 7,60 pH; крезоловый красный – от 7,60 до 8,20 pH; тимоловый синий – от 8,20 до 9,20 pH.

Применение того или иного индикатора будет зависеть от ожидаемой величины pH отбираемой пробы воды.

Определение двуокиси углерода CO_2 производят титрованием определенного объема отбираемой пробы воды раствором соды Na_2CO_3 в присутствии индикатора – фенолфталеина. Для этого берут мерную колбу на 200 мл, ополаскивают ее исследуемой пробой воды дважды, а затем наполняют до имеющейся на ней метки. Приливают 2 мл раствора фенолфталеина, закрывают пробкой и перемешивают. Если вода приняла розовую окраску, отмечают, что двуокись углерода отсутствует. Если вода не изменила своего цвета, следует приступить к определению двуокиси углерода.

В колбу с исследуемой пробой воды начинают осторожно добавлять по каплям раствор соды Na_2CO_3 при постоянном перемешивании и проба начинает окрашиваться в розовый цвет. В начале, при перемешивании, окраска быстро исчезает. При последующем прилинии раствора соды скорость исчезновения окраски замедляется и в конце определения появляется устойчивая светло-розовая окраска, сохраняющаяся в течение продолжительного времени. Интенсивность окраски, при которой следует считать титрование окончанным, определяют путем сравнения с рабочим минеральным стандартом, имеющим определенную окраску. Определение CO_2 считают законченным, когда окраска оттитрованной пробы делается одинаковой со стандартом и не будет изменяться в течение 5 мин.

Растворенный в воде кислород O_2 определяется иодометрическим методом.

Метод определения кислорода состоит из двух частей: фиксации и самого определения. Для фиксации кислорода применяются калиброванные склянки объемом 150–200 мл с притертыми пробками. Склянку для фиксации кислорода ополаскивают 2–3 раза исследуемой водой, затем наполняют ее и приливают пипеткой раствор йодистого калия ($\text{KI}+\text{NaOH}$). Склянку плотно закрывают и отправляют в лабораторию, где в течение суток должно быть определено содержание кислорода.

После определения pH, содержания CO_2 и фиксации растворенного кислорода оставшуюся в ведре исследуемую воду разливают в 3 бутылки темного стекла или полиэтиленовые сосуды (емкостью 1 и 0,5 л) для отправки их в стационарную лабораторию на пол-

ный химический анализ. Если нет возможности доставить пробы в лабораторию в течение дня, то бутылки с водой следует законсервировать. Для этого в литровые бутылки прибавляют по 2 мл хлороформа, а в поллитровые бутылки – по 1 мл 25%-ой серной кислоты. После этого бутылки закрывают плотно резиновыми пробками, приклеивают этикетки с координатами пробы.

9.3. Контрольные вопросы

1. С какой целью ведут наблюдения за химическим составом воды?
2. В какие сроки проводят наблюдения за химическим составом и физическими свойствами воды?
3. Измерение какого параметра выполняют прежде, чем берут пробу воды на исследование?
4. Как отбирают пробу воды из заданного слоя?
5. Содержание каких ионов определяют в пробе воды непосредственно на гидрологическом посту?
6. Как готовят бутылки (емкости) с исследуемой водой для отправки в лабораторию на полный химический анализ?

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. *Быков В.Д., Васильев А.В.* Гидрометрия: Учебник для вузов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 447 с.
2. *Железняков Г.В.* Гидрология и гидрометрия. – М.: Высш. шк., 1981. – 382 с.
3. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость-площадь». МИ 1759-87. Методические указания. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 49 с.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Вып. 2. – Ч. 2. Гидрологические наблюдения на постах. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 264 с.
5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Вып. 6. – Ч. 2. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 266 с.
6. Правила по технике безопасности при производстве наблюдений и работ на сети Госкомгидромета СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 90 с.
7. Практикум по гидрологии, гидрометрии и регулированию стока: Учебное пособие для вузов / Под ред. Е.Е. Овчарова. – М.: Агропромиздат, 1988. – 222 с.
8. Мутность воды. Методика выполнения измерений. Методические указания / Государственный гидрологический институт. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 20 с.
9. Уровнемер поплавковый цифровой с регистратором РС-1: Руководство по эксплуатации / Государственный гидрологический институт. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 20 с.

Дополнительная

1. *Карасев И.Ф., Васильев А.В., Субботина Е.Г.* Гидрометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1992. – 290 с.

2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Вып. 6. – Ч. 1. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 384 с.
3. *Овчаров Е.Е., Захаровская Н.Н.* Гидрология и гидрометрия: Учебник для техникумов. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 312 с.
4. *Карасев И.Ф.* Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 400 с.
5. *Лучшева А.А.* Практическая гидрометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 396 с.
6. РД 52.08.318-91. Метрологическая аттестация методик выполнения измерений уровней и расходов воды на гидрологических постах: Методические указания. – М., 1991. – 28 с.
7. Наблюдения на гидрометеорологической сети СССР. Определение понятий гидрометеорологических элементов и оценка точности наблюдений. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 190 с.
8. *Рейфер А.В.* Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 500 с.
9. РД 52.08.606-99. Вертушки гидрометрические – речные типа ГР-21М, ГР-55, ГР-96. Методика поверки в градуировочных лотках ГР-19 и ГР-19М: Методические указания / Государственный гидрологический институт. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 20 с.
10. РД 52.08.38-2000. Уровнемеры поплавковые. Методика поверки: Методические указания / Государственный гидрологический институт. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 20 с.

Г.П. Фролова

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ

Часть 2

Методы и средства гидрологических наблюдений

Редактор Т.П. Вязьмина
Технический редактор О.А. Матвеева
Корректор Е.И. Полихова
Компьютерная верстка Д.Р. Зайнулиной

Подписано в печать 6.02.2004. Формат 80x64 ¹/₁₆.
Печать офсетная. Объем 6,5 п.л.
Тираж 50 экз. Заказ 348.

Издательство Кыргызско-Российского
Славянского университета
720000, Бишкек, Киевская, 44

Отпечатано в типографии КРСУ
720000, Бишкек, Шопокова, 68.