

КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АРХИТЕКТУРЫ, ДИЗАЙНА И СТРОИТЕЛЬСТВА
Кафедра гидротехнического строительства и водных ресурсов

УДК556.04:627.133(072)

Рекомендованы к изданию кафедрой
гидротехнического строительства и водных ресурсов

Фролова Г.П., Рогозин Г.В.

Ф 91 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к организации и проведению учебной практики по гидрологии для студентов специальности «Гидротехническое строительство». Бишкек: КРСУ, 2012. 44с.

Г.П. Фролова, Г.В. Рогозин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к организации и проведению
учебной практики по гидрологии
для студентов специальности
«Гидротехническое строительство»

Приведена программа учебной гидрологической практики, вопросы ее организации; изложен порядок выполнения гидрологических наблюдений и математической обработки данных полевых измерений в соответствии с программой курса «Гидрология».

Предназначены для студентов специальности «Гидротехническое строительство», а также может быть полезно для студентов инженерных специальностей направления «Водные ресурсы и водопользование», «Гидрометеорология», и специалистов, занимающихся вопросами гидрологического обоснования при инженерно-строительном проектировании.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ПРАКТИКИ И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРАВИЛ ПОВЕДЕНИЯ	6
2. ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ	7
3. ПРИМЕРНАЯ СХЕМА ОТЧЕТА	11
4. МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЕ ГИДРОПОСТА И ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОГО СТВОРА	11
4.1. Месторасположение гидропоста	11
4.2. Оборудование гидрометрического створа	12
5. НАБЛЮДЕНИЯ НА ГИДРОМЕТРИЧЕСКОМ ПОСТУ	13
5.1. Определение приводки рейки, уклона водной поверхности и уровня воды	13
5.2. Промеры глубин	15
5.3. Назначение скоростных вертикалей и точек измерения скоростей течения на них	17
5.4. Определение скоростей течения водного потока гидрометрической вертушкой.....	18
5.5. Взятие проб воды с взвешенными наносами.....	21
5.6. Определение скоростей течения водного потока поверхностными поплавками.....	22
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ	25
6.1. Определение расхода воды по скоростям, измеренным вертушкой и глубинам потока – по способу «площадь–скорость».....	25
6.2. Вычисление расхода воды по скоростям, измеренным поверхностными поплавками, и глубинам	30
6.3. Определение расхода воды по площади живого сечения и продольному уклону водной поверхности	32
6.4. Определение коэффициента Шези С опытным путем.....	35
6.5. Сравнение расходов, вычисленных разными способами	35

7. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДОВ ВОДЫ УСТАНОВКОЙ «ГИДРОТАРАН»	36
7.1. Описание системы напорного орошения с помощью установки «Гидротаран».....	36
7.2. Гидрометрические измерения в АПК.....	38
7.3. Определение производительности насоса «Гидротаран»	39
7.4. Определение расходов воды в напорной оросительной сети.....	40
7.5. Определение расходов воды мерным водосливом на открытой оросительной сети территории ФАДиС.....	41
ЛИТЕРАТУРА	43

ВВЕДЕНИЕ

Материалы и исследования по гидрометрии являются исходными данными для гидрологических расчетов при проектировании водозаборных сооружений, водохранилищ, плотин, мостов, при проектировании сбросных сооружений, проектировании водоприемников при осушении заболоченных территорий и др. Таким образом, в зависимости от гидрологического режима источника устанавливаются размеры сооружений, их пропускная способность, разрабатываются правила эксплуатации.

В период эксплуатации гидротехнического сооружения (ГТС) тоже ведутся гидрометрические измерения – необходимо определять подаваемый расход и регулировать его в соответствии с графиком водораспределения.

Целью учебной практики по гидрометрии является закрепление знаний, полученных студентами во время изучения теоретического курса по дисциплине «Гидрология».

Задача практики состоит в приобретении каждым студентом навыков в измерении гидрологических величин и обработке полученных данных с целью использования их при проектировании ГТС (измерения на реке) и эксплуатации ГТС (измерения на каналах). Особое внимание необходимо уделить умению обращаться с гидрометрическими и гидрологическими приборами на практике.

Перед выездом на практику студенты в обязательном порядке проходят общий инструктаж по технике безопасности (ТБ) и расписываются в специальном журнале по ТБ. Инструктаж по ТБ на рабочих местах проводится непосредственно перед началом работ.

Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к практике не допускаются.

1. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ПРАКТИКИ И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРАВИЛ ПОВЕДЕНИЯ

Практика проходит на каналах ВБЧК, «Майский», расположенных на территории г. Бишкек, на временной модельной площадке факультета АДиС. Организовываются выезды на гидропост «Байтик» (р.Ала-Арча), бассейн суточного регулирования (БСР) и головное сооружение канала Туш (р. Ала-Арча), гидропост «Белогорка» (р. Сокулук), гидропост устье реки Чонкурчак (р. Аламедин). По обстоятельствам объекты могут меняться, при этом состав работ сохраняется.

В местах прохождения практики категорически запрещается рубить, ломать кустарник, разводиться костры, собирать грибы, ягоды, травы. Запрещается убивать змей, ящериц, лягушек и др. животных, т.е. запрещаются все действия, наносящие вред природе.

К месту практики студенты следуют на городском транспорте или на автобусах университета. Посадка в автобусы университета производится по группам с разрешения руководителя практики.

Без команды руководителя занимать места в автобусах запрещается. В пути следования *запрещается выглядывать в окна автобуса, выставлять локти из окна, курить, сорить*, т.е. необходимо соблюдать общепринятые правила проезда в автобусах. По прибытии на место или во время остановки автобуса в пути необходимо обходить автобус только сзади.

Учитывая, что солнечная радиация в районе практики повышенная, ходить без головных уборов запрещается.

На рабочих местах необходимо строго соблюдать технику безопасности, особенно не перегружать гидрометрические мостики (не более 4 человек одновременно).

Организационные вопросы практики

Для прохождения практики весь курс делится на 2...3 бригады по 5...7 человек в бригаде. Один из членов бригады назначается бригадиром (избирается студентами).

В обязанности бригадира входит:

1. Вести журнал учета выполнения работ в отдельности по каждому студенту.

2. Получать задание на практику и распределять работу между членами бригады.
3. Поддерживать дисциплину, организовывать работу бригады, контролировать выполнение правил по технике безопасности членами бригады.
4. Получать задание от руководителя на каждый день, получать необходимый инструмент и следить за его сохранностью.
5. По окончании работ привести в порядок инструмент и сдать его на хранение заведующему лабораторией КИОВР.
6. Распределять работу по составлению отчета по практике и проверять правильность оформления материалов практики совместно с руководителем практики.

В обязанности студента, проходящего практику, входит:

- а) выполнение указаний руководителя и бригадира;
- б) соблюдение правил внутреннего распорядка при проведении гидрологических наблюдений, правил по ТБ и правил поведения на экспедиционных наблюдениях (выездах на водные объекты);
- в) при выходе на работу четко знать вид и порядок выполняемой работы, необходимый для этого материал и инструмент;
- г) готовить к работе инструменты, приборы и содержать их в сохранности;
- д) активно участвовать во всех видах работ на практике, в обработке, оформлении материала для отчета.

В случае нарушения студентом правил внутреннего распорядка, невыполнения указаний руководителя практики и бригадира, нарушения по ТБ руководитель практики обязан отстранить нарушителя от практики и откомандировать в распоряжение деканата с соответствующей докладной запиской.

2. ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ

Студенту III курса специальности «Гидротехническое строительство» факультета АДиС на учебной практике продолжительностью две недели (72 часа) необходимо освоить следующие виды работ в течение отведенного времени на их выполнение (табл. 1):

Виды работ и распределение бюджета времени

№	Виды работ и место их выполнения	Время выполнения
1	<i>Подготовительная работа</i> а) ознакомление студентов с программой практики, организация бригад, назначение бригадиров; б) инструктаж по ТБ; в) осмотр и проверка инструментов; г) подбор литературы по гидрометрии в методическом кабинете кафедры ГТС и ВР	1 день
2	<i>Определение скоростей течения поверхностными поплавками, гидрометрической вертушкой, взятие проб взвешенных наносов – каналы ВБЧК (1 день) и «Майский» (1 день).</i> а) осмотр исправности гидропоста; назначение нуля графика поста, определение приводки; уклона водной поверхности; б) засечка времени начала работ и отсчет уровня по рейкам; в) в) промеры глубин; г) назначение скоростных вертикалей; д) измерение скоростей течения гидрометрической вертушкой; е) взятие проб взвешенных наносов; ж) засечка времени окончания работ и отсчет уровня воды по рейкам; з) измерение скоростей течения водного потока поверхностными поплавками (записывается время начала и окончания работ, производится отсчет уровня по рейкам в начале работы и по окончании работы)	2 дня
3	<i>Определение расхода воды по способу «площадь–скорость», и гидравлическим способом на каналах ВБЧК и «Майский» – лаборатория КИОВР кафедры ГТС и ВР факультета АДиС.</i> а) аналитическим способом; б) графическим способом; в) гидравлическим способом; г) сравнение результатов вычислений по пунктам а, б и в; д) определение коэффициента ШезиСопытным путем и сравнение с теоретически вычисленным	1 день

Продолжение табл. 1

№	Виды работ и место их выполнения	Время выполнения
4	<p><i>Определение расходов воды по скоростям, измеренным поверхностными поплавками, на каналах ВБЧК и «Майский»</i> – лаборатория КИОВР кафедры ГТС и ВР факультета АДиС.</p> <p>а) аналитическим способом; б) графическим методом; в) вычисление действительных расходов воды с учетом переходных коэффициентов; г) сравнение результатов вычисления расхода с другими способами</p>	1 день
5	<p><i>Измерение расходов воды гидронасосом «Гидротаран»</i> – модельная площадка ФАДиС.</p> <p>а) изучение схемы оросительной системы ФАДиС; б) гидрометрические измерения в АПК; в) определение производительности насоса «Гидротаран»; г) определение расходов воды в напорной оросительной сети; д) определение расходов воды мерным водосливом на открытой оросительной сети территории ФАДиС</p>	1 день
6	<p><i>Экскурсия на гидропост и метеостанцию «Байтик»</i></p> <p>а) знакомство с месторасположением и приборами метеостанции «Байтик» 1 разряда; б) выполнение срочных метеорологических наблюдений совместно с наблюдателем станции: измерение температуры воздуха, влажности почвы, солнечного сияния, осадков и др. по программе срочных измерений на станции 2 разряда; в) переход на гидропост и выполнение гидрометрических измерений по створу, оборудованному гидрометрическим мостиком (совместно с техником-гидрометром гидропоста):</p> <ul style="list-style-type: none"> • измерение уровня воды по водомерной рейке; • глубины воды на промерных вертикалях; • скоростей течения водного потока гидрометрической вертушкой и поверхностными поплавками; • измерение уровня воды после окончания измерений 	1 день
7	<p><i>Обработка материалов измерений, выполненных на метеостанции и гидропосту «Байтик»</i> – лаборатория КИОВР ФАДиС.</p> <p>а) определение расхода воды по скоростям, измеренным вертушкой на глубине 0,6h; б) определение расходов воды по скоростям, измеренным поверхностными поплавками графическим методом; в) описание измерений, выполненных на метеостанции</p>	1 день

Продолжение табл. 1

№	Виды работ и место их выполнения	Время выполнения
8	<p><i>Экскурсия на гидропост «Белогорка»</i></p> <p>а) знакомство с месторасположением и приборами дождемерной площадки, выполнение срочных метеорологических наблюдений совместно с наблюдателем гидропоста: измерение температуры воздуха, количества осадков по дождемеру Третьякова; б) переход на гидропост и выполнение гидрометрических измерений по створу, оборудованному гидрометрическим мостиком (совместно с наблюдателем гидропоста):</p> <ul style="list-style-type: none"> • измерение уровня воды по водомерной рейке; • глубины воды на промерных вертикалях; • скоростей течения водного потока гидрометрической вертушкой и поверхностными поплавками; • измерение уровня воды после окончания измерений 	1 день
9	<p><i>Обработка материалов измерений, выполненных на гидропосту «Белогорка»</i> – лаборатория КИОВР ФАДиС.</p> <p>а) определение расхода воды по скоростям, измеренным вертушкой на глубине 0,6h; б) определение расходов воды по скоростям, измеренным поверхностными поплавками графическим методом; в) описание приборов, расположенных на дождемерной площадке и их расположение (схема расположения дождемерной площадки с приборами гидропоста, важно указать на каком расстоянии от гидропоста находится дождемерная площадка)</p>	1 день
10	<p><i>Измерение расходов воды гидронасосом «Гидротаран»</i> – модельная площадка ФАДиС.</p> <p>а) изучение схемы оросительной системы ФАДиС; б) гидрометрические измерения в АПК; в) определение производительности насоса «Гидротаран»; г) определение расходов воды в напорной оросительной сети; д) определение расходов воды мерным водосливом на открытой оросительной сети территории ФАДиС</p>	1 день
12	<p><i>Оформление отчета, обработка материалов выполненных измерений</i> – лаборатория КИОВР ФАДиС. прием зачетов</p>	1 день

Общее руководство практикой возлагается на заведующего кафедрой. Непосредственное руководство работой осуществляется преподавателями кафедры.

Практика завершается сдачей отчетов на проверку, которые затем дорабатываются по замечаниям преподавателя и защищаются каждым

членом бригады. Зачет принимается в устной или письменной форме в присутствии всей бригады. Для обработки полевых данных студентам предоставляется компьютерный класс кафедры ГТС и ВР.

3. ПРИМЕРНАЯ СХЕМА ОТЧЕТА

Отчет составляется по правилам, изложенным в ГОСТ 2.105-95 Общие требования к текстовым документам, ГОСТ 7.32-2001 Отчет о научно-исследовательской работе.

В содержание отчета должны входить:

Оглавление;

Реферат;

Введение (цель практики, краткие сведения о видах работ и о местах прохождения практики);

Пояснительная записка – основное содержание, раскрывающее сущность выполненных работ (наряду с описанием наблюдений на водомерном посту обязательно приводить оборудование гидропоста, на котором выполнялись гидрометрические измерения, фотографии, схемы расположения приборов, математические формулы, применяемые при расчетах, графические приложения, таблицы);

Выводы и предложения (что дала практика, положительные и отрицательные моменты, предложения по улучшению организации практики, состава работ и др.).

Журналы измерений вкладываются в карман, приклеенный к внутренней стороне обложки отчета. Формы таблиц и оформление графических приложений даны в тексте настоящего указания.

4. МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЕ ГИДРОПОСТА И ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОГО СТВОРА

4.1. Месторасположение гидропоста

Участок реки и место для установки постовых устройств (приборов) выбираются в зависимости от поставленных целей и задач наблюдений.

Река на участке поста должна протекать одним руслом, не разбиваясь на рукава и протоки. Русло должно быть прямое, в нем не должно быть осередков, островов и отмелей, вызывающих косоструйность течения, не подвергаться размыву или значительному заилению (рис. 1).



а

б

Рис. 1. Гидропост «Белогорка» на р. Сокулук:

а – общий вид гидропоста; б – успокоительный колодец с водомерной рейкой.

Район расположения поста должен находиться за пределами распространения подпора от притоков, искусственных сооружений и водоприемника данной реки.

Выбирая место для вновь открываемого поста, следует принять во внимание наличие населенных пунктов в данном районе, средств сообщения и почтово-телеграфной связи.

Гидрометрическим створом называется поперечник (поперечное сечение), перпендикулярный к среднему течению реки, в котором измеряются расходы воды.

4.2. Оборудование гидрометрического створа

Дается описание приборов, которыми оборудован створ (репер, рейки – основная и две уклонные, гидрометрический мостик, лимниграф – самописец уровня воды) и их пригодность к измерениям. Вычерчивается схема расположения створа и его оборудования. Приводится состав работ – наблюдений, выполняемых на водомерном посту.

На расстоянии 100 м от реки, должна быть расположена дождемерная площадка с набором метеорологических приборов (осадкомер Третьякова, снегомерная рейка, будка с термометрами – срочным, максимальным и минимальным и др.), которые тоже должны быть отраже-

ны в тексте отчета. На рис. 2 показана метеостанция Байтик II разряда, расположенная рядом с гидропостом на р. Ала-Арча.



Рис. 2. Метеостанция Байтик II разряда

5. НАБЛЮДЕНИЯ НА ГИДРОМЕТРИЧЕСКОМ ПОСТУ

Прежде чем приступить к работе, необходимо проверить техническую исправность гидропоста, т.е. исправность переправы (мостик, люлечная переправа и т.д.), состояние и исправность водомерных реек, лимниграфа (самописца уровня воды), незаиливание колодцев у реек.

Убедившись в технической исправности гидропоста, перед началом работ, засекаем время (год, месяц, число, часы) и *делаем отчет уровня воды по рейкам*. Все измерения на гидропосту начинаются с измерения уровня воды.

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

5.1. Определение приводки рейки, уклона водной поверхности и уровня воды

Необходимое оборудование и приборы: нивелир с рейками, мерная лента или рулетка

Высоту уровня воды над нулем графика гидрологического поста (*H*) измеряют от отметки нуля рейки. Горизонтальную плоскость, совпадающую с нулевым делением рейки, называют *нулем наблюдений*. Отметка нуля наблюдений (абсолютная или условная) устанавливается геометрическим нивелированием «из середины» (рис.3).

Для этого нивелир устанавливают на берегу между репером и водомерной рейкой. На репер и к водомерной рейке устанавливают нивелирные рейки и снимают отсчеты *a* и *b*. Определяют горизонт инструмента (ГИ) через известную отметку репера (*H_{Рр}*):

$$ГИ = H_{Рр} + a, \quad (1)$$

а затем определяют отметку нуля наблюдений/пятки водомерной рейки:

$$H_{0н} = ГИ - b. \quad (2)$$

Если нивелирную рейку поставить на верх водомерной рейки, что чаще удобнее выполнить, высота рейки *h_р* известна (100 см), то формула (2) приобретает вид:

$$H_{0н} = ГИ - b + h_p. \quad (3)$$

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

$$h_{пр.} = H_{0н} - H_{0г}, \quad (4)$$

где *h_{пр.}* –приводка, м;

H_{0н} – отметка нуля наблюдений, м;

H_{0г} – отметка нуля графика поста, м.

Отсчеты по рейке *h* приводят к нулю графика гидрологического поста, который, как уже было сказано, назначается для каждого поста при его устройстве. Таким образом, высота уровня воды над нулем графика равна:

$$H = h_{пр.} + h, \quad (5)$$

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

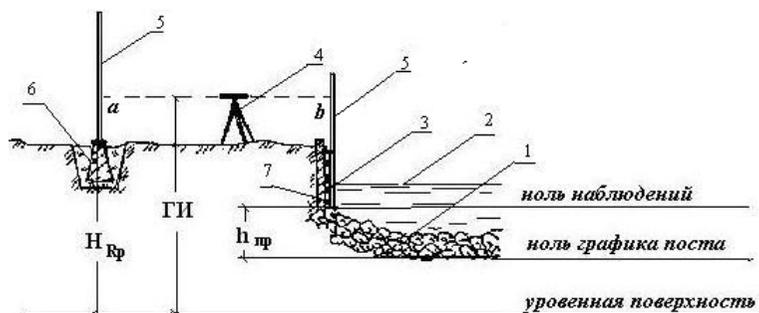


Рис. 3. Схема для определения привонок.

1 – дно реки; 2 – поверхность воды; 3 – водомерная рейка; 4 – нивелир;
5 – нивелирная рейка; 6 – грунтовый репер; 7 – крепление берега;
 a и b – отсчеты по нивелирным рейкам.

На водомерном посту обычно имеется две рейки (должно быть три); основная – в створе гидропоста – 1 (обычно расположенная в успокоительном колодце) и уклонная, расположенная выше створа (на 20 м) – 2. Определение привонок реек выполняется по схеме, указанной выше. После определения привонок находим уровни воды:

$$H_1 = h_{np,1} + h_1, \quad H_2 = h_{np,2} + h_2, \quad (6)$$

где $h_{np,1}$ и $h_{np,2}$ – привонок водомерных реек основной и уклонной;
 h_1 и h_2 – отсчеты по водомерным рейкам, соответственно по основной и уклонной рейкам.

Уклон водной поверхности равен:

$$I = \frac{H_2 - H_1}{L}, \quad (7)$$

где L – расстояние между рейками, измеряемое мерной лентой или рулеткой вдоль берега реки.

5.2. Промеры глубин

Необходимое оборудование и приборы: мел, мерная лента или рулетка, гидрометрическая штанга, журнал промеров глубин.

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

Измерение глубины (промеры работы) – очень важный вид гидрометрических работ – имеет целью определение глубины и характера рельефа дна реки. В результате промерных работ будет получен поперечный профиль по гидроствору, по которому будет определена площадь поперечного сечения реки в данном месте.

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 все время меняться. Это может привести 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.

Назначают промерные вертикали в соответствии с рекомендациями [1, 2].

Таблица 1

Расстояния между промерными вертикалями по гидроствору [1, 2]

Ширина реки B , м	Расстояние между промерными вертикалями b , м
<20	0,5–1,0
21–30	1,0–1,5

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

Положение промерной вертикали, т.е. ее плановую **координату**, относительно постоянного начала (закрепленной на берегу точки отсчета расстояний) при работе с мостика определяют с помощью мерной ленты или рулетки. И обязательно составляют план-схему измерений.

Промеры глубин выполняются по промерным вертикалям гидрометрической штангой дважды на каждой вертикали, ходом от уреза воды левого берега (УЛБ) до уреза правого берега (УПБ) и обратно. Результатом является средняя величина глубины на каждой вертикали. На промерной штанге нанесены деления через 10 см. Измерение глубины воды на промерной вертикали можно выполнить двумя способами:

1. Погружаем штангу до дна реки и делаем отсчет по штанге по перилам мостика h_1 , затем поднимаем штангу до поверхности и вновь производим отсчет по перилам h_2 , т.е. глубина равна: $h = h_1 - h_2$.
2. При соответствующем навыке в работе замер глубины воды на промерных вертикалях и замер скоростей течения вертушкой выполняют одновременно. Для этого необходимо надеть на штангу вертушку, опустить ее до упора к башмаку (нижняя часть штанги), закрепить хорошо провода, прикрепленные к вертушке и затем сделать отметку на натянутых проводах и штанге (привязать к проводам яркий материал или провод так, чтобы он не смещался) h_1 . Таким об-

разом, инструмент готов к работе. При измерении глубины опускаем штангу до дна, при этом вертушку смещаем по штанге, чтобы она находилась все время выше поверхности воды. Опустив штангу на дно, постепенно опускаем вертушку с погружением в воду до ее оси, тогда $h = h_1 - h_2$.

- Все измерения заносят в журнал. Форма журнала промеров глубин приведена в табл. 2.

Таблица 2

Журнал промеров глубин
 р. _____ гидропост _____, дата _____, время _____ нуль графика
 поста _____ мусл.

№ пр. вер-тика-ли	Расстояние от посто-янного начала, м	Глубина, м					Отметка дна русла, мусл.	Расстояние между вертикалями, м	Площадь водного сечения между вертикалями, м ²
		I	II	средняя	со срезкой	между вертикалями			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
УЛБ									
1									
2									
...									
5									
УПБ								$\omega =$ _____ м ³	

5.3. Назначение скоростных вертикалей и точечизмерения скоростей течения на них

Промерная вертикаль, на которой измеряется скорость течения воды, носит название *скоростной вертикали*. Учитывая турбулентность речного потока, а также деформацию русла реки, в данном случае все промерные вертикали являются и скоростными, т.е. измеряется скорость на каждой вертикали.

Местные скорости на вертикалях в открытых водотоках измеряются гидрометрической вертушкой в пяти, трех, двух и одной точках, т.е. в зависимости от величины рабочей глубины скоростной вертикали, состояния водотока, размеров датчика измерителя скорости (лопастного винта вертушки) и точности измерения расхода воды. Основным способом является пятиточечный, при котором измеряют скорость на поверхности воды и на глубинах 0,2h, 0,6h, 0,8h (считая от поверхности воды) и у дна. Скорость, замеренная на соответствующей глубине, обозначается $u_{пов}$, $u_{0,2h}$, $u_{0,6h}$, $u_{0,8h}$, $u_{дон}$ (рис. 4).

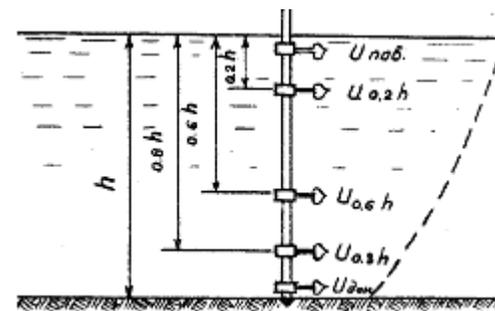


Рис. 4. Расположение вертушки при детальном способе измерения скорости течения

Для ускорения замера скоростей течения воды можно переходить на сокращенное число скоростных точек на вертикалях, т.е. до 3, 2 и одной точки. При замере скорости у дна на 0,6h или 0,8h необходимо строго следить за тем, чтобы не повредить лопасть вертушки о камни, лежащие на дне реки. Исходя из условий течения водного потока, где планируется проведение практики, назначаем глубину погружения вертушки на 0,6h. На вертикалях, где невозможно выполнить измерения на данной глубине, назначим измерение на поверхности воды. При определении скорости потока гидрометрическими поплавками, измеряется только поверхностная скорость.

5.4. Определение скоростей течения водного потока гидрометрической вертушкой

Необходимое оборудование и приборы: гидрометрическая штанга, гидрометрическая вертушка, журнал записи скоростей течения воды.

Перед измерением скоростей течения необходимо проверить работу вертушки, масляную камеру залить трансформаторным маслом. Подготовленную к работе вертушку закрепляют на штанге на расчетную

глубину, определяемую по журналу промера глубин. Время выдержки вертушки в одной точке не менее 100 с. Для обработки измерений удобно, чтобы число сигналов было четным, при этом время измерения может быть больше 100 с.

Существуют два способа по 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.

Второй способ, более распространенный на практике, 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 60с. поступит два и более сигналов, то по первому сигналу по истечении 60с. секундомер останавливают и измерение прекращают. Выдержка 60с. считается допустимой для условий равнинных рек. В потоках с повышенной пульсацией скоростей (горные реки и т.п.) ускоренный способ не применяется, так как в этом случае время измерения скорости в точке должно быть не менее 100 с. Полученные данные записывают в журнал измерения скоростей (табл. 3).

Вычисления выполняем в следующей последовательности:

1. Подсчитываем суммарное число оборотов лопастного винта вертушки за время измерения в каждой точке (графа 9): $N = p \cdot s$. Поскольку ротор вертушки делает 20 оборотов за прием, суммарное число оборотов за время измерения $N = p \cdot 20$.
2. Вычисляем число оборотов лопастного винта в точках измерения за секунду (графа 10): $n = \frac{N}{t}$.
3. По градуировочной таблице, (табл. 4) определяем скорость течения в точках измерения (графа 11). Например, при $n_1=0,92$ об./см. скорость $u_1=0,204$ м/с.
4. Далее определяем средние скорости на скоростных вертикалях (графа 12). При этом в зависимости от числа точек измерения скорости по глубине и состояния русла применяем соответствующие формулы [4]. Так как мы назначили глубину погружения вертушки на 0,6h

и выполняли измерения скорости одноточечным способом, скорость в точке и средняя скорость на вертикали будут совпадать: $V_{в}=u_{0,6h}$.

Таблица 3

Журнал измерений и обработки скоростей течения воды

р. _____ гидропост _____, дата _____.

№ вертикали	Расстояние от постоянного начала, м	Рабочая глубина, м	Глубина погружения вертушки		Отсчет по штанге, м (гр.3-гр.5)	Число сигналов, р	Продолжит. измерения, t с	Сумма оборотов, N=р·20	Число оборотов, N=N/t,с	Скорость в точке, u, м/с	Средняя скорость на вертикали, v, м/с
			в долях рабочей глубины	в метрах							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Таблица 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

Необходимо вычертить схему поперечного сечения гидроствора и показать на ней все измеряемые элементы (рис. 5).

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.

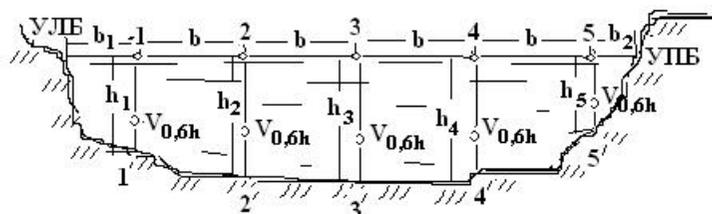


Рис. 5. Схема поперечного сечения гидроствора:

УЛБ – урез левого берега; УПБ – урез правого берега; 1–1', 2–2', 3–3', 4–4', 5–5' – промерные вертикали; h_1 – глубины на промерных вертикалях; $V_{0,6h}$ – местоположение вертушки при измерении скорости на коростных вертикалях; b – расстояние между промерными вертикалями; b_1 – расстояние от УЛБ до первой промерной вертикали; b_2 – расстояние от последней, пятой, вертикали до УПБ

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, тросом, лебедкой 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.

5.5. Взятие проб воды с взвешенными наносами

Необходимое оборудование: промерная штанга; батометр-бутылка; секундомер или часы с секундной стрелкой.

Для учета взвешенных наносов берут пробы воды приборами, называемыми батометрами. Различают батометры мгновенного и длительного наполнения. В настоящее время на постах УГМС применяют батометр-бутылку, который закрепляется на штанге. Взятие проб воды на

мутность батометром-бутылкой длительного наполнения возможно точечным, суммарным и интеграционным способами.

Точечный способ заключается в отборе проб воды на мутность на скоростных вертикалях (т.е. в тех же точках, где измеряют скорость течения) в пяти, трех, двух и одной точке. На малых реках допускается одноточечный отбор пробы воды на вертикали, а при средней мутности $\rho_{cp}=20$ г/м³ сливают в одну пробу по всему живому сечению.

Отбор пробы воды выполняется следующим образом. После измерения скоростей течения воды намечаем три скоростные вертикали, равномерно расположенные по живому сечению. Собираем батометр-бутылку, крепим ее на штанге на глубину $0,6h$ данной вертикали, устанавливаем на штангу визирку в одном направлении с бутылкой и все это опускаем в воду. Визирка на штанге установлена так, чтобы при работе она оставалась над водой. Визирка помогает определять местоположение батометра под водой. Выдержка бутылки в воде по времени определяется опытным путем. Как только пузырьки воздуха, выходящие из воздухоотводящей трубки батометра-бутылки, прекращают выходить на поверхность воды, это означает, что бутылка заполнена водой. Вынув наполненный батометр из воды, переливаем воду с наносами в бутылку, на этикетке которой указываем дату, створ, вертикаль, время взятия пробы.

5.6. Определение скоростей течения водного потока поверхностными поплавками

Необходимое оборудование: поверхностные поплавки; рулетка или мерная веревка; секундомер или часы с секундной стрелкой.

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

При измерении скорости течения воды *поверхностными поплавками* на одном из берегов выбранного прямолинейного участка реки или канала разбивают базис при помощи мерного прибора и перпендикулярно к нему три створа: верхний, средний (промерной) и нижний (рис. 6).

Расстояние между верхним и нижним створами назначают таким образом, чтобы продолжительность хода поплавков между ними была не менее 20 с (для равнинных участков 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 AB (см. рис. 6).

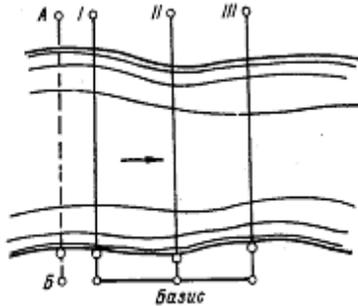


Рис. 6. Схема к измерению скоростей течения поверхностными поплавками. I – верхний створ; II – основной створ; III – нижний створ; АБ – пусковой створ

Количество поплавков зависит от ширины изучаемой реки, для малой реки достаточно 4–5 штук, для средней реки 15–25. Их стараются по возможности запускать равномерно по ширине реки, но если у берегов много растительности, прибрежных участков нужно избегать. Поплавки надо нумеровать в порядке их пуска, и каждый последующий запускать лишь после того, как предыдущий поплавок прошел нижний створ.

Измерения выполняет бригада из нескольких человек: бригадир с секундомером; его помощник, записывающий данные в журнал; три наблюдателя на створах, отмечающие прохождение поплавков; и два человека, запускающие и вылавливающие поплавки.

Измерение скоростей течения поплавками производят в такой последовательности:

1. Наблюдатели занимают места у своих створов. Если створы отмечены вешками, наблюдатель должен стоять так, чтобы при взгляде на противоположный берег одна вешка закрывала другую.
2. Член бригады, запускающий поплавки, становится в 5...10 м выше верхнего створа и по команде бригадира забрасывает поплавок в воду. Если река мелкая, то запускать поплавки можно, войдя прямо в реку.
3. Наблюдатель у верхнего створа при прохождении поплавка через его створ объявляет: «Есть!». По этому сигналу бригадир запускает секундомер. При прохождении среднего створа следующий наблюдатель также говорит: «Есть!». Бригадир фиксирует это время, не выключая секундомер, и сообщает его своему помощнику. На среднем створе по размеченному тросу или способом геодезических засечек определяют расстояние от постоянного начала до точки, в которой поплавок пересек гидрометрический створ II. При этом обязательно на схеме к измерению скоростей поплавками (см. рис. 6) отмечается

место прохождения поплавка створа поста – II (эта схема будет необходима при вычислении расходов воды графическим способом).

4. При прохождении нижнего створа третий наблюдатель говорит: «Есть!». По этому сигналу бригадир выключает секундомер и сообщает результат своему помощнику, записывающему его в журнал. Таким образом определяется время t_n прохождения каждым поплавком расстояния L между верхним и нижним створами.
5. Оставшийся член бригады вылавливает поплавок. Если это небезопасно, не стоит пытаться достать уплывающий поплавок, он не причинит реке большого вреда. К тому же, его наверняка придет к берегу ниже по течению, и вы можете попробовать его найти.

Теперь повторяют те же действия со следующим поплавком. Поплавки забрасывают с таким расчетом, чтобы они распределялись по всей ширине реки. Время прохождения поплавка от верхнего створа до среднего должно быть примерно равно времени его движения от среднего до нижнего створа. Если два этих значения сильно различаются, то результаты наблюдения за этим поплавком надо отбросить и не учитывать при подсчете средней скорости. При этом, если число «незабракованных» результатов будет меньше 3-х для малой реки и менее 10 для средней, измерение скорости течения поплавками придется повторить.

Необходимо также отметить состояние русла реки на участке и характер погоды во время проведения работ, особенности ветра (штиль, слабый, умеренный, сильный, по течению, против течения, от берега к берегу), рябь на воде, волнение. Напомним, что данный вид измерения скорости проводится только при ветре до 6 м/с.

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

$$u_{\text{нов}} = \frac{L}{t_n}. \quad (8)$$

Данные по замеру скоростей течения воды поплавками заносят в табл. 2.

Если русло реки или ручья узкое (1...2 м), то измерение можно проводить несколько раз по центру водотока. За скорость течения при этом принимается среднее значение.

Таблица 5

Журнал вычисления скоростей течения воды поверхностными гидрометрическими поплавками

№ поплавок	Расстояние прохождения поплавок от постоянного начала, через створ П, м	Расстояние между створами I-III, м	Время хода поплавок между створами I-III, с	Скорость поплавок $u_{\text{нос}} = \frac{L}{t_n}$, 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.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ

6.1. Определение расхода воды по скоростям, измеренным вертушкой глубинам потока – по способу «площадь–скорость»

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

Расходом воды называют объем воды (сток воды), протекающий через живое сечение потока в единицу времени. Соответственно, единицы измерения расхода – кубические метры в секунду ($\text{м}^3/\text{с}$) или литры в секунду (л/с), и общепринятое символьное обозначение расхода – Q .

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

Аналитический способ основан на рассечении 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. 4.

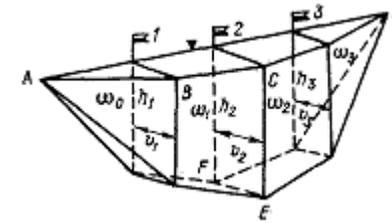


Рис. 7. Расчетная схема к вычислению расхода воды аналитическим способом

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:

$$\Delta Q_i = q_i = \frac{1}{2}(v_i + v_{i+1})\omega_i, \quad (9)$$

где v_i, 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:

$$\Delta Q_0 = q_0 = kv_1\omega_0 \text{ и } \Delta Q_n = q_n = kv_n\omega_n \quad (10)$$

где v_1, 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.

Полный расход через живое сечение вычисляется как сумма частичных расходов:

$$Q = \Delta Q_0 + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta Q_i + \Delta Q_n. \quad (11)$$

Значения коэффициента k для скоростей на прибрежных вертикалях

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

Приведем полный порядок вычисления расхода воды аналитическим способом на конкретном примере (табл. 7).

1. Обрабатываем материалы промеров глубин по гидроствору и подсчитываем площади водного сечения между промерными и скоростными вертикалями. Площади между промерными вертикалями (графа 6) вычисляем как площади трапеций, образованных промерными вертикалями, линиями дна и свободной поверхности, как было рассмотрено в теме измерение глубин.
2. Площади водного сечения между крайними скоростными вертикалями и соответствующими берегами (графа 7) подсчитываем как суммы площадей между соответствующими промерными вертикалями. Например, площадь между урезом правого берега и скоростной вертикалью VIII равна $\omega = 0,68 + 0,51 + 0,45 + 0,27 = 1,91 \text{ м}^2$.
3. Общая площадь водного сечения ($\omega = 11,89 \text{ м}^2$) получена как сумма частичных площадей между промерными или скоростными вертикалями.
4. Вычисляем местные скорости течения на скоростных вертикалях по журналу измерений скоростей гидрометрической вертушкой (см. табл. 3) и результаты расчета записываем в графу.
5. Вычисляем средние скорости между соседними скоростными вертикалями как половину суммы величин средних значений скоростей на вертикалях (графа 11). Скорости между крайними скоростными вертикалями и берегом вычисляем в соответствии с формулой 10 и табл. 6. В нашем случае берег в створе гидроства обрывистый, следовательно, $V_{cp1} = k \cdot V_1 = 0,8 \cdot 2,21 = 1,76 \text{ м}^3/\text{с}$, $V_{cp9} = k \cdot V_8 = 0,8 \cdot 1,48 = 1,18 \text{ м}^3/\text{с}$.
6. Расходы воды между скоростными вертикалями (графа 10) вычисляем впо формулам (9) и (10), т.е. значение графы 9 умножается на значение графы 7.
7. Общий расход воды получим суммированием частичных расходов между скоростными вертикалями – сумма графы 10.

Таблица 7

Вычисление расхода воды аналитическим способом
р. Джууку – устье р. Джуукучак, 11.08.2006 г.

№ вертикали		Расст. от пост. начала, м	Глубины, м	Расст. между пром. вертикалями, м	Площадь живого сечения ω , м ²		Средняя скорость V , м/с		Расход воды между скоростными вертикалями, q_i , м ³ /с $Q_i = q_i \cdot \omega$, м ³ /с
промерной	скоростной				между пром. вертикалями	между скорост. вертикалями	на вертикали	между скорост. вертикалями	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	УЛБ	3,6	0						
				0,4					
1		4,0	0,77			11,76	11,76	3,10	
2		5,0	0,87	1	0,82				
3	I	6,0	1,00	1	0,94				
				1	1,12	1,12	2,3	2,58	
4	II	7,0	1,23				2,4		
				1	1,27	1,27	2,41	3,06	
5	III	8,0	1,30				2,41		
				1	1,25	1,25	2,63	3,29	
6	IV	9,0	1,20				2,84		
				1	1,22	1,22	2,89	3,53	
7	V	10,0	1,24				2,94		
				1	1,13	1,13	2,96	3,34	
8	VI	11,0	1,01				2,98		
				1	1,16	1,16	2,50	2,9	
9	VII	12,0	1,30				2,02		

Продолжение табл. 7

№ вертикали		Расст. от пост. начала, м	Глубины, м	Расст. между пром. вертикалями, м	Площадь живого сечения ω_i , м ²		Средняя скорость V_i , м/с		Расход воды между скоростными вертикалями, q_i , м ³ /с $Q = \sum q_i$, м ³ /с
промерной	скоростной				между пром. вертикалями	между скорост. вертикалями	на вертикали	между скорост. вертикалями	
10	VIII	13,0	0,84				1,48	22,25	
				1	0,68				
11		14,0	0,52						
				1	0,51				
12		15,0	0,50						
				1	0,45				
13		16,0	0,39			1,91			
				1	0,27				
УПБ		17,0	0,15						
					$\Sigma \omega_i = 11,89$	$\Sigma \omega_i = 11,89$		$\Sigma q_i = Q = 25,92 \text{ м}^3/\text{с}$	

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 (рис. 8).

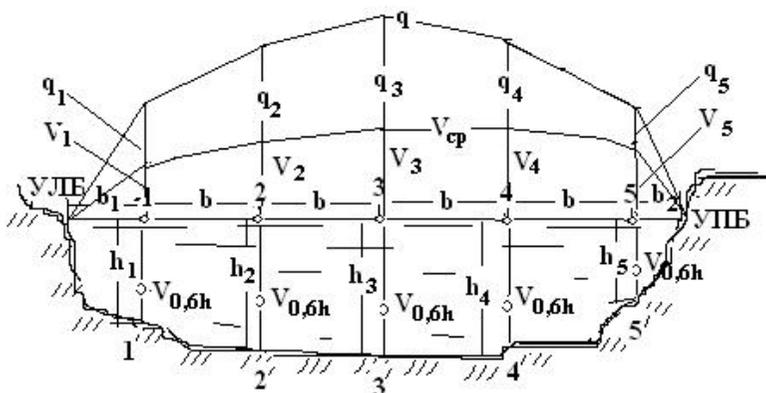


Рис. 8. Вычисление расхода графическим способом

На профиле поперечного сечения реки вниз от уровня поверхности воды наносят значения глубин h_i , а вверх – средние скорости на скоростных вертикалях V_i . Фигура, образованная плавной линией, соединяющей концы значения скоростей, и линией уровня воды есть эпюра средней скорости течения (см. рис. 8). На этих же вертикалях наносят удельные расходы $q_i = v_i \cdot h_i$. Затем расход воды подсчитывают по формуле:

$$Q = 1/2 q_1 \times b_1 + \left(\frac{q_1 + q_2}{2} + \frac{q_2 + q_3}{2} + \dots + \frac{q_{n-1} + q_n}{2} + \frac{1}{2} q_n \right) b \times 1/2 q_n \times b_2 \quad (12)$$

где b – расстояние между вертикалями.

Этот же расход можно определить, если планиметрировать площадь эпюры, образованной плавной линией, соединяющей концы значения удельных расходов, и линией уровня воды (см. рис. 8).

6.2. Вычисление расхода воды по скоростям, измеренным поверхностными поплавками, и глубинам

Вычисление расхода выполняют *аналитическим* и *графическим* способами.

Вычисление расхода *аналитическим способом* 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. 9).

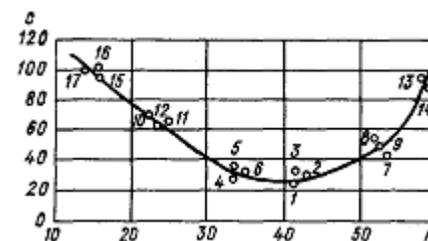


Рис. 9. Эпюра средней продолжительности хода поплавков

Для этого в выбранном масштабе по вертикальной оси откладывают продолжительность хода поплавков между верхним и нижним створами (в секундах), а по горизонтальной оси – расстояния от постоянного начала до места прохождения поплавков через средний створ (в метрах). Точки расположения поплавков, отклоняющиеся от общей закономерности более чем на 10%, не учитывают. Поплавки, располо-

жившиеся на графике рядом, объединяют в группы. 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 (8) $u_{нов} = \frac{L}{t_n}$.

3. По данным промеров глубин (см. рис. 5) путем суммирования соответствующих площадей между промерными вертикалями вычисляют площади водного сечения между скоростными вертикалями по формулам:

$$\omega_1 = h_1 b_1 / 2 \text{ и } \omega_n = h_n b_n / 2 ; \quad (13)$$

$$\omega_i = \frac{1}{2} (h_i + h_{i+1}) b_i, \quad (14)$$

и общей площади сечения:

$$\omega = \frac{1}{2} h_1 b_1 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} \omega_i + \frac{1}{2} h_n b_n, \quad (15)$$

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 $\Delta Q_{\phi, i}$ между скоростными вертикалями (фиктивные, потому что они измерены по поверхностным скоростям и завышены по сравнению с средними):

$$\Delta Q_{\phi, i} = \frac{1}{2} (u_{нов, i} + u_{нов, i+1}) \omega, \quad (16)$$

где $u_{нов, i}$ и $u_{нов, i+1}$ – 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:

$$Q_{0, \phi} = k \cdot u_{нов, 1} \cdot \omega_0, \quad Q_{n, \phi} = k \cdot u_{нов, n} \cdot \omega_n, \quad (17)$$

где k – коэффициент, зависящий от крутизны берега (принимают по табл. 6);

ω_0 и ω_n – соответственно площади водного сечения между первой скоростной вертикалью и урезом левого берега, площади водного сечения между последней скоростной вертикалью и урезом правого берега.

5. Общий фиктивный расход воды равен сумме частных расходов:

$$Q_{\phi} = \sum_0^n \Delta Q_{\phi, i}. \quad (18)$$

6. Действительный расход воды:

$$Q_o = k_f Q_{\phi}, \quad (19)$$

где k_f – 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:

$k_f = 0,80$ при средней глубине потока <1 м;

$k_f = 0,84$ при средней глубине потока 1–5 м;

$k_f = 0,86$ при средней глубине потока >5 м.

Если русла извилистые, сложенные из крупных валунов, если поймы со сложными косоструйными течениями, то:

$k_f = 0,57$ при средней глубине потока <1 м;

$k_f = 0,69$ при средней глубине потока 1–5 м;

$k_f = 0,75$ при средней глубине потока >5 м.

Вычисление расхода воды *графическим способом* выполняется аналогично рассмотренному в п. 6.1. при наличии измеренных скоростей гидрометрической вертушкой на скоростных вертикалях. Отличие состоит в том, что места расположения вертикалей, на которых откладывается значение скоростей и частных расходов при построении соответствующих эпюр, будет соответствовать месту прохождения поплавка/группы поплавков через основной створ, а не над промерными вертикалями. Площадь эпюры, построенная по величинам расходов, рассчитанным по скоростям, измеренным поверхностными поплавками, будет равна общему фиктивному расходу Q_{ϕ} . Действительный расход воды определяется по формуле (19): $Q_o = k_f Q_{\phi}$.

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

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

$$Q = \omega V_{cp} = \omega C \sqrt{RI}, \quad (20)$$

где ω – площадь водного сечения потока, м²;

V_{cp} – средняя скорость потока в сечении, м/с, (в данном случае неизвестна);

C – коэффициент Шези, м^{0,5}/с;

I – уклон водной поверхности (пьезометрический уклон);

R – гидравлический радиус, м.

Из формулы (20) 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. 2).

Продольный уклон водной поверхности определен по формуле (7). Если измерения проводятся не на гидропосту, а на участке реки, определенному, например, для гидростроительства, то уклон определяется геометрическим нивелированием «из середины» 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:

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (21)$$

где n – коэффициент шероховатости русла, определяется в зависимости от характеристики русла, приведен в табл. 8, показатель степени y в формуле Н.Н. Павловского может быть определен по приближенным зависимостям: $y = 1,5\sqrt{n}$ при $R < 1$ м; $y = 1,3\sqrt{n}$ при $R > 1$ м;

R – гидравлический радиус – частное от деления водного сечения на длину смоченного периметра рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \quad (22)$$

где χ – смоченный периметр – длина линии дна реки на профиле, заключенная между урезами воды. Измеряется по профилю с учетом масштаба построения или по формулам тригонометрии для каждого участка, заключенного между промерными вертикалями; для широких рек и широких каналов обычно принимается равным средней глубине, т.е. $R \approx h_{cp}$.

Таблица 8

Значения коэффициентов шероховатости n
для естественных водотоков (по М.Ф. Скрибному)

Категория	Характеристика русла	n
Для горных рек		
1	Искусственные отводы русел рек, весьма чисто высеченные в скале	0,020
2	То же при посредственной обработке поверхности	0,022
3	Естественные русла рек горного происхождения, но с небольшими уклонами и в весьма благоприятных условиях; чистые, прямые, земляные (глина, песок, мелкий гравий) русла с уклоном $I=0,0005 \dots 0,0008$	0,025
4	Галечно-гравийные русла в таких же условиях с $I=0,0008 \dots 0,0010$	0,030
9	Валунные, горного типа русла горных рек (в средней и верхней частях) и периодических водотоков с бурным пенным течением, с изрытой поверхностью водного зеркала (с летящими вверх брызгами воды). $I=0,05 \dots 0,09$	0,08
Для равнинных рек		
1	Прямолинейные участки канализованных рек в плотных грунтах с тонким слоем илистых отложений	0,020
2	Извилистые участки канализованных рек в плотных грунтах с тонким слоем илистых отложений	0,022
3	Естественные земляные русла в весьма благоприятных условиях, чистые и прямые, со спокойным течением	0,025
4	Галечные и гравийные русла в таких же условиях	0,030
Каналы бетонированные		0,015

Неплохое совпадение дает также формула Агроскина вида:

$$C = 1/n + 17,72 \lg R. \quad (23)$$

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.

6.4. Определение коэффициента Шези Сопытным путем

Опытным путем коэффициент Шези определяется из формулы (20), в которую подставляются $Q_в$, ω , R , I , полученные в результате вычисления расхода воды по скоростям, измеренным вертушкой, аналитическим способом, т.е.:

$$C_в = \frac{Q_в}{\omega\sqrt{RI}}, \text{ м}^{0,5}/\text{с}. \quad (24)$$

Теоретическим путем C_m получен ранее по формулам (21) и (23). Расхождение между ними подсчитаем по формуле:

$$\eta = \frac{C_m}{C_в} \cdot 100, \%. \quad (25)$$

6.5. Сравнение расходов, вычисленных разными способами

Вычисление расходов тем или иным способом выполняется в зависимости от поставленных задач исследований. Мы применили все три способа для каждого водного объекта. Теперь необходимо сравнить результаты вычислений и оценить их расхождение. За базовый результат примем аналитический способ вычисления расходов воды (табл. 7). Необходимо составить таблицы сравнения для каждого водного объекта.

Таблица 9

Сравнение расходов воды, вычисленных различными способами
река _____, пост _____, дата _____

Способ вычисления расхода воды	Расход $Q_в$, $\text{м}^3/\text{с}$	Переходный коэффициент, K	Расход $Q_д$, $\text{м}^3/\text{с}$	% расхождения от аналитического способа
Аналитический, по скоростям, измеренным на глубине 0,6h				
Графический, по скоростям, измеренным на глубине 0,6h				
Графический, по скоростям, измеренным		$K_1 =$		
поверхностными поплавками				
По формуле Шези $Q = \omega C \sqrt{RI}$				

7. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДОВ ВОДЫ УСТАНОВКОЙ «ГИДРОТАРАН»

7.1. Описание системы напорного орошения с помощью установки «Гидротаран»

Напорная система орошения расположенная на территории факультета АДис, представлена на рис. 10. Водяной насос «Гидротаран» 1, установленный в русле Аламединского подпитывающего канала-быстротока (АПК), посредством нагнетательного трубопровода, уложенного под дорогой, соединен с фильтром 2, имеющим навинчиваемую промывную заглушку (ПЗ). Фильтр 2 патрубком соединен с отстойником 3, содержащим в нижней части промывную пробку (ПП). Отстойник патрубком связан с магистральным пластмассовым трубопроводом 4 диаметром 50мм общей длиной 160 м, проходящим сначала с запада на восток, затем имеет поворот с юга на север.

На северной части магистрального трубопровода 4 с интервалом в 10м установлены четыре распределительных колодца (К), содержащих кран (Кр), каждый из которых соединен с выводным трубопроводом 5, длиной по 35м каждый, уложенных в направлении с востока на запад. С интервалом, сначала 5м, а затем 10м, на каждом выводном трубопроводе установлены по четыре гидранта (Г) со штуцером диаметром 15мм, для поливных шлангов (Ш) с дождевальными насадками (Д) на конце. Гидранты находятся внутри пластмассового колодца диаметром 95мм и высотой 35мм.

На расстоянии 50м от фильтра 2 в северном направлении от магистрального трубопровода 4 отходит транзитный трубопровод 6 диаметром 32мм, общей длиной 90м. У северного угла корпуса №12 установлен распределительный колодец (К) с краном (Кр) и штуцером. От этого колодца на расстоянии 15м установлен аналогичный колодец для орошения газонов методом дождевания, расположенных между учебными корпусами №12 и №13.

Все трубопроводы в полихлорвиниловом (ПХВ) исполнении, уложены в грунт на глубину 35–40см. На концах магистрального и выводных трубопроводов установлены промывные пробки (П).

секундомер останавливают. Опыты повторяют $n = 5-7$ раз и рассчитывают среднее время прохождения поплавка в потоке на данном участке:

$$t_{cp} = (t_1 + t_2 + t_3 \dots + t_i) : n_i. \quad (26)$$

Делением длины участка на время определяют среднюю поверхностную скорость в АПК:

$$v_{cp} = \ell : t_{cp} = 50 : t_{cp}. \quad (27)$$

7.3. Определение производительности насоса «Гидротаран»

Необходимые приборы и оборудование: секундомер или часы с секундной стрелкой; насос «гидротаран»; мерная емкость; мерная мензурка; гофрированный шланг.

Определение частоты вибраций ударного клапана. Наблюдая за вибрацией клапана гидротарана, включают секундомер в момент соприкосновения клапана к опорному седлу. В течение одной минуты ведут счет количества соприкосновений клапана. Первое соприкосновение в расчет не включают. Опыты повторяют 5 раз (табл. 10) и находят среднюю частоту ударов (вибраций) η_{cp} уд./мин.

Таблица 10

Расчет частоты вибраций ударного клапана

№ опыта	1	2	3	4	5
$\eta_{уд.}/мин.$					
η_{cp} уд./мин.					

Определяют время периода одного удара:

$$t_{cp} = \eta_{cp} / 60, \text{ с.} \quad (28)$$

Тарировка мерной емкости. Подбирают емкость объемом 30–40 литров и с помощью мерной мензурки (объемом 1 литр) заполняют ее водой до верхней кромки, того момента, когда верхняя грань горловины емкости совпадет с уровнем до момента перелива. Опыты повторяют 5 раз, учитывая десятые доли литра, определяя объем V (табл. 11).

Таблица 11

Тарировка мерной емкости

№ опыта	1	2	3	4	5
Объем, V , л					
V_{cp} , л					

Определение производительности гидротарана при выходе воды во временный ороситель, т.е. в начале напорной системы полива. Закрывают все вентили напорной оросительной системы, промывную пробку (ПП) отстойника 3 и отвинчивают промывную заглушку (ПЗ) фильтра 2. На место заглушки одевают и крепят хомутом гофрированный шланг диаметром 76 мм, свободный конец которого держат над мерной емкостью. Теперь работающий гидротаран закачивает воду в шланг, через который вода наполняет мерную емкость. При поступлении воды в емкость, включают секундомер. В момент начала перелива воды через верхний край емкости выключают секундомер. Емкость опорожняют и повторяют опыт 5 раз.

Определяют среднее время заполнения емкости:

$$t_{cp} = \sum t_i / i, \text{ с.} \quad (29)$$

Определяют производительность гидротарана – средний расход воды:

$$q_1 = V / t_{cp}, \text{ л/с.} \quad (30)$$

Определяют объем выброса воды наверх за 1 гидроудар:

$$V = q_1 \cdot t_{cp}, \text{ л} \quad (31)$$

Определение расхода воды, подаваемой гидротараном, в конце магистрального трубопровода объемным способом. Навинчивают промывную заглушку (ПЗ) фильтра 2 и заворачивают промывную пробку отстойника 3. Закрывают все вентили и краны напорной оросительной системы и отворачивают промывную пробку (П) в конце магистрального трубопровода 4. На ее место надевают эластичный патрубок с внутренним диаметром 50 мм и зажимают хомутом. Включают в работу гидротаран и по истечении 5–10 минут производят замеры расхода объемным способом, используя ту же мерную емкость. Среднее время заполнения емкости рассчитывают по формуле (29); определяют расход воды q_2 , подаваемой гидротараном, в конце магистрального трубопровода 4, по формуле (30). Разница $\Delta q = q_1 - q_2$ дает величину потерь расхода воды на трение по длине и местных сопротивлений.

7.4. Определение расходов воды в напорной оросительной сети

Необходимые приборы и оборудование: гидротаран; эластичный патрубок с манометром; дождевальная насадка циклонного типа; секундомер или часы с секундной стрелкой; мерная емкость; мерная рулетка; лопата, линейка.

Определение манометрического давления в напорной оросительной сети. Закрывают промывную пробку (П) магистрального тру-

бoportовода 4, а на штуцер (К) транзитного трубопровода б надевают эластичный патрубковнутренним диаметром 25 мм с манометром ценой деления 0,1кг/см² и открывают его вентиль (КР). Снимают максимальные показания манометра при полном отсутствии водопотребления P₁и заносят в таблицу.

На штуцера одной из ветвей выводного трубопровода 5 надевают через шланги четыре дождевальных насадки циклонного типа, открывают вентиль, включая одну насадку в работу. Снимают показания манометра P₂ и заносят в таблицу. Затем поочередно включают в работу вторую, третью и четвертую насадку, каждый раз снимая показания манометра P₃, P₄, P₅.

Опыты повторяют при обратном ходе, т.е. перекрывают четвертую, затем третью, вторую и первую насадки. Сопоставляют данные с предыдущими опытами.

Определение расхода воды дождевальной насадки объемным способом. Дождевальную насадку №1переворачивают и опускают в мерную емкость струями вниз. Открывают вентиль насадки и при выходе воды включают секундомер, определяя время полного заполнения мерной емкости. Открывают вентиль второй насадки и повторяют опыт как с первой насадкой. Далее повторяют опыты с последующими насадками №3 и №4. Данные заносят в таблицу и получают зависимости расхода воды первой насадки в полученных комбинациях. Сопоставляя полученные данные с данными манометрического давления в напорной системе, строят эмпирическую зависимость расхода насадки q_n от манометрического давления P в системе, q_n = f(P).

Определение радиуса отлета струи дождевальной насадки. Все 4 дождевальных насадки устанавливают вертикально в режим орошения на штуцерах своих гидрантов. Подключают одну насадку и рулеткой измеряют максимальное и минимальное удаление струи от центра их выброса по замочке сухой почвы и данные усредняют.

Включают вторую насадку, а на первой производят линейные замеры отлета струи. Повторяют опыты с включенной третьей, а затем четвертой насадкой.

Строят зависимость радиуса отлета струи R от манометрического давления в системе P, R = f(P).

Определение глубины пропитывания почвы при поливе дождеванием. На сухой почве устанавливают и включают в работу дождевальные насадки. По истечении первого часа на орошаемом участке вскапывают лунку и определяют линейкой глубину увлажнения почвы. Опыты повторяют через два, три, четыре и пять часов. По результа-

там замеров строят зависимость глубины пропитывания почвы h_г от времени полива t, h_г = f(t).

7.5. Определение расходов воды мерным водосливом на открытой оросительной сети территории ФАДиС

Открывают промывную пробку (ПП) отстойника 3 (см. рис. 10) и вода заполняет временный ороситель поверхностного полива. На некотором расстоянии от отстойника вкапывают стальной водомерный треугольный водослив Томсона с тонкой стенкой (с углом α=90°), делают борта и сброс со свободным истечением. По шкале водослива измеряют уровень воды на водосливе. Расход определяют по формуле Томсона:

$$Q = 1,4H^{3/2} \text{ л/с.} \quad (32)$$

Сопоставляют полученный расход с расходами, проведенными по опытам измерения воды, подаваемой гидротараном объемным способом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2. Ч. 2. Гидрологические наблюдения на постах. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 264 с.
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. 2. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 266 с.
3. Шпак В.Г. Методические указания к организации и проведению учебной практики по гидрометрии для студентов специальности 3110. Фрунзе: Кирг. СХИ, 1990. – 49 с.
4. *Фролова Г.П.* Методы и средства гидрологических наблюдений (гидрометрия): курс лекций. Бишкек: КРСУ, 2007. 204 с.
5. *Фролова Г.П.* Гидрометеорологический практикум. Ч.2 Методы и средства гидрологических наблюдений. Бишкек: КРСУ, 2004. 103 с.
6. Правила по технике безопасности при производстве наблюдений и работ на сети Госкомгидромета СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 90 с.
7. *Рогозин Г.В.* Гидравлический таран. Патент Кыргызстана KG 521 от 14.06.2001.

*Галина Петровна Фролова,
Григорий Васильевич Рогозин*

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к организации и проведению
учебной практики по гидрологии
для студентов специальности
«Гидротехническое строительство»

Редактор *В.В Мокрынина*
Компьютерная верстка – *Ю.Ф. Атаманов*

Подписано в печать 22.12.11. Формат 60x84¹/₁₆
Офсетная печать. Объем 2,75 п.л.
Тираж 100 экз. Заказ 314.

Отпечатано в типографии КРСУ
720048, Бишкек, ул. Горького, 2