

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**

**ГОУ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра Водохозяйственного и ландшафтного строительства

**Методическое пособие**

**Комментарий к книжке для записи измерений  
расходов воды КГ-3.**

Авторы:

Павлов С.Я.

Скворцова О.С.

**Санкт-Петербург 2007**

УДК 627.133(075.8)

## ВВЕДЕНИЕ.

Настоящее пособие предназначено для студентов СПбГПУ, проходящих гидрометеорологическую практику и служит для ознакомления с основными понятиями и терминами гидрометрии, с приборами, используемыми для измерения глубин и скоростей потока, с методикой этих измерений и со способами расчета расхода воды.

Основой для пособия служит стандартная «Книжка для записи расхода воды» КГ-3.

Она является официальным документом, форма которого рекомендована «Российской Федеральной службой по гидрометеорологии». В «Книжке » подробно описывается место проведения исследований, обстановка работ, используемые приборы. Приводятся таблицы для записи данных измерений и результатов их обработки. Для фиксирования основных параметров водотока, определенных по итогам работы в « Книжке » предусмотрен раздел «Принятые данные»

В предлагаемом пособии последовательно, в порядке упоминания их в «Книжке», комментируются основные понятия и термины гидрологии и гидрометрии, поясняющие цели и методики рекомендуемых расчетов. Основными нормативными документами, используемыми при составлении пособия были [2], [3], [9], [14], [15]. В качестве дополнительных источников были привлечены учебные пособия [4], [5], [6]. Описания основных приборов, используемых при проведении работ даются по паспортам, предоставленным изготовителями приборов.

Далее следуют постраничные комментарии с пояснениями.

## Страница 1

**Река** - водоток значительных размеров, питающийся атмосферными осадками со своего водосбора и имеющий четко выраженное русло

В нормативных документах выделяются следующие понятия:

**Большая река** - река, бассейн которой располагается в нескольких географических зонах и гидрологический режим ее несвойственен для рек каждой географической зоны в отдельности.

Примечание. К категории больших рек относятся равнинные реки, имеющие бассейн площадью более 50000 км<sup>2</sup>

**Средняя река** - река, бассейн которой располагается в одной географической зоне и гидрологический режим ее свойственен для рек этой зоны.

Примечание. К категории средних рек относятся равнинные реки, имеющие бассейн площадью от 2000 до 50000 км<sup>2</sup>

**Малая река** - река, бассейн которой располагается в одной географической зоне, и гидрологический режим ее под влиянием местных факторов может быть не свойственен для рек этой зоны.

Примечание. К категории малых рек относятся реки, имеющие бассейн площадью не более 2000 км<sup>2</sup>.

**Станция гидрологическая** – учреждение, задачами которого является изучение гидрологического режима на территории его деятельности и оперативное обслуживание народного хозяйства. Станции гидрологические бывают I и II разрядов.

Станции I разряда изучают регион водных объектов на территории своей деятельности, руководят прикрепленными станциями II разряда и гидрологическими постами (см. пункт Гидрологический пост), 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 результаты наблюдений.

**Гидрологический пост** - пункт на водном объекте, оборудованный устройствами и приборами для проведения систематических гидрологических наблюдений.

Речные гидрологические посты бывают I, II и III разрядов.

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 измеряют расходы взвешенных и влекомых наносов, берут пробы воды для анализа на химический состав и качество.

На постах II разряда наблюдения ведутся по программе для постов I разряда. За исключением измерения расхода 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.

Станции и посты бывают основными и специальными. Основными станциями и постами называются таковые, созданные для изучения многолетних колебаний гидрологического режима. Они рассчитаны на существование в течении продолжительного времени (нередко – неограниченного) и могут быть перенесены или закрыты лишь в исключительных ситуациях.

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.

**Расход воды** - объем воды, протекающий через живое сечение потока в единицу времени. Его выражают в кубических метрах в секунду.

Расход воды - одна из главных гидрологических характеристик потока жидкости, определяющих другие его параметры: уровень воды, скорость течения, уклон свободной поверхности, движение наносов и пр.

Систематические измерения расходов воды используются при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений и гидромелиоративных систем.

**Гидрометрическая вертушка** (См. комментарий к стр.3.)

**Способы измерения расхода.** При измерении расходов воды вертушками применяются следующие способы: многоточечный, основной, интеграционный, ускоренный, сокращенные (по репрезентативной вертикали и единичной скорости).

**А) Многоточечный способ** предусматривает измерение расхода воды по увеличенному против обычного числу скоростных вертикалей с измерением скорости в 5-10 точках на каждой вертикали. Этот способ применяется только для выполнения специальных научно-методических исследований. Многоточечный способ дает наиболее точное значение расхода. Измерение скорости течения многоточечным

способом при научно – методических работах производится в 5-10 точках по глубине вертикали в следующем порядке.

1. При свободном (ото льда и водной растительности) русле измерение производится:

В пяти точках по глубине вертикали (поверхность, 0,2; 0,6; 0,8 рабочей глубины и у дна);

$$\bar{U} = 0,1(U_{нов} + 3U_{0,2h} + 3U_{0,6h} + 2U_{0,8h} + U_{дно})$$

В десяти точках по глубине вертикали (поверхность, 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 рабочей глубины и у дна).

Пятиточечный способ применяется при глубинах более 1,5 м.

В интервале глубин от 1,5 до 0,75 м применим только двухточечный способ. При глубине вертикали менее 0,75 м следует переходить на одноточечный способ (в точке 0,6h).

2. При наличии в русле водной растительности и под ледяным покровом к пяти вышеуказанным точкам прибавляется шестая точка на 0,4 рабочей глубины или применяется равномерное распределение точек по глубине вертикали.

При ледяном покрове точка у поверхности воды заменяется точкой у нижней поверхности льда, при этом лопастной винт вертушки, находясь в непосредственной близости ко льду, не должен касаться его.

$$\bar{U} = 0,1(U_{нов} + 2U_{0,2h} + 2U_{0,4h} + 2U_{0,6h} + 2U_{0,8h} + U_{дно})$$

**Б) Основной способ** предусматривает измерение расхода воды в двух точках (0,2 и 0,8 глубины). При оптимальном числе промерных и скоростных вертикалей (но не менее 9) этот способ по сравнению с многоточечным обычно дает среднеквадратическое отклонение не более 3%.

Станция осуществляет измерение расходов воды основным способом сразу же после открытия гидроствора при условии поочередного измерения десяти расходов (многоточечным способом в первый годовой цикл), освещающих равномерно амплитуду колебаний уровня воды.

Измерение скорости на вертикали при основном способе производится:

1. При свободном русле и при ледяном покрове в двух точках – 0,2 и 0,8 рабочей глубины. В случае недостаточной для двух точек глубины (менее 0,475 м) измерение производится в одной точке на 0,6 или 0,5 рабочей глубины. Минимальная глубина потока при одноточечных измерениях 0,30 м.

$$\bar{U} = 0,5(U_{0,2h} + U_{0,8h})$$

2. При наличии в русле водной растительности измерение скорости на вертикали производится в трех точках – 0,15; 0,50; 0,85 рабочей глубины.

$$\bar{U} = \frac{1}{3}(U_{0,15h} + U_{0,5h} + U_{0,85h})$$

В случае недостаточной для трех точек глубины измерение производится только на 0,5 рабочей глубины.

$$\bar{U} = KU_{0,5h}$$

где  $K=0,9$

**В) Трехточечный способ.** В связи с особенностями работы на модели и с необходимостью знакомить студентов с распределением скоростей по глубине в учебных работах используется **трехточечный способ** измерения скоростей на вертикали, когда скорости измеряются на глубинах 0,2; 0,6; 0,8 полной глубины. Средняя скорость на вертикали считается по формуле

$$\bar{U} = \frac{U_{0,2} + 2U_{0,6} + U_{0,8}}{4}$$

**Г) Ускоренный способ** применяется при быстрых изменениях уровня воды за время измерения расхода при интенсивной деформации русла, при наличии переменного подпора и других неблагоприятных условий.

$$\bar{U} = U_{0,6h}$$

**Гидрометрический створ** – это вертикальная плоскость через водоток, перпендикулярная средневзвешенному вектору скорости течения воды в реке, в которой измеряются расходы воды и производятся другие виды гидрометрических работ. След плоскости створа на поверхности воды называется линией створа.

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. При значительной удаленности створа от гидрологического поста и в том случае, если участки гидроствора и поста заметно различны по ширине и глубине, в гидрометрическом створе оборудуется дополнительный пост, на котором производят наблюдения за уровнем лишь при измерении расхода воды.

Местоположение гидрометрического створа при неизменных условиях течения потока должно оставаться постоянным. В случае заметных изменений условий течения (увеличения косины струй потока, образования у берегов водоворотных зон, мертвых пространств) изменяется направление створа или он переносится на новое место.

Если гидроствор окажется на участке переменного подпора от расположенного ниже гидротехнического сооружения или в зоне неустановившегося режима при суточном регулировании вышерасположенной установки (ГЭС, гидроузел), то должно быть произведено обследование участка реки и вышеперечисленных сооружений: в некоторых случаях створ целесообразно перенести на новое место.

На вновь организуемых гидрологических постах постоянному гидроствору придается № 1.

Другим гидростворам, разбиваемых для работ при каком-то определенном состоянии режима реки, присваиваются следующие порядковые номера.

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, например, по траекториям движения поверхностных поплавков. Одновременно измеряется скорость течения вертушкой. Значение полученных скоростей наносится на план в определенном масштабе, выбранном для скорости течения, в виде векторов, т.е. под соответствующим углом к линии гидроствора, полученном при измерениях направления течения. Находится равнодействующая векторов, перпендикуляр к равнодействующей означает правильное расположение гидроствора.

В тех случаях, когда намеченное направление гидроствора удовлетворяет условиям для какого-то одного состояния реки, положение створа для другого должно быть соответственно изменено. Например, створ для паводочных работ может иметь одно направление, а створ для меженных работ – другое.

Местоположение гидрометрического створа закрепляется на местности прочными столбами – реперами. При небольшой ширине реки, позволяющей измерять расход воды с применением перетянутого через реку каната, на каждом берегу устанавливается по одному столбу. При большой ширине на обоих или на одном берегу в зависимости от рельефа берегов и видимости при различных уровнях устанавливается по два столба со створными вехами.

Полоса берега на 5-10 м выше и ниже гидроствора (в пределах возможного его затопления) расчищается от кустарниковой растительности. Вновь появляющаяся

высокая луговая растительность и кустарниковая поросль периодически выкашиваются.

После закрепления на местности гидрометрического створа производится промер глубин в нем и нивелирование до незатопляемых отметок.

**Особые замечания** - записываются все обстоятельства и происшествия способные оказать влияние на проведение исследований.



## Страница 2

**Принятые данные** - данные полученные обработкой результатов измерений, зафиксированных в данной книжке для записи измерения расходов, и практически полностью характеризующие водоток на момент производства работ в данном створе.

**Состояние реки** – указывается, свободная ли река или наличествуют ледоход, лесосплав, интенсивное движение судов. Для последующего анализа качества наблюдений за уровнем воды производятся визуальные определения состояния реки, характера ветра и волнения с записью в соответствующих графах полевой книжки водомерных наблюдений.

**Расчетный уровень** - среднеарифметическое между уровнями измеренными до начала работ и после их окончания.

**Уровень воды** это высота поверхности воды, свободной от влияния волн и зыби, в водном объекте над условной горизонтальной плоскостью сравнения, которая называется **нуль графика гидрологического поста**. (Об измерении уровня воды смотри ниже.)

**Расход воды** – (см. комментарии на стр.1)

**Площадь водного сечения** – имеется ввиду площадь ограниченная очертанием дна потока в створе и линией створа.

**Живое сечение** - часть водного сечения, в которой наблюдается течение воды.

**Мертвое пространство** - часть водного сечения, в которой не наблюдается течение воды. Определяется по степени зарастания в данном створе, наличием выступов берега выше по течению, уточняется наблюдениями за движениями поплавков в наблюдаемом пространстве.

**Площадь погруженного льда** — это площадь, заключенная между нижней поверхностью ледяного покрова и уровнем воды в лунке. Она вычисляется по значениям толщины погруженного льда в промерных вертикалях и расстояниям между ними

**Площадью шуги** является площадь, заключенная между нижней поверхностью шуги и нижней поверхностью ледяного покрова.

**Общая площадь** вычисляется как сумма площадей погруженного льда и шуги.

**Скорость средн.** - частное от деления расхода воды на площадь живого сечения..

**Наибольшая скорость** - наибольшая из всех измеренных скоростей в поперечном сечении

**Ширина по уровню воды и по нижней поверхности льда.** Если река свободна ото льда, то ширина реки определяется как расстояние между урезами правого и левого берегов. Если в реке есть лед, то указываются две ширины реки: ширина реки по положению поверхности воды в лунках и поперечному профилю дна и по нижней поверхности льда и поперечному профилю дна.

**Глубина средняя** - частное от деления площади водного сечения на ширину по уровню воды.

**Глубина наибольшая** - наибольшая из всех измеренных глубин в данном сечении.

**Уклон водной поверхности** – падение напора на единицу длины потока; для условий открытых водных потоков определяется как отношение разности высотных отметок уровня воды на рассматриваемом участке к длине этого участка (определение уклона водной поверхности см. далее).

**Способ измерения расхода воды** (см. комментарий к стр.1).

**Метод вычисления расхода воды.** Вычисление расходов воды производится аналитическим или графическим методами. Описание аналитического метода см. комментарии к стр. 5-7.

**Высота уровня за время измерения расхода.** Данная таблица предназначена для записи измерений уровня воды на гидростворе и основном водопосту, перед измерением, во время измерения и по окончании измерения скоростей как на свайном, так и на речном посту. [15].

На участке водомерного поста должен быть, как правило, один гидрометрический створ, совпадающий со створом поста, или находящийся в непосредственной близости от него. Для постов, на участке которых не представляется возможным назначить только один створ ( измерения только на нем не дадут полной картины гидрологического режима), устраивают несколько створов для работы при низком и высоком уровнях воды, наличии ледяных образований или водной растительности в русле и при отсутствии их и пр., но так, чтобы между отдельными створами не было бы сколько-нибудь заметного изменения стока.

При значительной отдаленности створа от поста и в том случае, если участки основного поста и гидроствора заметно различны по ширине и глубине, в гидрометрическом створе образуется дополнительный пост, на котором производятся наблюдения только при измерении расхода воды. В «Книжке...» обязательно фиксируется уровень воды на гидростворе и уровень, который наблюдался на основном водопосту. Без этих двух записей невозможно построение кривой связи расходов и уровней для основного водопоста.

В таблице предусмотрено фиксирование результатов измерений на речных и на свайных водомерных постах.

На речных постах устанавливают вертикальную или наклонную рейку с делениями, позволяющими замерять уровень с точностью до 1 см. Уровень определяется как сумма отсчета по рейке и расстояния от нуля рейки до нуля поста, называемом **приводкой рейки**. (см. Рис.1)

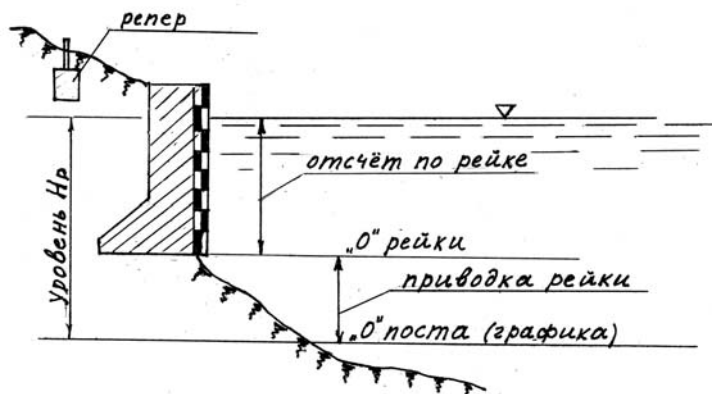


Рис.1

На больших реках с пологими берегами устраивают свайные посты состоящие из группы свай. Сваи располагают в одном створе, перпендикулярном к среднему направлению течения воды, и нумеруют по порядку, начиная с верхней (см. Рис.2).

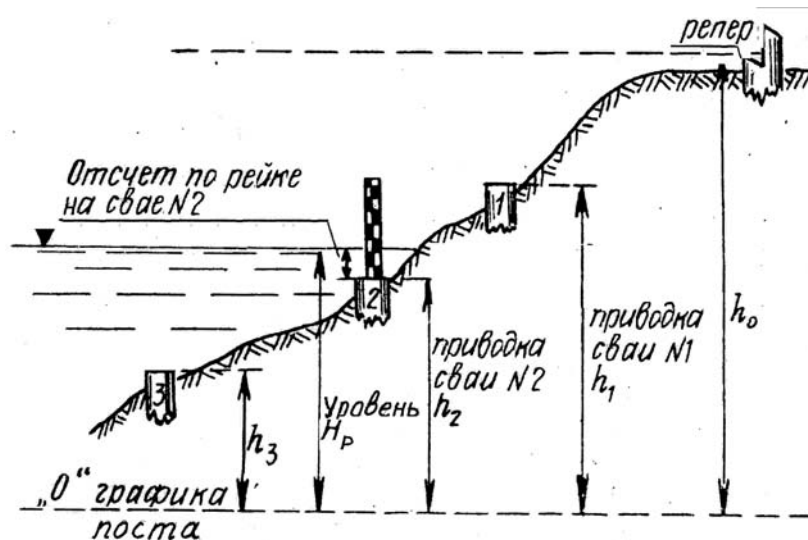


Рис.2

Уровни отсчитывают по переносной рейке (длиной около 1,5 м с делениями через 1 см), которую ставят вертикально на ближайшую к берегу сваю, находящуюся под водой. Оголовок верхней сваи располагают на 0,25 - 0,50 м выше наивысшего уровня

воды, а оголовок нижней — на такое же значение ниже самого низшего уровня. Разность между отметкой «нуль» водомерных наблюдений и отметкой «нуль» графика водомерного поста называют приводкой сваи к нулю графика поста. В этом случае уровень определяется путем сложения величины приводки и отсчета по рейке.

На участках рек с резкими переломами поперечного профиля устраивают речно-свайные посты, включающие постоянную рейку (в обрывистой части берега) и сваи (в пологой части).

### **Определение уклона водной поверхности**

Для определения уклона выше и ниже основного водпоста разбиваются два дополнительных, на которых определяются отметки водной поверхности до и после измерения скоростей. Эти отметки, а также расстояние между дополнительными створами  $L$  заносятся в таблицу, по ним определяются начальный и конечный уклоны водной поверхности. В графу «принятые данные» заносится среднее арифметическое между этими данными.

$L$ - расстояние между двумя створами

### Страница 3

**Начало работ - Конец работ.** Фиксируется соответственно начало и конец всех операций выполненных по промерам глубин и измерениям скоростей.

Состояние реки на гидростворе и основном водопосту (см. комментарии стр 2).

Зарисовка схемы ледовой обстановки и зарастания.

Ориентировочно фиксируется ледовая ситуация и расположение водной растительности способной осложнить работы по промерам глубин и измерению скоростей.

### Погода

Погодные условия значительно влияют на время проведения и качество измерений. Осадки обозначаются буквами: Д - дождь, Г - град, С - снег.

**Ветер** - указывается сила ветра и его направление по отношению к течению реки. Ветер влияет на распределение скоростей течения по глубине, а на устьевых участках рек и на колебание уровня воды. При визуальных наблюдениях за ветром определяется его сила и направление. Сила ветра обозначается как "слабый", "умеренный", "сильный". Направление ветра указывается стрелками: вниз или вверх по течению реки, с левого или правого берега реки.

**Река** - указывается состояние водной поверхности и наличие на поверхности воды предметов, препятствующих измерениям. Волнение отмечается в баллах: 0 - нет, 1 - слабое, 2 - умеренное, 3 - сильное.

### Вертушка

Вертушка гидрометрическая – прибор для измерения скорости воды в водотоках и водоемах, отличительной особенностью которого является использование ротора или лопастного винта в качестве чувствительного элемента.

**Система** - в настоящее время в основном используются вертушки ГР–55 и ИСП-1 [6,7].

Работа вертушки основывается на использовании давления движущейся воды, которая и приводит в движение лопастной винт или ротор. При измерении регистрируется общее число оборотов лопастного винта и время, в течении которого вертушка выдерживается в заданной точке.

Величина скорости течения в заданной точке определяется по числу оборотов лопастного винта в секунду с помощью тарировочного графика. (см комментарий ниже).

У вертушек ГР-55 и ИСП-1 чувствительным элементом является лопастной винт, имеющий горизонтальную ось вращения. Такая вертушка состоит из корпуса, лопастного винта, хвостового оперения, вертлюга и элементов электрической сигнальной цепи.

Корпус служит для сочленения частей вертушки, крепления вертушки на штанге или тросе, на которых вертушка опускается на нужную глубину. У вертушки ИСП-1 в корпусе располагается магнитоуправляемый герметизированный контакт (гиркон)[7], посылающий при каждом обороте лопастного винта электрический импульс на преобразователь сигналов вертушки ПСВ-1. [8] К задней части корпуса прикреплен хвостовой стабилизатор.

Лопастные винты включают собственно лопасти (обычно в комплект вертушки их входит две штуки для разных условий работы - **винт №1 и №2**), ось с подшипниками, контактный механизм (у вертушек типа ГР-55. [6]) или постоянные магниты, при каждом обороте винта вызывающие замыкание магнитоуправляемого герметического контакта (у вертушек типа ИСП-1, см[7]).

Хвостовое оперение (стабилизатор), крепящееся к корпусу служит для разворота вертушки по направлению течения.

Вертлюг представляет собой вертикальную ось с подшипниками, вокруг которой вертушка опускается на необходимую глубину. К нижней проушине подвешивается гидрометрический груз.

Электрическая сигнальная цепь включает контактный механизм, подающий сигнал через 20 оборотов лопастного винта у вертушек Ж-3 и ГР-55, (или через 1 оборот у вертушки ИСП-1), контактные клеммы на корпусе вертушки, устройство для приема и преобразования сигналов, находящееся над поверхностью воды, провода, соединяющие это устройство с вертушкой и элементами питания. На рис.3 представлена вертушка типа ИСП-1, установленная на вертлюге.

**Лопастной винт №.** - в комплект современной гидрометрической вертушки обычно входят два лопастных винта. В частности у вертушки ИСП-1 винт диаметром 120 мм. предназначен для измерения скоростей в пределах от 0,1 до 5 м/с, а винт диаметром 70 мм, используемый в основном в потоках с малой глубиной, предназначен для измерения скоростей от 0,15 до 5 м/с.

**Контакт** - у ИСП-1 осуществляется через 1 оборот. У вертушки ГР-55 через 20 оборотов.

**Тарировка №** - зависимость между скоростью потока, обтекающего вертушку и скоростью вращения лопастного винта. Получается в лабораторных условиях, когда в

специальном бассейне вертушка протягивается с заданной скоростью в воде.

Тарировка может быть представлена в виде графика, таблицы и в виде формулы. В вертушке ИСП-1 тарировочная зависимость введена в процессор преобразователя сигналов вертушки ПСВ-1. Преобразователь позволяет за произвольное время или за стандартное время выдержки вертушки в данной точке 60 с. получить общее количество оборотов вертушки за время измерения, скорость вращения лопастного винта в оборотах в секунду и соответствующую скорость течения воды.

Тарировка имеет индивидуальный номер и ограниченный срок действия по истечении которого лабораторные исследования вертушки должны быть повторены.

**Начальная скорость вертушки** - минимальная скорость течения воды, при которой вертушка начинает вращаться. В тарировочном свидетельстве указывается начальная скорость вертушки для обоих лопастных винтов.

**Проверка вертушки по способу выбега. и время свободного вращения** – мероприятие к которому прибегают в исключительных случаях, когда вертушка долгое время не находилась в эксплуатации или наоборот условия эксплуатации были чрезвычайными. Заключается в определении времени свободного вращения лопастного винта под действием груза весом 100 грамм, привязанного к нити длиной 1 метр, и намотанной на винт. Это время сравнивается со временем свободного вращения, определенного до вывода вертушки из эксплуатации или до периода эксплуатации в чрезвычайных условиях. Вертушка считается пригодной для работы, если указанные времена различаются не более, чем на 10%.

**Местоположение судна за время работы не изменялось, изменялось в пределах.** – указывается перемещалось ли судно в процессе измерения, а если перемещалось, то указывается, какой промежуток линии створа был охвачен промерами.

**Груз** - для промеров глубин чаще всего применяются гидрометрические рыбовидные грузы типа ГГР, подвешиваемые к гидрометрической лебедке с указателем длины троса на тонком стальном тросе. Чтобы избежать поправок на **угол отнoса троса** (см. комментарий к стр.6) следует подбирать такую массу гидрометрического груза, при которой угол отнoса троса будет не более 10-12 градусов. В первом приближении для подбора можно пользоваться данными таблицы 1.

Таблица 1

Рекомендуемые (ориентировочно) массы гидрометрических грузов при производстве промерных работ в зависимости от скорости потока.

Наибольшая скорость течения, м/с	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Минимальная масса груза , кг	15	25	50	75	100

Примечания. 1. Предусматривается использование стального каната диаметром 3 мм.

2. Приняты массы грузов, серийно выпускаемые заводами.

3. При отnose каната на угол более 12 градусов применяется груз большей массы.

Подбор груза осуществляется на вертикали с наибольшими скоростями течения.

Промеры глубин грузом производятся в два приема. Сначала груз подводится нижней частью к поверхности и при этом указатель длины троса сбрасывается на «0». Затем груз плавно подводится ко дну и в момент касания дна указатель длины троса дает непосредственное значение измеряемой глубины.

**Расстояние от оси вертушки до низа груза** – учитывается при необходимости определения количества точек измерения скоростей по глубине при малых глубинах потока.

**Секундомер** – используется при применении вертушки ГР-55, для определения времени выдержки вертушки в данной точке на скоростной вертикали. В вертушке ИСП-1 секундомер встроен в процессор ПСВ-1.

**За постоянное начало принято** - постоянное начало это точка на берегу реки в плоскости створа от которой отсчитывается расстояние до промерных или скоростных вертикалей. (см. комментарии стр.4). Постоянное начало обычно фиксируется вешкой, хорошо видимой с противоположного берега.

**Расстояние определялось** лентой, тросом, засечками. Указывается инструмент, с помощью которого находится расстояние от постоянного начала. Под определением расстояния засечками понимается нахождение его путем умножения  $tga$  угла визирования  $\alpha$  на блок лебедки угломерного инструмента, находящегося на некотором расстоянии от створа на величину этого расстояния (базиса). Обычно в качестве угломерного инструмента используется теодолит или гониометр. См. Рис.3



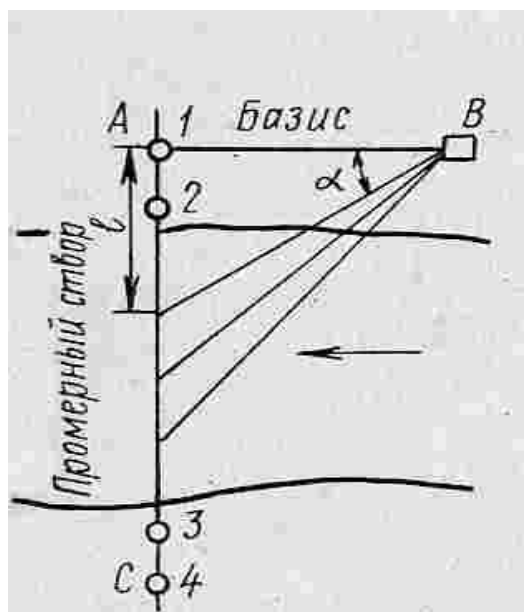


Рис.3

### **Расход отнесен к промеру**

Если русло реки слабдеформируемо (таковым считается русло, площадь которого в разные моменты времени при одном значении уровня меняется в пределах 3%), то промеры глубин допускается проводить не при каждом промере расхода, а через 3-5 измерений. Знания глубин на промерных вертикалях в этом случае принимаются по последнему промеру глубин с учетом изменения уровня. В книжке указывается номер и дата промера, к которому отнесен расход. При прохождении половодья и паводков, когда возможны деформации русла, промеры глубин производятся через два или при каждом измерении расхода.

Высота уровня воды на гидростворе при промерах (см. комментарий к стр.2).

В **столбец 1** записываются **номера промерных вертикалей**, а также **урезы левого и правого берегов**. Промерные вертикали располагаются через равные промежутки по ширине реки. Расстояния между промерными вертикалями выбираются в зависимости от ширины реки в соответствии с табл.2

Таблица 2

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

Положение промерных вертикалей в створе при отсутствии ледяного покрова на реках шириной менее 300 м определяется по туго натянутому через реку стальному разметочному канату. Положение промерных вертикалей в створе при наличии ледяного покрова во всех случаях определяется мерной лентой.

Во **2 столбец** записываются **номера скоростных вертикалей** (римскими цифрами). В гидрометрическом створе назначают **скоростные вертикали**, в отдельных точках которых измеряются скорости течения.

При практически устойчивом русле (периоды относительной устойчивости могут быть и на горных реках, например между паводками) местоположение скоростных вертикалей остается постоянным.

В случае большого различия в ширине главного (без поймы) русла при высоких и низких уровнях воды назначение скоростных вертикалей производится отдельно для измерения расхода в паводки и межень. При этом одна- две скоростных вертикали, расположенные в стрежневой части потока, обязательно сохраняются одними и теми

же в межень и паводок. Это необходимо для выявления связи между скоростью течения на отдельных вертикалях и средней скоростью по всему водному сечению.

Число скоростных вертикалей и распределение их по ширине реки назначается в зависимости от способа измерения расхода воды.

Обязательным требованием является такое их размещение, при котором отсек между двумя смежными вертикалями не должен пропускать более 1/10 полного расхода воды. Кроме того, одна из вертикалей должна быть назначена на стрежне реки (на динамической оси потока).

Расстояние между скоростными вертикалями при равномерном их распределении по ширине реки (при многоточечном способе измерения) принимаются согласно табл.3.

Таблица 3

Ширина реки, м	Расстояние между скоростными вертика- лями не более, м
20-30	2
31-40	3
41-60	4
61-80	5
81-100	8
101-200	10
201-300	20
301-500	30
501—800	40
Больше 800	50

П р и м е ч а н и е . На горных реках, при заметных деформациях русла и быстром изменении уровня а период измерения расхода воды допускается увеличение расстояний между скоростными вертикалями примерно в 1,5 раза.

В пойме, в руслообразных ее понижениях, где имеются обособленные токи воды, скоростные вертикали назначаются через две промерные вертикали. В остальной части поймы вертикали назначаются более редко в соответствии с ее рельефом.

**При наличии резких переломов профиля русла** необходимо отступить от соблюдения принципа распределения вертикалей через равные промежутки по ширине реки, приурочивая вертикали к указанным переломам.

Такое число и порядок распределения скоростных вертикалей обеспечивает наиболее точное измерение расходов воды.

В **столбец 3** записывается расстояние от **постоянного начала** определяемое мерной лентой, тросом или методом засечек.

**Глубина I, II, средн.** (столбцы 4,5,6 на стр. 4)

**Глубина** (имеется в виду глубина на данной промерной вертикали) – расстояние по вертикали от поверхности воды до дна. При отсутствии отнота троса (см. комментарий к столбцу 7, стр.4) и наличия погруженного льда и шуги определяется по указателю длины троса на момент касания гидрометрического груза (см. комментарий к стр.3). Глубины на промерных вертикалях и их удаление от постоянного начала по линии гидрометрического створа, определяются с точностью до трех значащих цифр, но не точнее 1 см.

Если река имеет устойчивое русло, то промеры глубин производятся один раз (одним ходом от одного берега к другому). При этом значения глубин записываются в **столбец 4 (Глубина, м I)**.

На реках с валунным или неустойчивым руслом, когда возможны деформации дна за время измерения расхода, промеры глубин производятся при каждом измерении расхода **два раза** (в два хода) – до и после измерения скоростей течения. Данные измерений записываются в **столбцы 4 и 5 (Глубина, м I, II)**. Для вычислений в этом случае используется среднее значение глубины, записываемое в **столбец 6 (Глубина м, средн.)**

**Столбец 7-8 Угол отнота троса, Поправка на угол отнота троса.**

Если при большой скорости течения применение гидрометрического груза надлежащей массы не представляется возможным, необходимо измерять углы отклонения каната от вертикали и вводить соответствующие поправки в измеренную глубину.

Угол отклонения каната измеряется простейшим угломером (рис.3). Один из краев его завернут и образует желобок. В верхней части угломера имеется отверстие для нити отвеса. В нижней части на сектор насаживается на металле шкала для отчета угла с точностью 1°. Грузик отвеса висит на двух нитях, скользящих по обеим сторонам поверхности сектора. При пользовании угломер надевают желобком на канат, держа его

рукой (при этом нулевая линия угломера совпадает с направлением каната), и отсчитывают на шкале угол отклонения каната от вертикали по нити отвеса.

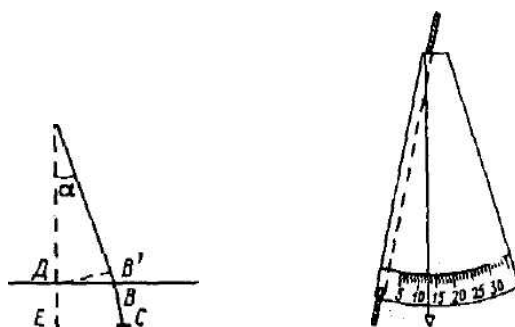


Рис. 3.

Угломер для измерения угла отклонения каната от вертикального положения.

При промерах на гидростворе грузом с судна (понтон, катера, лодки и т.п.) следует иметь в виду, что измерение глубины с хода поперек течения может вызвать значительную систематическую погрешность в сторону преувеличения глубины за счет слабины и неперпендикулярного положения каната. Для обеспечения достаточной точности промеров судно на каждой промерной вертикали должно останавливаться.

В «шапке» столбцов 7 и 8 указаны также Глубина погружения льда и Глубина погружения шуги. При наличии льда или шуги указывается расстояние от поверхности воды в лунке до их нижней границы

Рабочая глубина (столбец 9). За таковую принимается глубина, зафиксированная в столбце 4 (недеформируемое русло) или в столбце 6 (неустойчивое русло) с учетом при необходимости поправки на относ троса или на толщину погруженного льда или шуги.

Глубина со срезкой. Столбец 10.

Промеры глубин по створу в периоды быстрого изменения уровней (подъем или спад паводка) дают несопоставимые результаты. В этих случаях приходится производить так называемую "срезку уровня", приводя результаты к некоторому условному уровню. Обычно за него принимается наинизший уровень, наблюдаемый за время промера глубин в данном створе. К этому уровню привязывают все измеренные глубины путем уменьшения их величины введением поправок, получаемых интерполяцией уровня пропорционально времени и числу промерных вертикалей. Например, если за время, когда было выполнено 11 промеров глубин, уровень повысился на 10 см, за условный уровень принимают низший, т.е. уровень на момент первого промера. Полагая, что подъем уровня идет с одинаковой скоростью, **рабочая глубина** второго промера уменьшается на 1 см, третьего промера на 2 см и т.д..

Рабочая глубина  $l_1$  промера уменьшается на 10 см. Эти "исправленные" на величину срезки глубины и записываются в указанный столбец.

По данным столбцов 6, 9 или 10 по гидрометрическому створу, по результатам нивелирования берегов до незатопляемых отметок и промеров глубин в русле вычерчивают **полный профиль**, на котором показывают расположение скоростных вертикалей и характер грунта и угодий на пойме.

Горизонтальный масштаб профиля выбирается одним из следующих: 1:50, 100, 200, 500 (малые и средние реки), 1000, 2000, 5000, 10000 (большие реки), вертикальный масштаб назначается в 2-10 раз крупнее горизонтального.

Начиная с **11 столбца** страницы 4 и по **5 столбец** на странице 7 книжка посвящена вычислению расхода так называемым аналитическим способом.

#### Аналитический метод.

Рассмотрим поперечное сечение потока (Рис.4). Скорости течения в разных точках сечения неодинаковы, у поверхности они больше, у дна и берегов меньше. Соответственно и расходы через элементарные площадки в различных частях сечения различны.

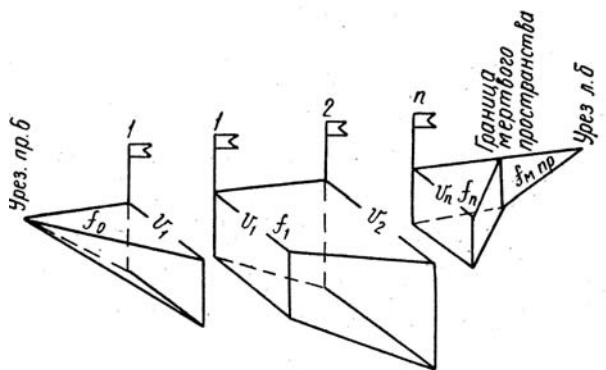


Рис.4

Если обозначить размер элементарной площадки  $dw = dx dy$ , то расход воды через нее можно выразить как

$$dQ = u dw = u dx dy$$

$u$  - осредненная местная продольная скорость, действующая в пределах площадки  $dw$ .

Считая, что вектор этой скорости направлен по нормали к плоскости поперечного сечения, получаем, что расход через всю площадь поперечного сечения потока будет

$$Q = k u_i w_0 + \sum \frac{u_i + u_{i+1}}{2} w_i + k u_n w_n$$

Где  $u_i$  и  $u_{i+1}$  - средние скорости на смежных скоростных вертикалях;

$w_i$  - площадь между соседними скоростными вертикалями;

$k$  - коэффициент для скоростей  $u_i$  и  $u_n$  на прибрежных скоростных вертикалях.

Изменяется от 0,5 (пологий берег с застойными зонами) до 0,9 (крутой гладкий берег).

Подробнее смотри комментарий к таблице вычисления расхода воды (стр.7).

Для определения площадей между соседними скоростными вертикалями используются данные **столбцов 11, 12 13 и 14**.

В **столбце 11 Глубина между вертикалями** находятся средние линии трапеций, заключенных между соседними промерными вертикалями. Средняя линия представляет собой среднеарифметическое значение глубин двух соседних промерных вертикалей. Это значение является полусуммой оснований прямоугольной трапеции, заключенной между дном, поверхностью воды (или нижней границы льда или шуги) и двумя соседними промерными вертикалями.

В **12 столбце** таблицы записываются **расстояния между промерными вертикалями**. Для этого используя данные столбца 3, путем вычитания из каждого последующего значения расстояния от постоянного начала вычитают предыдущее. Полученное значение будет являться высотой прямоугольной трапеции, заключенной между соседними промерными вертикалями.

## Страницы 5,6,7

В **столбце 13** по формуле площади трапеции по данным **столбцов 11 и 12** путем их перемножения определяется площадь сечения между промерными вертикалями. В **столбце 14** записываются площади между скоростными вертикалями, полученные суммированием площадей между промерными вертикалями (площадь отсека между скоростными вертикалями является суммой площадей отсеков между промерными вертикалями, заключенными между соседними скоростными вертикалями).

**Столбцы с 1 по 14** копируются на страницах 6, 7. **Столбец 14** копируется также в **столбец 4** таблицы «Вычисление расхода воды» на стр.7.

Суммарное значение площади **F** записывается ниже **столбцов 13 и 14** на стр. 7

Площадь живого сечения находится как общая площадь сечения за вычетом так называемого мертвого пространства (зоны зарастания, водоворотная зона и т.п.), где скорость течения близка к нулю (смотри комментарий к стр.2) и записывается внизу **столбцов 3** или **4** на странице 7.

На странице 6 (внизу) рассчитывается по предлагаемой формуле площадь мертвого пространства и площади погруженного льда и шуги.

В разделе «Вычисление расхода воды» в **столбце 1** записываем **номера скоростных вертикалей**, а также обозначения вертикалей, ограничивающих живое сечение ( урезы берега или границы мертвого пространства). Например, если мертвого пространства нет, то записывается УЛБ, I,II..., УПБ.; если мертвое пространство есть, то ГрМП(граница мертвого пространства) , I,II,....,УПБ.

В **столбце 2** записываются скорости средние на скоростных вертикалях ( из **столбца 18.** раздела книжки Скорости. стр 9-11) .

В **столбце 3** записываются скорости средние между вертикалями (средние скорости на отсеке, заключенном между этими вертикалями). Если отсек заключен между скоростными вертикалями, то скорость на этом отсеке находится как среднее арифметическое между средними скоростями на вертикалях, ограничивающих отсек.. Если отсек расположен между крайней скоростной вертикалью и урезом берега или границей мертвого пространства, то средняя скорость в отсеке находится , как скорость на скоростной вертикали, умноженная на эмпирический коэффициент. Значения коэффициента принимаются в зависимости от характера берегового склона и прибрежных условий следующими:

0,7-пологий берег с нулевой глубиной на урезе;



0,8- обрывистый берег или неровная стенка;

0,9-вертикальная гладкая стенка ;

0,5-наличие у берега мертвого пространства.

Перемножая среднюю скорость между вертикалями (**столбец 3**) на площадь живого сечения между скоростными вертикалями (**столбец 4**) получаем расход между скоростными вертикалями. Полученные значения расхода между скоростными вертикалями записываем в **столбец 5**.

Значения расходов между вертикалями суммируются, и полученное значение суммы записывается в строчку **Q** внизу страницы.

## **Страница 8**

Заполняется в промежуток времени между промерами глубин и скоростей, является вспомогательной для таблиц скорости на стр.9-11. В основе таблицы лежат данные столбцов 1-9 на стр.4, с учетом сведений о размерах груза и расстоянии от оси вертушки до низа груза (см. комментарий к стр.2)

## Страница 9

Посвящена измерению скоростей на скоростных вертикалях, выбранных из числа промерных, в соответствии с рекомендациями (смотри комментарии к стр. 4 и 5)

**Рабочая глубина**(столбец 2) - рабочая глубина соответствует расстоянию от поверхности воды до оси вертушки при касании грузом дна плюс расстояние от оси вертушки до низа груза до низа груза.

Глубина опускания вертушки (столбцы 3,4)

В столбцах выделены возможные при любых способах измерения скоростей (детальный, основной, при наличии растительности и т.д. - см. их подробные описания) глубины опускания вертушки: в долях от рабочей глубины и в абсолютных величинах. За глубину равную "0" принимается такая, соответствующая положению вертушки "ось на поверхности воды".

При отсутствии в русле растительности и ледяного покрова и при рабочих глубинах более одного метра следует располагать вертушку в точках для измерения скоростей, ориентируясь на следующие рекомендации.

Положение вертушки "пов" соответствует максимально возможному приближению оси вертушки к поверхности воды, но так, чтобы лопастной винт не выходил из воды. При волнении вертушка опускается ниже отметки подвалья волны.

Глубины, соответствующие второй, третьей и пятой точкам установки вертушек определяются в долях 0,2, 0,6, 0,8 рабочей глубины **h** по таблице глубин, напечатанной на последней странице обложки книжки расхода К-3.

Шестая, последняя точка - "дно". Если вертушка опускается на штанге, то ось вертушки устанавливается в зависимости от диаметра лопастного винта возможно близко ко дну, но так, чтобы при вращении лопастной винт не задевал дна. Так, для вертушки с небольшим диаметром лопастного винта ( напр. ГР-55) ось вертушки должна быть на 5-6 см. от дна. Для вертушки с винтом большого диаметра (ИСП-1) - 7-8 см. одна. Рис.5 иллюстрирует расположение вертушки в точках измерения скоростей на вертикали при опускании вертушки на штанге, в условиях отсутствия льда (шуги) и водной растительности, при измерении детальным способом и глубинах более 1 метра

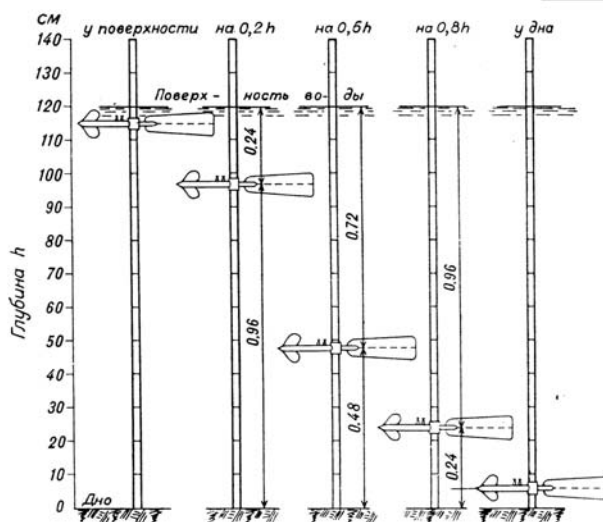


Рис.5

На горных реках с бурным течением и галечно - каменистым руслом ось вертушки следует устанавливать выше указанных величин расстояний от оси вертушки до дна на 1-2 см выше указанных величин для предохранения от поломки лопастного винта вертушки перекатывающимися по дну камнями.

При опускании вертушки на тресе ось вертушки располагается при измерении скорости в точке "дно" на 10 см. и более от дна в зависимости от массы груза и способа крепления вертушки. В положении касания грузом дна нельзя опускать вертушку ниже, давая слабину тросу. При волнении, в случае качки лодки вертушку следует приподнимать, чтобы груз не ударялся о дно. Измерения скорости потока вертушками при глубине менее 6-10 см. проводить не рекомендуется.

При наличии в русле растительности или ледяного покрова к пяти вышеуказанным точкам прибавляется шестая - на 0,4 рабочей глубины.

При ледяном покрове точка у поверхности воды заменяется точкой у нижней поверхности льда. При этом лопастной винт вертушки, находясь вблизи нижней поверхности льда, не должен касаться его, т.е. ось вертушки должна устанавливаться на таком же расстоянии от нижней поверхности льда, как и от дна. При наличии ледяного покрова измерения вертушками при глубинах менее 8-15 см не допускаются.

Расположение вертушки в точках по глубине вертикали при глубинах менее 1 метра определяется по таблице 15 (наставления, вып.2, ч. II). Точки измерения скорости располагаются так, чтобы лопастной винт охватывал по слоям всю глубину вертикали (см. Рис.6)

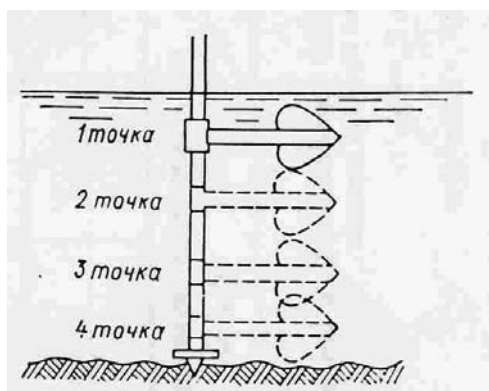


Рис.6

В столбце 5 записывается отсчет по штанге или показания счетчика длины троса соответствующие глубине опускания вертушки.

Столбцы 6-14 относятся к работе с вертушкой ГР-55. В столбце 6 записывается число оборотов, через которое фиксируется время от начала измерений. Это время записывается в столбцы 1-8 отсчеты по секундомеру. По правилам работы с вертушкой ГР-55 считается, что выдерживать вертушку в данной точке на вертикали следует не менее 100 секунд, и число записей отсчетов по секундомеру должно быть не менее 5.

В столбце 15 записывается сумма оборотов которое совершила вертушка при измерении в данной точке по глубине. Эта сумма равняется произведению числа оборотов за прием ( столбец 6) на количество записей в Отсчетов по секундомеру. В столбце 16 записывается число оборотов в секунду т.е. частное от деления суммы оборотов на время измерения на данной глубине опускания.

Скорость м/с (столбец 17) определяется по числу оборотов в секунду с помощью тарифовочной таблицы или тарифовочной кривой (см. комментарии к стр.3).

При использовании вертушки ИСП-1 с преобразователем сигналов ПСВ-1 в большинстве случаев можно использовать автоматический режим работы системы, при котором вертушка на данной глубине опускания считает число оборотов за 60 секунд, определяет число оборотов в секунду и, в соответствии с тарифовочной зависимостью введенной в процессор ПСВ-1, выводит на дисплей окончательное значение скорости течения воды. При необходимости время выдержки вертушки на данной глубине опускания можно установить в ручном режиме измерения.

В столбце 19 «на глаз» зарисовывается эпюра распределения скоростей по глубине. Если очертания эпюры не характерные для условий измерения, то измерения на данной вертикали повторяются.

## ЛИТЕРАТУРА.

1. Государственный стандарт Союза ССР. Гидрология суши. Термины и определения. ГОСТ 19179-73.-М.:, Государственный комитет СССР по стандартам, 1973.
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, Выпуск 2, часть II «Гидрологические наблюдения на постах»- Л.: Гидрометеиздат,1975
3. Руководящий документ. Дополнение к наставлению гидрометеорологическим станциям и постам, вып.6, ч. I «Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках» (РД 52.08.163-88).-Л.: Гидрометеиздат, 1982
4. Гришаник К.В., Сорокин Ю.И. Гидрология и водные изыскания.- М.: «Транспорт», 1982
5. Овчаров Е.Е., Захаровский Н.Н. Гидрология и гидрометрия.- Л: Гидрометеиздат, 1986
6. Александров Л.Н. Гидрометрия для гидротехнических специальностей.- Л.: Издательство ЛПИ, 1980
7. Измеритель скорости потока ИСП-1. Паспорт ГМП 17 00 00 00ПС- СПб.: 2002
8. Преобразователь сигналов вертушки ПСВ-1. Паспорт ГМП 17 0000 00 ПС.-СПб.: 2002
9. Руководящий документ. Методические указания. Вертушки гидрометрические речные типа ГР-21М, ГР-55, ГР-99. Методика поверки в градуируемых лотках ГР-19 и ГР-19М.- (РД52.08.606-9903): Гидрометеиздат, 2001.
10. Рекомендации. Уровнемер поплавковый цифровой УПЦ. Выполнение измерений и обработка результатов (Р 52.08.630-2003). СПб.: Гидрометеиздат, 2003.
11. Указатель длины троса УДТ. Паспорт С2-52ГМП.000 ПС.-СПб.: 2002.
12. Лебедка гидрометрическая ПИ-24М. Паспорт ПР-24М.000 ПС.- СПб.: 2002.
13. Груз гидрометрический ГГР-5. Паспорт.-СПб.: 2002
14. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «Скорость-площадь». МИ 1759-87.-М.: Издательство стандартов, 1987.
15. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам, выпуск 6, часть I. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках.- Л.: Гидрометеиздат, 1978.