



Проект
«Интегрированное управление водными ресурсами
в Ферганской долине»



РУКОВОДСТВО
ПО ВОДОУЧЕТУ ДЛЯ ГИДРОМЕТРОВ
МАГИСТРАЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Ташкент – 2006 г.

«Руководство...» предназначено для гидрометров Управлений магистральных каналов в качестве методической помощи реализации Проекта «ИУВР-Фергана».

Руководитель Проекта «ИУВР-Фергана» доктор технических наук, профессор Виктор Абрамович Духовный.

Региональный координатор проекта к.г.н. Вадим Ильич Соколов.

Лидер деятельности пилотные каналы к.т.н. Назыр Мирзаев.

Разработка «Руководства...» консультант проекта к.т.н. Рустам Масумов.

	Содержание	Стр.
	Введение	4
1	Выбор места оборудования гидрометрического поста	4
2	Гидрометрические посты типа фиксированное русло, основное и вспомогательное оборудование	5
3	Методика измерения расхода воды	8
4	Градуировка гидрометрического поста типа фиксированное русло	10
5	Средства измерения расхода для коллекторно-дренажной сети	16
6	Подготовка СИР к аттестации и поверке	20
7	Корректировка расходной характеристики, повторная градуировка	22
8	Построение графика и таблицы расходной характеристики при помощи персонального компьютера	23
	ПРИЛОЖЕНИЯ	
	№ 1 Акт о проведении градуировки СИР	29
	№ 2 Технический паспорт на СИР	32
	№ 3 Таблица координат гидрометрического поста	35
	№ 4 Стандартные СИР	36
	№ 5 Расчет среднесуточного расхода воды	43
	№ 6 Инструкция по эксплуатации ГТР	44
	Рецензия	46

Введение

Как показал опыт реализации Проекта «ИУВР-Фергана», основной трудностью гидрометров пилотных каналов было отсутствие знаний по выбору места оборудования гидрометрического поста, методики построения и корректировки расходных графиков и таблиц.

В большинстве случаев с методикой измерения расхода воды гидрометры были знакомы теоретически в рамках учебной программы гидромелиоративного техникума или ВУЗа, на производстве путем перенимания опыта от гидрометров с большим стажем работы. Учитывая острый дефицит в подобной методической литературе в плане работ на 2006г, было принято решение подготовить «Руководство по водоучету для гидрометров магистральных каналов». Учитывая пожелания гидрометров в «Руководство» были включены дополнительные материалы по обработке материалов градуировки, построения расходных графиков и таблиц на персональном компьютере, подготовке гидростов к аттестации и поверке.

1. Выбор места оборудования гидрометрического поста

Для увеличения точности измерения расходов воды при систематических и контрольных замерах русловым методом, используют средства измерения расхода (СИР) типа фиксированное русло, т.е. русло с облицованным дном и откосами. Основные правила устройства фиксированных русел:

- применение облицовок из стойких материалов (монолитный бетон, бетонные плиты, каменная отмостка, габионы и пр.);
- длина участка с фиксированным руслом должна обеспечить правильный подход потока к створу измерения.

Участок канала, где предполагается оборудовать гидрост должен быть прямолинейным, с постоянной формой поперечного прямоугольного, трапецеидального или параболического сечения. Допускаются отклонения от средних геометрических размеров (ширины, строительной высоты, величины заложения откосов русла) не более чем на $\pm 2,0 \%$, для участков с постоянным уклоном дна. При скорости потока менее 2,0 м/с, длина участка на котором должны быть выдержаны указанные условия, в зависимости от ширины канала по верху (В), должна быть не меньше указанной в таблице 1.

Таблица.1

Длина прямолинейного участка канала в зависимости от ее ширины

Максимальный расход воды в канале, м ³ /с	От 0,2 до 5	от 5 до 10	от 10 до 25	от 25 до 100	выше 100
Минимально-допустимая длина прямолинейного участка.	от 6В до 8В	от 4В до 6В	от 3В до 5В	от 2В до 3В	не менее 1,5В

При скорости потока в канале более 2,0 м/с, длина участка канала должна приниматься в 1,5 раза больше, по сравнению с данными таблицы 1.

- Участок канала должен быть удалён от гидротехнических сооружений и других источников сбойности потока на расстояние, исключающее появление в створе измерений волновых явлений, косоструйности и повышенных пульсаций скоростей потока;
- На измерительном участке должна быть исключена возможность зарастания русла сорными и водными растениями и систематического заиления дна канала слоем наносов толщиной более 2 % от нормальной глубины потока;
- Измерительный участок канала должен быть доступен для проведения измерений, возможности подъезда автотранспорта для перевозки

- обслуживающего персонала и оборудования;
- При размещении СИР, на новых и реконструируемых каналах устройство измерительного участка без фиксирующей облицовки не допускается. Конструкция облицовки должна обеспечивать постоянства формы и геометрических размеров по длине измерительного участка с отклонениями не более $\pm 2,0$ % от средних размеров;

2. Гидрометрические посты типа фиксированное русло, основное и вспомогательное оборудование

В водохозяйственной практике в качестве средств измерения расхода (СИР) большое распространение получили конструкции речных гидропостов с обычными фиксированными руслами «ФР». «ФР» оборудуются на прямолинейных участках малых и средних каналов, уклон дна которых соответствует среднему уклону русла. Участок канала, где предполагается оборудовать измерительный створ, должен быть прямолинейным с постоянной формой поперечного (прямоугольного, трапециoidalного или параболического) сечения, с установившимся режимом движения потока воды рисунок 1.



Рис.1. Гидрометрический пост типа «ФР» оборудованный гидрометрическим мостиком

Гидрометрический пост типа «ФР» необходимо оснастить вспомогательным гидрометрическим оборудованием. Гидрометрическим оборудованием считаются средства переправы (см. рис 1) конструкции которых рекомендуется выбирать в зависимости от ширины канала по верху таблица 2.

Таблица 2.

Выбор конструкции вспомогательного оборудования в зависимости от ширины канала

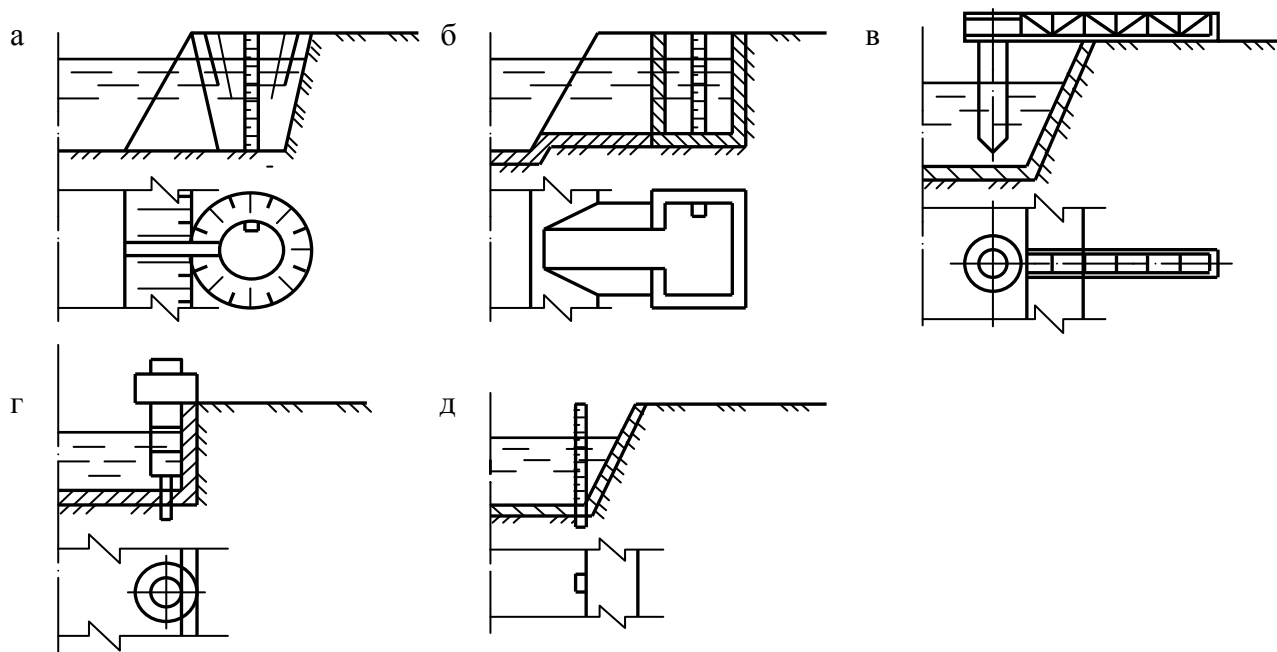
Средства переправы	Ширина канала по верху, (м)
Гидрометрический мостик жёсткой конструкции	До 20
Подвесной гидрометрический мостик на стальных канатах	От 20 до 50

Все речные гидросты должны быть оборудованы успокоительными нишами или колодцами для размещения в них стандартной гидротехнической рейки рисунок 2.



Рис.2. Успокоительный колодец с гидротехнической рейкой.

Выбор конструкции успокоительного устройства для конкретного объекта должно производиться с учётом режима твёрдого стока в канале, скорости и глубины потока рисунок 3. Не рекомендуется применение успокоительных устройств типа выносных колодцев в каналах со скоростью потока более 1,5 м/с и шириной русла менее 10 м. На каналах с концентрацией взвешенных наносов более $1,0 \text{ кг/м}^3$ необходимо предусматривать меры по предотвращению заиливания успокоительных устройств.



**Рис.3. Различные типы конструкций успокоительных устройств
а – береговой ковш; б – береговой колодец с открытым лотком; в – консольный**

выносной колодец; г – свайный выносной колодец; д – уровнемерная рейка в русле.

На гидрометрических створах, предназначенных для периодического измерения расхода воды, размещение успокоительных устройств не обязательно. В этом случае допускается контролировать положение уровней воды с помощью гидрометрической штанги. На участке расположения стационарных балансовых и контрольных гидропостов должны быть установлены топографические реперы для привязки нуля рек.

Требования к средствам измерения и вспомогательным устройствам

- Для проведения градуировки и поверки СИР должны применяться средства измерения, имеющие паспорт, инструкцию по эксплуатации и свидетельство о поверке или метрологической аттестации.
- Для измерения скорости потока, как правило, должны применяться ранее выпускаемые и находящиеся в эксплуатации гидрометрические вертушки типа ГР-21, измерители скорости течения ИСТ-0,06/120/70. Допускается применять вновь разрабатываемые измерители скорости течения воды, прошедшие приёмочные испытания в установленном порядке.
- Для фиксирования времени выдержки в потоке вертушек типа ГР-21 следует применять секундомеры механические одно или двух стрелочные, имеющие цену деления шкалы не более 0,2с, снабжённые заводским паспортом с клеймом ОТК и свидетельством о поверке.
- Для проведения геодезических измерений следует применять нивелиры 1-3 классов типа Н-05; Н-3В и рейки нивелирные типа РН-05 или РН-3 длиной от 1,0 до 4,0 м.
- Для измерения линейных параметров створа измерения следует применять рулетки металлические класса точности 1, 2 или 3, длиной от 1 до 50 м, ценой деления не более 0,001 м по всей длине шкалы.
- Для разбивки измерительных створов и контроля их перпендикулярности относительно оси каналов следует применять любые типы теодолитов в комплекте с вешками или уровнемерными рейками.
- Для установки и фиксации измерителей скорости в потоке следует использовать: при глубине канала менее 1,0 м – переносные уровнемерные рейки типа ГР-104;
- Для измерения уровней воды допускается применять любые типы уровнемеров, в том числе штриховых мер длины (гидротехнических уровнемерных рек), соответствующих диапазонам измерений и условиям эксплуатации конкретных объектов, обеспечивающих относительную погрешность измерений уровней не более $\pm 1,0$ %. При амплитуде пульсаций поверхности воды в канале, превышающей 0,05 м, установка уровнемеров без успокоительных устройств не допускается;
- Гидрометрические посты, используемые для учётных операций в условиях платного водопользования, должны быть оборудованы счётчиками стока или самописцами, обеспечивающими погрешность учёта подаваемой воды, не превышающую ± 5 %. Прочие требования и правила эксплуатации счётчиков или самописцев должны приниматься согласно паспортов и технических условий на конкретные виды приборов;
- При глубине потока до 4,0 м – должны применяться штанги гидрометрические сборные диаметром 0,028 и длиной секции до 1,5 м;
- При глубине потока свыше 4,0 м – должны применяться гидрометрические лебёдки типа «Нева» ПИ-23, или «Луга» Пи-24 установленные на гидрометрических мостиках с прикрепленными снизу специальных

гидрометрических грузов. Уровнемерные рейки и штанги должны иметь различные шкалы и цифровые обозначение. Дистанционные установки и лебёдки должны быть снабжены счётчиками длины вытравленного троса;

Приборы для измерения скорости потока

В водохозяйственной практике для измерения скорости потока применяются гидрометрические вертушки различной модификации. Наибольшее распространение получили гидрометрические вертушки типа ГР-21М, выпускавшиеся на заводе гидрометрического оборудования г. Тбилиси. В настоящее время, в связи с отсутствием поставок гидрометрических вертушек из стран СНГ имевшийся в наличии парк гидрометрических приборов значительно сократился по причине технического и морального износа. Измерение расходов воды производится устаревшим приборным оборудованием, которое давно не поверялось в специализированных предприятиях. В настоящее время в центрально азиатском регионе (ЦАР) только в ПКТИ Водавтоматика и Метрология (Кыргызская Республика) налажено производство измерителей скорости воды типа ИСВ – 01 и других приборов гидрометрического назначения. У нас в Республике Узбекистан в НПО САНИИРИ разработана новая конструкция гидродинамического измерителя скорости потока типа ГТР. Опытная партия приборов ГТР была изготовлена в 2005г за счет средств Проекта «ИУВР – Фергана». Приборы ГТР были распределены по пилотным каналам и АВП, где успешно прошли производственные испытания рисунок 4.



Рис. 4. Гидродинамический измеритель скорости потока ГТР

Гидродинамический измеритель скорости потока ГТР предназначен для разовых измерений скорости воды в соответствующих точках потока. ГТР опускается в поток при помощи стандартной гидрометрической штанги диаметром 28 мм.

3. Методика измерения расхода воды

Расход воды есть объем воды, проходящий в единицу времени, и в общем случае зависит от двух параметров - площади поперечного сечения и скорости потока воды

$$Q = \varpi \bar{V}; \quad (1)$$

где ϖ - площадь поперечного сечения потока, м^2 , геометрический параметр; $\bar{V}$ - скорость потока, осредненная по всему водному поперечному сечению, м/сек , кинематический параметр. Таким образом, объемный расход воды, в общем случае равен умноженному значению двух переменных параметров - геометрического и кинематического. Следовательно, для определения расхода воды необходимо измерять оба параметра. Для наглядности рассмотрим абстрактную модель расхода потока воды. Рассмотрим абстрактную модель расхода воды рисунок 5.

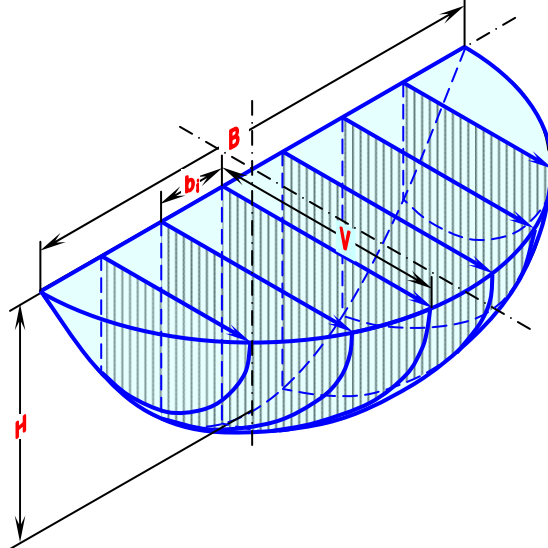


Рис. 5. Абстрактная модель расхода воды

Эта модель представляет собой объем тела с криволинейной поверхностью с переменными параметрами во всех трех взаимно перпендикулярных направлениях значение, которого измеряется в $\text{м}^3/\text{с}$. Известно, что методов измерения расхода воды много, но в водохозяйственной практике применяется, в основном, метод "скорость $\times$ площадь", являющийся разновидностью косвенных методов измерения расхода воды. Сущность этого метода заключается в определении расхода воды путем измерений площади поперечного сечения потока и скоростей течения. При этом в фиксированном гидрометрическом створе определяются следующие элементы расхода:

- глубины на промерных вертикалях и их удаление от постоянного начала по линии гидрометрического створа для определения площади водного сечения;
- продольные составляющие средних скоростей течения на вертикалях, на основе которых рассчитываются средние скорости в отсеках между ними.

Выше представленная абстрактная модель – это идеальная модель расхода потока воды, в натуральных условиях так не бывает, поэтому для достижения требуемой точности измерения расхода воды необходимо по возможности стараться максимально приблизиться к идеальному случаю. Это во многом зависит от правильного выбора места гидрометрического створа, опыта гидрометров, методики измерений и т.д.

Основной способ измерения расходов воды

Методика выполнения измерений расхода воды основным и детальным способами аналогичны и различаются лишь следующими показателями:

- При основном способе допускается принимать сокращенное число точек установки первичного измерителя скорости на каждой вертикали, в том числе при глубине потока до $0,5\text{м}$ – в одной точке на расстоянии $0,4h_n$ от дна (или $0,6h_n$

от поверхности воды); при глубине потока свыше 0,5м – в двух точках на расстоянии $0,2h_n$ и $0,8h_n$ от дна канала;

4. Градуировка гидрометрического поста типа «ФР»

Процесс установления или нахождения непрерывной функции во времени по результатам дискретных измерений расходов воды в гидростворе называют градуировкой данного гидропоста. Для облегчения этой процедуры на практике прибегают к формально-геометрическому приему и строят кривую расходов $Q = f(H)$. Этот прием, в мировой практике до сих пор остается основой практической гидрометрии открытых каналов и рек.

- Градуировка должна производиться специалистами эксплуатационных или метрологических центров (МЦ), прошедших специальную подготовку по утвержденной Агентством Стандартов программе;
- Метрологическая аттестация (поверка) СИР, производится на основании результатов градуировки, специалистами Республиканских МЦ, имеющих соответствующие удостоверения, выданные местными Агентствами Стандартов.

Детальный способ измерения расходов воды

Для достижения достаточной для практики точности измерения, при градуировке гидропоста, расходы воды измеряют детальным способом. Измерения проводят, при установившемся режиме течения воды и когда амплитуды колебаний уровня воды в успокоительном колодце составляет не более $\pm 1,0 \%$ от глубины воды в канале. Уровень воды измеряют до и после промеров глубин, а также перед началом и в конце измерений скоростей течения. Фиксируют дату и время каждого измерения уровня. Все результаты измерений заносятся в стандартную форму (журнал измерений расходов воды). Для проведения измерений расходов воды, выбранный створ разбивают на вертикали и закрепляют их путем нанесения меток. Далее, измеряют площади поперечного сечения между вертикалями, замеряют скорости течения, рассчитывают элементарные расходы на вертикалях, суммируют их по всему сечению канала и в результате получают значение общего расхода воды, проходящего через данное сечение канала рисунок 6.

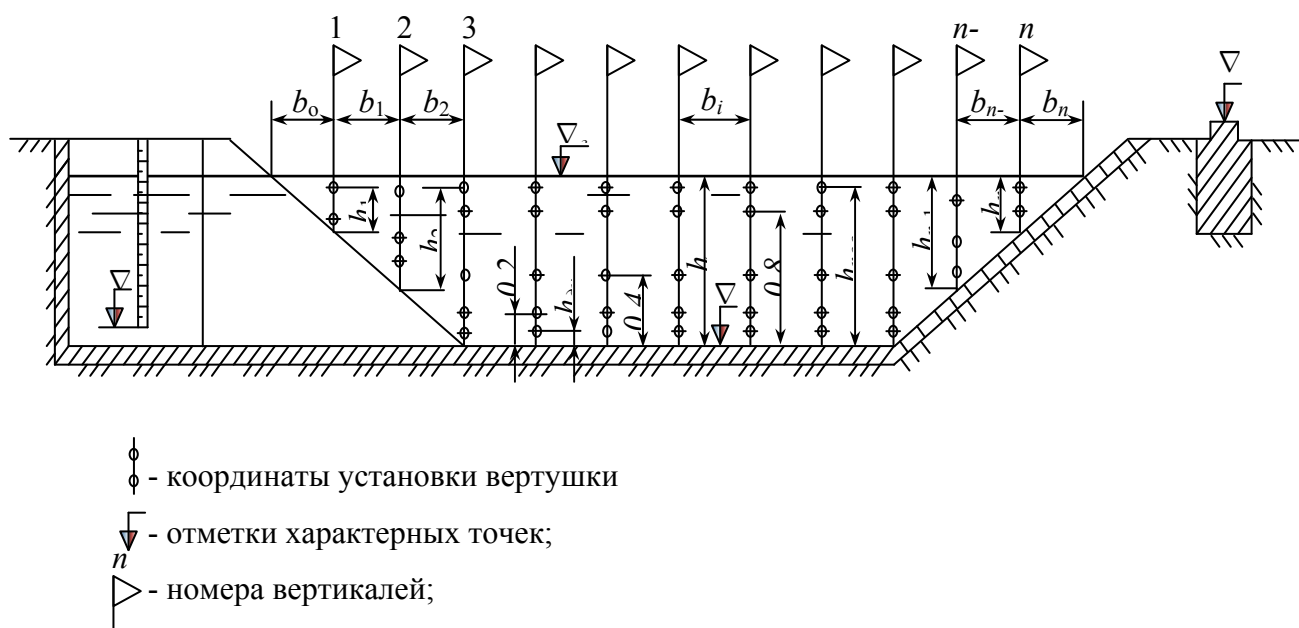


Рис .6. Схема разбивки вертикалей по поперечному сечению канала

Последовательность операций перед проведением измерений скоростей воды:

- назначают дополнительную урезную вертикаль для определения скорости воды у берега и измеряют расстояние этой вертикали от уреза воды. Урезную вертикаль необходимо назначать на минимальном расстоянии от уреза берега в месте, допускающем измерение скоростей хотя бы в одной точке;
- измеряют глубину потока воды на вертикали, далее определяют на ней точки измерения скоростей течения и замеряют в этих точках скорости гидрометрической вертушкой;
- вертушка располагается таким образом, чтобы кромка лопасти винта находилась на удалении не менее 2-3 см от поверхности воды или дна, а при работе с судна в условиях волнения таким образом, чтобы избежать ударов лопастей о дно;
- измерение проводят по порядку номеров на следующие вертикали, где также, замерив глубину воды, повторяют замеры;

После измерения скоростей воды на последней постоянной вертикали, аналогично выбору первой урезной вертикали, назначают такую же вертикаль у противоположного берега и проводят измерения, зафиксировав расстояние вертикали до уреза берега и от предыдущей постоянной вертикали. Фиксируя время и уровень по рейке, заканчивают работу.

При производстве измерений одновременно ведут оперативный контроль точности измерений. При появлении сомнительных значений измеряемых элементов расхода воды (глубины, скорости, расстояния, уровня) уточняются и исправляются либо подтверждаются значениями проведенных повторных измерений. Средние скорости течения воды на вертикалях при детальном способе определяют по зависимости:

$$\bar{V} = \frac{V_{нов} + 3V_{0,2} + 3V_{0,6} + 2V_{0,8} + V_{дон}}{10} ; \quad (2)$$

где $V_{нов}$ - скорость течения воды, измеренная у поверхности потока; $V_{дон}$ - скорость течения воды, измеренная у дна канала; $V_{0,2}$; $V_{0,6}$; $V_{0,8}$ - скорости течения воды, измеренные на глубинах 0,2Н; 0,6Н; 0,8Н от поверхности уровня воды, соответственно.

Среднюю скорость между скоростными вертикалями вычисляют как полусумму скоростей на смежных вертикалях. Определяя произведения значений площадей водного сечения между скоростными вертикалями на средние скорости течения между ними, получают частичные расходы воды для прибрежных участков и между скоростными вертикалями. Сумма частичных расходов – даст нам общий расход. Если уровень воды за время измерения расхода воды изменялся не более 3 см, то расчетный уровень вычисляют как среднее арифметическое из значений уровней, измеренных в начале и конце измерения. При изменении уровня воды более 3 см на малых каналах и не более 10 см на крупных каналах расчетный уровень воды вычисляется по формуле:

$$H_{расч} = \frac{H_1 q_1 + H_2 q_2 + \dots + H_n q_n}{\sum q_n} ; \quad (3)$$

где H_1 ; H_2 ; ... H_n - значения уровней воды на каждой скоростной вертикали, измеренных или снятых с графика колебаний уровня воды; q_1 ; q_2 ... q_n - расходы воды на скоростных вертикалях, равные произведению средней скорости по вертикали на глубину.

Расход воды вычисляют сразу же после окончания измерений с обязательной проверкой, чтобы в случае обнаружения ошибки можно было провести повторное измерение. Все вышеперечисленные операции повторяются после изменения величины расхода воды в канале. Рекомендуемое число измерений для градуировки гидропоста

проводить не менее восьми раз. При назначении расходов воды в канале, с которыми увязываются результаты градуировки, необходимо учитывать следующие условия:

- верхнее значение расхода должно соответствовать значению, составляющему не менее 85 % от максимального значения расхода воды в канале;
- величина нижнего значения должна соответствовать значению, составляющему не более 15 % от максимального расхода воды в канале;
- все промежуточные измеренные значения расходов должны равномерно распределяться между измеренными значениями;
- величины расходов воды, соответствующие двум ближайшим значениям, должны различаться между собой более, чем на 5 % от средней величины расхода.

После проведения градуировки следует составить акт о проведении градуировки с подписями представителей заинтересованных сторон (см. приложение) , а журнал измерения расхода воды должен быть заверен гидрометрами проводивших градуировку.

Построение графика и таблицы расходной характеристики

Как уже было отмечено, измерение расходов воды весьма трудоемкая операция. Значительно проще, следовательно, и чаще можно вести наблюдения за уровнями воды. Между уровнями и расходами воды существует гидравлическая связь. Обычно при увеличении расхода воды уровень повышается и, наоборот, при уменьшении расхода воды уровень понижается. Поэтому, имея ряд значений расходов воды, измеренных при различных уровнях, можно построить кривую зависимости между расходами и уровнями, которая и является кривой расходов воды $Q=f(H)$. Наличие такой кривой расходов воды $Q=f(H)$ позволит по уровню воды H на данном гидростворе определить расход воды Q , не измеряя его. Для этого необходимо иметь хотя бы минимально-достаточное количество данных фактически измеренных расходов, которые перед построением кривой расходов воды, предварительно анализируются данные из ведомости измеренных расходов. Кривую расходов $Q=f(H)$ строят в прямоугольной системе координат. На миллиметровой бумаге формата 210x300 или 300x420 мм по вертикальной оси откладывают значения уровней воды (H) для каждого расхода, а по горизонтальной - значения измеренных расходов воды (Q). На этом же чертеже строят кривые площадей живого сечения $\varpi = f(H)$ и средних скоростей $\bar{V} = f(H)$. При построении кривой расходов воды масштаб подбирают такой, чтобы хорда, соединяющая концы кривой, была расположена под углом около 45° к оси

абсцисс, а для кривых $\varpi = f(H)$ и $\bar{V} = f(H)$ - под углом 60° . Около нанесенных точек проставляются цифры, соответствующие значениям расходов. Если измерения расходов воды проведены правильно, то нанесенные точки значений расходов образуют достоверное поле. Рассеяние или разброс точек из-за допущенных неточностей измерения или колебания гидравлических элементов потока в этом поле, не должно превышать 2-5 %. Затем нанесенные точки разбивают по группам.

Для получения достоверной градуировочной зависимости следует получить не менее 6-9 значений расходов при уровнях равномерно распределенных по всему диапазону измерения расхода данного гидроства (см. например график на рисунке 7). Значения средних расходов Q_{cp} и уровней H_{cp} , получаются в результате сложения не менее трех измеренных значений уровней и расходов, поделенных на их количество при градуировке гидрометрического поста за один прием.

$$Q_{cp} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (4)$$

$$H_{cp} = \frac{H_1 + H_2 + H_3}{3}, \text{ м} \quad (5)$$

где 3- количество приемов измерения расходов при одном среднем уровне.

В каждой группе точек по среднеарифметическим значениям уровней и расходов определяется центр тяжести. По центрам тяжести под лекало проводят плавную кривую.

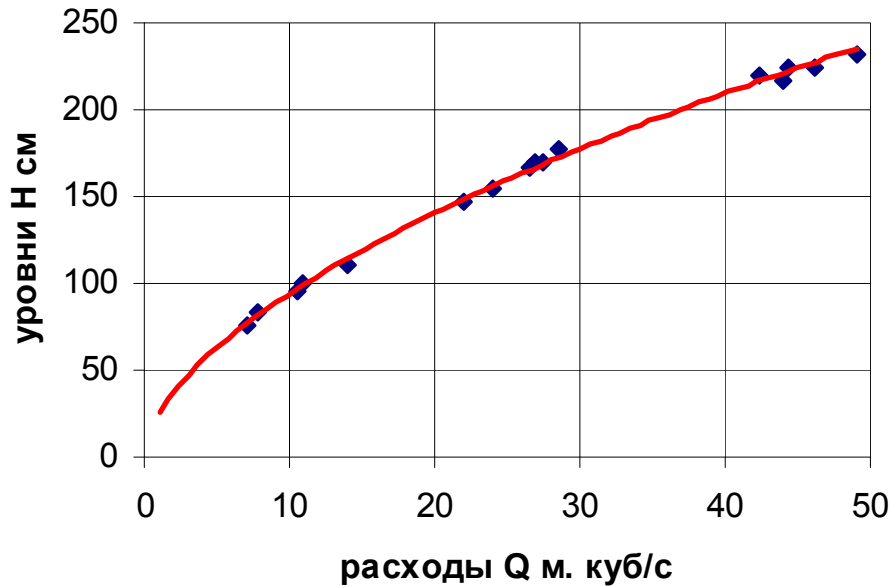


Рис. 7. График зависимости расхода от уровня воды $Q = f(H)$

На этом же листе наносят площади живых сечений $\omega = f(H)$ и средних скоростей $\bar{V} = f(H)$, и по нанесенным точкам проводят кривые. Для проверки достоверности нанесенных кривых, снимают с чертежа соответствующие значения Q , ω и $\bar{V}$ и сопоставляют расход Q , с произведением $\omega \times \bar{V}$. Окончательное закрепление кривых производится после их увязки. Расход Q , снятый с кривой $Q = f(H)$ для какого-нибудь уровня, должен быть равен произведению площади и средней скорости, снятых с кривой при соответствующем уровне снятого расхода. Такие проверки производят при 10-ти значениях уровней (не менее), например, с шагом 10 см (10, 20, 30, 40 см и т.п.). При этом отклонение значений расходов должно быть не более 1 %. При большем проценте расхождения, эти расходы проверяют и исправляют. Для возможности определения расходов воды по построенной кривой вне пределов фактически измеренных расходов допускается экстраполирование, но на незначительном протяжении кривой, где ее направление не вызывает сомнений. На графиках экстраполированные части кривой обозначаются пунктирной линией. Масштаб кривой расходов должен обеспечивать отсчет Q с точностью до трех значащих цифр. Если кривая $Q = f(H)$ сохраняется в течение нескольких лет или ее приходится часто применять, целесообразно пользуясь, кривой $Q = f(H)$, составить таблицу расходов. Среднесуточные значения расходов воды вычисляют по данным четырех замеров (утреннего в 8⁰⁰, полуденного в 13⁰⁰, вечернего в 20⁰⁰ и, наконец ночного в 24⁰⁰ (см. Приложение).

Аналитический способ расчета уравнения расхода $Q=f(H)$

Анализ кривых расходной характеристик СИР типа «ФР» показал, что все они имеют криволинейную форму и описываются уравнением степенной функции $Y = a * X^B$ или $Q=a*N^B$ где (Q;H) – переменные величины тесно связанные между собой, (a;b) - постоянные коэффициенты определяемые уравнениями:

$$lq a = \frac{\sum lqy_i \sum lq^2 x_i - \sum lqx_i \sum lqy_i lqx_i}{n \sum lq^2 x_i - (\sum lqx_i)^2} ; \quad (6)$$

$$b = \frac{n \sum lqy_i lqx_i - \sum lqx_i \sum lqy_i}{n \sum lq^2 x_i - (\sum lqx_i)^2} ; \quad (7)$$

Последовательность вычислений для расчета коэффициентов (a;b), удобно производить в табличной форме:

Таблица. 3.

Расчет коэффициентов (a;b) уравнения степенной функции

Количество измерений n	x_i Н) см	y_i (Qф) м ³ /с	lqx_i	lqy_i	$lq^2 x_i$	$lqy_i * lqx_i$	lqy_i^{-1}	y_i^{-1} (Qф) м ³ /с	$(y_i - y_i^{-1})^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
-									
n									
$\sum n$									

В графу 3 заносим независимые переменные значения средних измеренных расходов $Q_{ср}$, в графу 2 – соответствующие им средние значения измеренных уровней воды $H_{ср}$, пользуясь таблицами логарифмов, заполняем графы 4 и 5. Найденные суммы подставляем в выражения 4 и 5. По таблице антилогарифмов определяем выровненные значения “ Y^1 ” графа (9). Заполняем графу (10) путем вычисления разницы между измеренными и расчетными значениями расходов.

Для наглядности, следуя этой методике на примере измеренных значений расходов воды головного гидрпоста Южно-Ферганского канала (таблица 4), рассчитаем уравнение расхода.

Таблица. 4.

Натурные измерения расходов воды на головном гидропосту ЮФК

Даты измерений	Уровни воды Н см	Расходы воды $Q_{\text{натура}}$ м³/с
05.04.05.	88	16,99
09.04.05.	110	22,10
15.09.05.	134	32,12
10.09.05.	138	35,92
28.08.05.	184	47,86
15.08.05.	194	52,92
17.08.05.	195	50,48
04.04.05.	198	50,96
15.07.05.	218	61,20
27.05.05.	229	68,58
08.08.05.	238	75,44
26.05.05.	240	76,54
07.07.05.	254	82,34
12.05.05.	256	84,36

В результате обработки измеренных значений расходов воды по головному гидропосту ЮФК было рассчитано уравнение расхода с постоянными коэффициентами «а» и «b» :

$$Q = 0.0225 \cdot H^{1,4768}, \quad (8)$$

Где – а = 0,0225; b = 1,4768 постоянные коэффициенты, Н – уровень воды в створе измерений.

По полученному уравнению (8), рассчитывается новая расходная таблица 5.

Таблица. 5.

Таблица зависимости расхода от уровня воды по головному гидропосту ЮФК

Уровни / расходы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,67	0,78	0,88	0,99	1,11	1,23	1,35	1,48	1,61	1,74
20	1,88	2,02	2,16	2,31	2,46	2,61	2,77	2,92	3,09	3,25
30	3,42	3,59	3,76	3,93	4,11	4,29	4,47	4,66	4,84	5,03
40	5,23	5,42	5,62	5,81	6,01	6,22	6,42	6,63	6,84	7,05
50	7,26	7,48	7,70	7,92	8,14	8,36	8,59	8,82	9,05	9,28
60	9,51	9,74	9,98	10,22	10,46	10,70	10,95	11,19	11,44	11,69
70	11,94	12,19	12,45	12,70	12,96	13,22	13,48	13,75	14,01	14,28
80	14,54	14,81	15,08	15,36	15,63	15,91	16,18	16,46	16,74	17,02
90	17,31	17,59	17,88	18,17	18,45	18,74	19,04	19,33	19,63	19,92
100	20,22	20,52	20,82	21,12	21,43	21,73	22,04	22,34	22,65	22,96
110	23,28	23,59	23,90	24,22	24,54	24,86	25,18	25,50	25,82	26,14
120	26,47	26,79	27,12	27,45	27,78	28,11	28,45	28,78	29,11	29,45
130	29,79	30,13	30,47	30,81	31,15	31,50	31,84	32,19	32,54	32,88
140	33,23	33,59	33,94	34,29	34,65	35,00	35,36	35,72	36,08	36,44
150	36,80	37,16	37,53	37,89	38,26	38,62	38,99	39,36	39,73	40,11
160	40,48	40,85	41,23	41,60	41,98	42,36	42,74	43,12	43,50	43,89
170	44,27	44,66	45,04	45,43	45,82	46,21	46,60	46,99	47,38	47,77
180	48,17	48,56	48,96	49,36	49,76	50,16	50,56	50,96	51,36	51,77
190	52,17	52,58	52,99	53,39	53,80	54,21	54,62	55,04	55,45	55,86
200	56,28	56,69	57,11	57,53	57,95	58,37	58,79	59,21	59,63	60,06
210	60,48	60,91	61,34	61,76	62,19	62,62	63,05	63,48	63,92	64,35
220	64,78	65,22	65,66	66,09	66,53	66,97	67,41	67,85	68,29	68,74
230	69,18	69,62	70,07	70,52	70,96	71,41	71,86	72,31	72,76	73,22
240	73,67	74,12	74,58	75,03	75,49	75,95	76,40	76,86	77,32	77,78
250	78,25	78,71	79,17	79,64	80,10	80,57	81,03	81,50	81,97	82,44
260	82,91	83,38	83,86	84,33	84,80	85,28	85,75	86,23	86,71	87,18
270	87,66	88,14	88,62	89,11	89,59	90,07	90,56	91,04	91,53	92,01
280	92,50	92,99	93,48	93,97	94,46	94,95	95,44	95,94	96,43	96,93

5. Средства измерения расхода для коллекторно-дренажной сети

Учет воды на коллекторно-дренажной сети проводят в открытых дренах и коллекторах. Гидрометрические посты оборудуются в устьях концевых участков дрен младшего порядка, впадающих в дренах старшего порядка.

На крупных межхозяйственных коллекторах оборудуются контрольные (транзитные) гидрометрические посты.

Особенностями для учета воды в открытой коллекторно-дренажной сети (КДС) являются:

- малые уклоны и скорости течения воды;
- изменение гидравлического режима в вегетацию в результате зарастания русла сорной и водной растительностью;
- оплывание откосов в результате больших колебаний дренажного модуля в течение вегетации и в межвегетационный период при сбросе вод после промывки засоленных земель.

С учетом вышеприведенных особенностей для учета вод КДС практическая гидрометрия рекомендует следующие СИР:

- гидрометрический пост типа фиксированное русло с бетонным пояском «ФРБП»;
- гидрометрический пост типа фиксированное русло асимметричного сечения «ФРАС»;
- насадки САНИИРИ «НС»;
- спаренные насадки САНИИРИ «СНС».

СИР типа «ФРБП»

Как отмечалось выше, одной из особенностей КДС является оплывание откосов и изменения формы поперечного сечения канала во времени, что не отвечает требованиям гидрометрического поста. В этой связи для создания правильного неизменного во времени поперечного сечения канала, часть земляного русла коллектора в створе проектируемого гидропоста облицовывают бетонным пояском рисунок 7. Ширина бетонного пояса принимается равной глубине канала при максимальном уровне, но не менее 3-5 м. Дно бетонного пояса должно быть приподнято над дном канала на величину $p = 0,05-0,2 \cdot H_{\max}$.

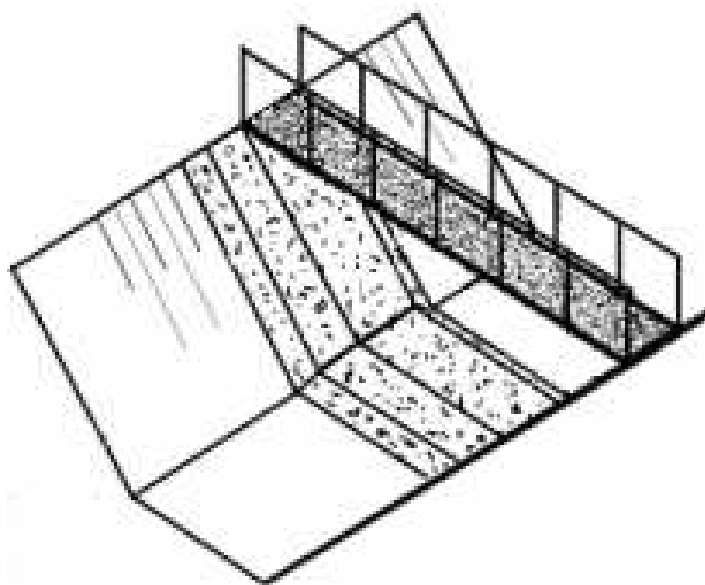


Рис.7. Гидрометрический пост типа «ФРБП»

Методика градуировки и эксплуатации гидрометрического поста типа «ФРБП» подробно изложена в разделе 3;4 настоящего руководства.

СИР типа «ФРАС»

Для открытых коллекторов и дрен, где протекают малые расходы воды (до 50 л/с), рекомендуется обустраивать их гидрометрическими постами типа «ФРАС» (рис.8).

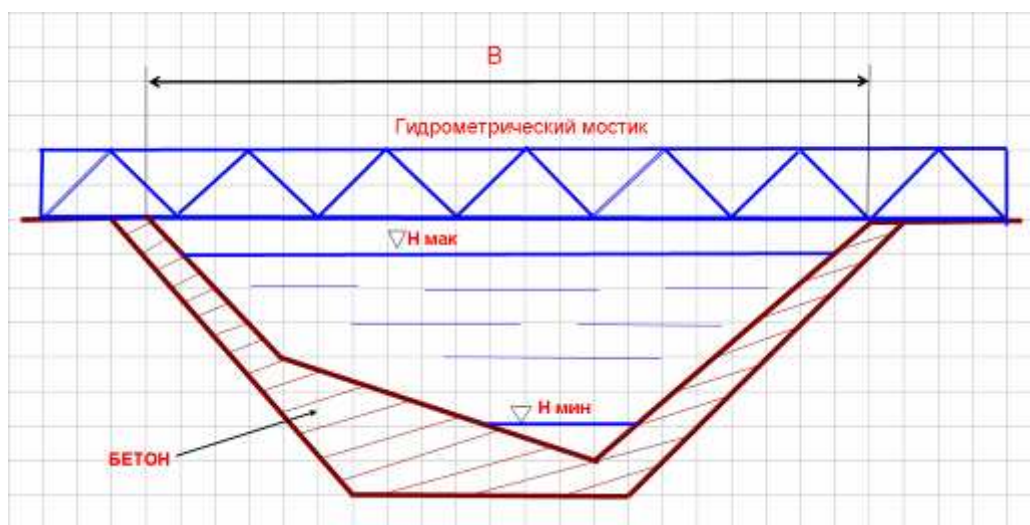


Рис.8. Гидрометрический пост типа «ФРАС»

Длина облицованного участка принимается $L_{\phi} = 5-10$. Высота фиксированного сечения h_{ϕ} принимается на 0,3-0,4 м выше ожидаемого максимального уровня воды. Суженное и асимметричное сечение русла создает необходимую глубину и скорость течения для измерения расхода воды.

Контрольные измерения расхода воды проводятся с гидрометрического мостика. Учет воды, аналогичен известному методу получения однозначной зависимости $Q = f(H)$ путем градуировки «ФРАС» методом «скорость $\times$ площадь» (см. раздел 4, настоящего пособия).

СИР типа «НС»

Для открытой дренажной сети с расходами до 250 л/с рекомендуются «НС» круглого или прямоугольного сечения:

- водомерное устройство типа «НС – 10 x 20» предназначено для открытых дрен с расходами от 10 до 40 л/с;
- водомерное устройство типа «НС – 25 x 50» предназначено для открытых дрен с расходами от 60 до 250 л/с.

Водомерные устройства типа «НС» изготавливаются из деревянных досок или листовой стали. Конструкция «НС» состоит из стенки, в которую по центру на определенной отметке заподлицо встраивается коническая насадка рисунок 9.

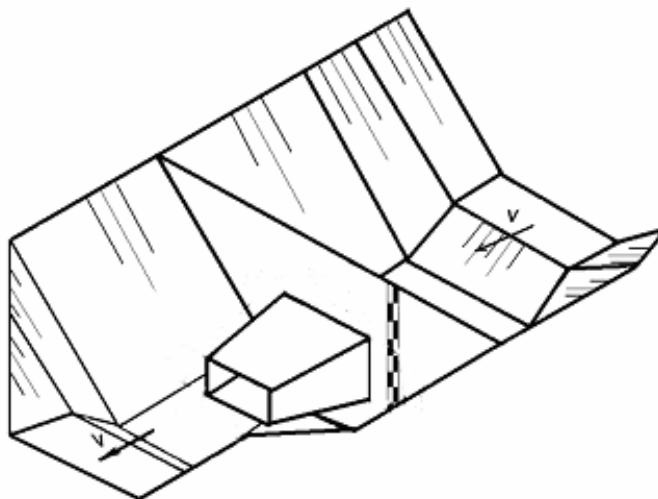


Рис. 9. Водомерная насадка САНИИРИ

При изготовлении «НС» из металла сварку всех ее граней осуществляют впритык с тем, чтобы внутренние швы были чистыми, без затеков.

Выходное сечение выполняется с допуском ± 2 мм, а остальные размеры – с допуском $\pm 5 - 10$ мм.

Ось насадки должна быть перпендикулярна стенке и покрыта в три слоя антикоррозийной краской. Уровнемерные рейки устанавливаются с обеих сторон стенки с нулями на одном уровне. Габариты стенки назначают из условия заделки ее в поперечное сечение канала.

Расход воды определяется по зависимости:

$$Q = 4,1 * a * b * \sqrt{Z}; \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (9)$$

где 4,1 – постоянный коэффициент;

a – высота выходного сечения, м;

b – ширина выходного сечения, м;

$Z = H - h$ (разность уровней) перепад, м.

Для удобства определения расходов воды проходящих через «НС», значения расходов воды в зависимости от « Z » приведены в таблице 6.

Таблица 6.

Таблица значений расходов воды (л/с) для «НС»

Разность уровней Z (см)	НС 10x20 Q (л/с)	НС 25x50 Q (л/с)	Разность уровней Z (см)	НС 10x20 Q (л/с)	НС 25x50 Q (л/с)	Разность уровней Z (см)	НС 10x20 Q (л/с)	НС 25x50 Q (л/с)
1,0	8,2	51,2	10,5	26,5	166,0	20,0	36,7	229,0
1,5	9,9	62,2	11,0	27,0	170,0	20,5	37,2	232,0
2,0	11,6	72,2	11,5	27,7	174,0	21,0	37,6	236,0
2,5	13,0	78,2	12,0	28,5	177,0	21,5	38,0	238,0
3,0	14,2	83,7	12,5	29,9	181,0	22,0	38,5	241,0
3,5	15,3	90,0	13,0	30,0	185,0	22,5	39,0	243,0
4,0	16,5	102,0	13,5	30,5	188,0	23,0	39,4	246,0
4,5	17,5	108,0	14,0	31,0	192,0	23,5	39,8	248,0
5,0	18,5	115,0	14,5	31,4	195,0	24,0	40,2	251,0

5,5	19,3	120,0	15,0	31,8	198,0	24,5	40,6	253,0
6,0	20,0	126,0	15,5	32,3	201,0	25,0	41,0	256,0
6,5	20,7	130,0	16,0	32,8	205,0	25,5	41,4	258,0
7,0	21,5	135,0	16,5	33,3	208,0	26,0	41,8	261,0
7,5	22,2	140,0	17,0	33,7	211,0	26,5	42,2	263,0
8,0	23,0	145,0	17,5	34,3	215,0	27,0	42,6	266,0
8,5	23,7	150,0	18,0	34,9	218,0	27,5	43,0	268,0
9,0	24,5	154,0	18,5	35,4	220,0	28,0	43,3	271,0
9,5	25,2	158,0	19,0	35,8	223,0	28,5	43,6	274,0
10,0	26,0	162,0	19,5	36,3	226,0	29,0	44,0	276,0

Требования по установке и эксплуатации насадок:

- «НС» врезают в откосы канала с упором нижней грани насадки в дно так, чтобы уровень воды в нижнем бьефе даже при минимальном расходе был выше выходной верхней кромки насадки, т.е. последний находился бы в затопленном режиме;
- во всех случаях стенка «НС» должна быть установлена вертикально и совпадать с осью канала;
- конструкцию «НС» со дна и откосов утрамбовывают во избежание донной и боковой фильтрации воды. Грунт откосов и дна подводящего и отводящего участков канала укрепляют местными материалами.

СИР типа «СНС»

Для измерения расходов воды в открытых коллекторах с большими расходами воды оборудуется гидрометрический пост типа «СНС».

Конструкция «СНС» состоит из стенки, в которую на определенной отметке заподлицо встраиваются два или три «НС» круглого или прямоугольного сечения. К стенке сверху устанавливается гидрометрический мостик для снятия показаний с двух уровнемерных реек. Вся конструкция, изготавливается из металла и устанавливается поперек русла в пологом котловане обеспечивающего затопление отверстия насадков с нижнего бьефа при минимальном расходе воды.

Стенка должна иметь габаритные размеры с учетом заделки ее в дно и откосы русла коллектора на глубину не менее 0,5м. Высота стенки должна быть выше максимального уровня воды на 0,3-0,4 м, рисунок 10.

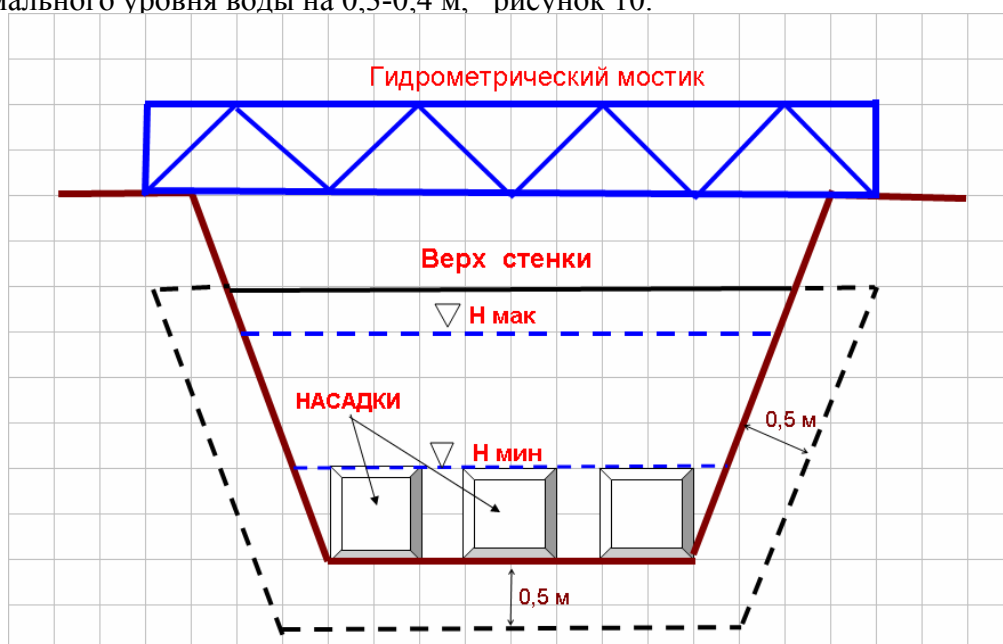


Рис.10. Водомерное устройство типа «СНС»

Расход воды «НС» определяется по приведенной выше зависимости (10) для «НС» умноженной на количество насадок.

$$Q = 4.1 * a * b * \sqrt{Z} * n \quad (10)$$

Где n – количество насадок.

Стандартные водомерные устройства

Стандартными водомерными устройствами считаются водосливы с тонкой стенкой, лотки САНИИРИ, допущенные для измерения расходов воды без предварительной градуировки. Стандартными водомерными устройствами, как правило, оснащаются все головные гидросты каналы второго порядка подающие воду в хозяйства различных форм собственности (см. Приложение).

6. Подготовка СИР к аттестации и поверке

Для того, чтобы СИР было готово к передаче в эксплуатацию ее необходимо аттестовать (если это проводится впервые) или поверять (периодические плановые поверки) т.е. узаконить сам гидрометрический пост и его расходную характеристику. Метрологическая аттестация производится на основании результатов градуировки и определения её погрешности специалистами метрологических центров МЦ, прошедшими подготовку по утверждённой программе, и имеющими соответствующие удостоверения, местных органов Агентства Стандартов. Результаты метрологической аттестации отражаются в протоколе и при ее положительном исходе на СИР, выдается свидетельство (сертификат) оформленный по установленной форме. Ниже приведен необходимый перечень документов на СИР, при подготовке его к аттестации:

- акт градуировки гидросты;
- график расходной характеристики, таблицу расходов;
- технический паспорт на гидрометрический пост;

Требования по проведению поверки средств измерения расхода (СИР)

- При проведении аттестации или поверки речных гидрометрических постов типа «фиксированное русло» измерение расхода выполняется в створе поверяемого СИР;
- При проведении поверки прочих СИР, расположенных на проводящих и сопрягающих гидротехнических сооружениях, измерения следует, выполнять на стационарных либо временных гидрометрических створах, расположенных на расстоянии не менее 10 ширин канала по верху от поверяемых СИР;
- Между участками расположения измерительного створа и поверяемого СИР не должно быть дополнительных поступлений или потерь воды, превышающих $\pm 1\%$ от величины измеряемого расхода;

Определение расхода по зависимости (1) производится на основании измерений следующих параметров:

1. Продольных (нормальных к расположению измерительного створа) составляющих скоростей воды в нескольких точках на каждой вертикали, на основе которых рассчитываются средние значения скорости на каждой вертикали и в отсеках между вертикалями;
2. Параметров сечения канала или сооружения, в том числе: ширины по дну и по

верху, заложения откосов канала, расстояний между соседними вертикалями; глубины воды на вертикалях;

3. Уровня воды относительно условной отметка дна или топографического репера;

4. Измерение расхода воды может производиться детальным или основным способами.

Применение метода «скорость x площадь» с целью градуировки и поверки СИР ограничивается следующими условиями:

- расход воды от 0,2 до 500,0 м³/с;
- скорость потока от 0,2 до 3,5 м/с;
- глубина потока от 0,2 до 6,0 м;
- режим потока - равномерный, без подпоров (каждому значению измеренного расхода соответствует определённое значение уровня воды);
- отклонение направления отдельных струй водного потока относительно оси канала не должно превышать 15°.

Результаты градуировки должны оформляться актом градуировки установленной формы.

Расчет погрешности гидрометрического поста

Для определения погрешности расходной характеристики $Q=f(H)$ надо установить сумму квадратов отклонений измеренных значений расходов воды, от значений рассчитанных по уравнению (8). В качестве примера произведем расчет погрешности СИР, головного гидропоста ЮФК таблица 7.

Таблица .7.

Расчет погрешности головного гидропоста ЮФК

Число измерений	Уровни воды Н см	Расходы воды $Q_{НАТУРА}$ м ³ /с	Расходы воды $Q_{ТАБЛИЧ}$ м ³ /с	$Q_{НАТУРА} - Q_{ТАБЛИЧ}$	Квадрат разницы
1	88	16,99	16,74	0,25	0,06
2	110	22,10	23,28	-1,18	1,39
3	134	32,12	31,15	0,98	0,96
4	138	35,92	32,54	3,38	11,42
5	184	47,86	49,76	-1,93	3,72
6	194	52,92	53,80	-0,88	0,77
7	195	50,48	54,21	-3,8	14,44
8	198	50,96	55,45	-4,49	20,16
9	218	61,20	63,92	-2,72	7,39
10	229	68,58	68,74	-0,16	0,02
11	238	75,44	72,76	2,68	7,18
12	240	76,54	73,67	2,87	8,23
13	254	82,34	80,10	2,24	5,01
14	256	84,36	81,03	3,33	11,08
Σn					91,83

Расчет основной ошибки расчетной расходной зависимости производим по зависимости:

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\Sigma n}{n-1}} = \sqrt{\frac{91,83}{13}} = 2,65\% \quad (11)$$

Расчет основной погрешности гидропоста произведем по зависимости:

$$\sigma_{\text{гп}} = \sqrt{\sigma_{\text{в}}^2 + \sigma_{\text{г}}^2 + \sigma_{\text{сп}}^2 + \sigma_{\text{Q}}^2} = \sqrt{2^2 + 1.5^2 + 1^2 + 2.65^2} = \sqrt{14.27} = 3.77\%; \quad (12)$$

Где погрешность гидрометрического поста складывается из суммы квадратов ошибок:

- Основной погрешности средств измерения скорости водного потока (гидрометрической вертушки) $\sigma_{\text{в}} \leq 1.5$;
- Основной погрешности измерения уровня воды $\sigma_{\text{г}} \leq 1$;
- Основной погрешности построения графика $\sigma_{\text{сп}} \leq 2$;
- Основной погрешности измерения расхода воды σ_{Q} ;

Таким образом, в результате градуировки головного гидропоста ЮФК ее погрешность составила $\sigma_{\text{гп}} = 3.77\%$, что указывает на хорошее качество градуировки и отвечает требованиям стандартов.

После завершения строительства и проведения градуировки, необходимо узаконить, т.е. оформить гидрометрический пост соответствующими документами для подготовки его к аттестации.

ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ И ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ

- Выполнение измерений расхода воды методом «скорость $\times$ площадь» должно производиться исполнителями, имеющими образование не ниже среднего специального, ознакомленными инструкциями по эксплуатации средств измерений, и имеющими практический опыт их применения.
- При оборудовании СИР приборами, входящими в системы дистанционного либо автоматизированного управления и контроля и требующими наличия источников электроэнергии, специалисты, выполняющие измерения, должны проходить специальный курс подготовки по обслуживанию этих приборов.
- Специалисты, производящие обработку результатов измерений, должны быть обучены технологии расчётов и графоаналитических построений и обращению с индивидуальной вычислительной техникой.
- К выполнению измерений расхода воды допускаются только лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности, зарегистрированный в специальном журнале. При выполнении измерений расходов воды методом «скорость $\times$ площадь» исполнителям необходимо руководствоваться «Правилами по технике безопасности при производстве наблюдений и работ по сети Госкомгидромета» (Гидрометеиздат 1983).

7. Корректировка расходной характеристики, повторная градуировка

В процессе многолетней эксплуатации магистральных каналов возникает необходимость повторной градуировки гидрометрических постов. Причинами проведения повторной градуировки могут быть большие расхождения (более 5%) между измеренными расходами воды и показаниями расходных таблиц. Это может быть связано с размывом или заиливанием русла в створе гидропоста, строительством выше или ниже по течению перегораживающего сооружения, насосной станции, автомобильного моста и т.д. Для проведения повторной градуировки гидрометрического поста должны приглашаться специалисты метрологических

центров имеющих разрешения на проведения этих работ. Если при проведении повторной поверки, и нанесения полученных значений расхода на график кривая расположилась параллельно первоначальной кривой (рис 11.б), то вводится поправочный коэффициент. Численные значения расходов воды первоначальной таблицы координат умножаются на поправочный коэффициент. В случае, когда кривая расходов воды будет расположена под некоторым углом к первоначальной кривой (рис.11.в), следует браковать гидропост и переносить его створ в другое место, расходные таблицы аннулировать.

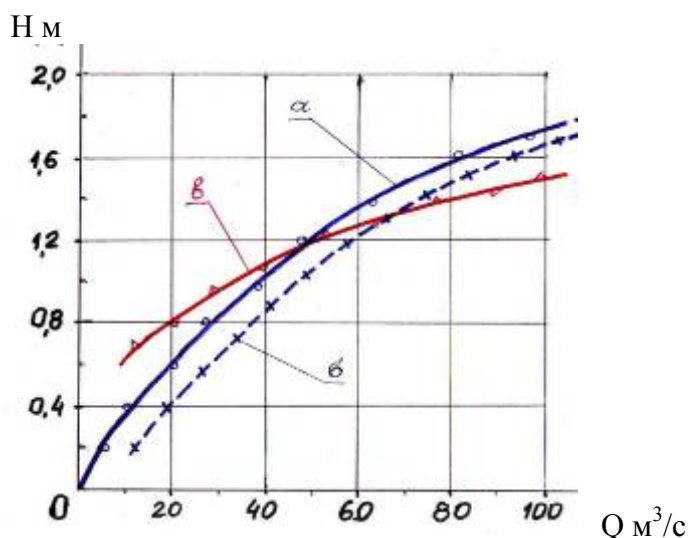


Рис.11. График зависимости расхода от уровня воды

Градуировочная зависимость после корректировки, если это требуется (см. рис.12.б) и утверждения, хранится, вместе с техническим паспортом СИР, в случае необходимости копии оформленного бланка градуировочной зависимости передаются заинтересованным организациям. Рабочим документом при эксплуатации СИР, является расходная таблица, составленная на основании градуировочной зависимости (8). Градацию таблицы рекомендуется производить с интервалом через 0,01 м – для зависимости расхода от уровней воды, и с интервалом через 0,005 м – для зависимости расхода от перепада уровней воды, методом линейной интерполяции. После составления таблицы бланк градуировки должен быть подписан исполнителем и утверждён, после согласования с представителями заинтересованных организаций и предприятий.

8. Построение графика и таблицы расходной характеристики при помощи персонального компьютера.

Выше были рассмотрены графические и аналитические методы построения графика и таблиц

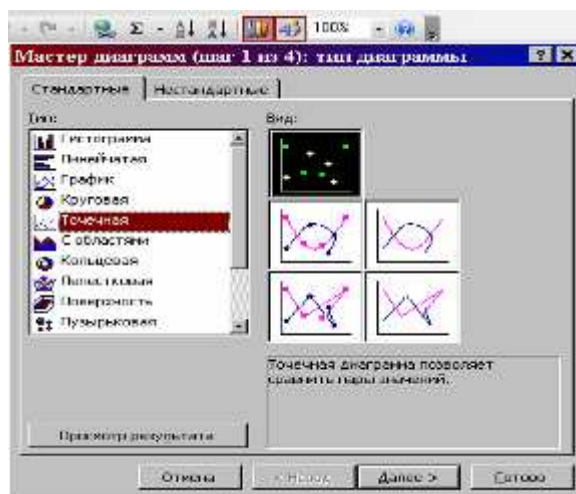
расходной характеристики речного гидрометрического поста типа «фиксированное русло». Точность построения графической характеристики расхода от уровня воды зависит от личного опыта и квалификации гидрометра. Соответственно от этих факторов зависит и точность снятия показаний уровня и расхода с графика при составлении расходной таблицы. Другой более точный аналитический метод позволяет строить график и таблицы расходов путем расчета коэффициентов уравнения расхода (9). Эти два метода достаточно трудоемкие отнимают много времени. Учитывая то, что в последние годы практически во всех водохозяйственных организациях имеются персональные компьютеры (ПК) можно автоматизировать процесс построения графика

и таблицы расходов, применяя стандартные программы, имеющиеся в наборе ПК. Ниже, на одном примере покажем последовательность действий для построения расходной характеристики.

1. Открываем программу Microsoft Excel;
2. Заносим значения уровня $H(\text{см})$ и расхода $Q(\text{м}^3/\text{с})$ в столбцы (смотреть пример):

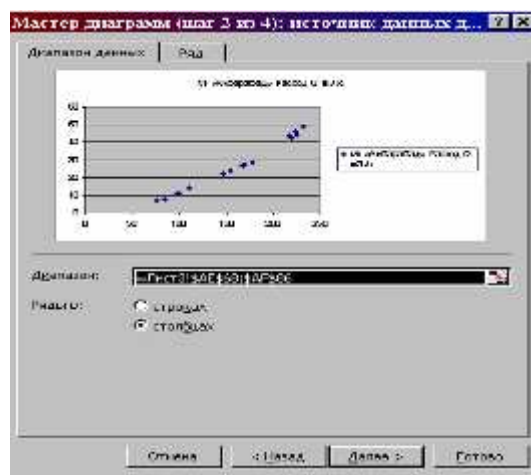
ЮФК г/п «Акбарабад» ПК 840+00	
Уровень Н (см)	Расход Q $\text{м}^3/\text{с}$
76	7,01
84	7,84
96	10,56
100	10,90
110	13,96
147	22,00
155	24,00
167	26,56
169	26,98
170	27,48
178	28,59
219	42,31
217	43,92
225	44,39
224	46,18
232	49,00

3. Выделим оба столбца (Н и Q), далее на панели инструментов обратимся к мастеру построения диаграмм; На экране появится окно «Мастера диаграмм» (шаг 1 из 4): тип диаграммы смотреть ниже:



В окне просмотра результата выбираем тип диаграммы – «точечная» (выделено), нажимаем кнопку «далее» переходим ко второму шагу;

4. На экране появится окно с изображением источника данных (шаг 2 из 4) смотреть ниже:

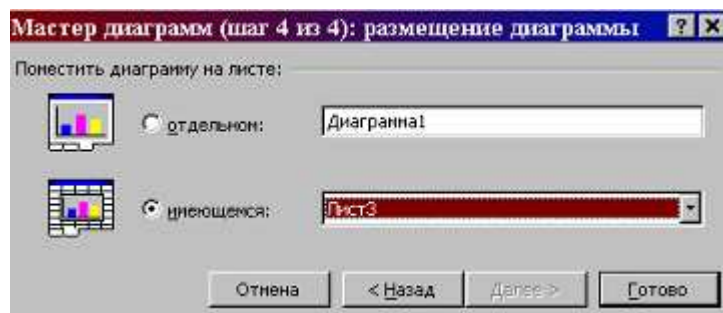


5. Нажимаем кнопку «далее» и переходим к шагу 3, «параметры диаграммы»:

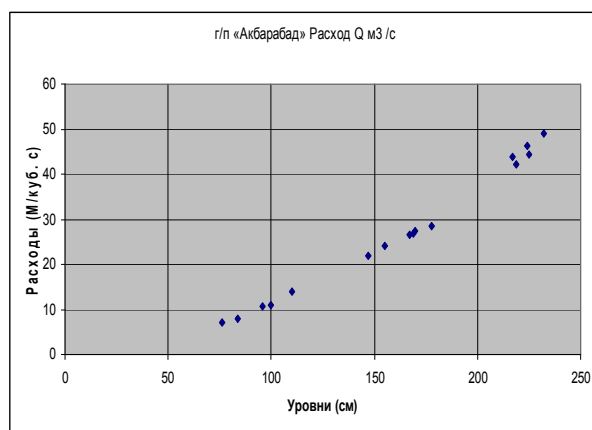


В окне «параметры диаграммы» (шаг 3 из 4) последовательно открывая инструменты (заголовки, оси, линии сетки, легенда и подписи данных) производим оформление диаграммы.

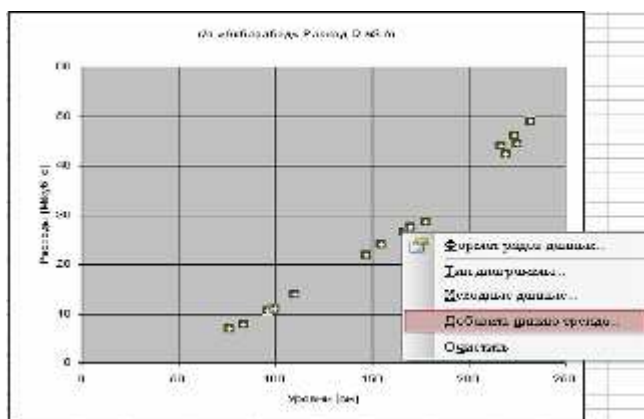
6. Нажимая кнопку «далее» выбираем вариант «размещения диаграммы» (шаг 4 из 4) смотреть ниже:



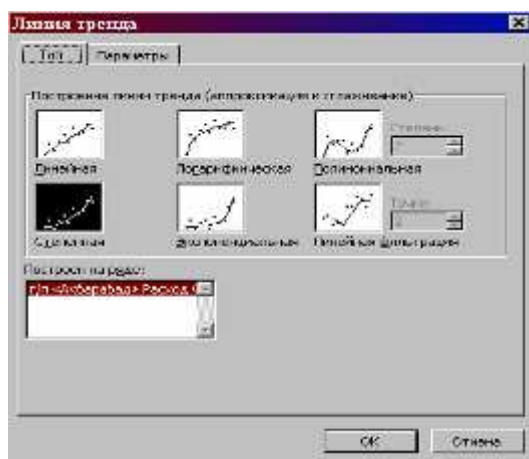
7. Нажимаем кнопку «готово» в результате у нас получается законченная точечная диаграмма смотреть ниже:



8. Чтобы построить график необходимо провести через все точки осредненную линию (т.н. линию тренда). Для этой цели подводим указатель «мыши» к одной из точек диаграммы и нажимаем правую кнопку. В результате на графическом изображении диаграммы появится окно с перечнем операций смотреть ниже:

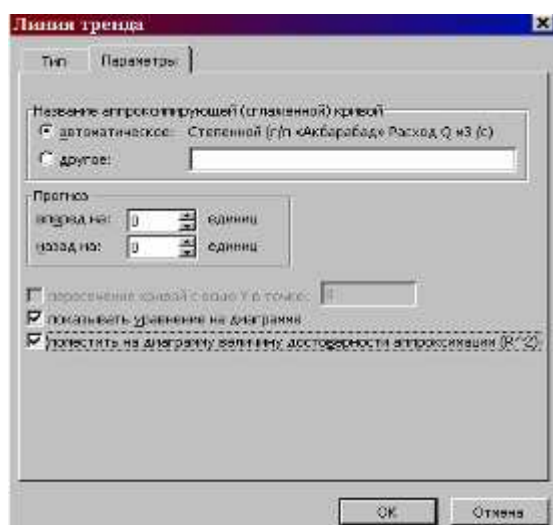


9. Указателем «мыши» нажимаем на строку «добавить линию тренда», в результате в окне появляются несколько типов построения линий тренда смотреть ниже:



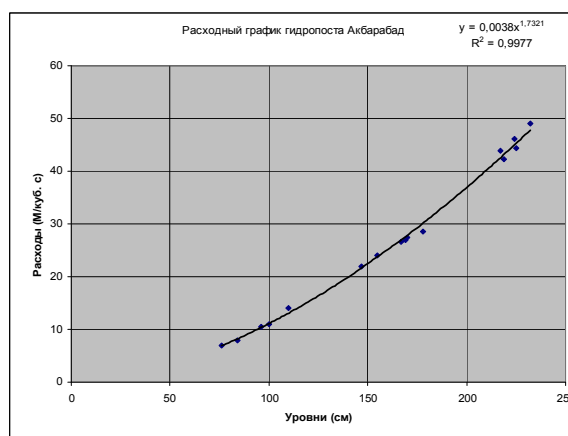
При определении функции и расчета уравнения расходной характеристики $Q = f(H)$, необходимо руководствоваться формой вида аппроксимационной кривой, и по характеру точечной диаграммы выделить искомую функцию. В данном случае характер точечной диаграммы относится к степенной функции, поэтому левой кнопкой «мыши» выделяем «степенную функцию»;

10.Далее, подводим левую кнопку «мыши» к инструменту «параметры» нажимая, мы раскрываем это окно:



11.В окне «параметры» необходимо надо отметить «показ уравнения на диаграмме и величину достоверности аппроксимации». В случаях, когда у вас недостаточно измерений, можно используя инструменты «прогноза» произвести экстраполирование и построить график на весь диапазон расходов.

12.Нажимая кнопку «ОК» в результате получаем расходный график и уравнение расхода:



Уравнение расхода имеет вид:

$$Q = 0,0038 \cdot H^{1,7321}.$$

Где Q- расход воды в (м³/с), H- уровень воды в (см).

13.Для составления стандартной расходной таблицы координат (приложение 3) подставляем значения H в уравнение расхода и в программе Microsoft Excel и рассчитываем расходы воды во всем диапазоне расходов:

$$Q = 0,0038 \cdot \text{СТЕПЕНЬ} (H; 1,7321) \text{ Enter;}$$

ПРИЛОЖЕНИЯ

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

_____ 20 ____ г.

_____ 20 ____ г.

АКТ

о проведении градуировки (поверки) СИР № _____, расположенного
на ПК _____ канала _____
_____ оросительной системы _____

наименование министерства, ведомства

1. Мы, нижеподписавшиеся, _____

произвели в период с _____ по _____ 19 ____ г.
Градуировку (поверку)
СИР _____

наименование конструкции СИР и

метода измерения расхода воды

включающего в себя:

сведения о конструкции и размерах контрольного створа

или сужающего устройства, а также состав оборудования

СИР

Градуировка (поверка) произведена при измерении _____
_____ значений расхода воды детальным способом,
количество

соответствующих _____
диапазон измерения в % от максимального расхода

Для градуировки (поверки) СИР использовался _____
_____ измерительный створ,
стационарный, временный

расположенный на расстоянии _____ от СИР.

Характеристика измерительного створа:

характеристика русла канала в створе, число скоростных

вертикалей и расстояние между ними, состав оборудования

Измерения расхода воды производились _____

количество,

тип, заводской номер и дата свидетельства о градуировке

средств измерения скорости

установленными _____

на штанге, стальном канате, лебёдке

дистанционной гидрометрической установке типа...

в _____ точках, на каждой вертикали.

Число

Условия проведения градуировки (поверки)

Результаты градуировки (поверки)

Измеренные расходы воды, $\text{м}^3/\text{с}$	Измеренные значения контролируемых параметров			
	Наименование контролируемого параметра		Наименование контролируемого параметра	
	отсчёты по шкале средства измерения	приведённое значение контролируемо го параметра	отсчёты по шкале средства измерения	приведённое значение контролируемо го параметра

--	--	--	--	--

результаты измерений расходов воды на _____

бланках прилагаются.

По результатам проведения градуировки (поверки) построена градуировочная зависимость $Q = f()$ методом _____

наименование метода установления зависимости

Относительная погрешность результатов градуировки (поверки) не превышает _____ %.

Заключение _____ устанавливается достоверность

результатов градуировки (поверки) и возможность

проведения учёта расходов воды по градуировочной зависимости

СИР

_____ 20____ г.

Подписи

наименование министерства, ведомства

название организации

наименование структурного подразделения, объекта

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ СИР

1. _____
наименование канала, пикет

2. _____
назначение СИР

3. _____
тип СИР, конструктивные особенности

4. _____
особенности расположения и эксплуатации СИР,

характеристика гидравлического режима

5. СИР установлено в _____ году.

6. Сметная и фактическая стоимость СИР _____

7. Схема расположения СИР _____

8. Техническая характеристика СИР _____

собственно СИР _____

средств переправы _____

успокоительного устройства _____

облицовки измерительного участка _____

реперов и створных знаков _____

средств автоматизации и телемеханизации _____

вспомогательного оборудования и инвентаря _____

9. Гидравлические элементы

Наименование гидравлических элементов	Значения гидравлических элементов		
	канала	водовыпуска из канала	контрольного сечения СИР
Максимальный расход воды, м ³ /с Строительная глубина, м Ширина по дну, м Ширина по верху, м Заложение откосов Площадь живого сечения, м ² Максимальное наполнение, м Максимальная скорость потока, м/с Максимальный гидравлический радиус, м Максимальный перепад уровней, в бьефах, м Уклон дна			

10. Условные отметки характерных точек

Наименование характерных точек	Время измерения, год			
	20 ____ г.	20 ____ г.	20 ____ г.	20 ____ г.
Репер Бровка канала Дно канала Начало шкалы уровнемера				

11.

отметки о проведении капитальных ремонтов СИР

12.

отметки о проведении градуировок и поверок СИР

_____ 20_____ г.

Подписи

ТАБЛИЦА КООРДИНАТ

Зависимость расхода воды от _____
 _____ $Q = f()$ на СИР № _____
 типа _____, расположенного
 на ПК _____ канала _____ системы

Десятые доли метра	Расход воды, м ³ /с									
	Сотые доли метра									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0										
0,10										
0,20										
0,30										
0,40										
0,50										
0,60										
0,70										
0,80										

Составил _____

Проверил _____

Замечания о проведении поправок и завершении срока действия

таблицы

Согласованно _____

СТАНДАРТНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

Водослив Томсона (ВТ)

Водослив «ВТ» относится к водосливам треугольной формы (угол 90^0), он изготавливается из листовой стали толщиной 3-4 мм, уголков жесткости. Водослив «ВТ-50» предназначен для измерения расхода до 50 л/с.

Водослив Чиполетти (ВЧ)

Водослив «ВЧ» относится к трапециевидным водосливам с тонкой стенкой и боковыми откосами 1:4. Водосливы «ВЧ» изготавливаются из листовой стали толщиной 3-4 мм и уголков жесткости. Гребень (порог) водослива «ВЧ-50» ($b = 50$ см) выполняется с допуском $\pm 2 - 3$ мм, остальные размеры – с допуском $\pm 5 - 10$ мм. Гребень водослива «ВЧ-75» ($b = 75$ см) выполняется с допуском ± 5 мм, остальные размеры с допуском ± 10 мм. Водослив «ВЧ-50» предназначен для измерения расхода от 5 до 80 л/с; «ВЧ-75» для измерения расхода от 15 до 230 л/с рис. 1;2.

Кромка порога водослизов ВТ, ВЧ должна быть острой с фаской 45^0 , обращенной навстречу потока.



Рис. 1. Водослив Чиполетти (вид с верхнего бьефа):
1- водослив ВЧ-50; 2-ребро жесткости;
3-успокоительная ниша с уровнемерной рейкой.



Рис.2. Водослив Чиполетти (вид с нижнего бьефа):
1- подводящий участок; 2-отводящий участок; 3-водослив; 4-крепление бермы.

Требования для установки водосливов ВТ, ВЧ

- участок канала для установки водослива должен быть прямолинейным с симметричным поперечным сечением длиной не менее **(6-10)*В**;
- водослив следует устанавливать перпендикулярно в предварительно подготовленном русле на середине выбранного участка;
- гребень (порог) водослива должен быть строго горизонтальным и ось водослива должна совпадать с осью канала;
- отметка нуля уровневой рейки должна совпадать с отметкой гребня (порога) водослива;
- высота гребня водослива **Р** должна быть больше глубины воды **h_{max}** в канале за водосливом.

Измерение расходов воды водосливами

Для удобства определения расходов воды по уровню рейки значения расходов воды для вышеперечисленных типов водосливов сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Таблица значений расходов воды для водосливов ВТ и ВЧ

Уровень по рейке Н (см)	ВЧ-50 Расход Q (л/с)	ВЧ-75 Расход Q (л/с)	ВТ-50 Расход Q (л/с)	Уровень по рейке Н (см)	ВЧ-50 Расход Q (л/с)	ВЧ-75 Расход Q (л/с)	ВТ-50 Расход Q (л/с)
3,0	5,0	-	-	16,5	64,0	94,0	15,0
3,5	6,0	-	-	17,0	61,0	98,0	17,0
4,0	7,0	-	-	17,5	70,0	103,0	18,0
4,5	9,0	-	-	18,0	73,0	108,0	19,0
5,0	10,0	16,0	0,8	18,5	76,0	114,0	20,0
5,5	12,0	18,0	0,9	19,0	79,0	120,0	22,0
6,0	14,0	21,0	1,3	19,5	82,0	124,0	23,0
6,5	16,0	23,0	1,5	20,0		128,0	25,0
7,0	18,0	26,0	1,8	20,5		132,0	26,0

Уровень по рейке Н (см)	ВЧ-50 Расход Q (л/с)	ВЧ-75 Расход Q (л/с)	ВТ-50 Расход Q (л/с)	Уровень по рейке Н (см)	ВЧ-50 Расход Q (л/с)	ВЧ-75 Расход Q (л/с)	ВТ-50 Расход Q (л/с)
7,5	20,0	30,0	2,1	21,0		136,0	28,0
8,0	22,0	33,0	2,5	21,5		140,0	30,0
8,5	24,0	36,0	2,9	22,0		145,0	32,0
9,0	26,0	39,0	3,3	22,5		150,0	33,0
9,5	28,0	42,0	3,9	23,0		154,0	36,0
10,0	30,0	46,0	4,5	23,5		160,0	38,0
10,5	32,0	49,0	5,0	24,0		166,0	40,0
11,0	35,0	52,0	5,6	24,5		170,0	42,0
11,5	37,0	55,0	6,2	25,0		175,0	44,0
12,0	40,0	59,0	7,0	25,5		180,0	
12,5	42,0	63,0	7,7	26,0		186,0	
13,0	44,0	66,0	8,5	26,5		191,0	
13,5	47,0	70,0	9,3	27,0		197,0	
14,0	50,0	74,0	10,0	27,5		202,0	
14,5	52,0	78,0	11,0	28,0		208,0	
15,0	55,0	82,0	12,0	28,5		214,0	
15,5	58,0	86,0	13,0	29,0		220,0	
16,0	61,0	90,0	14,0	29,5		225,0	

Эксплуатация водосливов (ВТ, ВЧ)

Для достоверного учета воды необходимо соблюдать следующие правила:

- периодически очищать подводящий участок канала (порог **Р** водослива должен быть выше дна канала в верхнем бьефе) в случае заиливания; не допускать затопление гребня водослива со стороны нижнего бьефа;
- производить не реже 1 раза в год ремонт водомерного устройства путем исправление механических дефектов водослива, окраску, установку реек и т.д.

Водомерный лоток САНИИРИ (ВЛС)

Водомерный лоток САНИИРИ «ВЛС» представляет собой короткий лоток с боковыми сходящимися в сторону нижнего бьефа вертикальными стенками и горизонтальным дном. Сопряжение «ВЛС» с каналом в верхнем и нижнем бьефах осуществляется открылками. В этом случае в водобойной части устраивается колодец. Превышение порога «Р» над дном канала необязательно. Уровнемерная рейка прикрепляется к передней открылке лотка, ноль рейки должен совпадать с отметкой дна лотка (рис. 3;4).



Рис. 3. Водомерный лоток САНИИРИ, подводящая часть
1 – входные открылки, 2- гидротехническая рейка

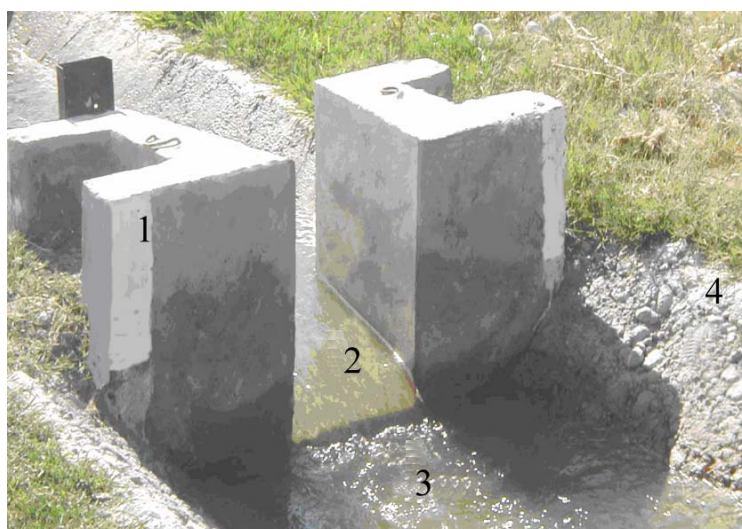


Рис. 4. Водомерный лоток САНИИРИ, отводящая часть
1 – выходные открылки, 2 – дно лотка, 3 – водобойный колодец,
4 – крепление откосов отводящей части канала

Пропускная способность и геометрические размеры «ВЛС» приведены в таблице 2.

Таблица 2

Геометрические размеры и пропускная способность «ВЛС»

Размеры лотка	Ширина выходной части лотка b_d (м)							
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
Ширина входной части лотка $B_d = 1,76 b_d$, м	0,34	0,51	0,68	0,85	1,02	1,19	1,36	1,76
Длина лотка $l = 2b_d$, м	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0
Высота вертикальных стенок лотка $H_l = (1,5-2)b_d$, м	0,4	0,65	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5
Высота порога $P \geq 0,5$ $H_{max} (H_{max} \leq 0,8H_l)$, м	0,16	0,26	0,28	0,32	0,40	0,40	0,40	0,50

Расход воды Q , м ³ /с	0,051	0,157	0,286	0,555	0,916	1,064	1,217	2,14
Глубина воды, H_{max} , м	0,25	0,40	0,50	0,65	0,80	0,80	0,80	1,0

Для удобства расчетов значения расходов воды «ВЛС» в зависимости от глубины воды приведены в таблице 3.

Таблица 3

Таблица значений расходов воды (л/с) для «ВЛС»

Глубина воды, в см	Выходная ширина лотка, b_l (м)						
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	0,34	0,51	0,68				
2	1,00	1,49	1,99				
3	1,87	2,80	3,73				
4	2,91	4,37	5,83				
5	4,12	6,18	8,24	10,30	12,36	14,42	16,48
6	5,46	8,20	10,93	13,66	16,39	19,13	21,86
7	6,94	10,41	13,88	17,35	20,82	24,29	27,76
8	8,54	12,80	17,07	21,34	25,61	29,87	34,14
9	10,25	15,37	20,49	25,61	30,74	35,86	40,98
10	12,06	18,09	24,13	30,16	36,19	42,22	48,25
11	13,98	20,97	27,97	34,96	41,95	48,94	55,93
12	16,00	24,00	32,00	40,01	48,01	56,01	64,01
13	18,12	27,17	36,23	45,29	54,35	63,41	72,46
14	20,32	30,48	40,64	50,80	60,96	71,12	81,28
15	22,61	33,92	45,23	56,54	67,84	79,15	90,46
16	24,99	37,49	49,99	62,48	74,98	87,48	99,97
17	27,46	41,18	54,91	68,64	82,37	96,10	109,82
18	30,00	45,00	60,00	75,00	90,00	105,00	120,00
19	32,62	48,93	65,24	81,56	97,87	114,18	130,49
20	35,32	52,98	70,64	88,30	105,96	123,63	141,29
21	38,10	57,14	76,19	95,24	114,29	133,34	152,39
22	40,94	61,42	81,89	102,36	122,83	143,31	163,78
23	43,87	65,80	87,73	109,66	131,60	153,53	175,46
24	46,86	70,28	93,71	117,14	140,57	164,00	187,43
25	49,92	74,88	99,83	124,79	149,75	174,71	199,67
26		79,57	106,09	132,61	159,14	185,66	212,18
27		84,36	112,48	140,60	168,72	196,85	224,97
28		89,25	119,01	148,76	178,51	208,26	238,01
29		94,24	125,66	157,07	188,49	219,90	251,32
30		99,33	132,44	165,55	198,66	231,77	264,88
31		104,51	139,34	174,18	209,01	243,85	278,69
32		109,78	146,37	182,96	219,56	256,15	292,74
33		115,14	153,52	191,90	230,28	268,66	307,04
34		120,59	160,79	200,99	241,19	281,39	321,59
35		126,14	168,18	210,23	252,27	294,32	336,36
36		131,77	175,69	219,61	263,53	307,45	351,38
37		137,48	183,31	229,14	274,97	320,79	366,62
38		143,28	191,05	238,81	286,57	334,33	382,09
39		149,17	198,90	248,62	298,34	348,07	397,79
40		155,14	206,86	258,57	310,28	362,00	413,71
41			214,93	268,66	322,39	376,12	429,85
42			223,11	278,88	334,66	390,43	446,21
43			231,39	289,24	347,09	404,94	462,79
44			239,79	299,73	359,68	419,63	479,57
45			248,29	310,36	372,43	434,50	496,57

Глубина воды, в см	Выходная ширина лотка, в _л (м)						
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
46			256,89	321,11	385,34	449,56	513,78
47			265,60	332,00	398,40	464,80	531,20
48			274,41	343,01	411,61	480,22	548,82
49			283,32	354,15	424,98	495,81	566,64
50			292,33	365,42	438,50	511,58	584,67
51				376,81	452,17	527,53	602,89
52				388,32	465,98	543,65	621,31
53				399,96	479,95	559,94	639,93
54				411,71	494,06	576,40	658,74
55				423,59	508,31	593,03	677,74
56				435,59	522,70	609,82	696,94
57				447,70	537,24	626,78	716,32
58				459,94	551,92	643,91	735,90
59				472,29	566,74	661,20	755,66
60				484,75	581,70	678,65	775,60
61				497,33	596,80	696,26	795,73
62				510,02	612,03	714,03	816,04
63				522,83	627,40	731,96	836,53
64				535,75	642,90	750,05	857,20
65				548,78	658,54	768,29	878,05
66					674,31	786,69	899,08
67					690,21	805,24	920,28
68					706,24	823,95	941,66
69					722,41	842,81	963,21
70					738,70	861,81	984,93
71					755,12	880,97	1006,83
72					771,67	900,28	1028,89
73					788,34	919,73	1051,12
74					805,15	939,34	1073,53
75					822,07	959,08	1096,10
76					839,12	978,98	1118,83
77					856,30	999,02	1141,73
78					873,60	1019,20	1164,80
79					891,02	1039,52	1188,03
80					908,56	1059,99	1211,42

Требования по изготовлению, установке и эксплуатации «ВЛС»

- Конструкция «ВЛС» и способ его установки не должны препятствовать периодическому осмотру.
- В каналах с шириной по верху $B < 60$ см, рекомендуется устанавливать конструкцию «ВЛС» заводского изготовления см. рисунок 5;



Рис. 5. Установка «ВЛС» заводского изготовления в створе гидрпоста

- Допускается отливать «ВЛС» на местах, используя разборную металлическую опалубку рисунок 6.



Рис.6. Установка металлической опалубки для отливки лотка САНИИРИ

- Смещение центра горловины «ВЛС» относительно осевой плоскости подводящего канала не должно превышать значения 5 мм, при ширине подводящего канала $B_k < 50$ см; 10мм при $B_k < 150$ см; 15 мм при $B_k > 150$ см.
- Отклонение боковых стенок горловины «ВЛС» от вертикали не должно превышать 2 мм на 1 м высоты стенки.
- Порог горловины должен быть строго горизонтальным с допустимым отклонением не более 1 мм на 1 м длины «ВЛС».

Расчет среднесуточного расхода воды

Среднесуточные значения расходов воды $Q_{\text{ср}}=f(H)$, по контрольному гидропосту, вычисляют по данным четырех замеров (утреннего в 8^{00} , полуденного в 13^{00} , вечернего в 20^{00} и, наконец, ночного в 24^{00}).

$$Q_{\text{ср}} = \frac{Q_8 + Q_{13} + Q_{20} + Q_{24}}{4}; \quad (1)$$

Где - Q_8 значение расхода воды в 8^{00} утра, Q_{13} значение расхода воды в полдень 13^{00} , Q_{20} значение расхода воды вечером в 20^{00} и, наконец, Q_{24} значение расхода воды в полночь 24^{00} .

Недопустимо определение среднесуточного расхода воды путем подсчета среднесуточного значения уровня воды ввиду нелинейной связи расхода и уровня воды!

$$H_{\text{ср}} = \frac{H_8 + H_{13} + H_{20} + H_{24}}{3}; \quad (2)$$

Анализ, средних значений расходов воды $Q_{\text{ср}}$, подсчитанных по среднесуточному значению уровня воды $H_{\text{ср}}$, показал расхождение до 20 %, по отношению вышеприведенной зависимости (1), ввиду нелинейной связи двух параметров Q и H .

Инструкция по эксплуатации ГТР

Технические характеристики ГТР:

Диапазон измеряемых скоростей - от 0,2 м/сек до 2,0 м/сек.

Погрешность измерения - не более $\pm 2\%$.

Температура контролируемой воды - от 0 °С до 30 °С

Температура окружающей среды (воздуха) - от - 5 °С до 50 °С.

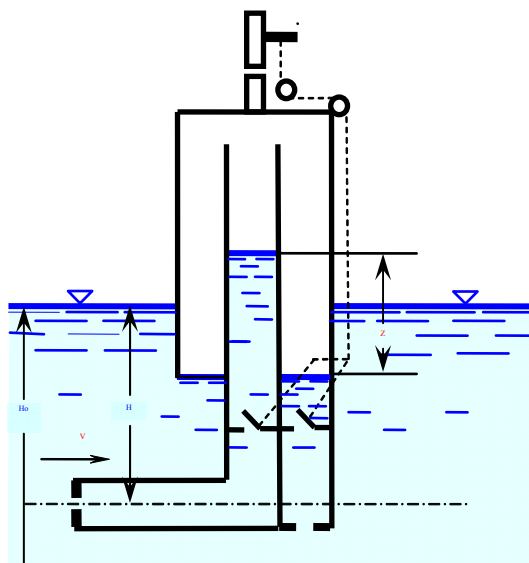
Габаритные размеры – 0,38 x 0,30 x 0,045 м.

Масса нетто – 1,7 кг.

Срок службы – не менее 6 лет.

Конструкция ГТР представляет собой усовершенствованную дифференциальную трубку Пито и состоит из двух измерительных трубок - статической и динамической - и одной вспомогательной трубки рисунок 5. Измерительные трубки в верхних частях снабжены общей шкалой с миллиметровыми делениями для снятия отсчетов уровней воды в них.

ГТР крепится на стандартную гидрометрическую штангу диаметром 28 мм при помощи зажимных винтов.



Принципиальная схема прибора ГТР.

Обе измерительные трубки снабжены сдвоенным клапаном с общей ручкой манипулирования, служащего для фиксации рабочих положений уровней воды в измерительных трубках. Сдвоенный клапан в исходном состоянии открыт, а в рабочем состоянии – закрывается. Определение скорости течения воды в контролируемой точке потока производится по известной зависимости:

$$V = \sqrt{2gZ} = 4.43\sqrt{Z} \text{ м/сек,} \quad (1)$$

где $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ - ускорение силы тяжести в данной местности,

$Z = H_1 - H_2$ – разность уровней воды в динамической и статической трубках.

Порядок работы:

1. Для измерения скорости воды в выбранной точке потока ГТР устанавливают на соответствующую отметку стандартной гидрометрической штанги и при помощи крепежных болтов;
2. Клапан ГТР устанавливают в открытое положение и при помощи гидрометрической штанги прибор опускают в нужное место, направляя приемное отверстие трубки против потока воды;
3. При таком положении ГТР держат, не менее 15 сек, затем закрывают клапан натяжением троса;
4. После этого ГТР вытаскивают из потока воды и в вертикальном положении снимают отсчеты по шкале с обеих измерительных трубок;
5. Определяют по шкале ГТР разницу уровней Z (мм) по зависимости (1), или по готовой расчетной таблице находят численное значение скорости V воды в м/сек.
6. После этого клапан ГТР устанавливают в открытое состояние, и производят измерение скорости потока на следующей точке.

Рецензия

«Руководству по водоучету для гидрометров магистральных каналов»

В последние годы эксплуатационные службы магистральных каналов ощущают острую нехватку в методической литературе по измерению расходов воды и проведению градуировки гидрометрических постов. Настоящее «Руководство...» содержит материалы по измерению расходов воды методом «скорость $\times$ площадь», обработке материалов градуировки на персональном компьютере, что значительно сокращает время на построение графика и расходных таблиц.

По Руководству имеются следующие замечания:

1. Необходимо уточнить формулировку по выбору участка для гидропоста.
2. Подраздел описания «Режим движения потока» считаю лишним в «Руководстве...» (см. Раздел 2);
3. Уточнить наименование раздела 3, т.к. речные посты относятся к гидрометрическим постам типа «фиксированное русло»;
4. Слишком жесткие требования к средствам измерения расхода и вспомогательным устройствам (например, см. позицию «гидрометрические посты, используемые для учетных операций в условиях платного водопользования должны быть оборудованы счетчиками стока или самописцами»);
5. Инструкция по эксплуатации «Измерителя скорости потока» лучше поместить в приложение;
6. Необходима редакция вступительного абзаца раздела 5, можно объединить этот раздел с разделом 6;
7. Считаю что, при аппроксимации расходной характеристики $Q = f(H)$, необходимо выбрать подходящую функцию из множества имеющих функции (полиномиальных, степенных, логарифмических, и др.).

Зав. отделом АСУ
НПО САНИИРИ к.т.н.

И. Бегимов