

Т Р У Д Ы
СРЕДНЕ-АЗИАТСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА ИРРИГАЦИИ

Выпуск 65

В. Н. ЯРЦЕВ

**УЧЕТ ВОДЫ
НА НЕУСТОЙЧИВЫХ УЧАСТКАХ
ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛОВ**

САНИИРИ
Т а ш к е н т
1940

Т Р У Д Ы
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА ИРРИГАЦИИ

Выпуск 65

В. Н. ЯРЦЕВ

УЧЕТ ВОДЫ
НА НЕУСТОЙЧИВЫХ УЧАСТКАХ
ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛОВ

САНИИРИ

Т а ш к е н т

1940

СОДЕРЖАНИЕ

I. Применяемые методы учета воды на неустойчивых каналах	4
II. Предлагаемый метод учета воды на неустойчивых участках	17
III. Проверка предлагаемого метода	24
IV. Указания о практическом применении метода	28

Мероприятия, направленные к улучшению гидрометрического дела на ирригационных системах, за последнее время идут главным образом по линии лучшей организации самой гидрометрической службы и по линии замены почти исключительно применявшегося до этого руслового метода более оперативным и точным методом. Последнее достигается разработкой различных конструкций водомерных сооружений (водосливы, водомерные лотки, затопленные насадки и пр.), сооружений, соединяющих в себе одновременно регулятор и водомер (водовыпуски — водомеры) конструированием регистрирующих приборов (счетчики стока, дальнепередатчики) и разработкой методов тарировки гидротехнических сооружений.

Если рассмотреть все, что сделано в этом направлении, то, кроме регистрирующих приборов, которые занимают особое место в учете воды, все остальные конструкции предназначены исключительно для водотоков с малыми расходами воды, т. е. для мелкой и мельчайшей оросительной сети. Тарировка гидротехнических сооружений по своим методам также более применима для мелких сооружений, ибо большие сооружения обычно более сложной конструкции (многопролетность) редко могут быть протарированы достаточно простыми, практически применимыми для учета воды способами.

Таким образом, учет воды на крупных каналах (магистраль, распределители) предоставлен пока всецело, хотя и привычному, но достаточно трудоемкому русловому способу, требующему периодических инструментальных замеров расходов воды, способу, автоматически перешедшему в эксплуатацию от опорной гидрометрии.

Сущность руслового метода достаточно хорошо известна и не требует каких либо дополнительных разъяснений. Отметим лишь, что при правильном его применении точность учета воды вполне достаточна для практических нужд. Другой вопрос, насколько действительно правильно применяется этот метод в эксплуатационной гидрометрии.

Объем и порядок работ при русловом способе устанавливаются необходимостью получения более или менее строгой зависимости между расходом воды на участке измерения и каким либо элемен-

том контрольного сечения, достаточно просто определяемым на месте. Обычно подобным элементом служит, как известно, горизонт воды.

Вполне понятно, что закономерность в изменении учитываемого элемента от изменения расхода воды требует определенных гидравлических условий на участке учета. Главным и неизменным условием является устойчивость русла и отсутствие переменных подпоров, влияющих на режим водного потока.

Весь русловой метод именно и основан на этих двух главных положениях. Существующие инструкции по выбору пунктов учета воды и проведению гидрометрических работ обычно также сводятся к правилам, обеспечивающим указанные положения. Применение руслового метода во всех остальных случаях не обосновано и объясняется отсутствием другого, более рационального и достаточно простого метода и верой в доброкачественность различного рода поправок, сопутствующих русловому методу на неустойчивых участках и широко применяемых в практике эксплуатационной гидрометрии.

Условность поправок и ряд делаемых при введении их допущений в конечном результате приводят к тому, что точность учета воды на неустойчивых участках получается значительно ниже, чем это требуется для правильного водораспределения.

Разработка более точного метода учета для указанных условий в общем комплексе проводимых мероприятий по рационализации эксплуатационной гидрометрии очевидно является необходимой и своевременной.

В настоящей брошюре мы приводим результаты специальных исследований этого вопроса, проведенных в лаборатории ирригационных сооружений Санири, а именно — характеристику существующих методов учета и предлагаемого в замену таковых нового способа, ликвидирующего необходимость применения при неустойчивых руслах всякого рода несовершенных поправок.

I. Применяемые методы учета воды на неустойчивых каналах

С чисто гидрометрической точки зрения признаком неустойчивого русла в пункте учета (поста) является отсутствие закономерной кривой зависимости между расходами воды и горизонтами в контрольном створе, или иными словами, отсутствие постоянства в высотном положении уровня воды при данной величине расхода.

Таким образом, по формальному признаку неустойчивость может обуславливаться следующими факторами:

а) деформацией русла — заиление, размыв, как на самом участке пункта учета, так и впереди его, если деформация русла может влиять на гидравлические условия протекания потока на участке (особенно при заилении);

б) изменением коэффициента шероховатости русла (главным образом из-за периодического зарастания);

в) образованием ниже поста переменных подпоров (наличие регулируемых перегораживающих сооружений, устройство временных подпруд и пр.).

Все эти условия так часто встречаются на каналах ирригационных систем, что, строго говоря, количество вполне устойчивых участков, особенно таких, которые по своему расположению совпадали бы с необходимым местом для учета, весьма ограничено.

На практике в эксплуатационной гидрометрии понятие устойчивости несколько расширяют за счет уменьшения точности учета воды, а именно — к устойчивым участкам относят и такие, которые в течение хотя бы годового периода сохраняют среднюю устойчивость, т. е. когда в русле если и наблюдаются деформации, то происходят они в ту и другую сторону около некоторого среднего дна, и когда сами по себе деформации незначительны и вызывают отклонения отдельных точек от кривой в среднем не более чем $\pm 5\%$.

За весьма редким исключением единственным и повсеместно распространенным на ирригационных системах Средней Азии способом учета воды на неустойчивых участках является обычный русловой способ с применением так называемых поправок Стаута.

Способ Стаута исходит из положения, что при деформации русла при одном и том же расходе воды устанавливается один и тот же уровень воды над некоторой горизонтальной плоскостью, изменяющей свое высотное положение вместе с изменением дна. Другими словами — расход воды при деформирующемся русле должен определяться не по отметке уровня воды, с которым он находится при устойчивом русле в определенной постоянной зависимости, а от некоторого исправленного уровня, получаемого путем введения поправки — отрицательной при заилении (повышение дна), положительной — при размыве (понижение дна).

Указанные поправки по Стауту вычисляются не фактическим определением на месте повышения или понижения некоторого среднего дна над средним его положением, а автоматически по величине отклонения данной точки расхода от средней кривой зависимости между Q и отметкой горизонта (или что то же самое, уровнем воды, приведенным к „нулю графика“, см. рис. 1).

Далее метод Стаута предполагает, что изменение дна в промежутках между контрольными определениями расходов происходит постепенно и поправки на каждый день могут определяться интерполированием.

Анализируя этот метод, приходим к выводу, что основан он на весьма серьезном допущении и что применение его ограничивается определенными условиями.

Действительно, поскольку исходной величиной для определения поправок является некоторая постоянная кривая, очевидно,

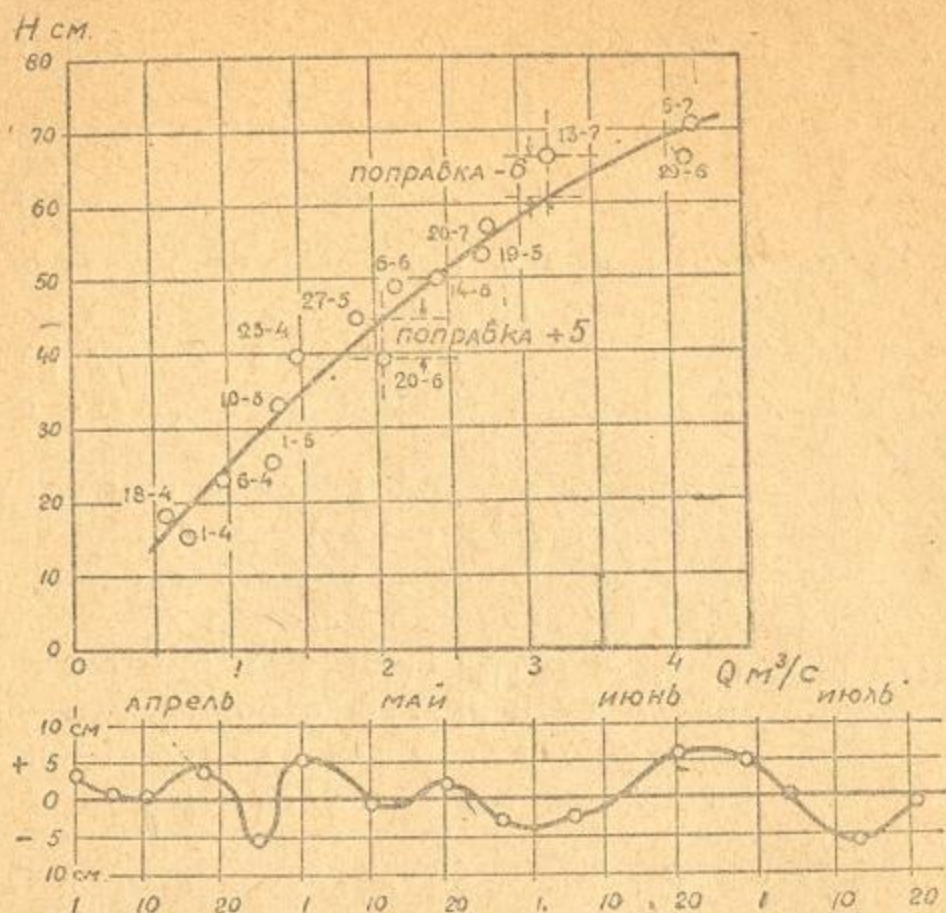


Рис. 1.

предполагается, что деформация русла совершенно не влияет на гидравлику потока, т. е. несмотря на размыв или заиление, на участке учета и ниже его сохраняется закономерность в изменении, например, уклона, гидравлического радиуса и пр. Последнее было бы возможно в тех случаях, когда дно канала заиляется на значительном протяжении на одинаковую высоту или размывается всегда ровным слоем.

Подобные условия, если вообще и могут быть, то столь редко, что представляют собой исключения.

Практика эксплуатационной гидрометрии определенно указывает на наличие для данного пункта учета в течение учетного периода постепенного изменения характера кривой (ее наклона к осям, кривизны), графически характеризующего изменение гидравлических условий протекания потока.

Для определения поправок на горизонт воды требуется некоторая средняя кривая расхода, которая может быть получена очевидно после охвата периодическими достаточно частыми измерениями в течение всего срока учета с охватом всей возможной амплитуды колебания расходов (от мин. до макс.). Иначе, метод Стаута применим при статистической обработке гидрометрического материала и ни в коей мере не предназначается для оперативного учета, где данные о расходах воды требуются не после поливного периода, а во время проведения плана для распределения воды.

Благодаря автоматичности определения поправок, последние приобретают чисто условный характер, ибо ни знак поправки, ни его величина не могут дать истинного представления о причинах неустойчивости, — происходит ли она вследствие деформации русла, или же из за влияния переменного подпора.

Эксплоатация систем, используя для учета воды на оросительных каналах метод поправок Стаута, тем самым, конечно, включает в свой учет все вышеприведенные недостатки и усугубляет их еще рядом других допущений.

Общая схема порядка учета воды на неустойчивых участках, принятая в эксплуатационной гидрометрии, следующая:

До начала поливного периода, после приведения оросительной сети в порядок (очистка русла от растительности, осевших наносов и пр.) и пуска воды, гидрометрия приступает к контрольным измерениям расходов на вновь открытом посту для получения исходной кривой расхода, а на постах, действовавших и в предыдущие годы, для проверки кривой прошлого года.

Отсутствие достаточного времени, ряд других причин организационного порядка приводят к тому, что построение первоначальной исходной кривой на новом посту производится по 2—3 точкам. Как правило, эта исходная кривая сохраняется для учета в течение всего поливного периода и уточняется только при отчетной обработке, в случаях необходимости.

При наличии для поста кривой предыдущего года, таковая обычно служит на весь предстоящий поливной период, и упомянутая проверка ее в начале его контрольным замером производится лишь для определения первоначальной поправки.

Эта общая схема в отдельных случаях несколько изменяется, например, построение для новых постов исходных кривых производится иногда теоретически по гидравлическим элементам и коэффициенту шероховатости с определением последнего не на основе фактических измерений, а по табличной характеристике.

Используя исходные кривые, в последующем учет воды ведется по ним с помощью поправок, получаемых периодически при каждом измерении. Поправка на уровень от измерения до измерения сохраняется постоянной. Количество контрольных измерений на каждом посту колеблется от 3 до 5 в месяц.

Таким образом, от основного метода Стаута метод, применяемый при эксплуатации систем, отличается следующими отступлениями:

1. Применением сугубо ориентировочной кривой расхода;
2. Применением между фактическими измерениями поправки постоянной величины.

Эти отступления приводят к тому, что величина получаемых ошибок в учете воды может быть весьма значительной.

Так, при анализе материала эксплуатационной гидрометрии были получены следующие данные¹:

1. Пост на канале имени 3-й Сталинской пятилетки (Исфаринской системы). Период наблюдения с 13.IV по 17.VI 1939 г. Неустойчивость русла на указанном посту, расположенном в хвосте канала перед водоразделом, обуславливается забрасыванием русла перекачиваемых по дну крупных наносов (гравий — булыжник).

Средняя ошибка в определении расходов воды по поправкам Стаута, промежуточные значения которых определялись по плавной кривой, составляет $\pm 23\%$, — по уступчатой кривой — $\pm 40\%$.

Максимальные ошибки в отдельных случаях достигали в первом случае 56% , во втором — 257% .

Этот пример характерен для случаев неустойчивости, когда последняя зависит не только от естественного режима потока, но и от эксплуатационных мероприятий. Так, для указанного поста интенсивность движения донных наносов (смыв, отложение) зависит от регулировки воды в вододелителе, расположенном ниже участка поста. Подобный случай неустойчивости весьма характерен для эксплуатационной практики и не является, конечно, редким.

2. Пост на канале Янги-яб (Южный Хорезм).

Период наблюдения 4.IV—3.V—1937 г. Пост расположен на канале, отличающемся более естественным режимом в деформации русла, в котором размыв или заиление происходят в более длительный период времени.

Средняя ошибка в определении расхода по уступчатой кривой поправок составляет $\pm 37\%$. Максимальная ошибка достигает — 134%

3. То же за период действия с 30.VI по 29.VII — средняя ошибка $\pm 9\%$, максимальная — $17,5\%$.

Определение расходов по поправкам по приведенному выше материалу в достаточной мере, конечно, условно, произвольно и пр. Рядом переработок, построением частных кривых, охватывающих точки по отдельным периодам, конечно, можно было бы добиться некоторых уточнений, если бы задача гидрометрии ограничивалась лишь статистической (последующей) обработкой материала и не требовала бы данных о расходах воды с первого же момента действия поста, а в последующем в любой момент для регулировки воды.

Из трех приведенных примеров видно, что средняя ошибка может достигать до $\pm 40\%$, а ошибка в отдельных определениях даже до 200 и более процентов, а эти последние по задачам эксплуатационной гидрометрии приобретают исключительное значение, так как при оперативном учете более важными являются расходы воды данного момента, чем какие-нибудь осредненные величины. Величина ошибок в учете находится, несомненно, в прямой зави-

¹ За отсутствием места приводим лишь окончательные средние данные, взятые из технического отчета лаборатории за 1939 г.

симости от степени устойчивости, значительно колеблясь в ту и другую сторону в каждом отдельном случае.

Насколько известно, каких-либо серьезных попыток к переходу на другой метод учета и не делалось. Возможность же подобного перехода, вообще говоря, не исключена.

Рассмотрим эту возможность.

Способы, сохраняющие общие принципы руслового метода и имеющие задачу разрешить вопрос об уточнении учета воды на неустойчивых участках, в основном могут быть разделены на две следующие группы:

а) способы, сохраняющие полностью обычный объем работ в поле, присущий русловому методу, но с целью уточнения определения расходов воды в промежутках между контрольными измерениями, предусматривающие несколько иной порядок обработки материалов, чем принятый при способе Стаута;

б) те же русловые способы, но при которых кривые расходов строятся не по горизонтам воды, а по другим гидравлическим элементам живого сечения.

К первой группе можно отнести способ определения поправок с помощью так называемых „параллельных кривых“. Ни по своему принципу, ни по своей условности, произвольности и точности этот способ ничем не отличается от изложенного уже способа поправок Стаута и является лишь вариантом в обработке материалов (определение величины поправок) по Стауту.

Схема определения расхода воды способом параллельных кривых следующая.

По нанесенным точкам фактически измеренных расходов (по H и Q) за учетный период строится обычным способом средняя кривая расхода (см. рис. 2), затем каждая пара соседних точек (по времени) соединяется прямой, разделенной на число дней в периоде между соседними замерами.

Определение расхода воды производится по наблюденному горизонту и кривой, проведенной через точку соответствующего дня параллельно исходной средней кривой.

Совершенно ясно, что все отличие здесь от способа Стаута заключается лишь в том, что если в последнем случае расход определяется по постоянной кривой и поправка вносится в горизонты воды, то в первом — наоборот — поправка вносится не на горизонты, а в положение кривой.

В количественном отношении поправки как по Стауту, так и по параллельной кривой, а следовательно и результаты в определении расхода, одинаковы.

Практически передвижение кривой производится с помощью вычерченной кривой на кальке, накладываемой на график и передвигаемой параллельно оси расходов.

В эксплуатационной гидрометрии, где положение на графике точки следующего измерения неизвестно, очевидно, что кривая будет иметь постоянное положение в период от измерения до изме-

рения и проходить через точку последнего измерения, т. е. при определении расхода будет вноситься так же как и по Стауту постоянная поправка.

Из приведенного сопоставления способа определения поправок по Стауту и по скользящим параллельным кривым и отмеченной полной их аналогии видно, что изложенные выше результаты характеристики точности учета воды на основании фактического материала остаются и здесь в полной силе. Другими словами, способ „параллельных кривых“ никаких преимуществ перед способом Стаута не имеет и, если иногда его и рекомендуют предпочесть

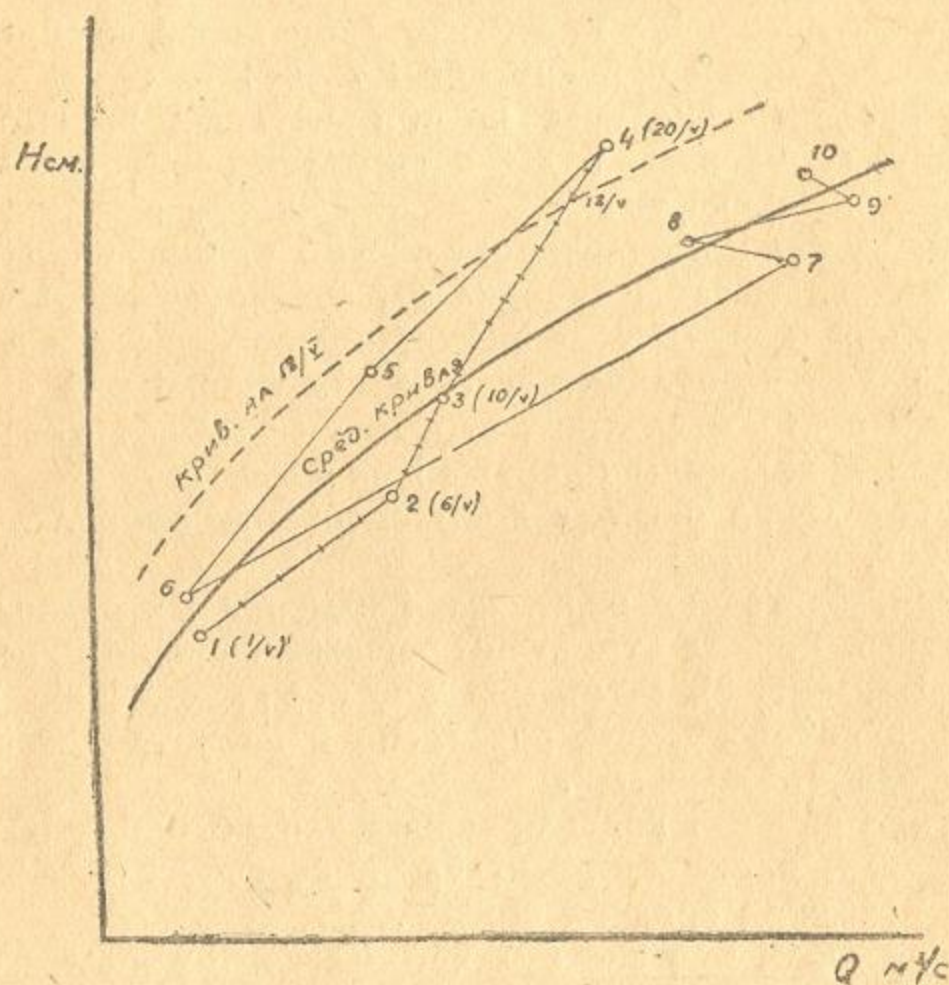


Рис. 2

последнему, то исключительно в виду, может быть, большого удобства в некоторых случаях камеральной обработки материала.

К первой же группе можно отнести способ определения расходов с помощью „линий равных расходов“, применяемый исключительно для последующей статистической обработки материала. Возможность применения этого способа в эксплуатационной гидрометрии следует рассматривать только с этой точки зрения.

Сам по себе этот способ довольно оригинален и по своей идее более последователен, чем способ Стаута, ибо учитывает изменение гидравлических условий в каждый отрезок времени. Заключается он в построении линий равных расходов (подобно построению топографических горизонталей) по точкам фактических измерений, нанесенных на график с осями H —гор. воды, наблюдаемых во время измерения и осью T —времени производства измерения (см. рис. 3).

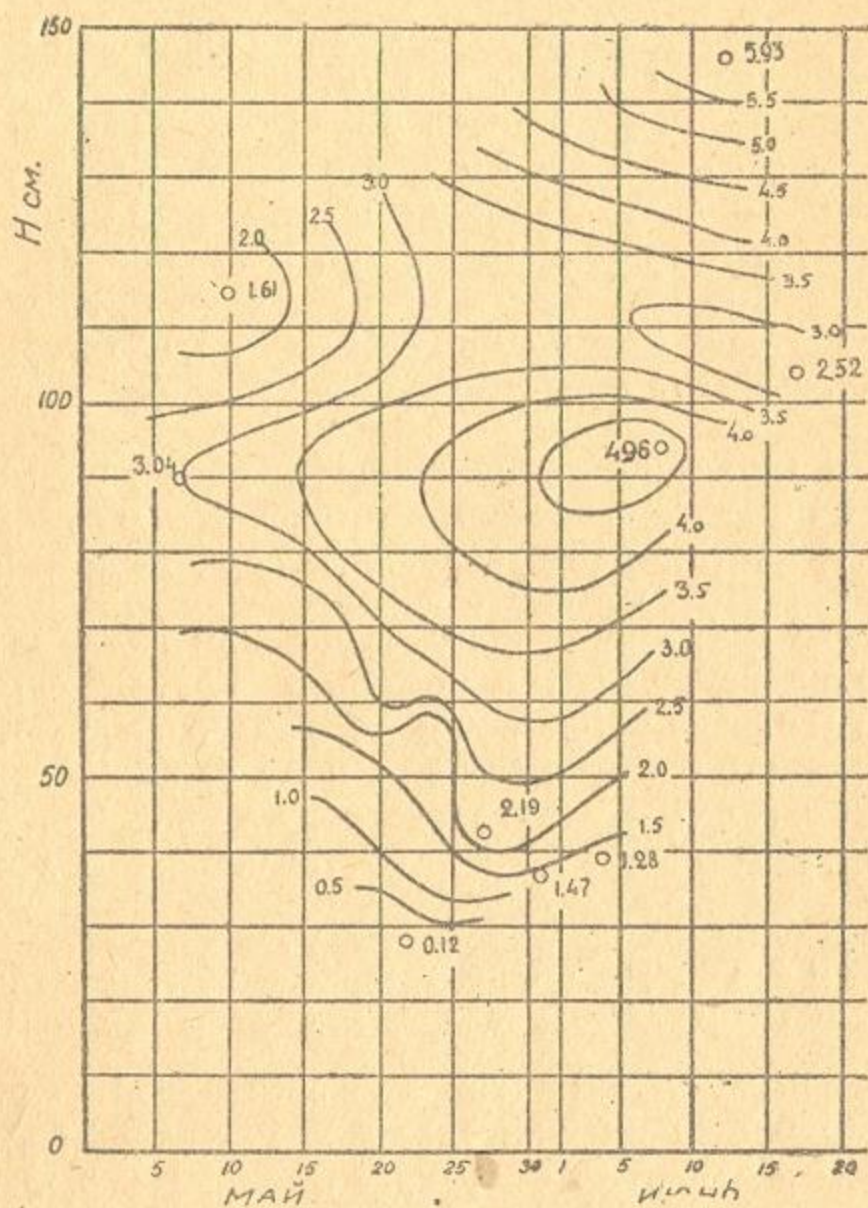


Рис. 3

Определение расходов в промежутках между фактическими измерениями производится по наблюдаемому горизонту воды, без введения в него каких-либо поправок, и положению его между линиями расходов против соответствующего дня.

Примером построения подобных графиков определения промежуточных расходов могут служить приводимые рис. 3, для составления которых использован материал по каналу имени 4-й Сталинской пятилетки и канала Янги-яб.

Средние ошибки в определении расходов по этому графику за период наблюдения составили — по каналу 3-й Сталинской пятилетки $\pm 16\%$ и по каналу Янги-яб $8,7\%$, максимальные ошибки соответственно — 50% и 12% . Сравнение этих цифр с предыдущими указывает на большую точность этого способа, чем по поправкам Стаута.

Основным недостатком способа линий равных расходов, кроме того, что он пригоден только для статистической обработки материала, является необходимость более учащенных измерений расходов с таким расчетом, чтобы последними была охвачена не только возможная амплитуда колебания расходов (и горизонтов) за весь учетный период наблюдения, но и амплитуда по отдельным периодам. Несоблюдение этого правила приводит к тому, что часть промежуточных расходов не может быть определена, так как точки последних выходят из пределов построенных линий.

Ко второй группе способов относятся все те случаи, когда для учета воды определяют зависимость расхода не от уровня воды, а от другого элемента живого сечения створа измерения.

Более часто работники эксплуатационной гидрометрии останавливают свое внимание на возможности построения зависимости расхода от глубины или от площади живого сечения, т. е. от элементов, находящихся в зависимости и от уровня воды и от степени деформации русла. Предполагается, что по этим элементам для неустойчивых участков должна составляться более устойчивая кривая.

Рассмотрим в первую очередь возможность учета воды по кривой $Q=f(t)$ и степень получаемой при этом точности.

За независимую переменную при составлении кривой, вообще говоря, можно принимать или среднюю глубину (t_{cp}) или глубину на какой-либо постоянной контрольной вертикали, своим положением обеспечивающей глубину при любом уровне воды. Таковой глубиной, очевидно, будет глубина, близкая к максимальной.

Для характеристики точности этого способа используем материал эксплуатационной гидрометрии Южного Хорезма по отдельным постам за период наблюдения 1937 г. (табл. I).

При построении кривых зависимостей (графически) как от H , так и от t_{cp} , в данном случае был принят несколько формальный способ, заключающийся в следующем:

Таблица I

Канал	Средн. отклонение в %%		Максимальное отклонение в %%		Примечание
	от Q кривой Q=f(H)	по Q=f(h _{ср})	Q=f(H)	Q=f(h _{ср})	
Токсан-арна	± 3,7	7,1	8,3	16,1	Устойчивый участок
Ярмыш	± 2,7	7,9	21,3	30,2	То же
Мангит-арна	± 6,9	8,4	23,0	39,1	То же
Байрам-сака	± 7,0	—	22,5	—	Зависимости Q=f(h _{ср}) нет
Даудан	±30,7	11,1	115,0	21,9	Неустойчивый
Бек-яб	±31,2	15,9	85,0	43,4	»
Пахта-кор	±22,2	28,4	55,0	179,0	»
Удачи	±11,1	4,5	47,3	24,1	»
Хасса	±79,5	—	175,0	—	Завис. Q=f(h _{ср}) нет
Сталина	±21,9	19,4	56,6	85,0	Неустойчивый
Каракоз	±51,8	13,6	267,0	72,0	»
Ургенч-арна	± 6,1	18,4	30,5	44,8	»
Янги-яб	±28,1	81,8	183,0	121,0	»

Примечание. Сравнение степени точности учета воды по той или иной кривой как в данном случае, так и дальнейших примерах, производилось сравнением средних относительных отклонений соответствующих точек от их кривых, определенных по выражению

$$\pm \alpha = \frac{\sum \left[\frac{(Q_i - Q)}{Q_i} 100 \right]}{n}$$

где Q_i — фактически измеренный расход воды.

Q — расход воды, взятый по кривой,

n — число точек,

$Q_i - Q$ — разность указанных расходов без учета знака.

Положение кривых определялось по совокупности расположения всех точек поста за весь период наблюдения с таким расчетом, чтобы сумма отклонений точек была наименьшей. Это привело к тому, что на заиляемых участках, где заиление происходило более или менее равномерно, очертания кривых не сохранили своих обычных законных выпуклых форм. Подобные кривые, позволяя

приблизить точки к некоторой формальной закономерности, не отвечают, конечно, общему закону изменчивости расходов от наполнения канала.

Подобный способ был принят, во-первых, потому, что построение других кривых, отвечающих истинной закономерности изменения расходов от наполнения в каждый любой момент провести невозможно, а во-вторых — потому, что задачей построения кривых была только характеристика степени разбросанности точек.

Ясно, что подобный способ построения кривых уменьшает величину средних суммарных отклонений.

Результаты сравнений приведенного материала вполне определенно устанавливают почти одинаковую равноценность учета воды как по горизонту ее в канале, так и по средней глубине. И объясняется это очевидно тем, что при изменении русла изменяется не только высотное положение уровня воды, но и вся гидравлика потока, благодаря тому, что характер изменения русла ниже контрольного пункта не отвечает изменению на створе измерения.

В итоге — способ определения расходов на неустойчивых участках по средней глубине следует признать непригодным и не оправдывающим расчеты работников гидрометрии улучшить дело учета воды с переходом при срочных наблюдениях на определение вместо горизонтов воды средних глубин.

Еще меньшей закономерностью обладает кривая, построенная по глубине на постоянной контрольной вертикали. Сопоставление, сделанное на основании того же материала способом, совершенно аналогичным вышеописанному (табл. II), указывает на отсутствие каких-либо преимуществ определения расходов по контрольной глубине перед первыми двумя способами. Во всяком случае этот способ грубее, чем предыдущий.

Таблица II

Канал	Средн. откл. в % от Q_i		Макс. отклон. в %			
	$Q=f(t_{cp})$	$Q=f(t_m)$	$Q=f(t_{cp})$	$Q=f(t_m)$		
Токсан-арна	7,1	6,3	16,1	14,3	Завис. $Q=f(t_{cp})$ и $f(h_m)$ нет	
Ярмыш	7,9	10,8	30,2	63,5		
Мангит-арна	8,4	10,2	39,1	59,3		
Даудан	11,1	22,6	21,9	61,2		
Бек-яб	15,9	15,0	43,4	33,3		
Пахтакор	28,4	8,2	179,0	27,0		
Удачи	4,5	9,3	24,1	27,9		
Хасса	—	—	—	—		
Сталина	19,4	—	85,0	—		
Каракоз	13,6	12,7	72,0	75,0		
Ургенч-арна	18,4	—	44,8	—		
Янги-яб	31,8	37,4	121,0	172,0		Завис. $Q=f(t_m)$ нет

Рассмотрим третий случай учета воды на площади живого сечения $[Q=f(F)]$ и сравним его со способом определения расходов по горизонту воды, пользуясь изложенным методом, дополнив материал Упрадиса данными по некоторым постам Зах-Келесской системы (табл. III). Сводка окончательных данных в таблице показывает, что из приведенных 23 постов примерно одинаковые результаты в степени разбросанности точек имеют 11 случаев, из которых 8 относятся вообще к более или менее устойчивым участкам, когда $\pm \alpha \%$ для $Q=f(H)$ не более 7%, а остальные 3 — к неустойчивым. 4 случая дают значительное повышение закономерности в зависимости $Q=f(F)$ в сравнении с таковой $Q=f(H)$, когда средние отклонения отдельных точек понижаются до допустимых пределов (до $\pm 5,0\%$). Далее из общего количества постов по постам наблюдается для $Q=f(F)$ также понижение величины отклонения точек, но это понижение не достигает указанного выше предела $\pm 5\%$. Наконец, из всех приведенных примеров только в одном случае (Зах № 31) замечено некоторое увеличение значения для $Q=f(F)$ в сравнении с α по кривой $Q=f(H)$.

Таблица III

К а н а л ы	Ср. отклон. в %%		Макс. отклон. в %%		Примечание
	$Q=f(H)$	$Q=f(F)$	$Q=f(H)$	$Q=f(F)$	
Токсан-арна	3,7	5,0	8,3	23,0	
Ярмыш	2,7	4,7	21,3	16,3	
Мангит-арна	6,9	4,2	23,0	21,6	
Байрам-сака	7,0	5,6	22,5	25,6	
Даудан	30,7	11,2	115,0	33,8	
Бек-яб	31,2	9,5	85,0	26,6	
Пахтакор	22,2	18,4	55,0	42,0	
Удачи	11,0	5,7	47,3	20,7	
Хасса	79,5	23,8	17,5	68,5	
Сталина	21,9	15,1	56,6	77,0	
Каракоз	51,8	5,8	267,0	31,6	
Ургенч-арна	6,1	6,6	30,5	18,9	
Янги-яб	28,8	17,6	183,0	86,0	
Чумыш № 32	6,2	7,1	21,0	21,0	Зах-келесупр 1938 г.
Зах № 31	4,2	9,8	8,6	51,3	
Ханым № 57	3,9	5,7	11,4	26,8	Построить $Q=f(H)$ не представляется возможным из-за отсутствия зависи- мости
Н.-Узбекский	—	2,9	—	12,9	
Алтын-тепе	5,7	4,7	18,3	17,0	
В.-Тарнау	13,6	3,9	58,0	12,5	
Терес	17,1	12,4	50,5	31,4	
Уймаут	6,0	11,4	54,1	29,1	

По сравнению с ранее изложенными способами нахождения зависимости между расходом потока и его глубинами, зависимость Q от площади живого сечения предоставляет большие возможности

для применения ее в практике учета воды. Несомненно также, что этот последний способ имеет и ограничения в своем распространении, применение его для учета воды очевидно возможно только на тех участках, где неустойчивость канала обуславливается исключительно деформациями русла и где в разбросанности точек кривой зависимости переменный подпор не принимает значительного участия.

В заключение краткого обзора способов учета воды на неустойчивых участках, остановимся на применяющемся довольно часто способе учащенных замеров.

Обычные инструкции по эксплуатационной гидрометрии предусматривают контрольные измерения расходов воды на постах примерно через 8—10 дней. Таким образом, всякое сокращение указанного общего срока, собственно говоря, является переходом к указанному способу. На неустойчивых участках, как правило, срок между измерениями расходов сокращается до 5 дней, более редко до 2—3 дней. Подобное учащение замеров по существу не изменяет установленных методов учета, замеры производятся для определения тех же поправок Стаута, а определение срочных расходов и средне-суточных производится по уровню воды.

Не требуется специальной проработки материалов, чтобы вполне определенно дать следующее заключение:

1. На постах, где характер деформации русла более или менее закономерен, а время деформации более продолжительно, чем период между измерениями расходов, учащенные замеры, конечно, до некоторой степени уточнят учет воды хотя бы только потому, что сократят срок пользования по экстраполяции поправками Стаута, Ступенчатая кривая поправок (применяющаяся ныне) ляжет более близко к точкам фактических измерений и позволит уточнить сток хотя бы в промежуток времени, близко прилегающий к моменту контрольного замера.

2. Несомненно, что никакие учащенные замеры не улучшат положения, если неустойчивость поста обуславливается влиянием переменного подпора, особенно когда последний происходит при регулировании уровня воды в канале.

3. На постах, где изменение русла происходит все время (намыв сменяется размывом), что часто бывает при интенсивном движении донных наносов (особенно под влиянием регулирования пропускаемых расходов), учащенные, даже ежедневные измерения не дадут реальных достижений в смысле уточнения стока.

Особое место занимает в методе учащенных замеров случай определения расходов воды непосредственными ежедневными измерениями при всех срочных наблюдениях и использование данных этих измерений для определения стока без построения каких-либо кривых зависимостей. Подобный способ несомненно достаточно достоверен, но в силу своей громоздкости, конечно, не может быть рекомендован для эксплуатационной гидрометрии.

II. Предлагаемый метод учета воды на неустойчивых участках

Предлагаемый метод исходит из следующего соображения.

Если на данном гидрометрическом створе имеется ряд измеренных расходов воды, то отношение одного из них к другому будет выражаться как

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{F_1 v_1}{F_2 v_2},$$

где F и v — соответствующие для данного расхода воды площадь живого сечения и средняя скорость течения потока в створе измерения, а один из расходов воды будет равен другому, помноженному на соотношение произведений площади живого сечения на среднюю скорость, т. е.

$$Q_2 = \frac{Q_1 F_2 v_2}{F_1 v_1}.$$

Заменяя в последнем выражении F через произведение ширины потока на среднюю глубину, получим:

$$Q_2 = \frac{Q_1 B_2 h_2 v_2}{B_1 h_1 v_1} \dots \dots \dots (1)$$

Если для данного гидрометрического створа можно установить каким-либо путем достаточно точно величины отношений h_2/h_1 и v_2/v_1 , то расход Q_2 при известном Q_1 (определенном ранее) может быть вычислен без непосредственных измерений средней скорости потока и площади живого сечения.

Предположим, что средняя скорость потока изменяется пропорционально скорости течения в какой-либо одной характерной точке живого сечения, а средняя глубина — пропорционально глубине на характерной точке дна сечения, тогда расход воды в любой момент на данном створе может быть определен по величине ранее измеренного расхода воды и по скорости и глубине в постоянных контрольных точках.

Требование наибольшей возможной технической простоты, допускающей определение необходимых скоростей без применения сложных гидрометрических инструментов и оборудования, а также возможность определения этих величин лицами без специальной технической подготовки (например, низшим техническим персоналом ирригационных систем — наблюдателями, об'ездчиками, сторожами) в первую очередь в качестве характерной скорости течения для вышеуказанной цели выдвигает максимальную поверхностную скорость потока, определение которой возможно обыкновенными поверхностными поплавками.

За контрольную характерную глубину, изменение которой было бы связано в определенном отношении с средней глубиной, можно принять некоторую среднюю из глубин, измеренных на участке ясно выраженного дна.

При дальнейшем анализе предлагаемого метода за контрольную глубину принимается средняя из двух-трех глубин вертикалей, расположенных на середине потока.

Рассмотрим в первую очередь устойчивость величины соотношений между средней и выбранной нами контрольной глубинами. Для этой цели разберем ряд характерных профилей геометрического очертания, приближающихся к возможным очертаниям русел ирригационных каналов.

а) Прямоугольное русло.

В русле подобной формы средняя глубина равна максимальной, а поэтому и отношение их, всегда равное единице, постоянно. Таким образом, при прямоугольном русле замена отношения средних глубин отношением контрольных является вполне законной.

б) Треугольное русло.

В треугольном русле средняя глубина потока, выражаемая как $F : B$, вне зависимости от крутизны откосов, всегда равна половине максимальной глубины. Ясно, что и в этом случае отношение контрольных глубин будет соответствовать отношению средних и не будет требовать введения каких-либо поправочных коэффициентов.

в) Трапециодальное русло.

В подобном русле средняя глубина потока (h_{cp}) связана с наибольшей глубиной (глубиной дна), выражением

$$h_{cp} = \frac{B + B_0}{2B} h_m,$$

а отношение средних глубин для данного профиля при разном наполнении канала:

$$\frac{h_{cp_2}}{h_{cp_1}} = \frac{(B_2 + B_0)}{(B_1 + B_0)} \frac{B_1}{B_2} \cdot \frac{h_{m_2}}{h_{m_1}},$$

где B_0 — ширина дна, B_1 и B_2 — соответствующие ширины потока.

При подстановке этого выражения в уравнение (1) видно, что для русел трапециодальной формы поперечного сечения для введения поправки на непостоянство соотношения между средней глубиной и глубиной дна, отношение $B_2 : B$ должно быть заменено отношением

$$(B_2 + B_0) : (B_1 + B_0).$$

Уравнение (1) примет тогда вид

$$Q_2 = \frac{Q_1 (B_2 + B_0) h_2 v_2}{(B_1 + B_0) h_1 v_1} \dots \dots \dots (2)$$

г) Параболическое русло.

Не делая какой-либо крупной ошибки, любое достаточно симметрическое очертание земляного русла канала можно принять за параболу 2-го порядка, имеющую уравнение $y = kx^2$. В этом случае площадь живого сечения будет выражаться:

$$F = 2 \frac{2}{3} xy.$$

Принимая $y = h$, а

$$x = \sqrt{\frac{y}{k}} = \sqrt{\frac{h}{k}} = \alpha \sqrt{h}$$

получим

$$F = \alpha \frac{4}{3} \sqrt{h \cdot h},$$

а

$$h_{\text{ср}} = \frac{F}{B} = \frac{F}{2x} = \frac{2}{3} h,$$

указывающее на постоянство отношения средней глубины к глубине дна, а следовательно на возможность замены в уравнении (1) $h_2 : h_1$ отношением соответствующих h_m .

Отметим, что параболическое очертание земляного русла наиболее часто встречается в природе.

Таким образом, из всех приведенных случаев форм, только правильное трапециодальное сечение требует учета дополнительного элемента — ширины канала по дну, во всех же остальных отношении максимальных глубин совершенно закономерно практически заменяет отношение средних.

Значительно более сложно определение степени устойчивости отношения между $V_{\text{ср}}$ потока и его максимальной поверхностной скоростью. Дело в том, что этот вопрос в гидравлике весьма далек от разрешения как с теоретической, так и практической сторон.

Отношение между поверхностной и средней скоростями является величиной переменной не только для разных сечений потока, но и для одного и того же сечения при изменении в нем условий протекания потока. Очевидно, это отношение должно зависеть от формы сечения, от глубины и от шероховатости русла.

Единственной формулой, выражающей связь между размерами потока и характером его русла с коэффициентом $K = V_{\text{ср}}/V_{\text{пов. макс.}}$ является формула Базена, имеющая вид

$$K = \frac{C}{C + 14},$$

где C — коэффициент в формуле Шези.

Формула Базена дает в графическом изображении (рис. 4) ряд однохарактерных кривых, каждая из которых соответствует тому или другому значению коэффициента шероховатости. По этой формуле величина K возрастает с увеличением гидравлического радиуса (a , следовательно, и глубины). Указанное возрастание имеет более резкий характер на малых глубинах, начиная с $R = 0,5$ м, изменение K достаточно близко к линейной зависимости.

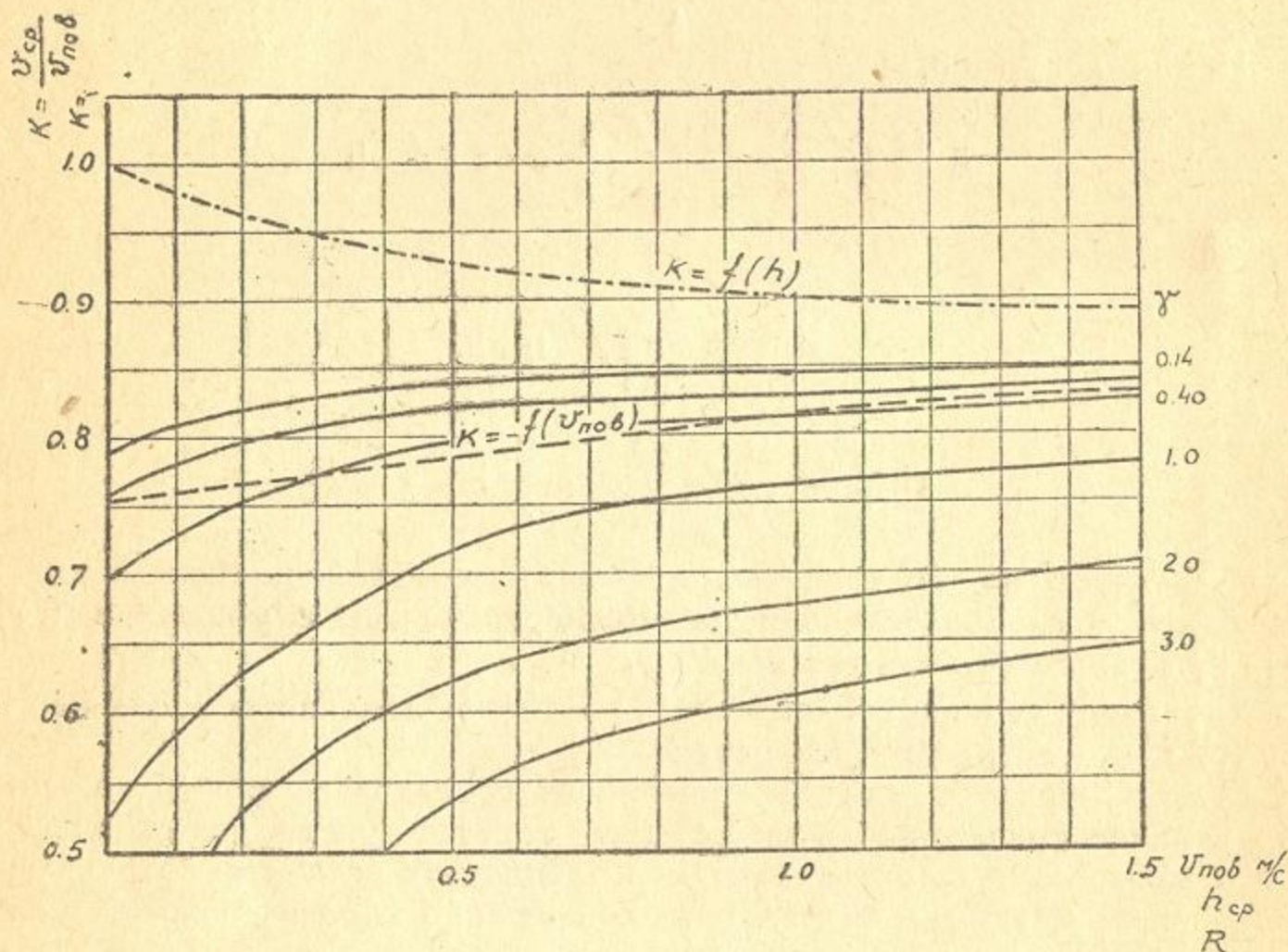


Рис. 4

Использование для наших целей формулы Базена в ее полном виде практически представит значительные затруднения, ибо она требует определения гидравлического радиуса, что может привести к объему работ, мало чем отличающемуся от объема при непосредственном измерении расхода воды вертушкой. С другой стороны, едва ли будет рационально применять достаточно строгую математическую зависимость к данным, измерение которых производится только до известной степени точности.

Принимая во внимание это соображение, допустим, что формула Базена, если она справедлива, сохранит тот же вид и при замене гидравлического радиуса глубиной потока. Это допущение тем более возможно, что в разрезе поставленной задачи интересными представляются не абсолютные величины коэффициента K , а лишь

отношение коэффициентов двух измеренных расходов на одном и том же сечении, что несомненно уменьшает ошибку при сделанном допущении.

Действительно, приняв в трапециодальном русле $R = (B + B_0)h : 2P$, формула Базена $K = \frac{C}{C + 14}$

примет вид

$$K = \frac{87 \sqrt{\frac{B + B_0}{2P} h}}{101 \sqrt{\frac{B + B_0}{2P} h + 14 \gamma}},$$

а отношение коэффициентов K_2 к K_1

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{\sqrt{h_2} \left(101 \sqrt{h_1 + 14 \gamma} \sqrt{\frac{2 P_1}{B_1 + B_0}} \right)}{\sqrt{h_1} \left(101 \sqrt{h_2 + 14 \gamma} \sqrt{\frac{2 P_2}{B_2 + B_0}} \right)} = n_R.$$

Сравнивая эти последние с отношением коэффициентов при введении вместо R глубины потока

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{\sqrt{h_2} \left(101 \sqrt{h_1 + 14 \gamma} \right)}{\sqrt{h_1} \left(101 \sqrt{h_2 + 14 \gamma} \right)} = n_H$$

видим, во-первых, что разница между n_R и n_H зависит от формы потока, во-вторых, что эта разница по своей величине не может быть велика, ибо поправка

$$\sqrt{\frac{2P}{B + B_0}}$$

входит сомножителем к меньшему слагаемому.

Если взять наиболее неблагоприятный случай, а именно — прямоугольное русло с наполнением $h = B$ повышенный коэффициент шероховатости $\gamma = 2$ и изменение глубин в 4 раза, то отклонение n_H от n_R не будет превосходить 5 — 6 %.

Обычно же это отклонение для более или менее нормальных условий находится в пределах 1 — 3 %.

Проверка формулы Базена, произведенная на основании фактического материала, приводит к следующему выводу (рис. 5):

а) закономерность кривой $K = f(h_{cp})$ в значительной мере искажается отдельными отклонениями, происходящими отчасти из-

за ошибок при определении поверхностных скоростей и отчасти из-за влияния каких-либо факторов, не учитываемых переменной величиной (h_{cp});

б) полученная зависимость приближается по своему характеру к зависимости, выраженной Базеном;

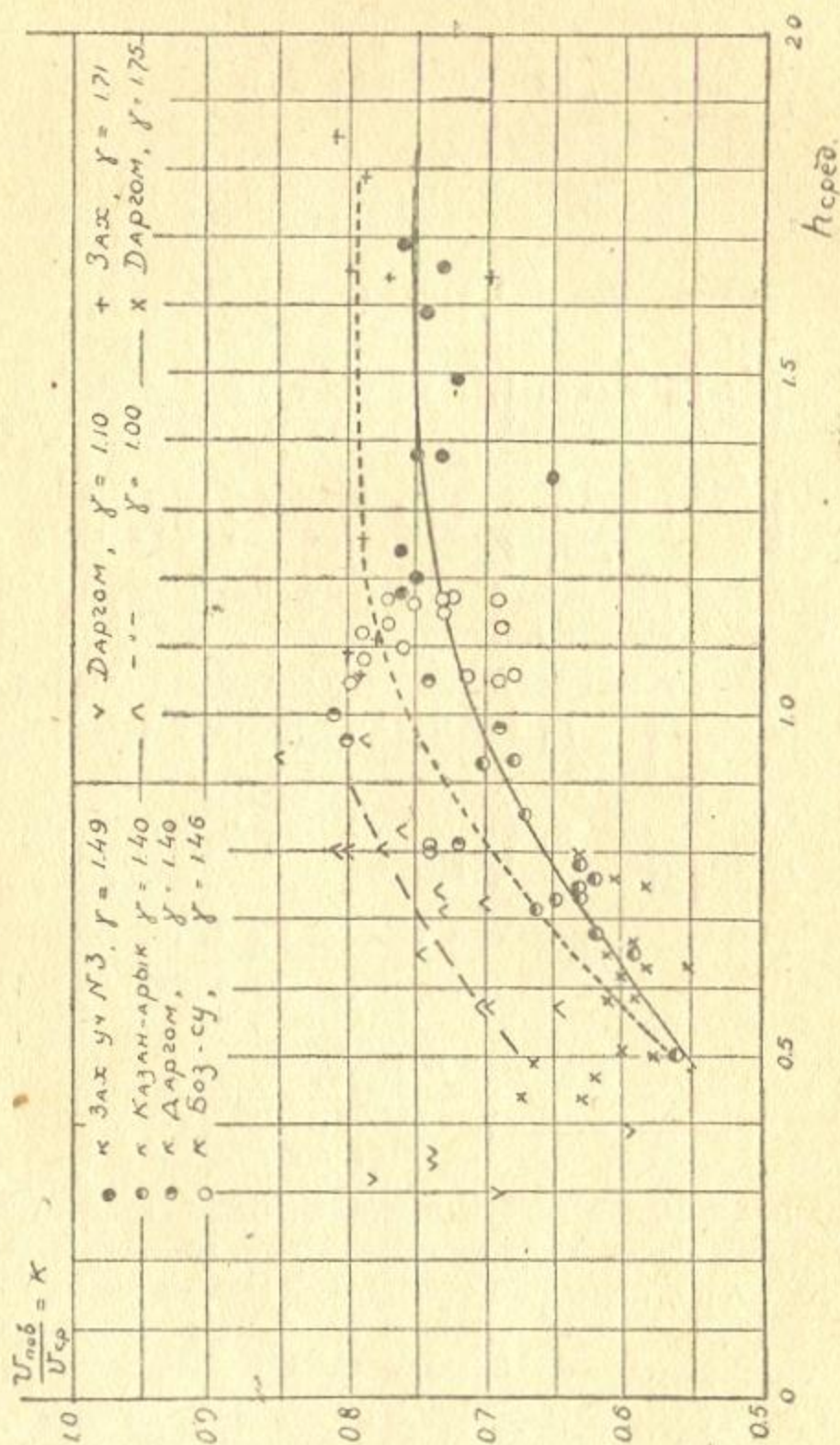


Рис. 5

в) при глубине потока более 1 м для данного сечения русла величина K , очевидно, изменяется в весьма небольших пределах и может быть практически принята постоянной,

г) изменение K , при меньших глубинах для земляных русел ($\gamma = 1,0$ до $1,70$), как первое приближение может быть принято по прямой с угловым коэффициентом $\approx 0,30$.

Выбор способа введения поправок на скорость и решение вопроса, какому способу следует отдать предпочтение — использовать ли результаты найденной зависимости по фактическому материалу наблюдений или принять формулу Базена, будет сделано в следующем разделе при общей проверке точности учета воды предполагаемым методом.

При введении поправок на скорость по формуле Базена общее уравнение (2) примет вид

$$Q_2 = \frac{Q_1 (B_2 + B_0) h_2 \sqrt{h_2 v_2}}{(B_1 + B_0) h_1 \sqrt{h_1 v_1}} n' \dots \dots \dots (3)$$

где n' может определяться из выражения

$$n' = \frac{101 \sqrt{h_1 + 14 \gamma}}{101 \sqrt{h_2 + 14 \gamma}}$$

При использовании же выводов способа, основанного на графической зависимости

$$Q_2 = \frac{Q_1 (B_2 + B_0) h_2 v_2}{(B_1 + B_0) h_1 v_1} n \dots \dots \dots (4)$$

в котором n может быть определено в случае, если сравниваемые глубины h_1 и h_2 меньше глубины $h_{пр}$, при которой коэффициенты K_1 и K_2 могут считаться постоянными, из выражения

$$\frac{K_2}{K_1} = n = 1 + \frac{0,3 (h_2 - h_1)}{K_1}$$

В случае, если одна из сравниваемых глубин равна или больше $h_{пр}$, другая меньше, а именно h_2 больше $h_{пр}$, h_1 меньше $h_{пр}$

$$\frac{K_2}{K_1} = n = 1 + \frac{0,3 (h_{пр} - h_1)}{K_1}$$

При обратном явлении: h_2 — меньше $h_{пр}$, h_1 больше $h_{пр}$

$$\frac{K_2}{K_1} = n = 1 - \frac{0,3 (h_{пр} - h_2)}{K_1}$$

При равных глубинах, или если обе глубины больше $h_{пр}$, очевидно $n = 1$ и введения каких-либо поправок не требуется.

Так как при построении графической зависимости за независимую переменную принималась средняя глубина дна, а в формуле (4) фигурирует глубина дна, предельное значение $h_{пр}$, установленное равным одному метру, должно быть увеличено на величину отношения h к $h_{ср}$, а именно, согласно ранее установленному (для трапециодальных русел) — на $\frac{2 B}{B + B_0}$.

III. Проверка предлагаемого метода

Для проверки точности определения расходов на неустойчивых руслах по предлагаемому методу был использован материал эксплуатационной гидрометрии по различным постам, где при измерении расходов воды параллельно определялись и поверхностные скорости на стрежне.

Метод проверки заключался в сопоставлении фактически измеренного расхода с вычисленными по уравнениям (1), (3) и (4).

Данными для решения их служили:

Q_2 — определяемый расход воды,

B_2 — ширина потока от уреза до уреза, определенная для данного вычисляемого расхода Q_2 ,

h_2 — средняя глубина дна, определенная из 2 и 3 глубин, измеренных на постоянных вертикалях, расположенных по середине потока,

v_2 — максимальная поверхностная скорость течения, измеренная для определения Q_2 ;

Q_1 — каждый фактически измеренный расход воды, перед Q_2 ;

B_1 , h_1 и v_1 — ширина, глубина и скорость, аналогичные B_2 , h_2 и v_2 , определенные при измерении Q_1 ,

n' — отношение коэффициента $\frac{K_2}{K_1}$, определенные по формуле

Базена;

B_0 — средняя ширина дна для расхода Q_1 ;

$h_{пр}$ — предельная глубина, при которой коэффициент приобретает постоянное значение, и принимаемая равной

$$h_{пр} = \frac{2 B_1}{B_1 + B_0};$$

K — отношение $v_{ср}$ потока к $v_{пов макс}$ определенное при Q_1 .

Результат проверки сведен в таблицах, где приводятся уже сводные данные, характеризующие точность определения расходов воды по всему посту в целом.

В таблице IV показаны данные по постам эксплуатационной гидрометрии, на которых максимальные поверхностные скорости определялись с помощью поплавков. В таблице V данные по опре-

делению расходов воды в 1939 г. на каналах Кировской системы, где $V_{\text{пов}}$ были определены вертушками и, наконец, в таблице VI материалы гидравлических исследований Санири прошлых лет, обработанные графо механическим способом.

Таблица IV

Наименование поста	Ср. отклонение в % вычислен. расх. от измеренных			Число проверен. расх. поста	Наблюдаемые расходы воды м ³ /с		Измененные глубины	
	Q ₍₁₎	Q ₍₂₎	Q ₍₄₎		от	до	от	до
К. Уймаут	6,1	6,0	7,0	18	0,92	3,57	0,43	1,43
к. Н. Узбекский	6,4	5,0	5,4	16	0,18	1,23	0,26	0,72
к. Терес	5,1	5,0	4,8	15	0,20	0,48	0,30	0,63
В. Гарнау	4,3	5,2	5,1	18	0,06	0,58	0,12	0,51
Чушум	6,7	6,7	7,3	16	0,19	1,16	0,25	0,72
Зах	5,4	4,7	4,6	18	1,27	5,25	0,69	1,56
Ханым	5,7	5,5	6,7	17	2,90	5,33	0,98	1,53
Среднее:	± 5,6%	± 5,4	± 5,8					

Таблица V

Наименование поста	Ср. отклонение в % вычисл. расхода от измеренных			Число проверен. расходов	Изменение расхода		Изменение глубин	
	Q ₍₁₎	Q ₍₂₎	Q ₍₄₎		от	до	от	до
С-8-А (верхн. п)	2,9	4,1	3,5	8	0,186	0,303	0,42	0,56
• нижний	3,5	3,5	3,5	2	0,122	0,186	0,45	0,49
Ш-П-А 1-а	2,9	1,8	1,6	2	0,306	0,337	0,51	0,54

Таблица VI

Наименование поста	Ср. отклонен. в % $Q_{\text{выч.}}$ от $Q_{\text{изм.}}$	Число проверенных расходов	Изменение расходов		Изменение глубин	
			от	до	от	до
К. Боз-су (уч. № 1)	2,9	13	42,3	53,7	1,42	1,66
" (уч. № 2)	6,8	14	38,2	51,5	1,80	2,00
Зах (уч. № 1)	3,7	8	9,28	22,7	1,24	2,13
" (уч. № 2)	2,8	8	8,91	16,8	1,53	2,02
СГК (магистр.)	5,3	8	58,4	64,5	2,32	2,61
	4,3					

Общие выводы по приведенным материалам могут быть кратко сведены к следующему:

1. Предлагаемый метод учета воды на неустойчивых участках по своей точности вполне приемлем для эксплуатации.

2. Точность учета воды, зависящая от способов определения необходимых элементов потока, может быть увеличена при ведении полевых работ с большей тщательностью. Это доказывается хотя бы тем, что проверка метода на более доброкачественных материалах даст лучшие результаты. Мало того, если проанализировать первоначальный материал по какому либо посту, вполне определенно усматривается, что на увеличении средней вероятной ошибки главным образом сказываются отдельные резкие отклонения, необъяснимые законным характером изменения отношений между основными элементами потока.

Для доказательства приведем данные по некоторым эксплуатационным постам (табл. VII), где, сравнивая каждую пару расходов, из которых один (вычисленный) дает значительную ошибку (более $\pm 10\%$), можно заметить сопутствующие наибольшим ошибкам случаи.

Таблица VII

Q измер.	B	h _{ср}	h	V _{ср}	V _{пов}	Q _{выч.}	Ошибка в про- центах
К. У й м а у т							
2,73	5,44	0,91	1,10	0,55	0,67	2,69	- 1,5
2,90	5,43	0,95	1,17	0,56	0,59	2,56	-11,7
К. Х а н ы м							
4,20	4,75	1,02	1,32	0,87	1,00	3,56	-15,3
4,31	4,75	1,05	1,36	0,86	1,11	4,80	+14,4
К. В. Т а р н а у							
0,53	2,07	0,38	0,40	0,67	0,91	0,55	+ 3,8
0,38	1,91	0,30	0,40	0,66	0,77	0,33	-13,5
К. Т е р е с							
0,37	1,88	0,31	0,40	0,55	0,76	0,40	+8,1
0,42	1,95	0,36	0,46	0,56	0,69	0,36	-14,3

При незначительном изменении ширины, глубины и средних скоростей, наблюдаются более значительные изменения поверхностных скоростей (Уймаут, Ханым, В. Тарнау, Терес).

Несомненно, подобные случаи объясняются главным образом ошибками в измерении поверхностных скоростей, ибо явления подобных несоответствий между скоростями потока могли произойти, если бы створ измерения находился в непосредственной близости от какого-либо регулируемого перегораживающего сооружения, чего на самом деле не было.

3. Вычисление расходов по формулам (3) и (4), т. е. с поправкой на изменения соотношений между поверхностными и средними скоростями более точных результатов не дает.

Очевидно, величина поправок значительно меньше вероятных средних ошибок, происходящих от неточности измерения элементов потока в условиях эксплуатационной гидрометрии.

Другими словами, при практическом применении метода определения расходов наиболее простой и приемлемой будет для вычисления расходов формула (1).

4. Точность определения расходов зависит от способа измерения (при всех равных условиях) поверхностных скоростей. Более точные результаты получаются при определении $V_{пов}$ вертушками, что, конечно, ясно само по себе.

Пользование для этих целей вертушками в условиях эксплуатационной гидрометрии (см. сл. главу) встречает некоторые затруднения, поэтому для уточнения учета воды по предлагаемому методу встает вопрос о конструировании более простого прибора для измерения скоростей, чем гидрометрические вертушки, и обладающего большей точностью измерения, чем поплавковый способ (во всяком случае менее подверженного влиянию посторонних причин — ветра, отбоя струй и пр.).

В настоящее время в Санири заканчивается проектирование и испытание подобного прибора; описание его конструкции и свойств будет дано в отдельной брошюре.

Вышеприведенная проверка, как указывалось, производилась путем вычисления расхода на основании сравнения элементов (h , v , B) измеренного предыдущего расхода с подобными же элементами вычисляемого расхода. Поскольку срок времени определения сравниваемых элементов самый разнообразный и колеблется в пределах от 1 до 30 дней, следующая проверка метода заключалась в выяснении влияния указанной продолжительности срока на точность определения расхода. Результаты подобной проверки сведены в таблице VIII (способ проверки ясен из граф таблицы).

Данные проверки указывают, что точность определения расхода не зависит от промежутка времени, прошедшего от последнего контрольного измерения до момента определения расхода (во

Таблица VIII

Срок между определением элементов	Ср. относит. ошибка вычисленн.	Число проверен. случаев	Примечание
В тот же день	$\pm 5,2\%$	19	Данные по постам табл. IV и по табл. V.
От 1 до 3 дней	$\pm 6,1$	9	
„ 3 „ 5 „	$\pm 3,9$	10	
„ 5 „ 10 „	$\pm 5,7$	28	
Более 10 дней	$\pm 5,5$	62	Наибольший промежуток времени достигает одного месяца.

всяком случае в пределах сроков, учтенных при проверке). Это обстоятельство весьма важно для характеристики метода и установления пределов его применения, ибо позволяет идти на увеличение сроков между контрольными и фактическими измерениями расходов.

IV. Указания о практическом применении метода

Учет воды на неустойчивых участках предлагаемым методом следует ставить в случае невозможности оборудования данного

участка специальным водомерным сооружением, на точности работы которого не сказываются деформация русла и переменный подпор.

Основным материалом для суждения о степени устойчивости русла или степени влияния переменного подпора должны служить данные гидрометрических наблюдений по посту не менее чем за годовой период.

Если фактически измеренные расходы воды не отклоняются в среднем от расходов, вычисленных по кривой зависимости Q от H более чем на $\pm 5\%$, то участок расположения поста можно считать устойчивым (практически) и не находящимся в сфере влияния переменного подпора. Все прочие посты, не удовлетворяющие поставленным требованиям, следует отнести к разряду неустойчивых.

Определение среднего относительного отклонения в процентах $Q_{\text{факт.}}$ от $Q_{\text{вычис.}}$ производится по выражению

$$= \Sigma \left(\frac{Q_{\text{ф}} - Q_{\text{в}}}{Q_{\text{ф}}} 100 \right) : n$$

где n — число измеренных $Q_{\text{ф}}$, а $(Q_{\text{ф}} - Q_{\text{в}})$ — абсолютная величина разности.

Необходимо помнить при этом, что при постепенном и закономерном заилении участка (или размывании) в течение всего периода наблюдения и при одновременном постепенном нарастании (или почижении) расходов, кривая зависимости, построенная на основании фактических измерений, может оказаться удовлетворительной (по изложенной выше оценке). Поэтому, кроме анализа кривой, в каждом случае необходимо проверять изменение дна на основании промеров живого сечения.

Проверка изменения дна производится сравнением в календарном порядке величины

$$C = H - h_1$$

где H — горизонт по рейке (приведенный), а h_1 — средняя глубина дна (определяемая из глубин по вертикалям сечения за исключением расположенных на откосах канала).

Если разность между максимальными и минимальными значениями C за весь сравниваемый период составляет не более 5% от средней глубины дна, принимаемой равной $\frac{h_{\text{imax}} - h_{\text{imin}}}{2}$, то участок может считаться устойчивым. В противном случае, несмотря на удовлетворительную кривую расхода, участок должен быть отнесен к группе неустойчивых.

Устойчивые участки, но находящиеся в сфере влияния переменного подпора, будут характеризоваться устойчивыми величинами C и неустойчивой кривой расхода.

Определение степени устойчивости участка или степени влияния подпора в случаях отсутствия достаточного гидromетрического материала, производится на основании данных чистки канала от наносов, наличия ниже поста перегораживающих сооружений (особенно учитывается возможность создания всякого рода временных запруд), зарастания и пр.

Предлагаемый метод учета воды рекомендуется применять на участках, где на неустойчивость кривой расхода влияет как деформация русла, так и переменный подпор.

При выборе участка для расположения контрольного створа, необходимо руководствоваться всеми правилами, установленными обычными гидromетрическими инструкциями, в частности для неустойчивых русел основные требования, предъявляемые к участку поста, будут следующие:

а) участок для расположения створа должен быть прямолинейным, не менее чем на 5 кратную ширину потока (при максимальном наполнении канала). Течение на этом участке должно быть параллельно-струйным, с наибольшими скоростями на середине потока. Русло должно быть правильного симметричного сечения без резких изменений глубин, ям и пр.

Примечание: При отсутствии на данном канале в районе места организации учета воды удовлетворительных участков, рекомендуется производить выпрямление их.

Контрольный створ для производства наблюдений следует устраивать примерно на середине выбранного участка;

б) берега, дно русла участка должны быть чистыми от растительности;

в) при заилении (размыве) дна, откосов необходимо, чтобы оно происходило более или менее равномерно по всему сечению;

г) ниже контрольного створа, в непосредственной близости от него, не должны находиться какие-либо перегораживающие сооружения. Расстояние от створа до таковых должно обеспечивать сохранение нормального распределения на створе скоростей по глубине (т. е. отсутствие мертвого слоя, увеличение донных скоростей при работе из-под щита и т. д.);

д) участок по возможности должен быть защищен от господствующих ветров;

е) общая длина участка не должна быть меньше 30 кратной наибольшей поверхностной скорости течения.

Оборудование постов — обычное и заключается в устройстве мостиков, установке реек, реперов постоянных створных точек и пр., а также обязательно в устройстве необходимых приспособлений для производства поплавковых наблюдений. Эти приспособления должны состоять из створов, разбитых и закрепленных вехами в начале и в конце участка с таким расчетом, чтобы расстояние

между ними было не меньше длины пути, проходимой поплавком на максимальных скоростях в 30 секунд.

Учет воды на постах, расположенных на неустойчивых участках, ведется, как обычно, двумя видами основных работ:

1) периодическими контрольными измерениями расходов воды в продолжение всего периода работы поста;

2) ежедневными срочными наблюдениями, определяющими элементы потока для вычисления расхода.

Второй вид работ и является именно оперативной частью гидрометрической службы на системах. С помощью указанных наблюдений определяется в любой момент расход воды, проходящий через створ, средние расходы по периодам, сток воды и водный баланс.

Точность учета воды зависит в равной мере от точности работ первого и второго вида.

Периодические контрольные измерения расходов воды необходимы для получения исходных данных для последующих определенных расходов при срочных ежедневных наблюдениях — в период времени до следующего контрольного измерения.

Вполне понятно, что все допущенные ошибки измерения будут сказываться в течение указанного периода, поэтому тщательность в работе при контрольных измерениях является основным требованием.

При контрольных вертушечных измерениях необходимо применять следующий метод:

а) скорости измерять на каждой вертикали не менее чем в 2 точках, а именно на 0,2 h и 0,8 h. Измерение в одной точке на 0,6 h допускается только при мелких глубинах — меньших 0,50 м;

б) число промерных вертикалей должно быть не менее 5 — 7 штук;

в) продолжительность наблюдения числа оборотов вертушки в каждой точке измерения скоростей должна быть не менее 2 минут.

Обязательными дополнительными работами при контрольных измерениях расходов воды являются поплавокные определения максимальной поверхностной скорости (стрежневой), а в случае, если при последующих срочных ежедневных наблюдениях подобные скорости предполагается определять с помощью вертушки, то вертушечные измерения их на вертикали, расположенной на стрежне.

Величина наибольшей поверхностной скорости является основной данной для определения расходов воды в период между контрольными измерениями, почему на точность определения ее должно быть обращено самое серьезное внимание.

Основные правила поплавокных определений $V_{\text{пов. макс.}}$ суть следующие:

1. Длина пути движения поплавок, т. е. расстояние между створами, должно быть таково, чтобы поплавок проходил его не менее чем в 30 секунд.

2. Определение стрежневой скорости производится не менее чем 3 поплавками. Каждый из этих трех поплавков не должен иметь каких-либо случайных задержек в пути или сбоя со струи в сторону. Если же указанные явления имели место, то данные этих поплавков не принимаются в расчет, а вместо них пускаются другие.

3. Забрасывание поплавков на струю с максимальной скоростью необходимо производить достаточно точно, для чего местоположение этой струи по ширине потока должно быть заранее определено опытом (пуском поплавков по всей ширине потока), повторяемым при изменении русла участка (например, при размыве берегов, образовании отмелей и пр.);

4. Учет времени движения поплавков должно производить с помощью секундомера или же по карманным часам с секундной стрелкой. Точность отсчета секунд — до 1 сек.;

5. Определение скоростей во время ветра, влияющего на скорость и направление движения поплавка, не разрешается;

6. Применение в качестве поплавков веток, щепок, а также других предметов, торчащих над водой или плывущих со значительным погружением в воде, не допускается. Наилучшими поплавками являются кружочки дерева, высотой около 2 см, выпиленные из жерди, толщиной от 6 до 8 см.

Периодические контрольные измерения расходов воды на постах следует производить не реже 2 раз в месяц.

Кроме периодических измерений в эти сроки, обязательно производятся измерения расходов:

а) тотчас же после чистки канала;

б) тотчас же после устройства ниже поста каких-либо перегородивающих сооружений, работа которых оказывает влияние на режим потока на участке потока;

в) при заметной деформации русла участка, когда при ежедневных наблюдениях обнаружено резкое повышение дна под влиянием заиления или понижения его — при размыве.

Техника и порядок производства работ при измерении расходов воды вертушкой не должны отступать от известных, установленных для гидрометрических работ правил. В равной степени сохраняется порядок и форма полевых записей (при обязательном фиксировании данных поплавокных измерений скоростей на том же бланке).

Ежесуточные срочные наблюдения на неустойчивых участках по предлагаемому методу сводятся:

а) к обычному отсчету по водомерной рейке горизонта воды;

б) к промеру глубины дна на створе измерения;

в) к определению ширины потока на створе,

г) и к определению максимальной поверхностной скорости течения на участке поста.

Порядок и правила наблюдения перечисленных выше элементов следующие:

а) наблюдения по водомерной рейке производятся обычным способом, путем простого отсчета с точностью до 1 см,

б) измерение глубин производится по трем постоянным вертикалям, а именно — по вертикали, расположенной на оси потока, и на вертикалях, расположенных справа и слева от первой. Указанные вертикали для ежедневных промеров глубин обязательно совмещаются с вертикалями, служащими для определения глубин сечения при измерении контрольных расходов воды.

Измерение глубин производится метроштоком или штангой с точностью до 1 см;

в) Ширина потока при каждом срочном наблюдении определяется по створу измерения, промером расстояния от уреза до уреза с помощью рулетки или мерного шеста и обязательно с помощью отвеса.

Точность измерения ширины до 1 см,

г) определение поверхностных скоростей поплавками производится точно в соответствии с ранее изложенными правилами для подобных же измерений при контрольных определениях расходов.

Ежесуточное срочное наблюдение производится в обычные часы, установленные на системах. Записи ежедневных наблюдений следует вести по единой форме, образец которой приводится ниже.

Месяц и число	№№ и наименование поста	Время наблюдений (часы, минуты)	Гор. воды по рейке		Глубина по вертикали			Ширина	Поплавк. наблюдения (время в секундах)				
			№	№	№	№	№		№	№	№	№	расстояние между створ.
1.V	№ 40 Ташарна	7,20	123	—	78	82	76	3,15	32	31	32	—	14,0
.	№ 51 Булак	7,40	140	—	43	43	41	2,68	43	41	42	—	17,5

и. т. д.

Обработка данных контрольных периодических измерений расходов ведется обычным принятым способом, т. е. аналитически, разница будет заключаться только в дополнительном определении некоторых элементов, а именно:

1. Значения максимальной поверхностной скорости, определенной поплавками, за которую принимается средняя из двух наибольших зафиксированных скоростей¹.

2. Среднего значения глубины h по трем постоянным вертикалям, на которых производятся промеры при ежедневных наблюдениях.

3. Величины $C = (H - h)$, т. е. разности между приведенным показанием рейки и средней глубиной дна, определенной на трех постоянных вертикалях.

Величины $v_{\text{пов. макс}}$, h и C обязательно отмечаются на видном месте на бланке измерения и вычисления расхода воды.

Обработка данных ежедневных срочных наблюдений заключается в определении расхода на основании значений элементов потока, зафиксированных при этом наблюдении, и значений тех же элементов последнего измеренного расхода воды.

Расход воды данного срочного наблюдения (Q_2) следует принимать равным:

$$Q_2 = \frac{Q_1 h_2 v_2 B_2}{h_1 v_1 B_1}$$

где Q_1 — последний фактически измеренный расход воды,

h_1 — средняя глубина дна, определенная по трем промерным вертикалям при измерении расхода Q_1 ,

v_1 — наибольшая поверхностная скорость, определенная при измерении Q_1 ,

B_1 — ширина зеркала воды на створе, измеренная при Q_1 ,

h_2, v_2, B_2 — соответственно — средняя глубина дна (по трем вертикалям), наибольшая поверхностная скорость и ширина зеркала, определенные при данном срочном наблюдении.

Вычисление расходов по каждому посту следует вести по отдельной ведомости следующей формы:

¹ Имеется в виду, что до массового изготовления Санири сконструированных приборов для определения скоростей, во всяком случае, в ближайшее время для определения $v_{\text{пов.}}$ будут пользоваться поплавками и в более редких случаях вертушками.

Месяц, число	Время наблюдения часы, мин.	Гор. воды Н привед. к "0" поста	Средн. глуб. 3-х постоянных вертикалей	$H - h = C$	V пов. макс.	Ширина канала В	Расх. воды Q (факт. измер.)	$\frac{Q_1}{h_1 v_1 B_1}$	$h_2 v_2 B_2$ (по срочн. набл.)	Q_2	Сред. суточн. расход
10.V	16,20	1,15	0,76	0,49	0,34	3,16	1,25	1,54	—	—	—
"	19,00	1,15	0,66	0,49	0,31	3,07	—	—	0,63	0,95	—
11.V	7,20	1,14	0,67	0,47	0,29	3,05	—	—	0,59	0,91	—
"	19,30	1,14	0,67	0,47	0,32	3,05	—	—	0,65	1,00	—
12.V	7,15	0,83	0,35	0,48	0,19	2,70	—	—	0,18	0,27	—
"	12,30	0,95	0,47	0,48	0,22	2,95	0,48	1,57	—	—	—
"	19,35	1,76	1,26	0,50	0,40	4,10	—	—	2,06	3,31	—
13.V	7,00	1,50	0,98	0,52	0,39	3,70	—	—	1,42	2,19	—

и т. д.

По примерному заполнению предложенной формы видно, что в нее заносятся все основные данные как контрольных периодических замеров (жирно набранные строки), так и по срочным наблюдениям. Основные данные фактических измерений: Q_1 и $Q_1 : v_1 h_1 B_1$, вынесены в отдельные графы для большей наглядности.

Расход по срочному наблюдению получается в результате умножения $Q_1 : v_1 h_1 B_1$ на величину $h_2 v_2 B_2$.

Данные фактических измерений для вычисления расходов по срочным наблюдениям принимаются в расчет без изменения на все последующие дни до следующего фактического измерения.