

С.С.Сатаркулов, Э.М.Мамбетов, Д.К.Садыбакова

**ВОДОМЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
ДЛЯ УЧЕТА ВОДЫ ВО ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ**

Под редакцией: С.С. Сатаркулова – профессора ВАК КР по специальности «Мелиорация», изобретателя СССР, заслуженного изобретателя Киргизской ССР, кандидата технических наук

Бишкек 2018

**УДК
ББК
В**

Авторы: С.С. Сатаркулов, Э.М. Мамбетов, Д.К.Садыбакова

Рецензенты:

Логинов Г.И., д.т.н., профессор КРСУ, заведующий кафедрой «ГТС и ВР».

Атаканов А.Ж., к.т.н., зам. директора Кыргызского научно-исследовательского института ирригации.

Аскаралиев Б.О., к.т.н., доцент кафедры «Мелиорация и управление водными ресурсами» КНАУ.

Водомерные сооружения для учета воды во внутривозвратных
В оросительных каналах. - Б.: 2018. – 208 с.

ISBN

В работе приведены параметры и эксплуатационные характеристики внутривозвратных оросительных каналов и построенных на них водомерных сооружений; изложены требования, предъявляемые к водомерам, и приведены усовершенствованные и новые конструкции сооружений, с результатами их испытаний в натуральных условиях; даны рекомендации по компоновке, конструированию и гидравлическому расчету рекомендованных к внедрению водомеров, обеспечивающих учет водных ресурсов в условиях внутривозвратных оросительных каналов с допустимой погрешностью.

В

**УДК
ББК**

ISBN

© Авторский коллектив, 2018

ВВЕДЕНИЕ

В условиях аридной зоны, к категории которой относится и территория Кыргызской Республики, важное значение приобретает рациональное использование водных ресурсов страны. Они являются материальными ценностями, а потому требуют бережного к ним отношения и экономного их использования. Указанные задачи не могут быть решены без оперативного и правильного учета водных ресурсов во всех водных артериях, в том числе магистральных, межхозяйственных и внутрихозяйственных оросительных каналах. К настоящему времени все эти каналы в той или иной степени оснащены теми или иными типами водомерных сооружений. Изучение опыта их эксплуатации показывает, что если водомеры на магистральных и межхозяйственных каналах функционируют в основном на должном уровне, то работа по учету воды во внутрихозяйственных каналах поставлена весьма слабо.

Такое положение не отвечает нынешним реалиям, когда в республике действует плата за используемой воды. В учете воды заинтересованы не только вододатели, но и водопользователи и, прежде всего, дехкане. Они просят, чтобы воды подавали точно по их заявкам и требуют доказательств о поданном для них расходе воды. Применяемые в таких условиях водомерные сооружения должны удовлетворять не только технологическим, но и метрологическим требованиям.

Иначе говоря, в условиях платного водопользования, когда все имеющиеся водомеры превратились в коммерческие средства для измерения расходов воды, требуется организовать точный учет подаваемых расходов воды.

Это требует изучению эксплуатационных показателей самих внутрихозяйственных каналов и действующих на них водомеров, выявлению недостатков этих водных объектов и устранению их путем совершенствования конструкций и компоновок сооружений с дальнейшим повышением точности измеряемых расходов воды.

В данной работе получили освещение основные результаты исследований, проведенных авторами в последние годы по указанным выше направлениям. В работе, на основании материалов научных исследований, дается анализ применимости существующих водомерных сооружений применительно к внутрихозяйственным каналам и

приводятся усовершенствованные и новые их конструкции и компоновки, с результатами их испытаний.

Авторы выражают искреннюю благодарность следующим работникам ЧГБУВХ: Дейнеко П.Н. – начальнику ОВП, Иманканову Д.И. – главному метрологу, Женалиеву З.М. - начальнику головного участка ЗБЧК, Кондубаеву Т.А. - начальнику Кантского отделения ВБЧК и Акматову Ч.А. - начальнику 2-го Аламудунского участка ЗБЧК за содействие и большую помощь, оказанную при внедрении и испытании экспериментальных образцов усовершенствованных и новых водомерных сооружений на оросительных каналах Чуйской долины.

Книга предназначена для специалистов водной отрасли, работающих проектированием, строительством и эксплуатацией водомерных сооружений на внутрихозяйственных оросительных каналах; она полезна и для метрологов, работающих в системе водного хозяйства республики.

1. Характеристика внутрихозяйственных каналов и оснащенности их водомерными сооружениями

1.1. Общие сведения

В Кыргызской Республике на протяжении ряда десятилетий функционируют уникальные и имеющие огромное народнохозяйственное значение оросительные системы, имеющие в своем составе магистральные, межхозяйственные и внутрихозяйственные каналы.

Из сведений, приведенных в [53], вытекает следующее:

- общая орошаемая площадь, подвешенная ко всем действующим оросительным системам республики, составляет 1021,237 тыс.га;
- общая протяженность каналов, функционируемых в составе всех оросительных систем, составляет 26895,870 тыс.км, в том числе внутрихозяйственных – 21938,68 тыс.км;
- из указанной протяженности внутрихозяйственных каналов 15908,490 тыс. км представлены в земляном русле, 2760,520 тыс.км – в бетонной облицовке и 3269,670 тыс.км – в лотковых каналах параболического сечения;
- общее количество гидростов, построенных на оросительных системах республики, составляет 3652, в том числе на внутрихозяйственных каналах – 563 шт.

Из сведений, приведенных в документе по инвентаризации внутрихозяйственных каналов АВП по республике на 2014 год [18], вытекает следующее:

- подвешенная к оросительным системам площадь, зарегистрированная за АВП, - 697,115 тыс.га;
- протяженность оросительных каналов – 17504 км, в том числе в земляном русле – 12627 км, в бетонной облицовке – 1780, Г – образных блоках – 497 и лотках параболического сечения – 2711 км;
- общее количество гидростов, построенных на оросительных системах (на внутрихозяйственных каналах) АВП, составляет 857 шт.

Водные объекты внутрихозяйственных значений обслуживаются в основном работниками АВП, их количество по состоянию на 2016 год составляет 486, в том числе по областям: Баткенской – 32; Жалал-Абадской – 71; Ошской – 87; Таласской – 69; Нарынской – 51; Иссык-

Кульской – 60 и Чуйской – 110 шт. Значительная часть внутрихозяйственных каналов обслуживается также и работниками РУВХ, и даже – БУВХ.

1.2. Характеристика внутрихозяйственных каналов

1.2.1. Каналы в земляном русле

Протяженность каналов в земляном русле только по АВП составляет более 12627 км. Но их в республике гораздо больше, так как есть множество внутрихозяйственных каналов в земляном русле, не числящиеся на балансе АВП, но по которым вода подается водопользователям, минуя АВП. В такие водотоки вода подается непосредственно и из источников орошения (рек), и из магистральных и межхозяйственных каналов, и из БДР и БСР, находящихся на балансе и БУВХ, и районных управлений водного хозяйства.

Трассы внутрихозяйственных каналов в земляном русле в предгорной и равнинной зонах прокладываются как поперек горизонталей, так и вдоль них. При этом при строительстве в той или иной зоне эти каналы возводятся по форме трапецеидального поперечного сечения. Пропускная способность каналов определяется по формуле

$$Q = C \sqrt{S} \quad (1.1)$$

где Q – площадь живого сечения потока; S – ширина канала по дну; C – откос; α – глубина воды; i – уклон канала.

В (1.1) C – коэффициент Шези, определяется по формуле

$$C = \frac{1}{K} \quad (1.2)$$

где K – коэффициент шероховатости, принимаемый исходя из состояния

ложе русел по данным приложения 1 [15]; $\frac{1}{5}$ – показатель степени;

R – гидравлический радиус; P – смоченный периметр.

Параметры ныне действующих внутрихозяйственных каналов в земляном русле могут быть охарактеризованы следующими данными:

ширина по дну = 0,4 – 1,0м, откосы = 1 – 1,5, строительная высота $h_{стр} = 0,3 – 0,6$ м, уклоны $\leq 0,002$.

Максимальная пропускная способность каналов меняется в широких пределах и составляет от 0,3 и до 1,0м³/с, иногда превышая и эту величину. Параметр кинетичности потока – число Фруда

Как правило, построенные каналы (до пуска воды) имеют правильную форму не только по периметру поперечного сечения, но и вдоль по длине. Однако, с пуском воды начинает меняться вся картина, конечно, в худшую сторону. В частности:

- на каналах, построенных в предгорной зоне поперек горизонталей, начинают смываться галечниково-песчаные грунты, обнажаются лежащие под этими грунтами булыжники, смываются грунты и с откосов, водотоки теряют свою форму, изменяются гидравлические параметры и самих потоков;

- на каналах, построенных в предгорной зоне вдоль горизонталей, происходят осаждение (уплотнение) грунтов не только по периметру каналов, но и по их длине, наблюдается смыв грунта с одного участка и отложение его на другом участке, изменяются параметры водотоков и потоков воды, протекающих по ним, что, в конечном счете, отрицательно скажется на пропускную способность каналов с земляным руслом.

а)



б)



Рис. 1.1. Каналы в земляном русле, трассы которых проходят в предгорной зоне поперек горизонталей. Внутрихозяйственные каналы на системах рек Иссык-Ата (а) и Ала-Арча (б).

В процессе эксплуатации каналов в земляном русле в предгорной зоне с трассами поперек горизонталей, происходит естественная отмостка их дна булыжниками и камнями, возрастают коэффициенты шероховатости ($\geq 0,03$) [31], русла каналов становятся устойчивыми и практически не деформируемыми, течение воды в них аэрированным (рис.1.1).

Что же касается каналов в предгорной зоне, построенных вдоль горизонталей, то они изменяются до неузнаваемости (рис. 1.2): водотоки зарастают травами и заиливаются песком и илом настолько, что, из-за резкого уменьшения площадей поперечного сечения самих каналов и увеличения коэффициента шероховатости их русла, сильно уменьшается пропускная способность водотоков и осложняется подача требуемого количества воды водопотребителям. При этом такие каналы часто выходят из строя практически после двух-трех летней их эксплуатации.

а)



б)



Рис. 1.2. Каналы в земляном русле, трассы которых проходят в предгорной зоне вдоль горизонталей. Внутрихозяйственные каналы Р-12-12 системы ВБЧК (а) и Р-10 левый системы ЗБЧК (б).

В более сложной обстановке находятся внутрихозяйственные каналы в земляном русле, построенные в равнинной зоне как вдоль, так и поперек горизонталей. В этой зоне каналы сильно заиливаются наносами (песком, илом) и быстро зарастают растительностью (камышом, травами), причем зарастают практически в течение 1,5-2,0 летней эксплуатации водного объекта.

К чему может привести зарастание канала только камышом показано в следующих примерах.

Внутрихозяйственный канал СХ-2 (рис. 1.3а) является левым отводом межхозяйственного канала КРВХ-1 распределителя Р-24 системы ЗБЧК.

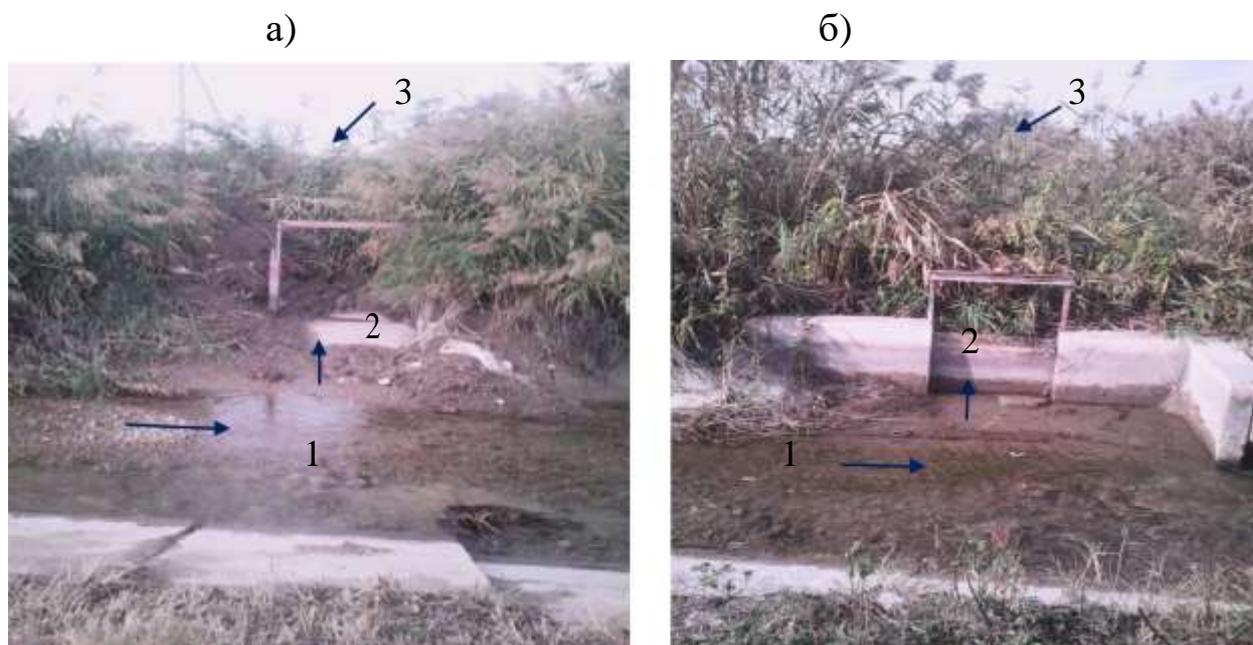


Рис. 1.3. Вододелители на межхозяйственном канале КРВХ-1 Р-24 системы ЗБЧК. а, б – начало внутрихозяйственных каналов СХ-2 и СХ-3. 1 – канал КРВХ-1; 2 – вход во внутрихозяйственные каналы; 3 – места размещения гидропостов на внутрихозяйственных каналах, проложенных вдоль горизонталей (из-за подпора, возникаемого за счет заиления и зарастания отводящих в земляном русле каналов, учет воды на этих гидропостах не ведется).

Параметры канала: $b = 1,0$ м; откосы – 1,5; уклон – 0,002. Гидравлический расчет пропускной способности канала проводился при $n = 0,023$ (земляные каналы, находящиеся в условиях содержания и ремонта выше средних) и $n = 0,04$ (каналы исключительно в плохих условиях – заросли камыша, густые корни и др.[15, 51]). Результаты расчета графически приведены на рис 1.4, из которого следует, что увеличение коэффициента шероховатости приводит не только к уменьшению скорости потока (рис. 1.4а), но и расхода воды (рис. 1.4б), при этом заиление канала наносами приводит к дальнейшему ухудшению указанных параметров водного потока.

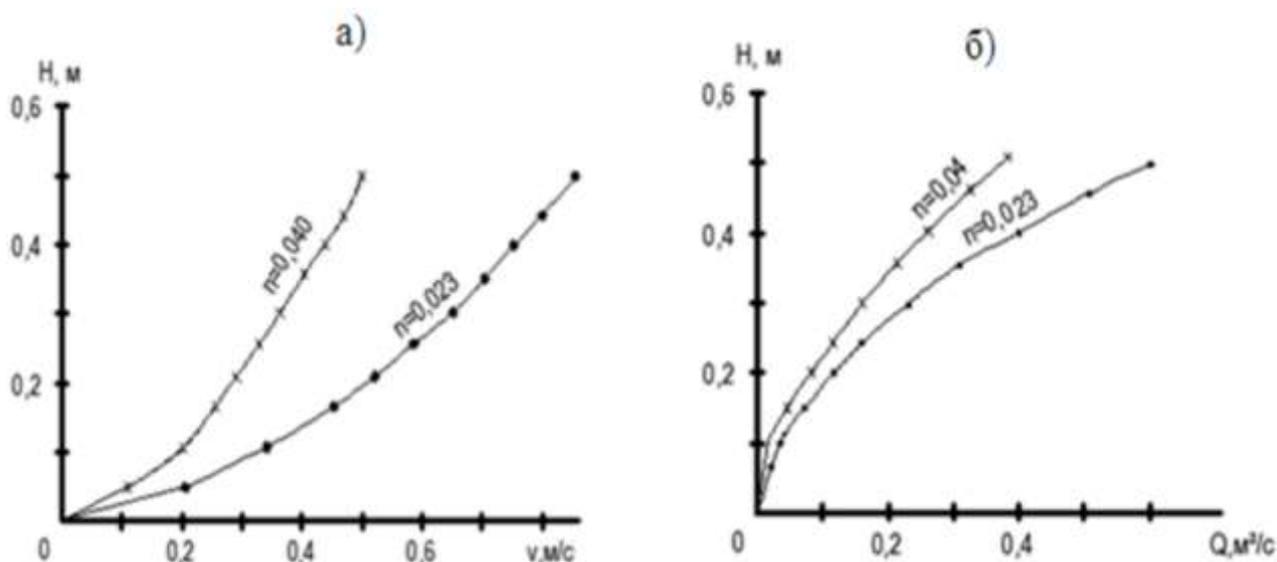


Рис.1.4. Графики зависимостей $H = H(v)$ и $H = H(Q)$ отвода СХ-2 из канала КРВХ-1 Р-24 системы ЗБЧК.

Если провести гидравлический расчет применительно к внутрихозяйственному каналу СХ-3 (рис. 1.3б) – отводу из межхозяйственного канала КРВХ-1, то можно получить аналогичные результаты, приведенные на рис. 1.4 применительно к отводу СХ-2.

Другой пример. Для проверки влияние только коэффициента шероховатости на пропускную способность каналов с различными параметрами проведен гидравлический расчет при $h_1 = 1,0$ м и $h_2 = 0,5$ м при одинаковых $n = 0,002$ и $n = 1,5$. Данные расчета приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Влияние коэффициента шероховатости на пропускную способность каналов с различными параметрами

Ширина канала по дну $b, м$	Коэффициент шероховатости, n	Скорости потока (м/с) при глубинах воды (м)									
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1,0	0,023	0,25	0,48	0,56	0,63	0,69	0,75	0,80	0,85	0,89	0,94
0,5	0,023	0,24	0,43	0,50	0,56	0,62	0,66	0,71	0,75	0,79	0,83
1,0	0,040	0,14	0,27	0,32	0,36	0,40	0,43	0,46	0,49	0,51	0,54
0,5	0,040	0,14	0,25	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,43	0,46	0,48

Как показывают данные этой таблицы, влияние коэффициента шероховатости на пропускную способность канала усиливается с

уменьшением его параметров и, в частности, ширины по дну. Так, в приведенной таблице скорости потока увеличиваются с возрастанием глубины воды как при $= 1,0\text{м}$, так и при $= 0,5\text{м}$. Это естественно. Однако, скорости потока при одних и тех же значениях коэффициента шероховатости начинают уменьшаться с уменьшением ширины канала по дну, что, с нашей точки зрения, не только усилит его заиливание наносами, но отрицательно скажется и на пропускную способность самого водотока.

1.2.2. Каналы в бетонной облицовке

Протяженность каналов в бетонной облицовке только в АВП республики составляет 2277 км, но они имеются не только на балансе АВП, но и на балансах РУВХ и Айыл Өкмөтү. Поперечное сечение каналов (рис. 1.5) – трапецеидальное, редко – прямоугольное. Облицовка – монолитный бетон, облицовываются и железобетонными плитами.



Рис. 1.5. Каналы в бетонной облицовке.

Каналы в бетонной облицовке строятся как в предгорной зоне, так и в равнинной; строятся они как вдоль, так и поперек горизонталей. Параметры каналов характеризуются следующими данными: $= 0,5 - 1,0\text{ м}$; $\text{стр} = 0,6 - 1,2\text{ м}$; $= 0 - 1$; пропускная способность $= 0,5 - 1,5\text{ м}^3/\text{с}$; скорости течения воды $= 0,3 - 3\text{ м/с}$ и более; режимы течения воды – разные, в отдельных каналах < 1 (спокойное течение), в других > 1 (бурное течение).

Пропускная способность водотоков определяется по формуле (1.1), при этом коэффициент шероховатости в формуле (1.2) назначается в следующих пределах [15]:

- облицовка бетонная, хорошо отделенная – = 0,012 – 0,014;

- облицовка бетонная, грубо отделенная – = 0,015 – 0,017. Обследование эксплуатационных показателей каналов, имеющих

бетонную облицовку, показывает, что из-за плохой заделки стыков между плитами и недостаточного уплотнения грунта под последними, водотоки с плитами часто подвергаются деформации (рис. 1.6), чем каналы в монолитном бетоне.



Рис. 1.6. Каналы, облицованные железобетонными плитами.

В целом внутрихозяйственные каналы в бетонной облицовке работают нормально, этим облегчается оснащение их средствами учета воды.

1.2.3. Лотковые каналы параболического сечения

Лотковые каналы параболического сечения, получившие широкое распространение в республике, характеризуются следующими данными:

- протяженность лотковых каналов только на балансе АВП составляет порядка 2711 км, но они имеются и на балансах РУВХ и Айыл Өкмөтү;

- пропускные способности лотков (максимальные расходы) составляют 0,5 - 0,8; редко превышая 1,0 м³/с;
- высота лотков – 0,4-1,0 м;
- уклоны – 0,001-0,04, иногда достигают 0,06;
- глубина потоков – 0,2-0,6 м;
- скорости течения воды 0,5-5 м/с;
- режимы течения воды - спокойные < 1 и бурные > 1, иногда достигают до 5.

Лотковые каналы параболического сечения строятся в предгорно- и равнинной зонах как вдоль, так и поперек горизонталей.

Пропускная способность лотковых каналов определяется по формуле (1.1), а коэффициент Шези – по формуле 1.2. В указанных формулах:

- \bar{F} – площадь живого сечения;
- \bar{B} – ширина по урезу воды;
- H – глубина потока в лотке; p – параметр параболы;
- R – гидравлический радиус, \bar{P} – смоченный периметр, равный

$$\chi = P \left[\frac{2H}{p} + 1 + \frac{2H}{p} + \ln \left(\frac{2H}{p} + 1 + \frac{2H}{p} \right) \right] \quad (1.3)$$

при этом лотки глубиной 0,4-0,8 м имеют параметр параболы = 0,2 м, лотки глубиной 1 м – = 0,35 м. Коэффициент шероховатости лотков в формуле (1.2) составляет = 0,011 – 0,013. Однако, учитывая несовершенство монтажных работ и заделки стыков между секциями лотков, коэффициенты шероховатости обычно принимаются равными = 0,014 – 0,015.

Для облегчения условий гидравлического расчета пропускных способностей лотковых каналов параболического сечения в приложении 2 приведены параметры элементов потока при заданных глубинах. Зная их, легко можно определить пропускные способности лотков по формулам (1.1) и (1.2).

Обследование эксплуатационных показателей лотковых каналов свидетельствует о том, что в целом эти оросительные водотоки работают нормально и этим может быть облегчено условие учета воды, протекающей по ним.

1.3. Оснащенность внутрихозяйственных каналов водомерными сооружениями

Для учета воды оросительные системы республики армированы водомерными сооружениями (гидропостами), общее количество которых составляет 3652, в том числе на внутрихозяйственной сети – 563 шт. При этом если гидропосты на межхозяйственной сети в той или иной степени находятся на балансе госучреждений, то гидропосты на внутрихозяйственной сети – их на балансе нет, нет их и в составе аттестованных водомерных сооружений.

Выводы

Внутрихозяйственные каналы республики отличаются многочисленностью и характеризуются низкой пропускной способностью ($0,1-1,0\text{ м}^3/\text{с}$), с малыми строительными параметрами $= 0,4 - 1,0$ м и $\text{стр}=0,4-1,0\text{ м}$, функционируют в земляном русле, бетонной облицовке и лотках; имеют трапецеидальное, прямоугольное и параболическое поперечные сечения.

Внутрихозяйственные каналы возведены как в предгорной, так и равнинной зонах, при этом:

- водотоки с земляным руслом, проложенные вдоль горизонталей в предгорной- и равнинной зонах, подвержены сильному заилению (песком, илом) наносами и интенсивному зарастанию (камышом и др.) растительностью, чем может осложниться не только учет воды, но и эксплуатация самих каналов;

- водотоки с земляным руслом, проложенные поперек горизонталей в предгорной зоне, имеют устойчивое русло (в виду образования естественной отмоски), что благоприятно может отразиться на размещении на таких каналах водомеров для учета воды;

- каналы с бетонной облицовкой и лотки, несмотря на различные (спокойный, бурный) режимы их работы, работают нормально, что немаловажно для организации водоучета на этих водотоках.

Во внутрихозяйственных каналах наблюдается широкий диапазон измеряемых уровней воды, скоростей течения потока и расходов воды,

что должно учитываться при оснащении таких водотоков водомерными сооружениями.

Количество гидропостов на внутрихозяйственных каналах республики составляет 563шт, которые практически не состоят на балансе и не представлены к первичной государственной поверке (аттестации), что недопустимо в условиях платного водопользования.

2. Анализ работы существующих водомерных сооружений

2.1. Разновидности сооружений, места их размещения и основные требования к ним

К известным до настоящего времени водомерным сооружениям было уделено много внимание как у зарубежных, так и отечественных ученых и инженеров. К их числу входят Артамонов К.Ф. [1], Абдрасулов И.А. [33, 38], Бочкарев Я.В. [6], Валентини Л.А. [5, 7], Валентини К.Л. [29], Бутырин М.В. [8, 29], Киенчук А.Ф. [8], Бейшекеев К.К. [4], Акимжанов А.А. [9, 11], Батыкова А.Ж. [2, 9, 11], Железняков Г.В. [17], Кошматов Б.Т. [9, 11, 24], Маллаев Х.М. [9, 11, 47, 49], Полотов А.П. [41, 42], Сатаркулов С.С. [9, 11, 23 и др.], Филипов Е.Г. [53], Хамадов И.Б. [54], Ярцев В.Н. [58] и другие. Благодаря работам этих и других исследователей, к настоящему времени разработано множество водомерных устройств (рис 2.1), предназначенных к строительству на магистральных и особенно на межхозяйственных оросительных каналах. Эти же водомеры, с нашей точки зрения, могут быть применены и на внутрихозяйственных каналах, только с уменьшенными параметрами.

Приведенные на рис. 2.1 сооружения могут быть подразделены на следующие типы: «Фиксированное русло», «Водосливы с тонкой стенкой», «Лотки» и водомеры «с подпором».

В соответствии с [13, 14, 15], измерение расходов воды на этих сооружениях, независимо от того, на каких (магистральных, межхозяйственных и внутрихозяйственных) каналах они будут построены, должно осуществляться с погрешностью, не превышающей $\pm 5\%$.

Для повышения точности учета воды на водомерные сооружения предъявляются различные и, в то же время, самые жесткие требования

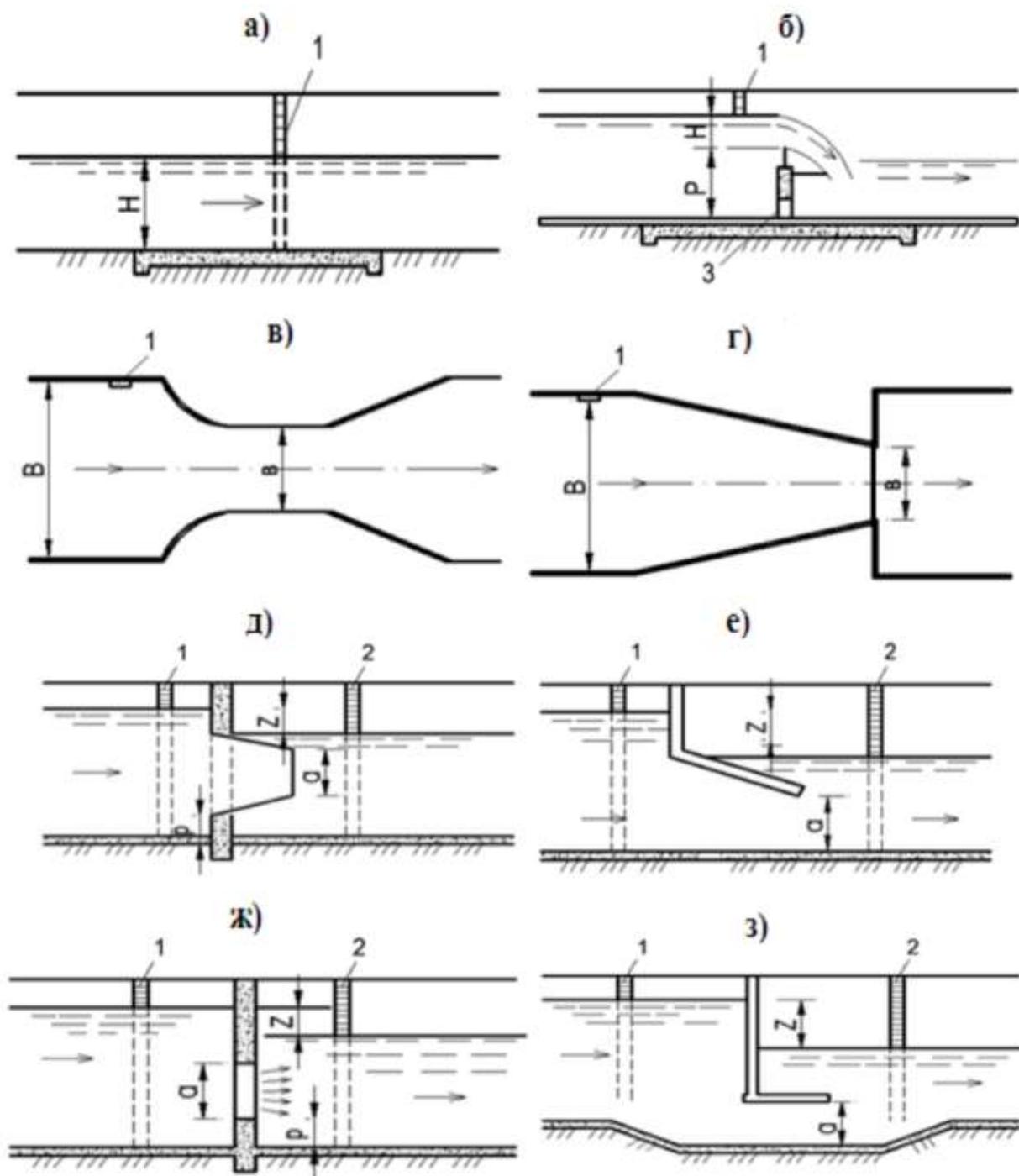


Рис. 2.1. Схемы водомерных сооружений типов: а – «Фиксированное русло»; б – «Водосливы с тонкой стенкой»; в – «Лоток Вентури»; г – «Лоток САНИИРИ»; д – «Конусный насадок»; ж – «Диафрагма»; з – «Диафрагма с полкой». а, б, д, ж, з – разрез по оси сооружений; в, г – планы сооружений. 1-2 – водомерные рейки; 3 – наносопромывное отверстие.

(они приводятся в последующих подразделах работы), только при выполнении которых построенные сооружения допускаются к применению в качестве средств для измерения расходов воды. Но в

составе этих требований отсутствуют, к сожалению, интересы простых сотни- и сотни тысяч покупателей воды - дехкан, которые, при принятии воды от вододателей (БУВХ, РУВХ и АВП), постоянно требуют доказательств о поданном им расходе воды. Их не интересуют расчеты пропускной способности водомеров теоретическим путем, их не интересуют рекомендации нормативных и других официальных источников по определению пропускной способности сооружений. Их интересует лишь одно – доказательство того, что вода подается точь в точь по их заявкам. Их интересуют инструментальные замеры, проводимые только в присутствии самих дехкан. При этом такая работа должна проводиться в начале вегетации при градуировке водомерных устройств, с отражением ее результатов на графиках пропускной способности сооружений.

Исходя из изложенного, основное требование водопользователей (в частности, дехкан) можно будет сформулировать следующим образом – применяемые на внутрихозяйственных оросительных каналах водомеры должны быть подвергаемые к градуировке с применением средств измерения уровней и скоростей течения воды. При этом методика градуировки должна быть простой и понятной этим водопользователям - дехканам.

Изучение схем размещения водомерных сооружений на внутрихозяйственных оросительных каналах показало, что водомерные сооружения на них размещаются в основном по приведенным на рис. 2.2 схемам [47, 48].

При этом по схеме:

- на рис. 2.2а – водомер размещается на транзитной части канала, при котором сам канал может быть проложен в земляном русле или облицован бетоном. Расстояние между началом канала и местом размещения гидропоста может составить порядка = 20 – 100м и более;

- на рис. 2.2б – сооружение размещается ближе к головной части канала, но режим истечения из-под щита 2 не сказывается на эффективности работы гидропоста, так как длина подводящего участка канала составит порядка = 10 – 20м; подводящий участок канала часто имеет облицовку, а отводящий – проходит в земляном русле или имеет бетонную облицовку;

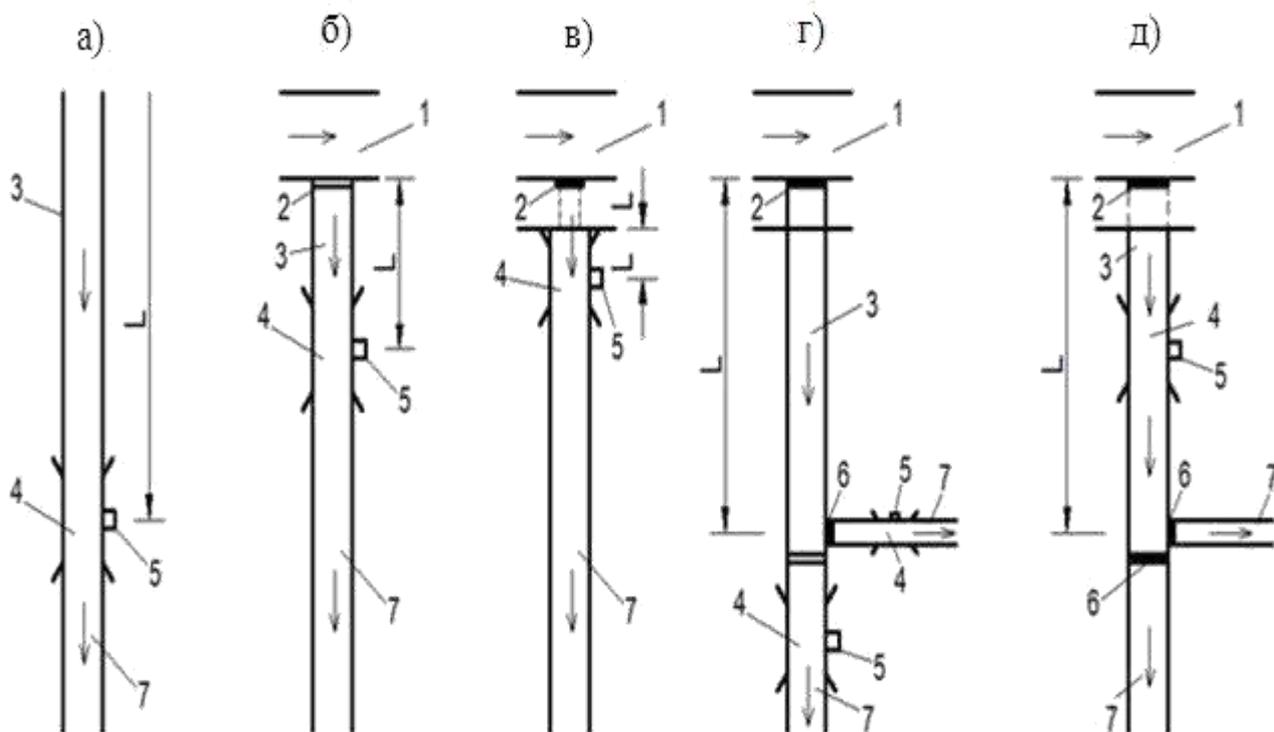


Рис. 2.2. Схемы размещения водомерных сооружений на внутрихозяйственных оросительных каналах. 1 – старший канал; 2 – щит в голове внутрихозяйственного канала; 3 – подводящий внутрихозяйственный канал; 4 – гидрост; 5 – уровнемерный колодец; 6 – щиты вододелителей на внутрихозяйственных каналах; 7 – отводящие внутрихозяйственные каналы.

- на рис. 2.2в – водомер размещается в конце трубчатого водовыпуска и не имеет подводящего к нему участка канала, то есть $= 0$; отводящий от гидростоа водоток часто проходит в земляном русле и весьма редко – имеет облицовку;

- на рис. 2.2г – водомер отсутствует на участке между головным регулятором 2 и вододельным сооружением, размещенным на отводящем канале на расстоянии порядка до $= 15 - 20$ м; учет воды ведется только на отводах вододельного сооружения;

- на рис. 2.2д – сооружение размещается в средней части канала между головным регулятором 2 и вододельным, при этом длина водотока на этом участке составит порядка $= 10 - 20$ м.

Измерительные участки гидростов имеют бетонную облицовку. Кроме указанных решений по размещению водомерных сооружений, имеются еще более удобные и достаточно рациональные места – это

водораспределительные сооружения, объединяющие функции и распределения, и учет воды. Это так называемые «щитовые водомеры». Здесь, путем изменения компоновок водораспределителей и конструкций плоских их щитов, можно создать совершенно новые сооружения, на которых одновременно можно осуществлять и регулирование, и учет водных ресурсов республики. Такие сооружения, на наш взгляд, будут гораздо дешевле, чем построенные по схемам на рис. 2.2, и удобны при эксплуатации.

2.2. Эксплуатационные показатели существующих водомерных сооружений

2.2.1. Водомеры типа «Фиксированное русло»

Такие гидросты размещаются на внутривладельческих каналах по схемам, показанным на рис. 2.2 а, б, в, г. Предварительно в такой последовательности и проводится анализ эксплуатационных показателей гидростов, построенных на внутривладельческих оросительных каналах республики. При этом такой анализ проводится в следующей последовательности – первоначально применительно к каналам с земляным руслом, затем с облицовкой и в конце – применительно к лотковым каналам параболического сечения.

2.2.1.1. Водомеры на транзитной части каналов

2.2.1.1.1. На каналах с земляным руслом

В состав рассматриваемого сооружения (рис. 2.3) входят подводящий 1 и отводящий 2 участки канала в земляном русле, измерительный участок 3, измерительный створ 4, успокоительный колодец 5, уровнемерная рейка 6, соединительная труба 7 с отсекателем 8 на ее конце, гидрометрический мост и репер. Измерительный участок облицовывается, как правило, монолитным бетоном или железобетонными плитами.

В соответствии с [13, 16], условия применимости водомеров данного типа приведены в таблице 2.1.

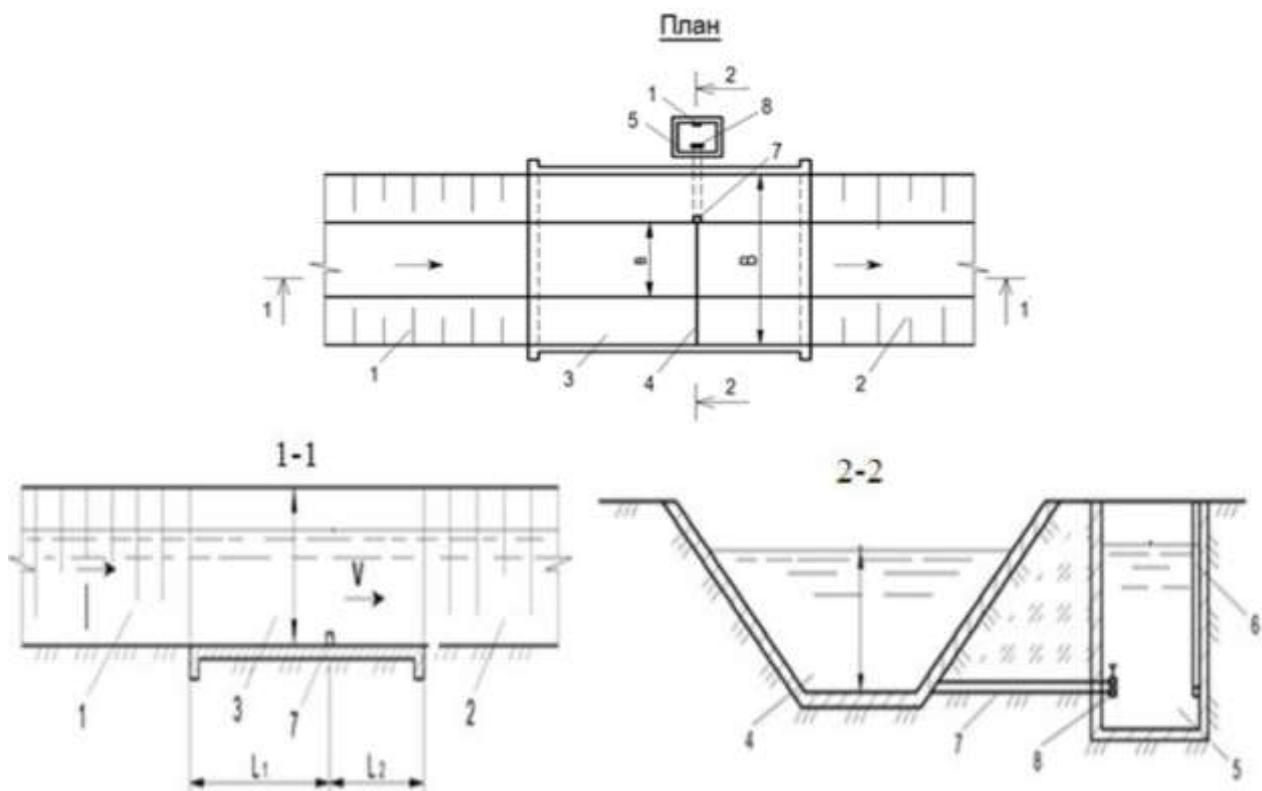


Рис. 2.3. Схема водомерного сооружения типа «Фиксированное русло» применительно к каналу с земляным руслом.

Режим истечения воды на таких гидростаях, как это следует из табл. 2.1, должен быть равномерным и без подпоров. Такой режим формируется при течении воды по призматическому руслу и в случае, если гидростая построены с учетом следующих требований:

- измерительный участок должен быть прямолинейным, с постоянной формой поперечного сечения, при этом его длина, в зависимости от ширины водотока по верху (B) и скорости потока (v), назначается следующим образом:

- измерительный участок должен быть удален от сетевых (водораспределительных, поворотных, подпитывающих и других) сооружений и других источников для образования сбойного течения воды на расстояние, исключающее появление в измерительном створе волны возмущений и составляющее не менее $10B$;

- уклон дна измерительного участка должен быть постоянным и более $0,002$, ибо при $< 0,002$ может появиться подпорно-переменный режим из-за деформации (заиление, зарастание) отводящего в земляном русле канала.

Вышеприведенные требования к измерительному участку и, в частности,:

- прямолинейное в плане очертание создает условие для параллельноструйного течения воды в пределах измерительного участка водомера;

- постоянство параметров водотока как в поперечном, так и в продольном направлениях сооружения указывает на призматичность русла;

- постоянство гидравлических элементов потока как во времени, так и по длине самого водовода указывает на равномерность режима течения воды по сооружению.

Таблица 2.1

Условия применимости водомеров типа «Фиксированное русло» на каналах трапецеидального и прямоугольного поперечных сечений

Наименование показателей	Единица измерения	Шифры нормативных документов	
		МВИ 05-90 [16]	МВИ 11-10 [13]
Расход воды	м ³ /с	0,2-500,0	0,2-250,0
Скорость потока	м/с	0,2-3,5	0,2-3,5
Глубина потока	м	0,2-6,0	0,2-6,0
Режим потока	-	Равномерный, без подпоров	Равномерный, без подпоров
Косоструйность струй относительно продольной оси канала	Град	≤15	≤15
Длина прямолинейного измерительного участка канала	м	Не менее указанной в табл. 2.2 значений	Не менее указанной в табл. 2.2 значений
<small>Токс. при > 2 мс</small>	м	Принимается в 1,5 раза длиннее по сравнению с данными в табл. 2.2	Принимается в 1,5 раза длиннее по сравнению с данными в табл. 2.2
Расстояние от источников сбойности (возмущения) потока до измерительного участка	м	Не менее 10В, где В – ширина канала по верху	Не менее 10В, где В – ширина канала по верху
Зайление измерительного участка наносами	-	Не допускается зайление слоем толщиной более 2% от нормальной глубины потока	Не допускается зайление слоем толщиной более 2% от нормальной глубины потока
Береговые успокоительные колодцы	-	Предусматриваются	Предусматриваются
Гидрометрические мосты	-	Предусматриваются	Предусматриваются
Топографические репера	-	Предусматриваются	Предусматриваются

Только при наличии отмеченных условий водомеры типа «Фиксированное русло» могут быть допущены к градуировке и по положительным ее результатам – приняты в качестве рабочих средств для измерения расходов воды.

Таблица 2.2

Условия применимости водомера типа «Фиксированное русло»

Наименование показателя	Скорость потока, м/с	Расход воды (max), м ³ /с				
		0,2-5,0	5,0-10,0	10,0-25,0	25,0-100,0	Более 100
Минимальная допустимая длина измерительного участка	Менее 2,0	(6-8)В	(4-6)В	(3-5)В	(2-3)В	Не менее 1,5В
	Более 2,0	(9-12)В	(6-9)В	(4,5-7,5)В	(3-4,5)В	Не менее 2,25В

Для облегчения условий применимости рассматриваемого типа водомера применительно к внутрихозяйственным каналам с земляным руслом, в 1992 году в ПКТИ «Водавтоматика и метрология» по заказу Минводхоза республики был разработан следующий документ: «Водомерные сооружения для точек выдела в хозяйства. «Фиксированное русло». Рабочий проект для повторного применения». [10], который остается в силе и в настоящее время. Он разработан для пропуска расхода воды до 1,0м³/с.

Следует отметить, что состояние потока на водомере определяется прежде всего путем принятие положения о том, что этот водомер – тот же канал и его пропускная способность при равномерном режиме определяется обычным расчетом, то есть по формуле (1.1). Иначе говоря, задаваясь значениями H , и, при известных параметрах сооружения (b ; m ; i ; n), определяется его пропускная способность (Q_p) гидравлическим расчетом. Затем строится график зависимости $Q_p=f(H)$, который принимается как теоретическая (расчетная) пропускная способность водомерного сооружения.

При наличии графика $Q_p=f(H)$, фактический режим течения воды на водомерах устанавливается путем сравнения этого графика с отградуированным графиком сооружения – $Q_u=f(H)$, построенным на основании данных измерений. Совпадение двух графиков будет указывать на наличие равномерного режима течения, а расхождение – на его отсутствие, что является следствием отрицательного влияния каких-то факторов на пропускную способность сооружения.

Касаясь учета воды во внутрихозяйственных каналах с земляным руслом, в [7] отмечается, что «... здесь учет воды становится проблематичным, и вот почему – во избежание размывов водотоков, каналы строятся почти параллельно горизонталям, ввиду чего они имеют малые уклоны (0,001-0,005) и, следовательно, малые скорости течения воды. При этих скоростях потока происходит интенсивное отложение наносов и зарастание каналов растительностью (в равнинной зоне – камышом), что неблагоприятно отражается на работе водомерных сооружений – появляются подпоры переменного характера, чем нарушается режимы работ водомеров и, благодаря именно таким нежелательным изменениям, такие сооружения перестают использоваться в качестве рабочих средств для измерения расходов воды».

Для обоснования изложенного, ниже приводится пример по использованию водомера типа «Фиксированное русло» на внутрихозяйственном канале СХ-2 КРВХ-2 (рис. 1.3а) Р-24 системы ЗБЧК.

Этот гидропост построен на транзитной части канала (место размещения его показано стрелкой) и имеет параметры: ширина по дну 0,7м, откосы полуторные, уклон 0,003, облицован бетоном.

Сам канал проходит в земляном русле, заилен взвешенными наносами, зарос камышом.

Чтобы проверить влияние последних факторов не только на параметры потока в измерительном створе гидропоста, но и на его пропускную способность, проведен следующий расчет.

Гидравлический расчет проведен по формуле (1.1) при следующих значениях коэффициента шероховатости [15, 51]:

- $n=0,015$ – поверхность ложа гидропоста бетонная, хорошо отделанная;
- $n=0,023$ – земляные каналы, находящиеся в условиях содержания и ремонта выше средних;
- $n=0,040$ – каналы в исключительно плохих условиях (заросли камыши, густые корни и т.д.).

Данные гидравлического расчета приведены на рис. 2.4 в виде графиков зависимостей $v=f(H)$ и $Q=f(H)$, которые свидетельствуют о том, что с увеличением коэффициента шероховатости отводящего (от

гидропоста) канала уменьшаются не только скорости течения воды (графики на рис. 2.4а) на водомерном сооружении, но и его пропускная способность (графики на рис. 2.4б).

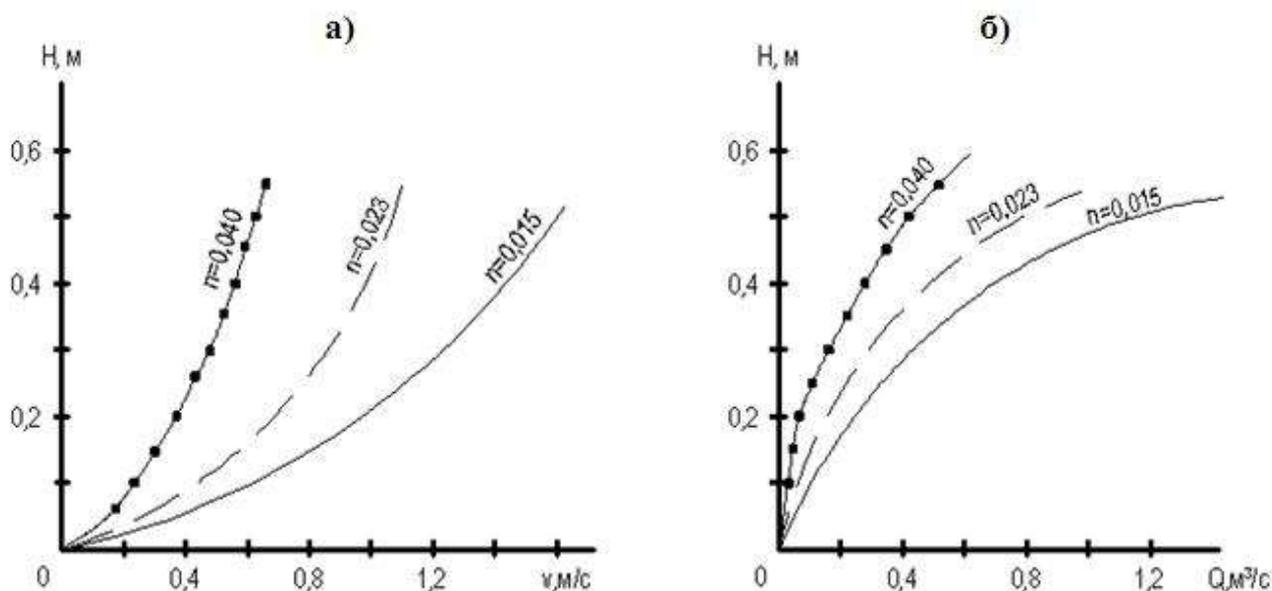


Рис. 2.4. Графики зависимостей $v=f(H)$ (а) и $Q=f(H)$ (б) гидропоста на канале СХ-2 КРВХ-2 Р-24 системы ЗБЧК.

И, наоборот, при одних и тех же расходах воды увеличение коэффициента шероховатости отводящего канала приводит к увеличению глубины воды на гидропосту (таблица 2.3).

Таблица 2.3

Изменение глубины воды под влиянием шероховатости канала

Расходы воды, м ³ /с	Глубины воды при равномерном режиме течения, м			Отношение глубин	
	H ₁	H ₂	H ₃		
	при шероховатостях каналов			—	—
	n=0,015	n=0,023	n=0,040		
0,2	0,19	0,25	0,33	1,32	1,74
0,3	0,25	0,31	0,40	1,24	1,60
0,4	0,29	0,36	0,47	1,24	1,62
0,5	0,33	0,41	0,53	1,24	1,61
0,6	0,36	0,44	0,58	1,22	1,61

Увеличение глубины воды в отводящем канале отрицательно сказывается на работе водомерного сооружения – свободный режим истечения переходит в подпорный (причем переменного характера течения) и, как следствие этого, перестают использовать гидропоста в качестве средства для измерения расходов воды, что и произошло с водомером на канале СХ-2 КРВХ-2 Р-24 системы ЗБЧК.

Трудности применения водомеров на внутривозвратных каналах с земляным руслом усугубляется еще и тем, что в виду малой скорости течения воды эти водотоки заиливаются наносами, с одной стороны, увеличивая шероховатости самих каналов и, с другой, уменьшая их пропускную способность. Все это отрицательно сказывается на работе водомеров, так как они заиливаются наносами (по рассказам службы эксплуатации – очистка гидропоста от наносов и растительности проводится один-два раза в вегетации, но от этого эксплуатационные показатели водомера не улучшаются).

Иначе говоря, опыт эксплуатации многих водомеров свидетельствует о том, что очистка самих гидропостов от наносов и растительности не дает желаемого эффекта, так как в этом случае сохраняется подпор, возникаемый за счет заиливания и зарастания отводящих в земляном русле каналов.

а)



б)



Рис. 2.5. Водомерные сооружения типа «Фиксированное русло», построенные в предгорной зоне поперек горизонталей.

Изложенное касается водомеров, построенных в равнинной зоне на каналах с земляным руслом. Оно присуще и водомерам, построенным в предгорной зоне на каналах с трассами, проходящими параллельно горизонталям, так как и в этих случаях водотоки в земляном русле интенсивно заиливаются наносами (песком, илом) и зарастают различными видами растений. Что же касается водомеров, построенных в

предгорной зоне на каналах с трассами, проходящими поперек горизонталей, то они характеризуются следующими показателями.

Типичные гидропосты, построенные в указанных условиях, приведены на рис. 2.5, которые свидетельствуют, что:

- при смягченных уклонах водотока отводящий в земляном русле канал зарастает растительностью (рис. 2.5а);
- при повышенных уклонах водотока в пределах гидропоста наблюдается отложение крупных фракций донных наносов - булыжников.

При таких случаях проводятся периодические очистные работы от наносов и растительности, после чего гидропосты продолжают использовать для учета водных ресурсов во внутрихозяйственных каналах с земляным руслом.

2.2.1.1.2. На облицованных каналах

Водомеры типа «Фиксированное русло» строятся и эксплуатируются не только на внутрихозяйственных каналах с земляным руслом, но они применяются при учете воды и в водотоках с бетонной облицовкой – в каналах с трапецеидальным и прямоугольным поперечными сечениями (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Водомерные сооружения типа «Фиксированное русло» на облицованных каналах.

В последнем случае выбирается прямолинейный участок водотока, отвечающий требованиям нормативных документов [13, 16]; в пределах этого участка строится успокоительный колодец, который соединяется с каналом при помощи трубки (при $\leq 1,0\text{м/с}$) или (при $> 1,0\text{м/с}$) щели; успокоительный колодец оснащается уровнемерной рейкой, а само сооружение – репером.

Основные требования, предъявляемые к водомерам типа «Фиксированное русло» на каналах с бетонной облицовкой, следующее:

- на измерительных участках гидропоста должен установиться равномерный режим течения воды;
- измерительный участок должен быть чистым от наносов;
- соединение уровнемерного колодца с каналом может осуществляться при помощи трубки при скоростях течения воды $\leq 1,0\text{м/с}$ и при помощи щели – при $> 1\text{м/с}$.

В условиях каналов с бетонной облицовкой эти требования легко выполнимы и водомеры, построенные с учетом таких требований, будут работать нормально.

При организации учета воды во внутрихозяйственных каналах с бетонной облицовкой проводятся следующие работы:

- определяется пропускная способность водомера гидравлическим расчетом и строится график зависимости $p = ()$;
- градуируется водомер и значения измеренных расходов ($Q_{из}$) наносятся на график $p = ()$.

Совпадение точек измерений с графиком $p = ()$ будет указывать

на то, что режим течения воды на водомере – равномерный, поэтому он может быть использован в качестве средства для измерения расходов воды.

Такие работы проводились на гидропосту «Токмок» на одном из распределителях ВБЧК. Водомер типа «Фиксированное русло» имеет прямоугольное сечение, уклон 0,0027. Как это следует из [48], режим течения воды на этом водомере – равномерный, наблюдается «хорошее совпадение измеренных расходов с расчетными», водомер прошел первичную государственную поверку – аттестацию и принят в качестве рабочего средства для учета воды.

Другой пример, когда водомер типа «Фиксированное русло» на облицованном канале не справляется со своей задачей. К нему можно

отнести водомер, построенный на внутривозвратном канале Орто-Алыш (отвод из МК «Туш») системы реки Ала-Арча (рис. 2.7).

Гидропост имеет прямоугольное сечение, ширина 0,92м и уклон 0,0056. Трасса канала проходит вдоль горизонталей. Отводящий от гидропоста канал проходит в земляном русле.

Данный гидропост работал бы нормально, если бы не следующие обстоятельства:

- отводящий от гидропоста канал, имея земляное русло, зарастает растительностью и заиливается наносами (песком, илом), создавая тем самым подпор, причем переменного характера;

- сам гидропост по всей длине заиливается песком и илом, причем толщина этого занесения достигает 20см; очистка гидропоста от наносов не дает желаемого эффекта, так как после пуска воды он моментально заиливается опять же песком и илом.



Рис. 2.7. Водораспределитель на отводе из МК «Туш» (а) и гидропост на канале Орто-Алыш (б). 1 – вход в канал Орто-Алыш; 2 – наносы в виде песка; 3 – затвор.

Причиной заиления гидропоста наносами является обилие их в самом потоке, поступающем из МК «Туш». Эти наносы, достигая водораспределителя (рис. 2.7а), оттуда поступают в канал Орто-Алыш (рис. 2.7б). При этом усиленному их поступлению способствуют подпор,

создаваемый фронтальным затвором 3 (рис. 2.7а), и донная поперечная циркуляция, возникаемая в потоке при боковом отводе воды.

Рассмотренный гидропост, с нашей точки зрения, не сможет быть использован без существенной его реконструкции.

2.2.1.1.3. На лотковых каналах

В соответствии с нормативными документами [15, 20], пропускную способность лотковых каналов параболического сечения можно замерять тоже водомерными сооружениями типа «Фиксированное русло», применив при градуировке известный метод «скорость-площадь». При этом при соблюдении предъявляемых к сооружениям условий – относительная погрешность измерений расходов воды не превышает $\pm 4\%$.

Таблица 2.4

Условия применимости водомеров типа «Фиксированное русло» на лотковых каналах параболического сечения

Наименование элементов потока воды	Единица измерения	Шифр нормативного документа	
		МВИ 33-4755559-09-91 [20]	МВИ 13-10 [15]
Расход	м ³ /с	0,01-2,00	-
Скорость	м/с	0,05-2,00	<2>2
Глубина	м	Более 0,05	-
Режим потока	-	Равномерный, без подпора	Равномерный
Косоструйность отдельных струй относительно продольной оси лотка	Градус	<15	<15
Длина прямолинейного подводящего и отводящего участков лоткового канала от измерительного створа при <small><2>4</small>	м	Не менее 2-х секций лотка	Не менее 2-х секций лотка
То же, <small>при > 2м/с</small>	м	-	Должна приниматься два раза длиннее
Уклон в пределах измерительного участка	-	Постоянный, меньше критического	Постоянный
Расстояние от источников сбойности потока до измерительного участка	-	Не менее 2-х секций лотка	Не менее 2-х секций лотка
Заиление измерительного участками наносами	-	Не допускается	Не допускается слоем более 2% от нормальной глубины потока
Береговые успокоительные колодцы	-	Предусматриваются	Предусматриваются

В состав основных условий применимости водомеров типа «Фиксированное русло» на лотковых каналах параболического сечения входят элементы водного потока и сооружения, приведенные в табл. 2.4.

Из данных этой таблицы вытекает следующее:

- если по первому нормативному документу водомеры типа «Фиксированное русло» могут быть применены только при спокойных потоках ($v < v_{кр}$ и $v \leq 2 \text{ м/с}$), то по нормативному документу МВИ 13-10 – они могут применяться и при бурных потоках ($v > 2 \text{ м/с}$), то есть существенно расширены пределы их применимости;

- если по первому нормативному документу не допускается заилиение сооружений наносами, то по МВИ 13-10 – допускается - если толщина заилиения не более 2% от нормальной глубины потока.

Поскольку нормативный документ МВИ 13-10 – новый, то, естественно, следует взять его рекомендации за основу и водомеры типа «скорость-площадь» следует использовать не только для учета воды в лотковых каналах со спокойным режимом течения ($v < 1$), но и бурным ($v > 1$). При этом течение воды в водотоках должно быть равномерным и параллельноструйным.

При организации учета воды в лотковых каналах параболического сечения:

- выбирается измерительный участок;
- устанавливается измерительный створ;
- строится успокоительный колодец, который соединяется с лотковым каналом при помощи трубки (при $v < 1 \text{ м/с}$) и щелью (при $v > 1 \text{ м/с}$);
- определяется уклон лотка в пределах измерительного участка;
- проводится гидравлический расчет пропускной способности водомера;

- строится график зависимости $q = f(v)$, который принимается за

основу при учете воды в лотковых каналах.

Следует отметить, что методика измерения расходов воды, изложенная в [20], очень сложная и выполнение работы по ее рекомендациям – весьма трудное. Поэтому при выполнении измерительных работ служба эксплуатации ограничивается измерением скорости потока только по оси лотка и практически – в одной точке, что делается в основном для контроля.

Ниже приводится пример, когда учет воды ведется на самом лотковом канале параболического сечения. Этому способствует установленный в нем равномерный режим течения воды.

Гидропост на №118 на лотковом канале «Подпитка» №2 системы ЗБЧК. Параметры гидропоста: ЛР-80; $i=0,011$; $H=0,1-0,4$ м; $Q=0,05-0,50$ м³/с; построен в 2003 году. Имеется береговой успокоительный колодец, который соединен с лотковым каналом параболического сечения при помощи щели – шириной 7см. Гидропост находится в хорошем состоянии.

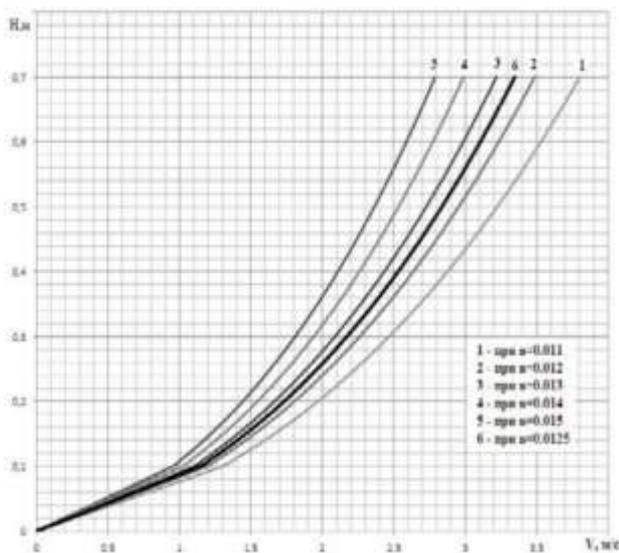
а)



б)



в)



г)

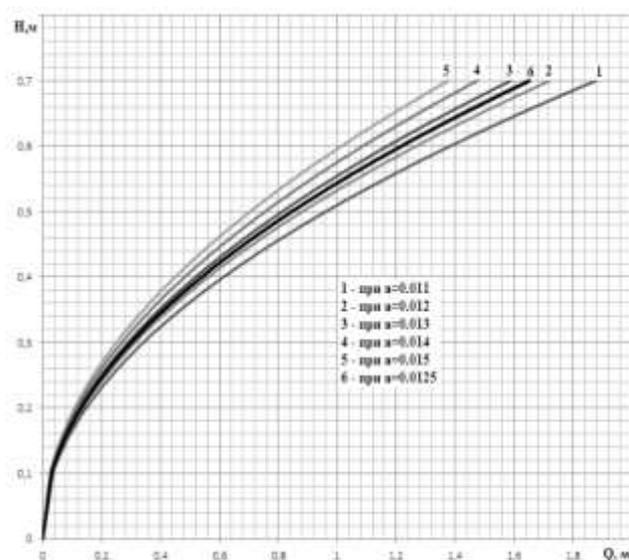


Рис. 2.8. Гидропост типа «Фиксированное русло» на лотковом канале «Подпитка» №2 системы ЗБЧК. а, б – виды с верхнего и нижнего бьефов. Графики зависимостей $v=f(H)$ (в) и $Q=f(H)$ (г).

Пропускная способность гидропоста определена гидравлическим расчетом, при котором основное затруднение возникли при принятии величины коэффициента шероховатости лоткового канала в формуле (1.2). Известно, что коэффициент шероховатости лотков зависит от ряда факторов: от их изготовления, монтажа, условий содержания и др. Рекомендуемые значения коэффициента шероховатости $n=0,011-0,015$, при этом:

- $n=0,011$ может быть принято при хороших качествах изготовления и монтажа лотков, а также при хорошем содержании сооружений;

- $n=0,015$ принимается при удовлетворительном состоянии сооружений.

В рассмотренном примере гидравлический расчет пропускной способности гидропоста проведен не при одном значении коэффициента шероховатости, а пяти его значениях – $n=0,011; 0,012; 0,013; 0,014$ и $0,015$. Построенные графики пропускной способности при этих значениях коэффициента шероховатости приведены на рис. 2.8 в виде графиков зависимостей $v=f(H)(в)$ и $Q=f(H)(г)$.

Эти графики указывают на то, что с увеличением коэффициента шероховатости уменьшаются не только скорости течения воды на гидропосту, но и пропускная его способность. Это так, но возникает закономерный вопрос – какое значение коэффициента шероховатости можно принять для рассматриваемого гидропоста?

Для получения ответа на этот вопрос на рис. 2.8в нанесены результаты замеренных службой эксплуатации скоростей течения воды, при этом замеры проводились гидровертушкой типа Гр-21-М (диаметр лопастного винта 120мм) одноточечным способом при глубинах воды до 0,40м и расходах воды до $0,50\text{м}^3/\text{с}$.

Замеренные скорости нанесены в виде точек на рис. 2.8в, а расход воды – на рис. 2.8г. Из данных этих графиков вытекает, что на обоих рисунках точки ложатся между двумя графиками полученными при $n=0,012$ и $0,013$. Анализируя расположение точек измерений, можно придти к выводу, что коэффициент шероховатости гидропоста на лотковом канале «Подпитка» №2 можно принять равным $0,0125$.

Пропускная способность рассматриваемого гидропоста при $n=0,0125$ в виде графика б приведена на рис. 2.8г и в рабочей таблице 2.5.

Пропускная способность гидропоста на лотковом канале
«Подпитка» №2 системы ЗБК

Десятые метра	Сотые метра									
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	0,031	0,037	0,045	0,053	0,062	0,072	0,082	0,093	0,105	0,117
0,2	0,131	0,144	0,159	0,174	0,19	0,207	0,224	0,242	0,261	0,281
0,3	0,301	0,322	0,343	0,365	0,388	0,412	0,436	0,461	0,486	0,513
0,4	0,54	0,567	0,595	0,624	0,654	0,684	0,715	0,747	0,779	0,812
0,5	0,845	0,88	0,915	0,95	0,986	1,023	1,06	1,099	1,137	1,177
0,6	1,217	1,257	1,299	1,341	1,383	1,427	1,471	1,515	1,56	1,606

Следует отметить, что в [20] указывается на необходимость градуировки гидропостов на лотковом канале, но методика градуировки, приведенная в этом же нормативном документа, сложная. Учитывая это, в [48] рекомендовано пропускную способность водомеров на лотковых каналах определять гидравлическим расчетом при коэффициенте шероховатости $n=0,013$.

а)



б)



Рис. 2.9. Водомер типа «Фиксированное русло» на лотковом канале «Жантай» системы реки Ала-Арча. а - общий вид с верхнего бьефа; б - вид сбоку. 1 – лоток; 2 – щель; 3 – уровнемерный колодец.

Эта рекомендация принята на лотковом канале «Жантай» системы реки Ала-Арча, где функционирует водомер типа «Фиксированное русло» (рис. 2.9), сам отвод построен из лотков ЛР-80, с уклоном 0,03. Максимальная пропускная способность $1,4\text{ м}^3/\text{с}$, при которой скорость

превышает 4м/с, число Фруда $F_r > 3$. На этом сооружении равномерный колодец соединен с лотком при помощи щели, длиной на $2/3$ высоты лотка.

Изучение эксплуатационных показателей сооружения показало, что режим течения воды в лотке равномерный, уровень воды в колодце соответствует уровню воды в водотоке. Данное сооружение используется в качестве средства для учета воды.

2.2.1.2. Водомеры типа «Фиксированное русло» в головной части каналов

В этом подразделе кратко рассмотрены особенности работы гидропостов, построенных по схеме на рис. 2.2б. Таких гидропостов – мало, но они все-таки есть. Их можно было бы рассмотреть как на транзитной части каналов, тем более, что они строятся в основном по рабочему проекту для повторного применения [10]. Однако, как показывает опыт эксплуатации таких действующих сооружений, этого не следует делать, так как в данном случае на работу водомерных сооружений в той или иной степени могут оказать влияние режимы течения воды из самих трубчатых водовыпусков.

Для подтверждения изложенного, на рис. 2.10 приведены фотографии 4-х гидропостов.

Изучение опыта эксплуатации этих гидропостов показывает следующее:

- при нормальном выходе воды из трубчатого водовыпуска, ее течение в канале и на гидропосту в основном параллельноструйное и соответствует равномерному режиму течения (рис. 2.10а), что положительно сказывается к процессу градуировки сооружения и принятию его в качестве рабочего средства для учета воды; этому способствует также отсутствие подпора со стороны нижнего бьефа;

- если при выходе из трубчатых водовыпусков поток воды отклоняется от оси канала (рис. 2.10 б, в), то сам поток сваливается к одному из его берегов, нарушаются параллельность струй и равномерность течения воды по ширине водотока. Изложенные процессы в той или иной степени осложняют градуировку гидропостов и при

наличии подпоров переменного характера (рис. 2.10в) – принятию сооружений в качестве рабочих средств для учета воды;

- при выходе воды из трубчатого водовыпуска – если в начальной части канала образуются косые волны (рис. 2.10г), которые, соударяясь между собой по мере дальнейшего продвижения, то они осложняют образованию параллельноструйного течения воды; в пределах гидропоста возникают сильная пульсация потока и резкие колебания водной поверхности. При такой ситуации, естественно, осложняется градуировка сооружения и принятие его для учета воды.

а)



б)



в)



г)



Рис. 2.10. Гидропосты типа «Фиксированное русло», размещенные в головной части отводов, но в некотором удалении от трубчатых водовыпусков.

2.2.1.3. Водомеры типа «Фиксированное русло» в конце трубчатых водовыпусков

В этом подразделе рассматриваются гидропосты, размещенные в конце трубчатых водовыпусков и не имеющие подводящего к ним участка канала (рис. 2.2в). Такие водомеры являются весьма распространенными и применяются на отводах как из магистральных, так и из межхозяйственных каналов. Строятся как по рабочему проекту для повторного применения [10], так и без него. В целом работа таких гидропостов оцениваются как отрицательной.

Так, на рис. 2.11 приведены фотографии 2-х сооружений, измерительные их участки – весьма короткие; они оснащены береговым ковшем (рис. 2.11а) и колодцем (рис. 2.11б) для установки уровнемерных реек; отводящие каналы проходят поперек горизонталей и в земляном русле. Эти водомеры никак не могут быть использованы в качестве средств водоучета, так как они не отвечают не к одному из предъявляемых к ним требований. Попытки определить пропускные их способности путем градуировки не увенчались успехом, так как по графикам $Q = f(H)$, из-за большого разброса точек [48], трудно было установить связь между элементами потока и H .

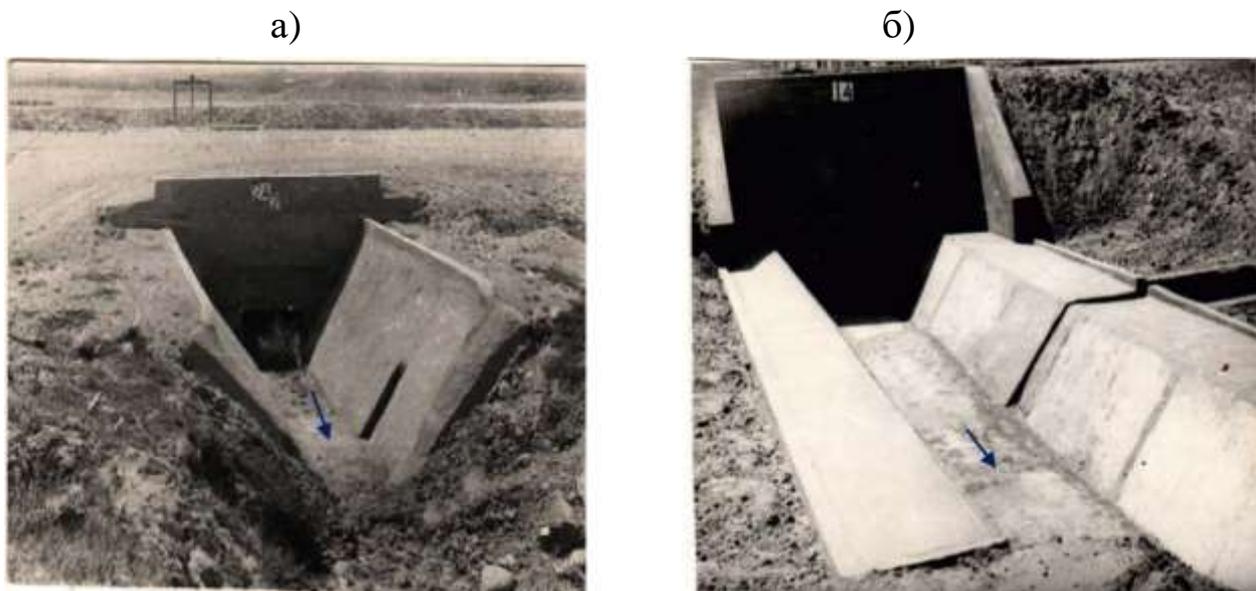


Рис. 2.11. Гидропосты типа «Фиксированное русло», размещенные на выходе из трубчатых водовыпусков.

На рис. 2.12 приведены фотографии других 2-х сооружений, с короткими измерительными участками. Отводящие каналы проходят поперек горизонталей и в земляном русле. Из-за заиления наносами и зарастания камышом отводящего в земляном русле канала, на гидропосту рис. 2.12а возникают подпоры, причем переменного характера. В таком же положении находится гидропост и на рис. 2.12б. Эти и аналогичные им гидропосты могут быть применены для учета воды только после устранения подпоров с нижнего бьефа путем регулярной очистки отводящих в земляном русле каналов от наносов и растительности; кроме того должны проводиться тщательные градуировочные и частые поверочные работы.



Рис. 2.12. Гидропосты типа «Фиксированное русло», размещенные на выходе из трубчатых водовыпусков.

Весьма тяжелым и, пожалуй, невозможным условием для учета воды являются гидропосты типа «Фиксированное русло», приведенные на рис. 2.13.

В соответствии с данными на этих фотографиях:

- гидропосты размещены в конце трубчатых водовыпусков, подводящих к гидропостам участков канала как – таковых нет, из-за плотного прилегания полевых земель к гидропостам отводящие от них в земляном русле оросители проходят в основном параллельно горизонталям;

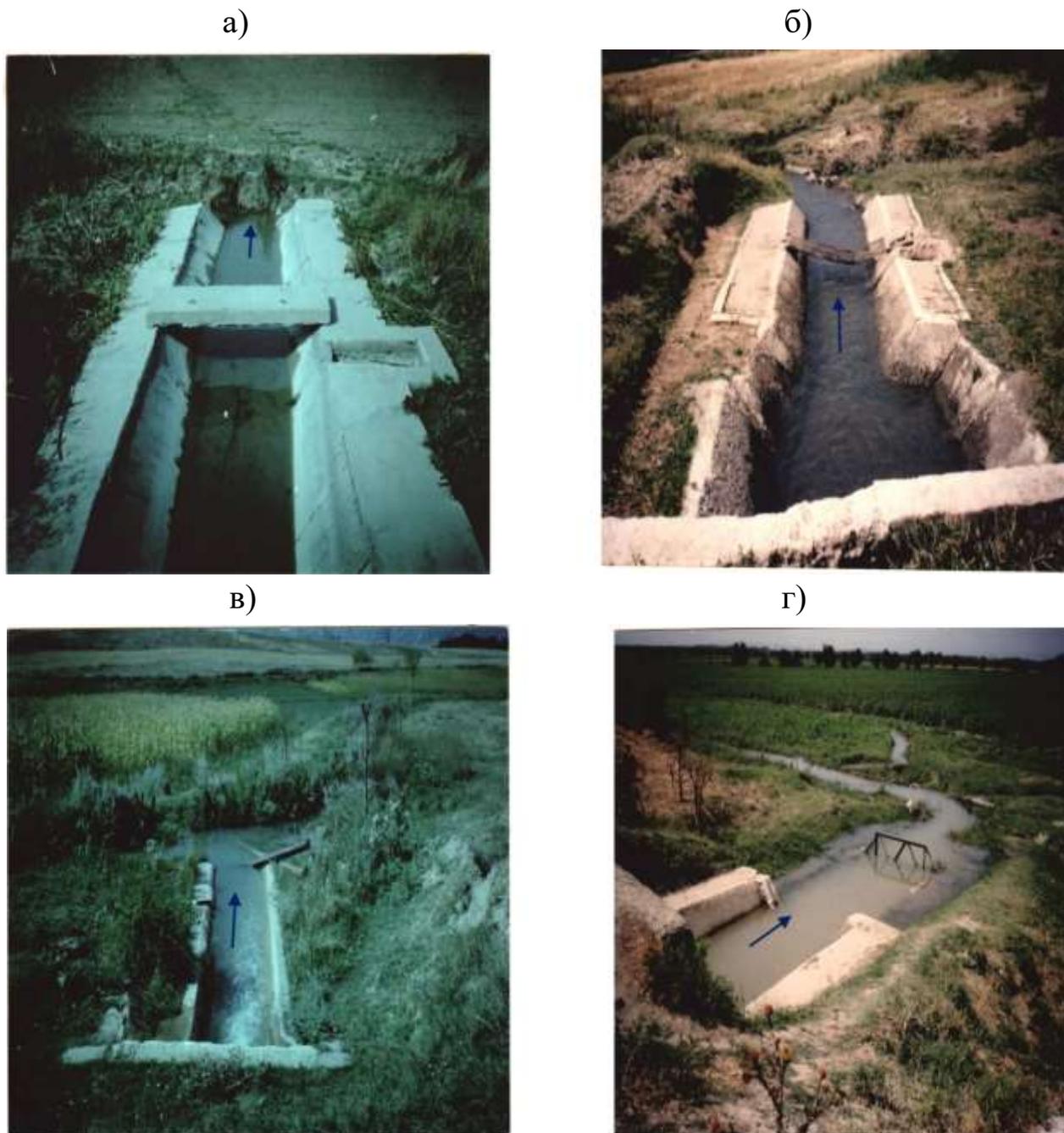


Рис. 2.13. Гидропосты типа «Фиксированное русло», размещенные на выходе из трубчатых водовыпусков. а – гидропост №50 на отводе из канала Калмаксу системы реки Чу; б – гидропост №7 на отводе из канала Сапарбаева-2; в – гидропост «Транзит» на отводе из Араван-Акбуринского канала; г – гидропост Р-15 на отводе из канала Савай с.р. Кара-Дарья.

- регулировка подачи воды в отводы осуществляется при помощи примитивных перемычек, при устройстве которых создается подпоры (рис. 2.13б и г);

- из-за малых уклонов водотоков, отходящих от гидропостов, скорости течения воды в этих оросителях не превышают 0,2м/с, чем создается благоприятное условие для отложения наносов в самих каналах. Выше перечисленные негативные явления отрицательно влияют не только на пропускные способности гидропостов, но и на учет воды на них. Это объясняется тем, что гидропосты постоянно находятся в подпорном режиме истечения, они не только подтапливаются, но и затопляются (рис. 2.13г). Скорости течения воды на гидропостах – минимальные (менее 0,2м/с), что затрудняет градуировку гидропостов. Благодаря изложенным обстоятельствам, на всех гидропостах, приведенных на рис. 2.13, учет воды ведется только «на глаз», что недопустимо в условиях платного водопользования.

В качестве подтверждения изложенного ниже приводятся следующие примеры.

Гидропост Р-15 на отводе канала Савай системы реки Кара-Дарья (рис. 2.13г). Тип «Фиксированное русло», построен в 1957 году, сечение – трапецеидальное, облицован монолитным бетоном. Сопряжен с подводящим водотоком (трубчатым водовыпуском) при помощи участка, выполненного в виде колодца-гасителя, который также облицован бетоном.

Отводящие каналы (левый и прямой), проходящие вдоль горизонталей, выполнены в земляном русле и не имеют облицовок. Параметры гидропоста: ширина по дну = 0,4 м; откосы = 1,0 ; строительная высота $H_{стр} = 0,6$ м; уклон дна сооружения = 0,004 . В

состав гидропоста входит уровнемерный колодец, его размеры 0,4х0,3х0,6м. Соединен он с водотоком при помощи щели. Расчетные расходы воды: $Q=0,03-0,70\text{м}^3/\text{с}$.

На отводящем канале отсутствует водораспределительное сооружение, поэтому распределение воды между отводами (прямой и левый) производится примитивным способом – при помощи временных перемычек, возводимых из местного строительного материала.

Пропускная способность гидропоста в виде графика $p = ()$ приведена на рис. 2.14а, на который нанесены в виде точек измеренные расходы воды. Данные этого рисунка свидетельствуют о том, что гидропост работает в подпорно-переменном режиме течения воды, на что указывают:

- расположение (разброс) точек измеренных расходов воды;
- замеренные расходы меньше расчетных их значений.

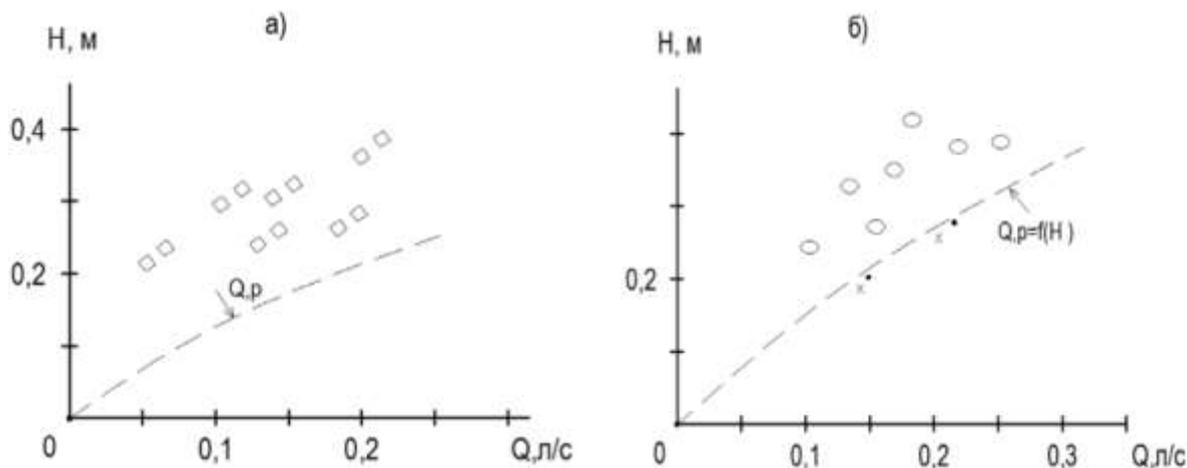


Рис. 2.14. Пропускные способности гидропостов: Р-15 на отводе канала Савай системы реки Карадарья (а) и №7 на отводе канала им. Сапарбаева - 2 системы реки Чили-Сай (б).

Для учета воды при таком режиме истечения были сделаны попытки по градуировке гидропоста, при этом градуировка проводилась при скоростях 0,05-0,35 м/с. Однако, как показала практика, полученные в результате градуировки графики постоянно менялись, из-за чего в процессе измерения расходов воды в графики постоянно вносились поправки от 3 до 36 см.

Появление на гидропосту подпорно-переменного режима истечения сопровождалось уменьшением пропускной способности сооружения. Поэтому в этом случае подача требуемых (повышенных) расходов воды осуществлялась путем полного затопления сооружения (рис. 2.13г), при котором вопрос о правильном учете водных ресурсов, естественно, не стоял и расход воды определялся «на глаз».

Гидропост №7 на отводе канала им. Сапарбаева-2 системы реки Чили-Сай (рис. 2.13б). Построен в 1972 году, тип «Фиксированное русло», сечение трапецидальное. Сопряжен с подводящим водотоком (трубчатым водовыпуском) при помощи участка, выполненного в виде колодца-гасителя. Отводящие каналы (правый, прямой и левый) выполнены в земляном русле. На отводящем канале отсутствует инженерное водораспределительное сооружение, поэтому водоподача в отводы осуществляется примитивным способом, с применением подручных строительных материалов.

Параметры гидропоста: $h = 0,5\text{м}$; $H_{\text{стр}} = 0,6\text{м}$, $Q = 1,25$; $Q_{\text{пр}} = 0,005$, пропускная способность – $0,1-0,4\text{м}^3/\text{с}$.

Пропускная способность гидропоста в виде графика зависимости $q = ()$ приведена на рис. 2.14б, на который нанесены в виде точек измеренные расходы воды. Опыт эксплуатации данного водомера показал, что при подаче воды в прямой и правый отводы (их трасса проходит почти перпендикулярно к горизонталям) гидропост работает без подпора, обеспечивая тем самым более или менее правильный учет водных ресурсов. При подаче воды в левый отвод или одновременно во все три отвода работа гидропоста нарушается, так как появляются подпоры, причем переменного характера, что подтверждается разбросом измеренных расходов воды. Этим осложняется учет воды при подаче ее водопотребителям. При такой ситуации учет воды ведется в основном «на глаз», что недопустимо в условиях платного водопользования.

2.2.1.4. Водомеры типа «Фиксированное русло» за водораспределительными сооружениями

Наконец, пример, когда гидропосты размещаются по схеме, приведенной на рис. 2.2г.

На распределителе Р-10 ЗБЧК функционирует водораспределительный узел (рис. 2.15а), при помощи которого осуществляется подача воды в Р-10 прямой (рис. 2.15б) и Р-10 левый (рис. 2.15в). Порог водовыпуска в Р-10 левый находится выше дна водовыпуска в Р-10 прямой на $0,5\text{м}$, благодаря этому порогу поступление наносов в Р-10 левый практически не происходит. Отвод Р-10 левый проходит почти параллельно горизонталям. Начальная его часть выполнена в виде прямоугольного сечения, но сам отвод трапецеидального сечения, облицован и имеет обратный уклон. Первоначально на участке водотока с трапецеидальным сечением был размещен гидропост типа «Фиксированное русло». Но он перестал функционировать из-за подпора, возникаемого под влиянием обратного уклона водотока и перегородивающих на его конце водораспределительных сооружений. При такой ситуации служба эксплуатации вынуждена была выбрать временный измерительный створ на участке с прямоугольным сечением

(практически сразу за щитом) и отградуировать его по методу «скорость-площадь».

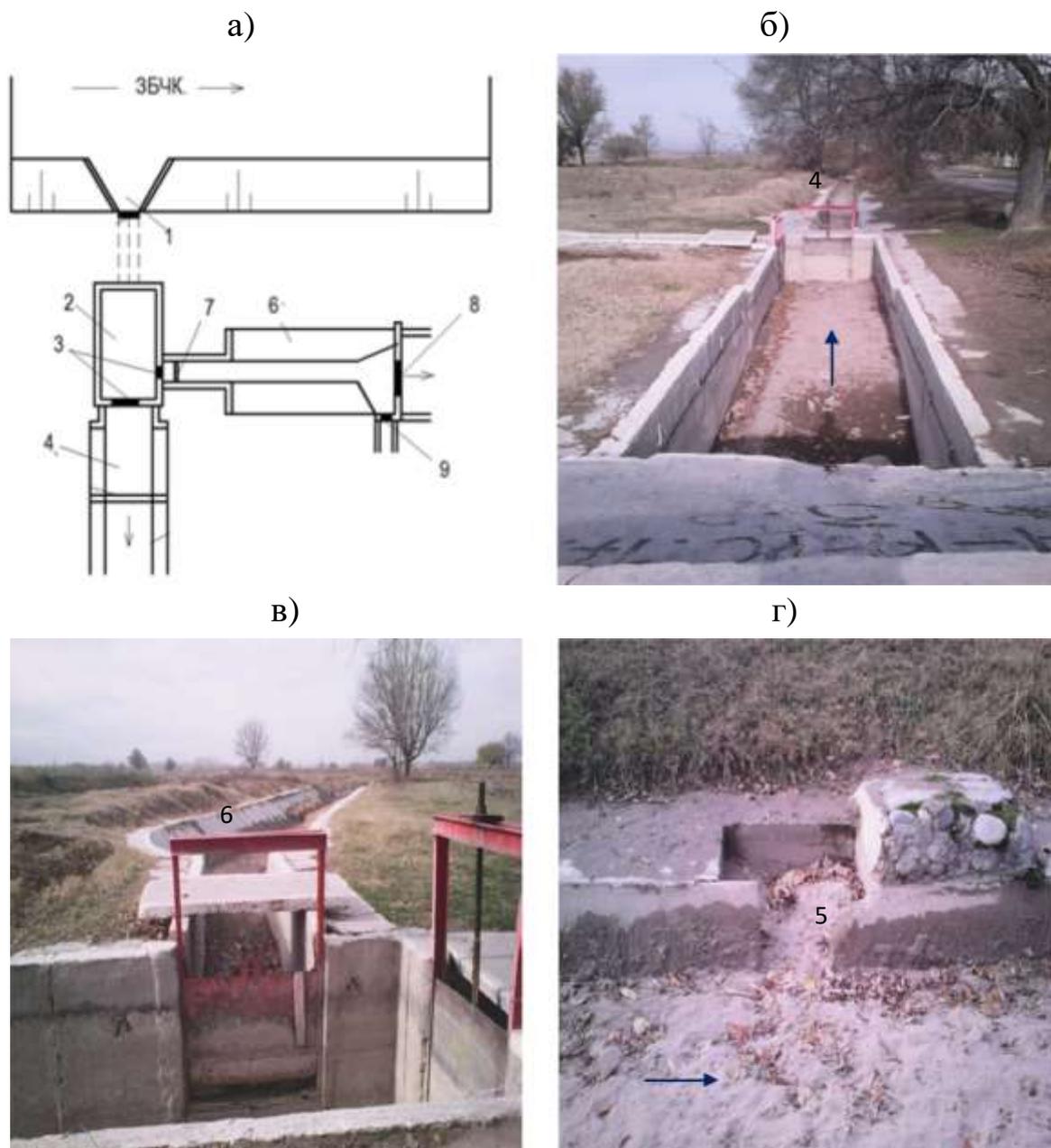


Рис 2.15. Водораспределительный узел на Р-10 ЗБК.

а – схема узла; б – вид узла с верхнего бьефа; в – гидропост на Р-10 левый; г – равномерный колодец гидропоста на Р-10 прямой. 1 – вход в Р-10; 2 - подводный канал; 3 – плоские щиты; 4 – гидропост типа «Фиксированное русло» на Р-10 прямой; 5 – равномерный колодец; 6 – гидропост типа «Фиксированное русло» на Р-10 левый; 7 – временный гидропост; 8, 9 – плоские щиты.

Проведенная работа показала, что [48]:

- измерительный створ отградуирован только при глубинах воды более 0,5м;
- на графике имеет место сильный разброс точек измеренных расходов воды.

Иначе говоря, временный измерительный створ на участке с прямоугольным сечением не сможет быть принятым в качестве средства для учета воды.

Примерно такая же ситуация имеет место и на гидропосту на Р-10 прямой. Этот водомер построен в 1982 году, тип «Фиксированное русло», сечение прямоугольное, $b=1,1\text{м}$; $i=0,0015$. Подводящий канал построен из Г-блоков, отводящий – в земляном русле.

Благодаря тому, что порог водовыпуска в Р-10 прямой находится на 0,5м ниже дна водовыпуска в Р-10 левый, все наносы (в основном пески), поступающие из ЗБЧК в Р-10, сбрасываются в этот отвод.

Обильное поступление наносов в Р-10 прямой, малый уклон этого водовода и значительное заиление и зарастание отводящего в земляном русле канала приводит к тому, что сам водомер не только заиливается наносами (рис. 2.15г), но и постоянно работает в подпорно-переменном режиме истечения, что не соответствует требованиям нормативных документов [13,15]. При этом очистка самого гидропоста от наносов не дает желаемого эффекта, так как он снова же быстро заилиться наносами, поступающими из ЗБЧК.

Такое состояние гидропоста осложняет проведению гидрометрических работ по измерению расходов воды, поэтому расходы воды определяются в основном «на глаз», что недопустимо в условиях платного водопользования.

Улучшение учета воды на рассмотренном узле должно осуществляться путем реконструкции щитов самого водораспределительного сооружения, придав им функции и водорегулирования и учета воды при подаче ее водопользователям.

2.2.2. Водомеры типа «Водосливы с тонкой стенкой»

Самыми простыми и удобными в эксплуатации средствами измерения расхода воды являются водосливы с тонкой стенкой, на которых учет воды осуществляется с погрешностью 2% [14, 39, 43]. Кроме того они применяются по результатам расчета без индивидуальной градуировки, что также относится к положительным их качествам.

Благодаря изложенным преимуществам, водосливы с тонкой стенкой широко применяются не только при проведении научно-исследовательских работ в лабораториях, но и в натуральных условиях – для измерения расходов воды в открытых водотоках. При этом они применяются не только как рабочие средства измерения, но могут применяться и в качестве образцовых для аттестации и поверки других водомерных устройств [52].

Водомерными устройствами типа «Водосливы с тонкой стенкой» оснащаются межхозяйственные и внутрихозяйственные каналы трапецеидального и прямоугольного поперечных сечений, при этом эти средства измерения расходов воды устанавливаются как в руслах водотоков, так и в успокоительных резервуарах.

Сооружения с водосливами строятся на облицованных (бетоном, бутобетоном, камнями) каналах и на водотоках с земляным руслом. В последнем случае участок канала перед и за диафрагмой облицовывается бетоном, железобетонными плитами, бутобетоном, каменной отмосткой.

В зависимости от форм поперечного сечения водосливы подразделяются на:

- треугольный водослив Томсона;
- трапецеидальный водослив Чиполетти;
- трапецеидальный водослив Иванова; -
- прямоугольный водослив Базена.

Эти водосливы имеют различные пропускные способности. По имеющимся сведениям [48], водослив Томсона применяется для измерения расходов до 0,5, Чиполетти – до 5,0 и Иванова – до 14,0 м³/с. В отношении прямоугольного водослива таких сведений нет, хотя предполагается, что ими измеряются расходы до 8,0 м³/с.

Из рассматриваемых средств в республике получили применение водосливы Томсона и водосливы Чиполетти – для лабораторных исследований и водосливы Чиполетти и водосливы Иванова – в натуральных условиях. При этом водосливы Чиполетти применяются чаще, чем водосливы Иванова.

Что же касается водосливов Базена, то по непонятной причине они до последнего времени практически не применялись.

Общие условия применимости водосливов с тонкой стенкой характеризуются ниже приведенными данными [14, 39, 43].

Требования к прилегающим участкам канала:

- водосливы устанавливаются на прямолинейных участках каналов, устойчивых к размыву и зарастанию. Длина подводящего участка канала должна быть не менее $6B$;

- допускается применение водосливов на каналах при сокращенной длине прямолинейных подводящих участков, составляющей не менее $3B$,

но не менее $5h$ при соблюдении следующих условий:

а) соотношение площадей поперечного сечения потока в плоскости порога водосливов и на подводящих участках каналов должно быть не менее, чем $1:4$;

б) расстояние от плоскости водосливов до расположенных в верхнем бьефе поворотов, регулирующих сооружений и других местных сопротивлений должно составлять не менее $3B$;

в) значения чисел Фруда на подводящих участках каналов должны соответствовать данными таблицы 2.6;

Таблица 2.6

Условия применимости водосливов с тонкой стенкой

Сечение водослива	Допустимые значения напора, м		Допустимые значения ширины порога, м		Максимальная высота порога P , м	Максимальное значение параметра кинетичности потока в подводящем канале
	h	h				
Треугольное	0,05	0,40	-	-	0,10	0,45
Трапецеидальное	0,05	1,00	0,25	3,00	0,30	0,45
Прямоугольное	0,03	1,00	0,15	3,00	0,10	0,50

г) расстояния от плоскости водосливов до стоячей волны, в случае ее образования, должны быть не менее $1,5B$;

- допускается применение водосливов при свободном истечении из естественных водоемов, резервуаров и других емкостей при соблюдении следующих условий:

а) соотношение площадей поперечного сечения потока в плоскости порога водослива и емкости должно быть не менее, чем 1:5;

б) длина емкости в сечении, перпендикулярном к плоскости порога водослива, должна составлять менее пяти ширин водослива по дну;

в) разность абсолютных значений скорости потока перед плоскостью водослива не должна превышать $\pm 20\%$;

- отводящий канал должен обеспечивать заданный режим свободного истечения воды через водослив.

Требования к самим водосливам характеризуются следующими данными:

- к каждому виду водосливов предъявляются свои требования, которые заключаются в следующем:

а) треугольные водосливы – изготавливаются с углом в вершине = 90° , дополнительные граничные условия $h=0,1-2,0$ и $=0,1-1,0$,

где P – высота порога водослива; h – напор воды над порогом водослива; B – ширина подводящего канала;

б) трапециевидальные водосливы – применяются с углом наклона ребра к вертикали = 14° (водослив Чиполетти) и = 45° (водослив Иванова), дополнительные граничные условия для применения

$$\frac{d}{b} \geq 0,2 \frac{h}{b} = 0,10 - 0,35$$

где b – ширина порога водослива; d – ширина канала по дну;

в) прямоугольные водосливы – применяются водосливы без бокового сжатия ($=$) и с боковым сжатием ($<$), дополнительные граничные условия для применения

- при отсутствии бокового сжатия $h \leq 1,5$ и $\geq 0,2$,

- при наличии бокового сжатия

$$h \leq 2,5; \quad \geq 0,15 \text{ и } \overline{2} \geq 0,1,$$

- диафрагма и водослив устанавливаются перпендикулярно к осевой плоскости канала, а сам водослив – строго вертикально (отклонения не должны превышать 3°);

- ось водослива совмещается с осью подводящего канала, при этом допускается смещение на 5мм при $< 0,5$ м, на 10мм при $= 0,5 - 1,5$ м и на 15мм при $> 1,5$ м;

- водослив устанавливается горизонтально, при этом отклонение от средней отметки дна не должно превышать 2мм на 1м ширины водослива;

- отклонение фактического размера ширины порога водослива от расчетного не должно превышать 0,2%;

- кромка водослива, обращенная к верхнему бьефу, должна быть острой; ширина торца кромки водослива должна составлять 1-3мм;

- режим работы водослива – свободный.

Прямоугольный водослив без бокового сжатия должен работать с воздухом под струей, для чего уровень воды в нижнем бьефе поддерживается ниже кромки водослива и дополнительно предусматривается устройство для подвода воздуха в эту зону. Такое устройство может быть выполнено, например, в виде пазов в боковых стенках сооружения и размещено ниже створа водослива.

Требования к успокоительным устройствам характеризуются следующими данными:

- уровневые рейки могут устанавливаться в нише, предусмотренной в откосе сооружения, или в береговом успокоительном колодце;

- соединение успокоительного колодца с сооружением должно осуществляться посредством труб диаметром не более 0,05м или щели шириной не более 0,02м;

- ноль уровневой рейки устанавливается на уровне средней отметки порога водослива;

- для измерения уровня воды могут применяться любые типы уровнемеров, прошедшие госповерку;

- расстояние от водослива до створа измерения напора или размещения уровневой рейки

=(3-4)h .

(2.1)

Пропускные способности водосливов определяются по ниже приведенным формулам:

а) треугольные водосливы - в общем случае пропускная способность водослива определяется по формуле

$$Q = 2,361 \mu \sqrt{h^5} \quad (2.2)$$

где μ - коэффициент расхода с углом в вершине $\alpha = 90^\circ$.
Она может определяться и по упрощенной формуле

$$Q = 1,365 h^{2,5} \quad (2.3)$$

которая справедлива в диапазоне изменения $h = 0,10 - 0,35$, так как в этом диапазоне величина μ постоянная и равна 0,578;

б) трапецеидальные водосливы – расчетные формулы для определения расхода воды:

для водослива Чиполетти

$$Q = 1,86 h^{3/2} \quad (2.4)$$

для водослива Иванова

$$Q = 1,86 h^{3/2} \quad (2.5)$$

где α – коэффициент формы, его величина определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{1 + h}{1 + 0,25h} \quad (2.6)$$

в) прямоугольные водосливы – расчетная формула по определению пропускной способности сооружения

$$Q = 2,953 \sigma h^{3/2} \quad (2.7)$$

где σ – коэффициент расхода, определяемый по формуле

$$\sigma = \sigma' \sqrt{h} \quad (2.8)$$

где σ', σ'' - поправочные множители, определяемые в зависимости от h по данным таблицы 2.7.

Неудовлетворительная работа водомеров с водосливами связана, с нашей точки зрения, с конструктивными их недостатками и теми местными условиями, при которых не удается вести учет воды казалось бы даже на правильно построенных водомерных сооружениях. Ниже кратко приводятся недостатки водомеров с тонкими водосливами, построенных на некоторых оросительных системах республики.

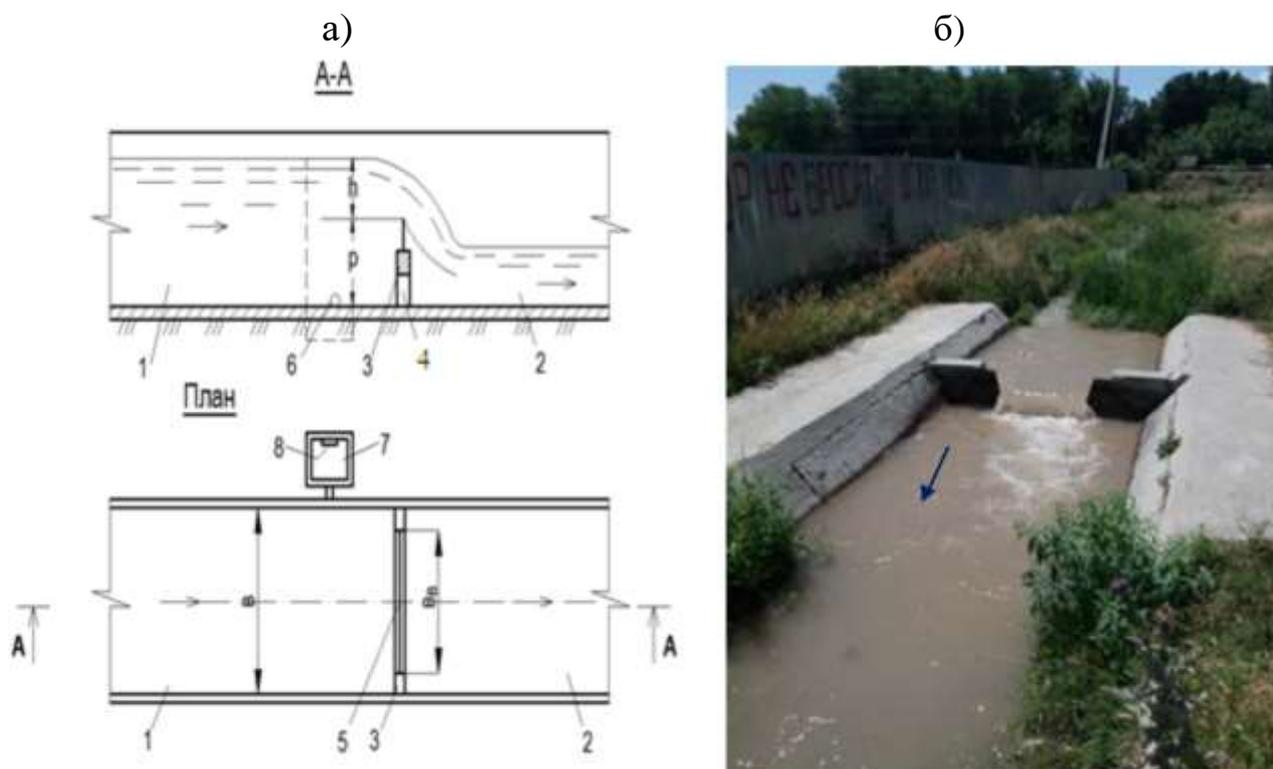


Рис. 2.16. Схема водомерного сооружения типа «Водослив с тонкой стенкой». 1, 2 – подводящий и отводящий каналы; 3 – диафрагма; 4 – наносопромывное отверстие; 5 – водослив; 6 – соединительное (водопроводящая) труба; 7 – успокоительный колодец; 8 – уровнемерная рейка.

На рис. 2.16а приведено типовое водомерное сооружение с тонким водосливом, состоящее из подводящего 1 и отводящего 2 участков водотока, измерительного створа, состоящего, в свою очередь, из бетонной диафрагмы 3, в нижней части которой предусмотрено наносопромывное отверстие 4, а в верхней – водослив с тонкой стенкой 5. Учет воды ведется при помощи рейки 8, размещенной в береговом колодце. На рис. 2.16 приведен водомер с водосливом в работе.

Основные требования, предъявляемые к водомерам с водосливами, приведены выше, к главным из которых относятся:

- режим потока в верхнем бьефе должен быть спокойным (число Фруда не должно превышать 0,45);
- режим течения воды через водослив должен быть свободным;
- минимальная высота порога для трапецеидальных водосливов – 0,30м и для прямоугольного – 0,10м.

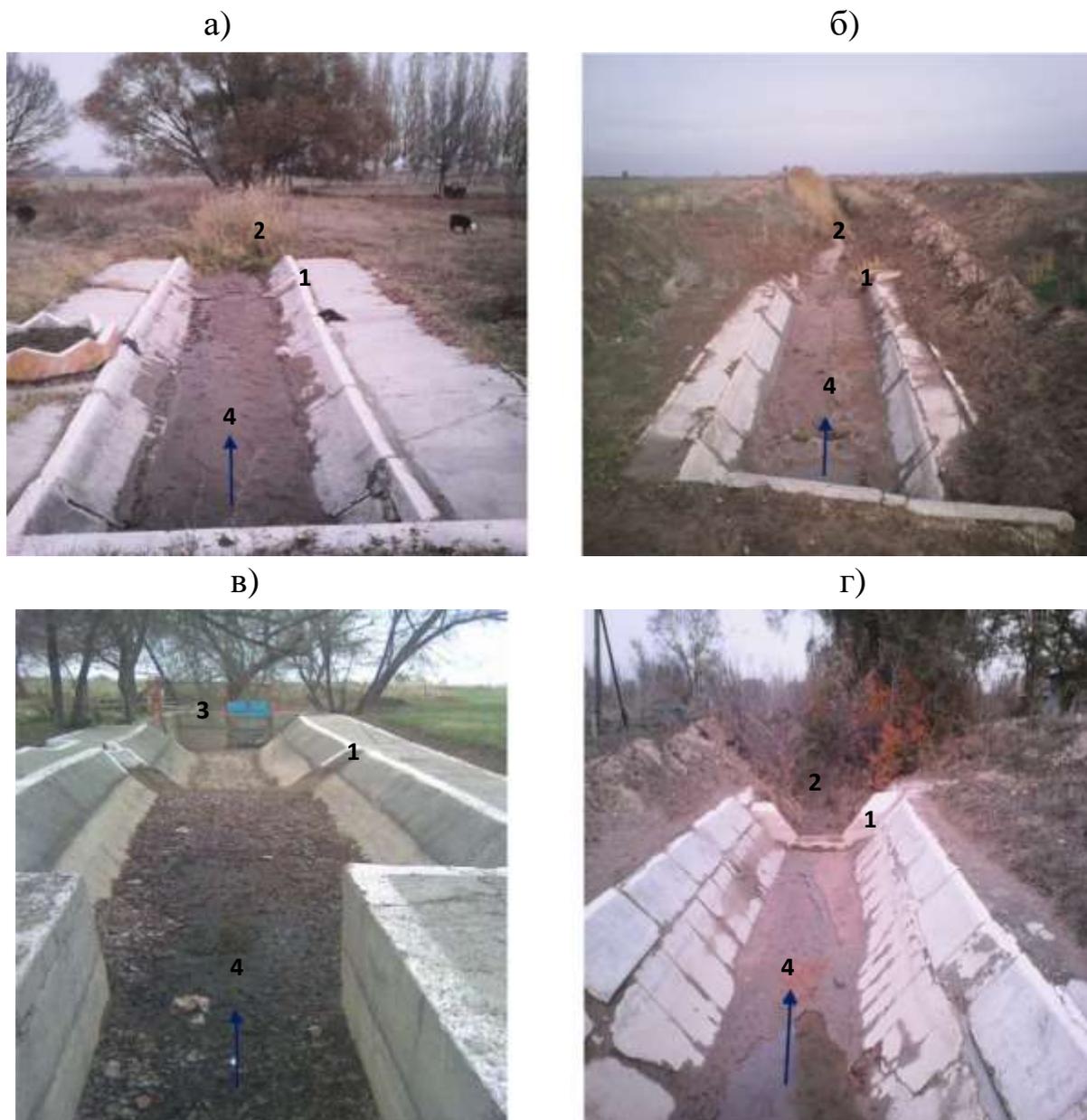


Рис. 2.17. Водомерные сооружения типа «Водосливы с тонкой стенкой», верхние бьефы которых заилены наносами. 1 – водослив с тонкой стенкой; 2 – отводящий канал в земляном русле; 3 – водораспределительное сооружение; 4 – наносы, отложившиеся в верхнем бьефе (перед водосливами).

Многолетнее изучение эксплуатационных показателей водомеров с водосливами, построенных в республике, свидетельствует о ниже следующем: только около 60% изученных сооружений отвечают предъявляемым к ним требованиям и, поэтому, допущены в качестве средств для измерения расходов воды. Остальные, из-за имеющихся на них недостатков, не были допущены к применению. Эти недостатки следующие [2, 11, 47, 48]:

1. Отложение наносов перед водосливами (рис. 2.17), которое уменьшает заданную высоту их порога и ухудшает гидравлику потока в верхнем бьефе. Поскольку эти процессы негативно влияют на точности водоучета, то очистка верхнего бьефа от наносов службой эксплуатации осуществляется либо вручную, либо промывкой через наносопромывное отверстие (рис. 2.18а). Следует отметить, что оба эти методы оказались малоэффективными. Мало этого, в период вегетации наносопромывные отверстия часто оставляются открытыми или закрываются не плотно, в результате появляются неучтенные расходы воды (порядка $0,070-0,130\text{ м}^3/\text{с}$ – в зависимости от размеров наносопромывных отверстий) при подаче воды водопользователям [48].

2. В соответствии с требованиями к трапецеидальным водосливам, их порог со стороны верхнего бьефа должен возвышаться над дном канала не менее, чем на 0,3м. Однако, такое условие, как это вытекает из следующих сведений, часто не соблюдается. Так, например, на распределителях Р-4-2 и Р-6-2 системы ВБЧК высота порогов составляет соответственно 0,23 и 0,27, а на Р-20-2, Р-22-1 системы ЗБЧК – соответственно 0,13 и 0,08м.

Ввиду изложенного, эти сооружения не были допущены к применению в качестве средств для измерения расходов воды.

3. Водосливы должны работать со свободными режимами истечения. Однако, на большинстве действующих сооружениях создаются подпоры со стороны нижнего бьефа, резко снижающие точности измеряемых расходов воды. Эти подпоры возникают, как правило, либо в результате заиления и зарастания отводящих в земляном русле каналов (рис. 2.18б, г), либо под влиянием водораспределительных сооружений, размещенных в нижнем бьефе поблизости к водомерам с водосливами (рис. 2.18в).

При наличии подтопленных режимов истечения через водосливы приходится предпринимать меры по наращиванию высоты порогов [48],

что вообще-то трудно выполнимо в натуральных условиях и, в особенности, в период вегетации.

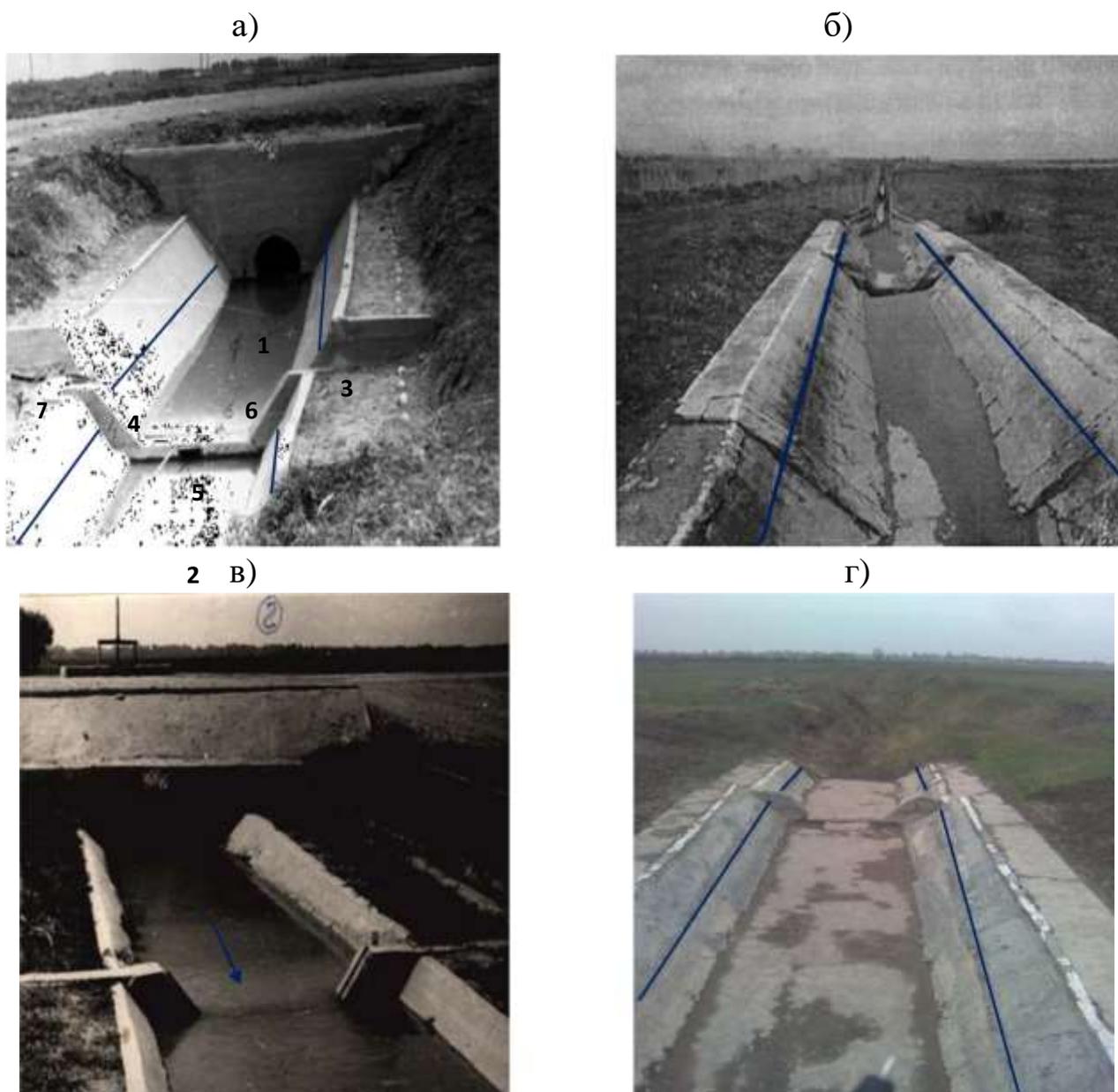


Рис. 2.18. Водомерные сооружения типа «Водосливы с тонкой стенкой», режим течения воды на них подпертый. а – показано промывное отверстие под водосливом; б, в, г – водосливы в подтопленном режиме истечения.

4. Отсутствие обоснованных рекомендаций по назначению оптимальной высоты порога водосливов. Известно только то, что допустимая минимальная высота порогов треугольного и прямоугольного водосливов составляет 0,10м, а трапецеидального – 0,30м [14, 39, 43]. Максимальная же высота порогов не регламентируется этими

нормативными документами и составляет на действующих сооружениях для водосливов трапецидального сечения – 0,30-1,0м и прямоугольного (на экспериментальных сооружениях) – 0,10-0,70м.

Появление подпора со стороны нижнего бьефа указывает на необходимости поднятие порога водосливов [48]. Но как это сделать?

В принципе оно может быть выполнено:

- либо увеличением высоты бетонной части диафрагмы и закреплением к ней заново самого водослива в металле;
- либо прикреплением к нижней части водопропускного отверстия водослива полосы листового железа шириной, рекомендуемой к поднятию высоты порога водослива.

В принципе все эти предложения приемлемы. Однако, следует отметить, что в первом случае придется ломать и практически заново строить бетонную часть диафрагмы, а во втором – изменить высоту (уменьшается) и ширину (увеличивается) водослива, а это приведет к дополнительному проведению метрологической аттестации реконструированного водомера, затратив на это дополнительные средства.

Мало этого, в процессе эксплуатации такого сооружения может оказаться, что принятая высота порога водослива была не оптимальной. Тогда придется повторять всю проделанную работу по реконструкцию водомера.

5. Имеются и другие недостатки. В частности, измерение расходов при $h < 0,05м$, некачественное изготовление самого водослива в металле (рис. 2.19в), подача воды водопотребителям только через наносопромывное отверстие и другие.

Как видно из вышеприведенных сведений, к основным недостаткам действующих сооружений с тонкими водосливами относятся заиливание верхнего бьефа наносами и трудность их промывки, сложность назначения оптимальной высоты порога водослива и, как следствие, подтопление его с нижнего бьефа, невозможность поднятие высоты порога без ломки диафрагмы в бетоне и наличие ощутимых неучтенных расходов воды, проходящих через открытые или неплотно закрытые наносопромывные отверстия. К числу основных недостатков относятся также заиливание и зарастание отводящих в земляном русле каналов,

вызывающие подпоры переменного характера, чем резко осложняется работа водомеров с водосливами.



Рис. 2.19. Водомерные сооружения типа «Водосливы с тонкой стенкой», не пригодные к измерению расходов воды.

2.2.3. Водомерные сооружения типа «Лотки»

В соответствии с нормативными документами [14, 43], к числу водомерных сооружений типа «Лотки» относятся лотки Вентури, Паршалла, САНИИРИ и с короткой горловиной. Все они стандартизованы и могут применяться без индивидуальной градуировки.

Таблица 2.8

Условия применимости водомеров типа «Лотки»

Наименование лотков	Допустимое значение напора, м		Допустимое значение ширины горловины, м		Условия свободного (незаполненного) истечения	Максимальное значение потока в подводящем канале
Лотки критической глубины (Вентури) прямоугольного сечения: а) с боковым сжатием б) с донным сжатием и порогом	0,10	2,0	0,10	3,0	$\eta \leq 0,75$	0,60
	0,06	2,0	0,10	5,0	$\eta \leq 0,75$	0,60
Лотки критической глубины (Вентури) трапецеидального сечения	0,05	2,0	0,10	3,0	$\eta \leq 0,75$ -0,83	0,60
Лотки Паршалла прямоугольного сечения	0,10	2,0	0,25	7,50	$\eta \leq 0,75$	0,60
Лотки САНИИРИ	0,10	1,0	0,20	1,0	Свободное	0,60
Лотки с короткой горловиной с сечением: а) прямоугольным б) трапецеидальным	0,60	1,5 b	0,25	1,5	Свободное	0,40
	0,60	2,0 b	0,20	1,0	Свободное	0,40

В таблице 2.8: η – коэффициент подполения, равный $\eta = h_1 / h_2$

– глубины воды в верхнем и нижнем бьефах; b – ширина горловины лотков.

Дополнительные условия для всех лотков:

- режим течения воды в подводящем канале должен быть спокойным;
- в подводящем канале перед лотками не должны скапливаться не только донные, но и взвешенные наносы;
- подход потока к горловине лотков должен быть параллельноструйным, погонные расходы воды по ширине водотоков – одинаковыми;
- течение через лотки – свободное, без подпоров.

Из приведенных в таблице 2.8 разновидностей водомеров типа «Лотки», в республике частичное применение (построены в основном в качестве экспериментальных сооружений) получили лотки Вентури (рис.

2.1в) и САНИИРИ (рис. 2.1г). Поэтому ниже по этим водомерам приводятся краткие сведения.

Лотки Вентури состоят из входной и сужающей частей, горловины и выходного диффузора. На берегу входной части лотка размещается колодец с уровнемерной рейкой, при этом соединение колодца с водотоком осуществляется при помощи трубки или щели.

Сужающая часть имеет вертикальные стенки, выполненные по радиусу закругления $= 2(-)$, длиной $= 1,32(-)$.

Горловина имеет прямоугольное сечение, ее длина $= 1,5h$, дно горизонтальное.

Выходной диффузор выполнен с расходящимися вертикальными стенками, его длина $D = 3(-)$.

Пропускная способность лотка Вентури определяется по формуле

$$= 1,705^{3/2}, \quad (2.11)$$

где α - коэффициент расхода; β - коэффициент, учитывающий влияние скорости подхода (зависит от степени сжатия потока горловиной лотка).

Значения коэффициентов α и β принимаются из таблиц, приведенных в [14, 43].

В республике опытные образцы лотков Вентури были построены в 50-ые годы прошлого столетия, в то время было построено всего несколько штук, некоторые из них приведены на рис. 2.20. Впоследствии от этих водомеров отказались, они не применяются и в настоящее время.

В принципе рассматриваемые водомеры могли бы применяться для учета воды на внутрихозяйственных каналах в предгорной зоне. Но их не применяют лишь потому, что они, из-за сложной гидравлики потока на них (отсутствует параллельноструйное течение воды), не подлежат к градуировке.

Следует отметить, что лоткам Вентури, как это вытекает из опыта эксплуатации действующих сооружений [48], присущи следующие недостатки:

- бурный режим течения воды, который образуется при вытекании воды из-под щитов – рис. 2.20в, г, наличие подпора с нижнего бьефа (рис. 2.20б);



Рис 2.20. Водомерные сооружения типа «Лотки» Вентури. а – на канале «Желамыш» системы реки Желамыш; б, в, г – на отводах канала Савай системы реки Кара-Дарья.

- отложение наносов на начальном участке сужения лотка и неравномерное распределение погонных расходов воды по ширине горловины водомера.

Имеются и другие недостатки. Изложенное существенно осложняет эксплуатацию сооружений. Чтобы как-то учитывать подачу воды водопотребителям, служба эксплуатации вынуждена проводить градуировочные работы по типу «Фиксированное русло», выбрав измерительный створ в пределах горловины сооружения. Это, с нашей

точки зрения, является временным выходом. Все же большинство сооружений, не обеспечивающих требуемый режим истечения воды, в будущем должно быть реконструировано. В настоящее время нормально работающих сооружений – практически нет [48].

Еще один водомер типа «Лоток» - водомер, приведенный на рис.

2.1г.

Этот водомер [14, 43] состоит из сужающегося лотка, с горизонтальным дном, заканчивающимся перепадом. За сопрягающим сооружением водоток резко расширен, что в совокупности с перепадом обеспечивает свободное истечение воды через сооружение.

Рассматриваемый водомерный лоток относится к категории стандартных средств [14, 43], благодаря чему обеспечивается возможность его применения без проведения индивидуальной градуировки.

Условия применимости данного водомерного лотка приведены в таблице 2.8.

Размеры лотка определяются по следующим связям: ширина входа = 1,7 ; длина лотка = 2 и высота стенки лотка:

$$\text{стр} = (1,5 - 2) \quad \text{ИЛИ} \quad \text{стр} = h + h_3,$$

где h_3 – запас стенок над уровнем воды, равный 0,15-0,20м.

Высота порога $\geq 0,5h$.

Диапазон изменения ширины лотка на выходе (м)

$$0,2 \leq \leq 1,0,$$

Диапазон изменения напора (м)

$$= 0,1 - 1,0\text{м},$$

Створ измерения уровня (напора) совпадает с передней входной гранью лотка.

Пропускная способность сооружения определяется по формуле

$$= \diamond \frac{\text{---}}{2 h^{3/2}}, \quad (2.12)$$

где C – коэффициент расхода, равный

$$C = 0,5 - 0,109 / (6,26h + 1), \quad (2.13)$$

Упрощенная расчетная формула имеет вид

$$= 2,14 h^{1,55}, \quad (2.14)$$

В 1990-91гг в Кадамжайском районе Баткенской области были построены свыше 20 сооружений, со следующими практически однотипными параметрами: $b=0,50\text{м}$; $B=0,85\text{м}$; $L=1,0\text{м}$; $\text{стр} = 0,60\text{ м}$ и

$i=0$. Лотки заканчивались перепадом, высотой 0,30-0,50м.

Предварительные эксплуатационные показатели двух сооружений (на отводах Тешик-7 канала Тешик системы реки Исфайрам-Сай и Коопторг-МК Анкар) приведены в [48], из которой следует о возможности применения рассматриваемого водомера для учета протекающей по нему воды. Однако следует отметить, что лоток САНИИРИ, хотя он компактный и простой в исполнении, не получил дальнейшего применения в республике по причинам образования на нем косоструйных в плане течений и кривой спада по вертикали на уступе перепада. Кроме того, при протекании малых расходов воды сужение потока на лотке не происходит. Все это, вместе с плохой гидравликой, не позволяют проведению нормальной работы по градуировке сооружений, что не одобряется в условиях платного водопользования.

2.2.4. Водомеры типа «С подпором»

Если рассмотренные в предыдущих подразделах книги водомеры работали либо в равномерном режиме истечения (водомеры типа «Фиксированное русло») или в свободном (водомеры типов «Лотки» и «Водосливы с тонкой стенкой»), то в этом разделе кратко будут рассмотрены водомеры, обеспечивающие измерение расходов воды в подтопленном, причем в подпорно-переменном режимах истечения.

В гидрометрии подпорно-переменные режимы истечения относятся к категории нежелательных гидравлических явлений, так как под их влиянием:

- уменьшается пропускная способность водомерных сооружений;
- ухудшаются метрологические характеристики водомеров и, в том числе, точность измеряемых расходов воды;
- осложняется эксплуатация гидростов, так как при наличии подпорно-переменных режимов истечения появляется необходимость в выполнении дополнительных работ по поддержанию сооружений в

рабочем состоянии и проведению непредусмотренных гидрометрическим планом частых контрольных замеров расходов воды.

Опыт эксплуатации водомерных сооружений, построенных на оросительных системах республики, свидетельствует о том, что подпорно-переменные режимы возникают:

а) на гидростаях типа «Фиксированное русло», когда они функционируют на каналах с земляным руслом и малым уклоном дна;

б) на водомерных сооружениях типа «Водослив с тонкой стенкой», когда они:

- функционируют на каналах с земляным руслом и малым уклоном дна;

- размещены выше водораспределительных узлов (водовыпусков, вододелителей) на незначительных от них расстояниях;

- имеют малую и нерегулируемую высоту порогов водосливов.

Благодаря именно подпорно-переменным режимам истечения многие действующие водомерные сооружения республики не отвечают предъявляемым к ним требованиям, поэтому при метрологической их аттестации признаются не годными к применению в качестве рабочих средств для измерения расходов воды.

Однако это не говорит о том, что в условиях подпорно-переменных режимах истечения не могут быть вестись работы по учету водных ресурсов. В республиках бывшего Союза было разработано несколько компоновок и конструкций водомерных сооружений, направленных на их использование при строительстве гидростая в зонах возможного возникновения подпорного и подпорно-переменных режимов истечения. В связи с этим задачей дальнейших исследований, с нашей точки зрения, является то, чтобы из имеющихся конструктивных решений отобрать наименее материалоемкие, простые и дешевые при строительстве и удобные в эксплуатации сооружений, с расширенными возможностями их применения на внутрихозяйственных каналах оросительных систем республики.

Все водомерные сооружения, разработанные для подпорного и подпорно-переменного режимов функционирования, работают в режиме затопленного течения водопропускных отверстий и оборудуются уровнемерными рейками (или перепадомерами) для определения разности уровней воды (напора Z) в верхнем и нижнем бьефах гидростая. Они

достаточно подробно описаны в справочниках и учебниках, научной литературе, в том числе в [6, 8, 48, 53, 54], нормативном документе [29]. При этом считается, что водомерные сооружения, описанные в [29], являются стандартными и могут применяться без индивидуальной градуировки.

Обобщение сведений, приведенных в литературных источниках по вопросам конструирования и компоновки водомерных сооружений применительно к подпорному и подпорно-переменному режимам течения, указывает на следующее:

- в зависимости от условия размещения – разработанные водомерные сооружения могут размещаться самостоятельно – для учета транзитных расходов воды или на водорегулирующих сооружениях – для учета отводящих расходов воды;

- на водорегулирующих сооружениях – водомерные устройства могут размещаться на входной или выходной частях регулирующих сооружений.

К числу самостоятельно возводимых для учета транзитных расходов воды сооружений относятся водомерные сходящиеся насадки конструкции САНИИРИ (рис. 2.1д), сужающееся устройство конструкции Укр. НИИГиМ (рис. 2.1е), водомерные посты с диафрагмой (рис. 2.1ж) и диафрагма с полкой (рис. 2.1з) и др.

Из многообразия перечисленных конструкций и компоновок водомерных сооружений стандартизованы только водомерные сходящиеся насадки САНИИРИ (рис. 2.1д), остальные находятся на стадии изучения и дальнейшего совершенствования.

Конусный насадок был разработан М.В.Бутыриным в 50-тые годы прошлого столетия в САНИИРИ, поэтому носит название конусный насадок САНИИРИ-Бутырина или сокращенно КНСБ. Рекомендованные в [14, 43] схемы компоновок данного водомера указывают на то, что:

- водомер может быть построен самостоятельно на транзитной части;

- насадок может быть размещен на выходном оголовке трубчатого регулятора-водовыпуска.

Поперечное сечение насадка может выполняться круглым, квадратным и прямоугольным. В 50-60-тые годы прошлого столетия, в качестве экспериментальных сооружений, на 10 отводах ВБЧК и ЗБЧК

были построены КНСБ, с круглым поперечным сечением. Для обеспечения нормальной работы этих водомеров, при их строительстве должны были соблюдаться следующие условия:

- затопленный режим истечения;
 - высота порога насадков $\geq 0,10\text{м}$;
 - допустимые размеры насадков в сжатом сечении $= 0,1 - 1,0\text{м}$;
 - допустимые размеры входной части насадков $= 1,92$;
 - допустимая длина насадков $= 2$;
 - угол конусности насадков $= 13^\circ$;
- допускаемые перепады уровней воды в бьефах сооружения
 $= 0,05 - 0,6\text{м}$;
- допускаемое соотношение между шириной канала в верхнем бьефе
и размерами входной части насадков $\geq 2,5$;
- допустимый параметр кинетичности потока в верхнем бьефе
 $< 0,25$;
- при размещении насадка на выходном оголовке трубчатого водовыпуска – длина трубы перед насадком (5-6) D.

При соблюдении этих и других (не отмеченных здесь) условий, как это следует из [14, 43], КНСБ могут применяться в качестве средств для измерения расходов воды с приведенной основной погрешностью не более $\pm 5\%$ от верхнего предела измерений.

Типовая схема КНСБ приведена на рис. 2.1д, а часть построенных на отводах ВБЧК и ЗБЧК водомеров - на рис. 2.21, параметры сооружений – в таблице 2.9.

Из данных рис. 2.21 вытекает следующее:

- КНСБ построены не по установленной классической схеме (рис. 2.1в), а абсолютно по другой, причем по не изученной конструкции;
- КНСБ уложены на дно каналов, то есть насадки не имеют порогов, высотой $\geq 0,10\text{м}$.

Изложенное серьезно осложняет применение КНСБ в качестве средств для измерения расходов воды, так как их конструкции отличаются от принятых в [14, 43] решений. Кроме того, как это следует из приведенных в таблице 2.9 сведений, построенные КНСБ в большинстве случаев не отвечают предъявленным к ним требованиям. Так:

- соотношение / , вместо требуемого 1,92, составляет 1,35-1,37;

- длина насадков, вместо $2 = 0,71 - 1,27$ м, составляет $\phi = 2,1 - 4,0$ м, то есть насадки удлинены в 3,0-3,5 раза;

- соотношение / , вместо требуемого ($\geq 2,5$), составляет 1,0-1,3.

а)



б)



в)



г)



Рис. 2.21. Водомерные сооружения типа «Конусный насадок».
а, б – вид с нижнего бьефа (фото П.И.Андреева); в, г – вид с верхнего бьефа. 1 – диафрагма КНСБ; 2, 3 – уровнемерные колодцы; 4 – временный гидрост типа «Фиксированное русло».

Все отводящие от КНСБ каналы имеют обратный уклон, длина участков каналов, облицованных бетоном, составляет 1,5-4,5 м.

1 Таблица

	Сортамент			е					Примечание						
	ис	ис	мм	с	р	ф	с	мм							
ВБЧК	Р-5, №1-5	3	633/864	1,16	0,45	1,37	1,5	4,0	1,27	3,15	0,4	1,0	0,05-1,0	1957	Для градуировки(поверки)КНСБ
ЗБЧК	Р-2, №20	1	356/482	1,04	1,66	1,35	4,4	2,1	0,71	2,96	0,2	0,25	0,08-0,10	1952	Точк. измер. провол.-измерит. прибор ГЛ-1. Метрологическое свидетельство
ЗБЧК	Р-2, №21	1	568/768	1,30	2,32	1,35	4,6	3,9	1,14	3,48	уклон Имеется обратный		0,10-0,60	1950	То же, проволочный измеритель с классом точности 0,05 мм/м

Продолжение таблицы 2.9

ЗБЧК	P-2-5, №23	1	496/672	1,19	1,49	1,36	3,6	3,0	0,99	3,03	Т ж е	0,8	0,08-0,51	1950	Тоже, временный гидропост в земляном русле, расположен в нижнем бьефе.
ЗБЧК	P-2-6 №24	1	496/672	1,19	2,52	1,36	3,0	3,2	0,99	3,23	0,66	0,5	0,10-0,30	1950	Тоже, временный гидропост в бетонном русле
ЗБЧК	P-2-7 №25	1	356/482	1,66	3,07	1,35	3,4	2,3	11,8	0	0,50	0,8	0,09-0,20	1950	Тоже, временный гидропост в бетонном русле
ЗБЧК	P-2-8	1	496/672	2,23	2,11	1,36	3,2	2,95	0,99	2,98	0,66	0,8	0,16-0,21	1950	Тоже, гидропост в бетонном русле
ЗБЧК	P-3	1	568/768	2,34	1,61	1,35	2,0	3,4	1,14	2,75	0,77	0,8	0,12-0,37	1950	Тоже

При этом КНСБ не градуируются, а его пропускная способность определяется по формуле

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2gH} \quad (2.15)$$

где S – площадь водопропускного отверстия в выходном сечении;

μ – коэффициент расхода; H – разность уровней воды в бьефах сооружения.

По полученным расчетным данным строится график зависимости $Q = f(H)$ и по его показаниям заполняется рабочая таблица, по показаниям которой должна осуществляться подача воды водопотребителям. Однако служба эксплуатации пошла по следующему пути – проводила градуировку КНСБ, при этом для проведения такой работы были использованы временные гидростолбы типа «Фиксированное русло» в земляном или бетонном (рис. 2.21г) руслах, расположенные в нижнем бьефе на расстоянии 10-15м от СИР (таблица 2.9). Замеры проводились гидровертушкой типа ГР 21М одноточечным способом на вертикалях, что недостаточно при определении пропускной способности сооружений.

Следует отметить, что в паспортах КНСБ отсутствуют данные градуировки водомеров. Кроме того, для градуировки КНСБ должны были быть построены не временные и примитивные, а инженерные сооружения.

При этом градуировка должна была проводиться при 5-6 значениях расхода и не менее в 5 измерительных точках на вертикалях [13, 16]. Однако, на построенных КНСБ, эти условия не были соблюдены. Поэтому с уверенностью можно считать, что учет воды на КНСБ проводился весьма приближенно. Этот вывод подтверждается также и, как это было отмечено выше, строительством КНСБ с большими отклонениями от предъявляемых к ним требований.

КНСБ не подлежит градуировке путем установки ротора гидровертушки на выходе из отверстия насадка, так как из-за конусности последнего, струи имеют форму, не свойственную параллельноструйному течению воды.

К недостаткам построенных КНСБ относится и то, что на них практически невозможно замерить расходы 50-100л/с (насадки на Р-2-5, Р-2-6 и Р-2-8 из ЗБЧК) и 100-150л/с (насадки на Р-5 из ВБЧК), так как при них (в наши дни на такие расходы поступают заявки от

водопользователей) напоры составляют $< 1,0$ см и их трудно измерить. Кроме того в соответствии с нормативным документом, замеры на КНСБ могут проводиться только при > 5 см. Напор можно было бы увеличить путем уменьшения площади водопропускного отверстия насадка. Однако, в конструкции КНСБ такое решение не предусмотрено. Некоторые КНСБ заилены наносами, причем заиливаются и сами трубы. Из-за этого вода переливается даже через верх диафрагмы КНСБ (сооружения на Р-5 из ВБЧК). На всех сооружениях имеются измерительные колодцы, но в них отсутствуют уровнемерные рейки. Отсутствуют и гидрометрические мосты, без которых нельзя снимать показания уровнемерных реек. Многие измерительные колодцы заилены и засорены.

Выше изложенные сведения указывают на то, что КНСБ, построенные на отводах ВБЧК и ЗБЧК, в дальнейшем не могут применяться без существенной реконструкции, а отдельные из них должны быть заменены на другие типы СИР.

Но, все же, к числу основных недостатков КНСБ относятся то, что:

- КНСБ не подлежит градуировке путем установки ротора гидровертушки на выходе из отверстия насадка, так как, из-за конусности последнего, струи имеют форму, не свойственную параллельноструйному течению воды;

- на самом КНСБ отсутствует элемент, регулирующий параметры водопропускного отверстия с тем, чтобы обеспечить напорный режим течения в водоводе при пропуске по нему расходов воды от максимального и до минимального их значений.

Наравне с другими недостатками, именно эти положения вывели всех построенных КНСБ из строя, в результате в последние годы все построенные конусные насадки стали заменять на другие типы водомеров.

Водомер с сужающим устройством (рис. 2.1е), разработанный во УкрНИИГиМе [8], предназначен для измерения расходов воды до $10\text{ м}^3/\text{с}$ и состоит из вертикальной стенки 1, к которой присоединена потолочная наклонная плита 3, расположенная под углом β к плоскости дна водотока в сторону нижнего бьефа и закрепленная в откосы канала.

Плита прижимает поток только сверху. Величина угла β принимается в пределах $\beta=13-25^\circ$, при которых коэффициент расхода в

формуле (2.13) составляет $\mu=0,79-0,95$. Пределы применимости по перепаду = 0,02 – 0,60м.

Следует отметить, что ни одного водомера, построенного по рис. 2.1е в республике нет. Поэтому трудно судить о работоспособности данного водомера.

Следует отметить, что градуировка рассматриваемого водомера не даст положительного результата, так как параллельноструйного выхода потока из водопропускного отверстия нет, ибо это является главным условием при градуировке сооружений.

Водомер с диафрагмой (рис. 2.1ж), описанный в [7], состоит из вертикальной стенки 1, водопропускного отверстия 4 и представляет собой просто – водопропускное отверстие в тонкой стенке. Таких сооружений, построенных в республике нет. Нет сведений и в литературных источниках, характеризующих его работу не только в натуральных, но и в лабораторных условиях. Однако, в [7] отмечается, что «Посты на небольших ирригационных каналах с расходом до 400-500л/с часто оборудуются водомерными насадками. Последние могут быть заменены простым отверстием в щитке, которое по сравнению с насадкой безусловно проще и дешевле в изготовлении и удобнее в эксплуатации». Соглашаясь с изложенным, следует отметить на трудность его градуировки, так как при выходе из водопропускного отверстия поток протекает не параллельноструйно, а всеобразно растекается в нижнем бьефе сооружения.

Водомер с диафрагмой и полкой (рис. 2.1з), описанный в [38], состоит из измерительного участка в виде фиксированного прямолинейного участка канала, углубления на дне сооружения 7, щита 5 и горизонтальной полки 6. Углубление на дне водотока создает водомеру условие для работы в подтопленном режиме, а горизонтальная полка – образованию параллельноструйного течения воды в напорном водоводе, что создает благоприятное условие для градуировки сооружения и использования его в качестве средства для учета воды.

Однако он, представляющий практический интерес, нуждается в детальном изучении, так как построенное единственное сооружение – на Р-12-12 системы канала ВБЧК было полностью разрушено незаинтересованными в учете воды водопользователями. Кроме того на

том сооружении отсутствовало углубление на дне водотока, в результате оно могло работать без запланированного режима течения.

2.3. Анализ о перспективности применения существующих водомерных сооружений для учета воды во внутрихозяйственных каналах

Результаты такого анализа, проведенного на основании многочисленных материалов исследований по изучению эксплуатационных показателей водомеров на оросительных системах республики, приведены в таблице 2.10. При этом результаты этого анализа касаются только водотоков с земляным руслом.

Данные этой таблицы свидетельствуют о нижеследующем.

В отношении водомера типа «Фиксированное русло»:

- его не следует возводить на каналах с трассой, проходящей как вдоль, так и поперек горизонталей в равнинной зоне и вдоль горизонталей в предгорной зоне;

- однако, этот водомер с успехом может применяться на каналах с трассой, проходящей поперек горизонталей в предгорной зоне.

В отношении водомеров типа «Лотки» - невозможность их градуировки усугубляет их применимости в качестве средств для учета воды.

В отношении водослива с тонкой стенкой – он может применяться и в дальнейшем при устранении присущих ему недостатков.

В отношении конусного насадка (КНСБ) – невозможность градуировки насадка и регулирования водопропускного отверстия усугубляют его применимости в качестве средств водоучета.

В отношении водомеров УкрНИИГиМ и диафрагмы – отсутствие сведений о их работе указывает на необходимости воздержания от их применения.

В отношении диафрагмы с полкой – этот водомер – новый и должен подвергаться к детальному изучению.

Таблица 2.10

Анализ о возможности применения существующих водомеров на внутрихозяйственных каналах с земляным руслом

№№ п/п	Водомер типа	Основные требования к водомеру	Расположение трассы канала относительно горизонталей	Характеристика работам водомера		Возможность применения водомера на внутрихозяйствен- ных каналах с земляным руслом
				Положительные стороны	Отрицательные стороны	
1	2	3	4	5	6	7
1	Фиксированное русло (рис.2.1а)	равномерный ре- жим течения воды; - необходимость градуировки водо- мера.	Вдоль и поперек - про- горизонталей (в равнинной зоне), вдоль горизонта- лей (в предгорной зоне). Поперек горизон- талей (в предгор- ной зоне).	пускная спо- собность (в определяется гид- равлическим расчетом; - соблюдаются ус- ловия для гра- дуировки соору- жения. В результате от- сутствия подпора с нижнего бьефа, на водомере уста- навливается рав- номерный режим течения воды, соб- людаются условия для градуировки сооружения, пос- ледний не зано- сится наносами.	Появление подпора со стороны отводящего ка- нала в результате заиления наносами и за- растания его расти- тельностью (в том числе камышом). Иногда не соблюдаются требования НД к пара- метрам (особенно к длине) водомера, что может отрицательно сказаться на режиме ра- боты сооружения.	На водомере не будут соблюдены предъяв- ляемые к нему тре- бования, поэтому сле- дует воздержаться от его применения. Водомер может быть использован в качестве средства для измерения расходов воды.

<p>2</p>	<p>Лотки Вентури и критической глубины (рис.2.1в)</p>	<p>- свободный (незатопленный) режим истечения; - необходимость градуировки сооружений.</p>	<p>Вдоль горизонталей (в предгорной и равнинной зонах) и поперек горизонталей (в равнинной зоне). Поперек горизонталей (в предгорной зоне).</p>	<p>Определение пропускной способности лотков гидравлическим расчетом. - определение пропускной способности лотков гидравлическим расчетом; - обеспечение свободного (незатопленного) режима истечения.</p>	<p>- нарушение режима течения воды в результате заиления наносами и зарастания растительностью отводящего канала; - невозможность градуировки из-за сложной гидравлики на лотках. - невозможность градуировки из-за сложной гидравлики потока на водомерах.</p>	<p>На водомере не будут соблюдены требования, предъявляемые к ним. Следует воздерживаться от их применения. Невозможность градуировки водомеров усугубит их применение.</p>
	<p>Лоток САНИИРИ (рис.2.1г)</p>	<p>-//-</p>	<p>-//-</p>	<p>-//-</p>	<p>Невозможность градуировки водомера из-за сложной гидравлики потока на нем.</p>	<p>-//-</p>

<p>3</p>	<p>Водослив с тонкой стенкой (рис.2.14 и 2.15)</p>	<p>Свободный (неза-топленный) режим истечения.</p>	<p>Вдоль горизон-талей (в предгор-ной и равнинной зонах). Поперек горизон-талей (в предгор-ной и равнинной зонах).</p>	<p>- определение про-пускной способ-ности водомера гидравлическим расчетом; - измерение расхо-дов воды с высокой точно-стью - $\pm 2\%$.</p>	<p>- возникновение под-пора за короткий срок эксплуатации (из-за заи-ление и зарастание отво-дящего канала); - заиление верхнего бье-фа наносами и труд-ность их промывки; - сложность регулирова-ния высотой порога вод-ослива с целью нахож-дения оптимальной его высоты. - заиление верхнего бье-фа наносами и труд-ность их промывки; - сложность регулирова-ния высотой порога во-дослива с целью нахож-дения оптимальной его высоты.</p>	<p>Следует воздержаться от его применения до устранения присущих к нему недостатков. Водомер может быть использован в качестве основного средства для водоучета при устра-нении присущих к нему недостатков.</p>
<p>4</p>	<p>Конусный насадок – КНСБ (рис.2.1д)</p>	<p>Подтопленный ре-жим истечения; - необходимость градуировки водо-мера.</p>	<p>Вдоль и поперек горизонталей (в предгорной и рав-нинной зонах).</p>	<p>Определение рас-ходов воды осу-ществляется гид-равлическим рас-четом.</p>	<p>- невозможность гра-дуировки насадка (из-за его конусности); - отсутствие элемента, регулирующего пара-метров конусного водо-пропускного отверстия.</p>	<p>Следует воздержаться от его применения до устранения присущих ему недостатков.</p>

Продолжение таблицы 2.10

5	Расходомер УкрНИИГиМ (рис.2.1е)	-//-	-//-	-//-	Невозможность градуировки водомера (из-за отсутствия параллельно-струйного течения воды).	Не рекомендуется к применению.
6	Диафрагма (рис.2.1ж)	-//-	-//-	Определение расходов воды приближенно может осуществляться гидравлическим расчетом.	Невозможность градуировки водомера (из-за веерообразного растекания воды при выходе из отверстия диафрагмы).	Не рекомендуется к применению.
7	Диафрагма с полкой (рис.2.1з)	-//-	-//-	- определение пропускной способности гидравлическим расчетом; - имеются условия для градуировки сооружения.	Отсутствие материалов детальных исследований водомера.	Следует воздержаться от его применения до детального его изучения.

4

Что же касается вопросов оснащения бетонированных каналов и лотков параболического сечения водомерами, то полученные материалы свидетельствуют о том, что их прямолинейные участки с успехом могут быть использованы для размещения на них водомера типа «Фиксированное русло». Для этого на этих участках выбираются измерительные створы и строятся успокоительные колодцы для размещения уровнемерных реек. При этом указанный тип водомера может использоваться для учета воды как в водотоках со спокойным, так и бурным режимами течения воды.

Выводы

На основании материалов, полученных в результате изучения эксплуатационных показателей водомеров, построенных на оросительных системах республики, можно сделать следующие выводы:

- в условиях, когда трассы каналов в земляном русле проходят параллельно- или поперек горизонталей (в равнинной зоне) и параллельно горизонталям (в предгорной зоне), водомеры типов «Фиксированное русло» и «Водосливы с тонкой стенкой» не могут быть применены в качестве средств для измерения расходов воды, так как на них возникают подпоры (причем переменного характера) в результате заиления наносами и зарастанию растительностью отводящих в земляном русле каналов;

- водомеры типов «Фиксированное русло» и «Водосливы с тонкой стенкой» могут применяться для учета воды, когда трассы каналов в земляном русле будут проходить поперек горизонталей (в предгорной зоне);

- прямолинейные участки облицованных каналов и лотков параболического сечения успешно могут быть использованы для размещения на них водомеров типа «Фиксированное русло», при этом на этих участках выбираются измерительные створы и строятся успокоительные колодцы для размещения уровнемерных реек. Указанный тип водомеров могут использоваться для учета воды как в водотоках со спокойным, так и с бурным режимами течения воды;

- водомеры типов «Лотки» и «С подпором» не могут быть применены без проведения соответствующих работ по совершенствованию их конструкций и улучшению метрологических их показателей;

- в составе водомеров «С подпором», интересным является устройство на рис. 2.13, который должен подвергаться к детальному изучению.

3. Совершенствование компоновок и конструкций водомерных сооружений и результаты их испытаний

3.1. Уточненные требования к водомерам

Из данных, приведенных в разделе 1 этой работы, вытекает, что преобладающее большинство внутрихозяйственных каналов, функционируемых в республике, имеют земляное русло, большая часть не состоит на балансах организаций и предприятий и практически стала безхозной. Все это отрицательно сказывается на состоянии самих внутрихозяйственных каналов в земляном русле – они заиливаются (песком, илом) наносами и зарастают (камышом и др.) растительностью.

Изложенные процессы отрицательно сказываются не только на пропускную способность самих каналов, но и на учете воды в них.

Учет воды на внутрихозяйственной сети осуществляется гидропостами, их только в АВП составляет 857шт. Они имеются и у госучреждений. Несмотря на изложенное, практически ни один водомер из имеющихся сооружений, построенных на каналах с земляным руслом, не был представлен на госпроверку. Причиной этому, несомненно, являются заиливание и зарастание отводящих от сооружений каналов в земляном русле, создающие подпоры, причем переменного характера. При таких режимах течения, как это известно из раздела 2 работы, многие типы водомеров перестают выполнять свои задачи.

Ниже приведенный пример дополнительно свидетельствует об этом же. Гидропост Новотроицкий [48], построенный на одноименном канале из ЛМК (Казахстан), имеет следующие характеристики: тип – «Фиксированное русло»; длина участка канала, облицованного Г-блоками, 51м; далее канал проходит в земляном русле, уклон канала на

облицованном участке составляет 0,005; в районе размещения водомерного сооружения канал имеет ширину 1,7м; высоту 1,45м; максимальный подаваемый расход – 0,71м³/с.

Данный гидропост был отградуирован в начале вегетации при очищенных участках отводящего канала, имеется график зависимости Q и H . Однако, как это следует из данных таблицы 3.1, в процессе работы в период вегетации резко ухудшились эксплуатационные показатели сооружения.

Таблица 3.1

Изменение пропускной способности гидропоста в течение одной вегетации

Наименование гидропоста	Дата замера	Напор, м	Расход, м ³ /с		К
			Расчетный	Измеренный	
Новотроицкий	23.04.88	0,20	0,225	0,225	1,00
	03.05.88	0,30	0,580	0,400	0,69
	11.05.88	0,38	0,920	0,560	0,61
	05.07.88	0,28	0,480	0,220	0,46
	22.07.88	0,35	0,800	0,300	0,38

Так, в начале вегетации отношение измеренного расхода к расчетному при одном и том же напоре составляет единицу, что указывает на возможность использования гидропоста в качестве рабочего средства для учета воды. Однако, в дальнейшем указанный показатель уменьшается, причем степень этого уменьшения тем ощутимее, чем больше продолжительность эксплуатации сооружения. Так, в середине вегетации того же года отношение измеренного расхода к расчетному снизилось до 0,38.

Иначе говоря, данный гидропост работает в подпорно-переменном режиме, вызванным заилением и зарастанием отводящего в земляном русле каналом. Этим не только снижается точность измерения расхода воды, но и осложняется его эксплуатация, так как работники службы эксплуатации вынуждены проводить на нем частые (несколько раз в месяц) вертушечные замеры.

Такие же процессы происходят и на внутрихозяйственных каналах нашей республики.

Для обеспечения учета воды во внутрихозяйственных каналах с земляным руслом, построенных вдоль и поперек горизонталей (в равнинной зоне), и вдоль горизонталей (в предгорной зоне),

необходимо, чтобы предусмотренные к строительству на таких водотоках водомеры функционировали как при подпорном, так и в подпорно-переменном режимах течения.

Второе требование к водомерам – у них должны быть условия для их градуировки, к которым, в первую очередь, относится параллельноструйное течение воды по водотоку.

Третьим и не менее важным требованием к водомерам может относиться необходимость учета воды при прохождении по ним расходов от максимального и до минимального их значений. Такое требование вытекает из заявок водопотребителей – дехкан, в которых, в зависимости от водопотребности для полива сельскохозяйственных угодий, указываются самые разные расходы – от 30л/с и более.

Следующее требование – это промыв наносов из верхнего бьефа водомеров должен осуществляться непрерывно, что положительно скажется на метрологических и эксплуатационных показателях сооружений.

И, последнее, в предгорной зоне при прохождении трассы каналов вдоль горизонталей водомеры и, в частности, водосливы начинают работать в свободном режиме истечения. Но, по мере заиления и зарастания отводящих в земляном русле каналов (эти процессы происходят в течение 1,5-2лет), свободный режим переходит в подтопленный. В результате водосливы перестают использоваться для учета воды. Но тем не менее, следует отметить о целесообразности использования водосливов, наравне с другими водомерами, для водоучета в условиях внутрихозяйственных каналов, ибо они считаются более точными средствами измерения расходов воды [47, 48] и даже предлагаются использовать их в качестве образцовых средств при поверке погрешностей измерения других водомеров [52]. Такое решение, по всей вероятности, будет осуществляться в натуре при:

- использовании водосливов с регулируемой высотой их порога;

- создании комбинированного сооружения, в составе которого будет водослив, измеряющий расходы воды при свободном течении и второй водомер, измеряющий расходы воды при подтопленном режиме течения. Естественно, такое решение положительно скажется на метрологические и экономические показатели сооружений.

Кроме приведенных требований, могут быть дополнительные требования к конкретным разрабатываемым водомерам для улучшения их компоновок и конструкций. Эти требования будут конкретизированы при рассмотрении каждого из разработанных водомерных сооружений.

3.2. Выбор типов водомеров для совершенствования их конструкций

Как это вытекает из выше приведенных требований, предъявляемых к водомерам, выбор типов сооружений должен осуществляться:

- для выявления более подходящего для условий внутрихозяйственных каналов водомера, при совершенствовании конструкций которого его можно было бы шире применять в производстве;

- наравне с предыдущим водомером для разработки комбинированного водомерного сооружения с тем, чтобы его (то есть одного и того сооружения) можно было бы использовать как при свободном, так и подтопленном режимах течения.

Все ранее разработанные сооружения и их работоспособности приведены в разделе 2, а возможность их применения в условиях внутрихозяйственных каналов – конкретизированы в разделе 2.3 и таблице 2.10. Как это следует из приведенных в них положений:

- на внутрихозяйственных каналах с земляным руслом, трассы которых проходят поперек горизонталей (в предгорной зоне), могут применяться водомеры типов «Фиксированное русло» и «Водосливы с тонкой стенкой»;

- на внутрихозяйственных каналах с земляным руслом, трассы которых проходят вдоль и поперек горизонталей (в равнинной зоне), а также вдоль горизонталей (в предгорной зоне), могут найти применение усовершенствованные водомеры типов «Водосливы с тонкой стенкой» и «Насадок».

На базе водомеров типов «Водослив с тонкой стенкой» и «Насадок» планируется разработать комбинированное водомерное

сооружение, которое найдет применение на внутрихозяйственных каналах с земляным руслом, построенных как вдоль, так и поперек горизонталей (в равнинной зоне) и вдоль горизонталей (в предгорной зоне).

Из состава отобранных сооружений, водомеры типов «Фиксированное русло» и «Водосливы с тонкой стенкой» изучены достаточно детально, для них разработаны нормативные документы [13, 14] и типовые рабочие проекты [10, 40], в соответствии с которыми осуществляются проектирование, строительства и эксплуатация сооружений. В соответствии с указанными нормативными документами проводится и госповерка сооружений.

Что же касается водомера типа «Насадок», то он подлежит к совершенствованию и всестороннему детальному изучению, а комбинированный водомер – его созданию на базе других усовершенствованных водомерных сооружений.

3.3. Разработка усовершенствованных и новых водомерных сооружений

3.3.1. Применительно к участковым и временным оросителям

В условиях платного водопользования дело дошло до того, что при подаче воды водопотребителям, каждый дехканин вынуждает осуществить замеры подавшего ему расхода воды. При этом такие замеры расходов воды осуществляются как во временных, так и участковых оросителях с земляным руслом.

В условиях указанных оросителей весьма сложно осуществить замеры расходов воды. Но, несмотря на это, такие замеры все-таки проводятся. Проводятся они благодаря инициативам работников Ошского БУВХ, построивших на некоторых участковых оросителях младшего порядка водомеров с тонкими водосливами. Эти сооружения, приведенные на рис. 3.1, миниатюрные и стационарные, но они отвечают требованиям нормативных документов и могут быть использованы в качестве средств для учета воды.

а)



б)



Рис. 3.1. Стационарные водомерные сооружения типа «Водосливы с тонкой стенкой» на оросителях младшего порядка. а – вид с верхнего бьефа; б – вид с нижнего бьефа.

На указанных на рис. 3.1 водомерах применены водосливы Чиполетти, они стационарные.

а)



б)



Рис. 3.2. Переносные водосливы Сатаркулова для оросителей младшего порядка. а – вид с верхнего бьефа; б – вид с нижнего бьефа.

В качестве водомеров могут быть применены и прямоугольные водосливы. Их можно выполнить и стационарными, и съемными, и переносными. В настоящее время изготовлено более 100

прямоугольных переносных водосливов Сатаркулова [34], при учете воды которыми успешно пользуются во всех областях республики. Описание данного переносного водослива приведено в приложении 3, а работа двух переносных водосливов показана на рис. 3.2.

3.3.2. На бетонированных каналах и лотках параболического сечения

Эти водотоки, как известно из раздела 1, характеризуются малыми размерами и низкой пропускной способностью. Однако, в них режимы течения воды – разные, есть многочисленные каналы и лотки, в которых потоки протекают в спокойном режиме – параметр кинетичности потока выраженный числом Фруда, составляет менее единицы. Однако имеются и многочисленные каналы и лотки, в которых числа Фруда не только превышает единицу, но и достигают 5 и более. В таких случаях потоки принимают бурный и сверхбурный режимы течения воды.

Применение гидростов типа «Фиксированное русло» на таких каналах и лотках ограничивается приведенными в таблице 3.2 условиями.

Таблица 3.2

Условия применимости водомеров типа «Фиксированное русло» на каналах и лотках

Наименование элементов потока	Поперечное сечение канала			
	Прямоугольное и трапецеидальное		Параболическое	
	в [16]	в [13]	в [20]	в [15]
Расход воды, м ³ /с	0,2-500,0	0,2-250	0,1-0,2	-
Скорость, м/с	0,2-3,5	0,2-3,5	0,05-2,0	<2»>2
Глубина, м	0,2-6,0	0,2-6,0	> 0,05	-

Из данных этой таблицы следует, что если по отдельным нормативным документам для бетонированных каналов [13, 16] и лотков параболического сечения [20] применение гидростов типа «Фиксированное русло» ограничивается по скоростям течения, то в новом нормативном документе [15] по лоткам – таких ограничений нет. Из этого можно сделать вывод, что гидросты типа «Фиксированное русло» могут быть применены на лотках с различными режимами

течения воды, соблюдая при этом то, что течение воды в них должен быть равномерным.

Несмотря на то, что сами водотоки бетонированные, к измерительному участку гидростов, размещаемых на них, предъявляются соответствующие требования [13, 15, 16, 20] с тем, чтобы обеспечить равномерное течение воды в измерительном створе. Именно в соответствии с этими требованиями выбираются измерительные участки, определяются измерительные створы, строятся уровнемерные колодцы и гидрометрические мосты, устанавливаются уровнемерные рейки и репера.

Все это на бетонированных каналах и лотках параболического сечения делается вроде-бы достаточно просто и легко. Но это не так, поскольку успокоительному колодцу, с одной стороны, и трубе, соединяющей водоток с колодцем, с другой – не разработаны соответствующие требования, обеспечивающие в целом нормальную работу сооружений. Следует отметить, что в силу изложенного конструкция и параметры успокоительного колодца назначаются произвольно, в основном исходя из наличия строительных материалов на его возведение. Такой подход является односторонним и вообще-то ошибочным. Еще хуже обстоит вопрос с соединительной трубой (или щелью), так как ей не уделялся почти никакого внимания. В действительности же такое соединение выполняется на лотках при помощи труб, на каналах – при помощи щелей (в 1950-1960 гг) и труб диаметром 0,05-0,10м.

Из рекомендованных в [16, 20] конструкций, наибольшее распространение на оросительных системах республики получил береговой колодец с подводной трубкой, представляющий собой емкость круглой, прямоугольной или квадратной в плане формы, высотой (1,0 – 1,2) стр, где стр – строительная высота водотока. Площади уровнемерных колодцев находятся в пределах от 0,2 до 2,0м².

Соединительная труба (или щель) рассматривается как демпфирующее устройство колебаний уровня воды, передающееся из канала, а колодец – как элемент, стабилизирующий (успокаивающий) уровень воды. При этом бытует мнение о том, что чем меньше диаметр соединительной трубы и больше объем воды в колодце, тем быстрее и лучше стабилизируется уровень поступающей в колодец воды. Однако

разработок, доказывающих правоту этого положения, нет. Наоборот, в работе [59] отмечается следующее: «..... измерительные колодцы обладают значительной инерционностью, вызываемой, в основном, малой величиной соединительного отверстия, которое обычно делается минимальным, чтобы задемпфировать идущие из канала волны и вызывающие автоколебания в колодце..... Естественно, что уменьшение сечения соединительного отверстия приводит к тому, что в динамике уровень воды в колодце значительно отличается от действительного уровне воды в канале».

Следует отметить, что такое положение замечено и службами эксплуатации на практике, например, на гидростаях, функционируемых:

- на лотковых сетях (с уклонами более критических) Манасского района, где глубина воды в колодцах меньше, чем таковые в лотках;

- на канале Карагоо (> 40) системы реки Аламелин, где имеет место такая же ситуация;

- на многих других водотоках прямоугольного, трапецеидального и параболического поперечных сечений, в основном с бурным режимом течения воды.

Почему такое происходит? Ответ на этот вопрос такой – в головной части соединительной трубы возникает вакуум, которым и отсасывается вода не из канала, (где мимо него проскакивает поток), а из успокоительного колодца (где отсутствует течение воды). Именно благодаря этому вакууму, происходит уменьшение глубины воды в колодцах по сравнению с глубиной потока в каналах. При этом такое уменьшение ярко проявляется с увеличением скоростей течения воды в водотоках.

Касаясь вопроса о роли успокоительных колодцев при водоучете, в настоящее время следует выделить две задачи:

- на необходимость устранения вакуума во входной части соединительной (трубы);

- на целесообразность измерения расхода при стабилизированном (стоячем) уровне воды в колодцах, а не при пульсирующей водной поверхности.

Надо отметить, что обе эти задачи решаемые.

Первая задача решается применением не соединительной трубки, а щели длиной, соответствующей максимальной глубине потока воды в канале. Ширина щели 5-7см, при этом она должна быть тем шире, чем больше скорость течения воды (щели успешно применялись в 50-60-е годы прошлого столетия, однако впоследствии ошибочно стали применяться соединительные трубки). Вход в щель (особенно нижняя ее кромка) должен быть острым. При применении щели не будет возникать вакуум, вода в успокоительный колодец будет поступать по всей глубине воды в канале. При этом щели должны применяться при скоростях $\geq 1,0\text{м/с}$.

Для решения второй задачи, практически и применялись успокоительные колодцы и соединительные трубки. Однако, им только частично устранялись пульсации уровней воды. При такой ситуации, в нормативном документе [16] предлагалось - при определении глубины воды снимать «не менее пяти отсчетов по рейке, соответствующих максимальному и минимальному значению уровня воды», и определять по ним среднее их значение. Этот путь ближе к реалии, но не дает положительных результатов.

На наш взгляд, решение поставленной задачи будет заключаться в следующем:

- в применении только щели в качестве устройства для соединения измерительного колодца с каналом (особенно при $> 1,0\text{м/с}$);
- в использовании соединительной трубки, когда скорости течения воды в каналах не превышает $1,0\text{м/с}$;
- в применении запорных устройств, размещенных в начале или в конце соединительных труб.

Щель – является основным. Все же при скоростях течения менее $1,0\text{м/с}$, могут применяться соединительные трубки, но они должны быть оснащены запорными устройствами. Конструкции этих устройств могут быть самыми разными.

Некоторые конструктивные разновидности их приведены на рис. 3.3, на которых запорные устройства на схемах б-ж – переносные, а на схеме и – стационарные. Запорное устройство выполнено в виде перевернутого стакана 11 с дном 12, в средней части которого имеется отверстие для прохождения стержня 4. К элементу 12 приварена трубка 13 – направляющая стержня 4. На нижнем конце стержня 4 имеется

клапан 10, закрепленный к стержню при помощи болтовых соединений. На стержне имеется ограничитель 14.

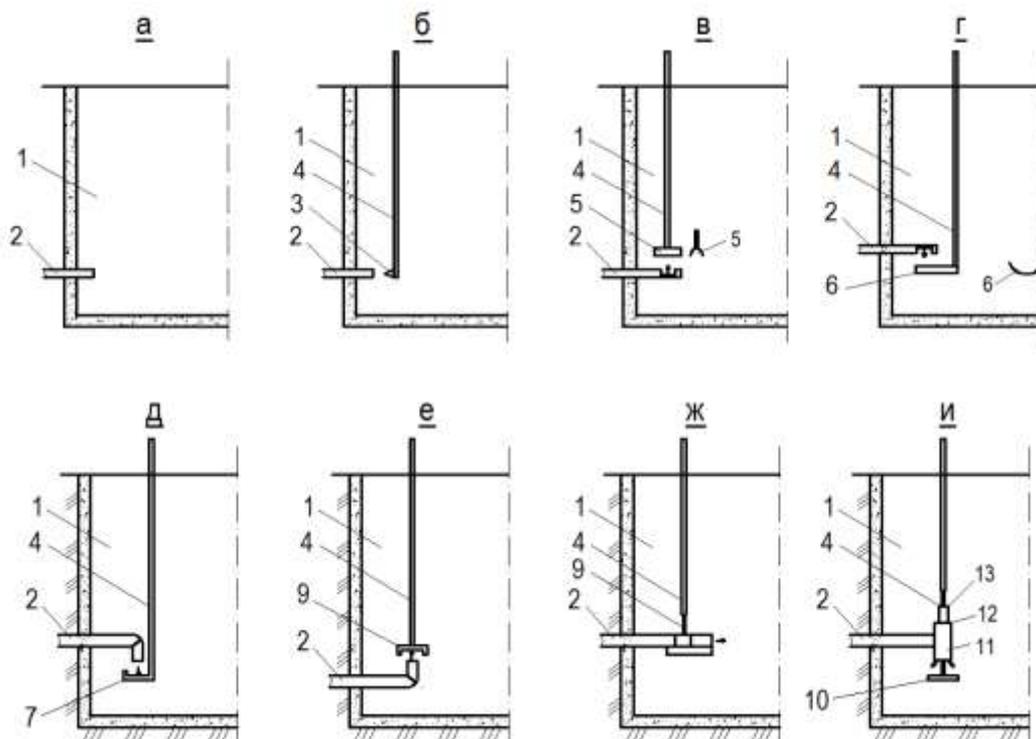


Рис. 3.3. Запорные устройства соединительных труб. 1 – колодец; 2 – труба; 3 – пробка; 4 – стержень (арматура); 5, 6 – полутрубки; 7, 8 – клапаны; 9 – щиток; 10 – клапан; 11 – стакан; 12 – дно стакана; 13 – трубка; 14 – ограничитель.

Запорное устройство на рис. 3.3и работает следующим образом: при работе колодца и канала, как сообщающиеся сосуды, клапан 10 находится в нижнем положении. Перед началом измерения клапаном 10 перекрывается стаканом 11 путем поднятия стержня 4, вследствие этого:

- прекращается сообщение вод между каналом и успокоительным колодцем;
- воды в колодце успокаиваются, пульсация уровня воды прекращается.

Изложенным создаются благоприятные условия для замера уровня воды в успокоительном колодце с большой точностью. После проведения замера запорное устройство (клапан) 11 опускается, в результате восстанавливается сообщение вод, находящиеся в канале и колодце.

Эффективность предложенных решений заключается:

- в снижении погрешности измерения расхода путем выравнивания уровней воды в канале и колодце;
- в упрощении эксплуатации сооружения путем измерения уровня покоящейся в измерительном колодце воды.

Наравне с водомерами типа «Фиксированное русло» на бетонированных каналах трапецеидального и прямоугольного поперечных сечений, иногда применяются гидропосты типа «Водосливы с тонкой стенкой». Эти сооружения строятся на каналах, имеющих спокойный режим течения воды, строятся они стационарно, так как водосливы устанавливаются в диафрагмах из монолитного бетона. Водосливы могут иметь трапецеидальное или прямоугольное поперечное сечение, с постоянной высотой порога. Они работают при свободном режиме истечения, уровневые их рейки могут размещаться в береговом ковше или береговом колодце.

Опыт эксплуатации гидропостов типа «Водосливы с тонкой стенкой» указывает на то, что:

- учет воды на таких сооружениях осуществляется несколько проще, чем на гидропостах типа «Фиксированное русло», так как на них не проводятся градуировочные работы;
- на них замеряются расходы воды с погрешностью, не превышающей $\pm 2\%$.

В то же время к ним присуще ряд недостатков, осложняющих их работу. К ним относятся:

- стационарность водосливов, с установкой в диафрагме из монолитного бетона, так как в этом случае очистка верхнего бьефа от наносов осуществляется не промывкой водой, а ручным способом;
- невозможность регулирования высотой порога водосливов, так как она имеет постоянное значение и при наличии подпора с нижнего бьефа – сам порог начинает затапливаться, что недопустимо для нормальной работы водомеров.

Можно ли устранить эти недостатки гидропостов с водосливами? Ответ должен быть таким: не только можно, но и нужно.

Прежде чем перейти к рассмотрению этого вопроса, остановимся на оценке различных видов форм поперечного сечения водосливов с тонкой стенкой.

Таблица 3.3

Оценка эффективности поперечных сечений водосливов [2, 48]

Наименование показателя	Поперечное сечение водосливов	
	Трапецеидальное	Прямоугольное
1	2	3
1. Область применения: Максимальные расходы, м ³ /с	5-6	до 8
2. Относительная погрешность коэффициента расхода, %	2,5	1,0
3. Минимальная допустимая ширина водослива, м	0,25	0,15
4. Минимальная высота порога водослива, м	0,30	0,10
5. Минимальный допустимый напор, м	0,05	0,03
6. Максимальное число Фруда	0,45	0,50
7. Металлоемкость	Металлоемкий (из-за выполнения боковых стен и порога из листового железа)	Менее металлоемкий [из-за отсутствия боковых стен (водослив без бокового сжатия) или выполнения их узкими (порядка 50-100мм при боковых сжатиях 0,90-0,95)]
8. Отходы металлические	Большие (из-за выполнения боковых стен с наклонными откосами)	Практически нет (из-за выполнения боковых стен с вертикальными откосами)
9. Изготовление и контроль	Сложное (в виду присутствия элементов с наклонными линиями)	Проще (в виду отсутствия элементов с наклонными линиями)
10. Вес	Тяжелее (этим осложняется условие их эксплуатации при съемном или регулируемом по высоте порогом выполнении)	Легче (этим облегчается условие их эксплуатации при съемном или регулируемом по высоте порогом выполнении)
11. Стоимость	Дороже (из-за металлоемкости, наличия металлических отходов, выполнения значительных сварочных работ)	Дешевле (из-за минимизации металлоемкости, сварочных и других видов работ)

Как это следует из ранее приведенных материалов исследований [2, 48], в республике применяются в основном водосливы, имеющие трапецеидальное сечение. Прямоугольные водосливы практически не использовались, хотя они, как это следует из данных таблицы 3.3,

имеют ряд преимуществ по сравнению с трапецидальной формой поперечного сечения.

В гидротехнической практике прямоугольный водослив должен занять ведущее место, чему способствуют следующие его достоинства:

- относительная погрешность коэффициента расхода прямоугольного водослива составляет 1%, тогда как трапецидального – 2,5% [14, 43]; - минимальная (допустимая) высота порога

прямоугольного водослива в 3 раза меньше, чем у трапецидального, а это, в свою очередь, свидетельствует о том, что прямоугольный водослив может найти широкое применение не только на внутрихозяйственной сети, но и на участковых и временных оросителях в виду того, что перед водомером образуется небольшой подпор, которым не вызывается перелив воды через берега водотока;

- в виду минимальной высоты порога и отсутствия боковых металлических стен (водослив без бокового сжатия) или выполнения их узкими (порядка 100-150мм при боковых сжатиях 0,90-0,95), прямоугольный водослив становится менее металлоемким, чем трапецидальный;

- прямоугольный водослив легче (по весу), чем трапецидальный, этим облегчается условие его эксплуатации при съемном выполнении для промыва отложивших в верхнем бьефе наносов;

- прямоугольный водослив легче изготавливается и поверяется, чем трапецидальный, в виду отсутствия элементов с наклонными линиями;

- водомерное сооружение с прямоугольным водосливом дешевле, чем с трапецидальным, из-за минимизации металлоемкости, сварочных и других видов работы;

- прямоугольный водослив может применяться на водотоках прямоугольного и трапецидального поперечных сечений, тогда как трапецидальный – применяется в основном на водотоках трапецидального сечения.

В целях накопления опыта применения прямоугольного водослива и совершенствования его конструкции в 1990-92гг был построен ряд сооружений с приведенными в таблице 3.4 данными.

Для промыва наносов, отложившихся в верхнем бьефе сооружений, предусмотрены:

- на сооружениях на отводах из ЛМК – наносопромывные отверстия в стенке ниже порога водослива;
- на сооружениях на отводах из АМК и СМК – водосливы выполнены с изменяемой высотой порога, при этом для промыва наносов дополнительно предусмотрены съемные щитки, перекрывающие промывные отверстия под водосливами.

Таблица 3.4

Параметры экспериментальных сооружений с прямоугольными водосливами [47, 48]

Наименование канала и оросительной системы	Расход воды, м ³ /с	Параметры канала			Параметры водослива		
		Ширина по дну, м	Откос	Уклон	Ширина, м	Высота, м	Высота порога, м
Новотроицкий, ЛМК	0,71	1,7	0	0,00018	1,5	0,6	0,35
Пионерский, ЛМК	0,67	1,2	0		1,5	0,6	0,35
Кок-Узек, ЛМК	0,59	1,7	1,1		1,3	0,5	0,35
Р-05, АМК	0,50	0,9	1,5	0,0003	1,4	0,5	0,30-0,50
Р-8-0,8, АМК	0,35	1,4	0,61	0,002	1,2	0,45	0,30-0,50
Х-3-2, СМК	0,30	1,0	1,0		1,6	0,4	0,40-0,70

Эксплуатационные показатели построенных сооружений, получившие отражения в [2, 47, 48], характеризуются следующими данными:

- в подводящем канале сооружений отсутствует сбойное течение;
- режимы течения потоков в верхнем бьефе – спокойные, при этом числа Фруда составляют 0,10-0,30;
- при принятых высотах порога (0,30-0,70м), водосливы работают при свободном режиме истечения;
- наносы откладывающиеся в верхнем бьефе, легко промываются потоками воды через специальные промывные отверстия (на сооружениях на отводах из ЛМК) и при открытых нижних щитках водосливов (на сооружениях на отводах из АМК и СМК);
- промыв наносов на сооружениях с регулируемой высотой порога водослива может осуществляться также при снятых водосливах с

щитами, которые, после очистки верхнего бьефа сооружений, снова могут устанавливаться на свои места.

Ниже приводятся материалы оценки различных видов форм поперечного сечения водосливов по пропускным их способностям.

В соответствии с нормативными документами [14, 43], режим работы водосливов – свободный (рис. 3.4а), в зависимости от форм поперечного сечения – водосливы бывают (рис. 3.4б) треугольными, трапециевидальными и прямоугольными.

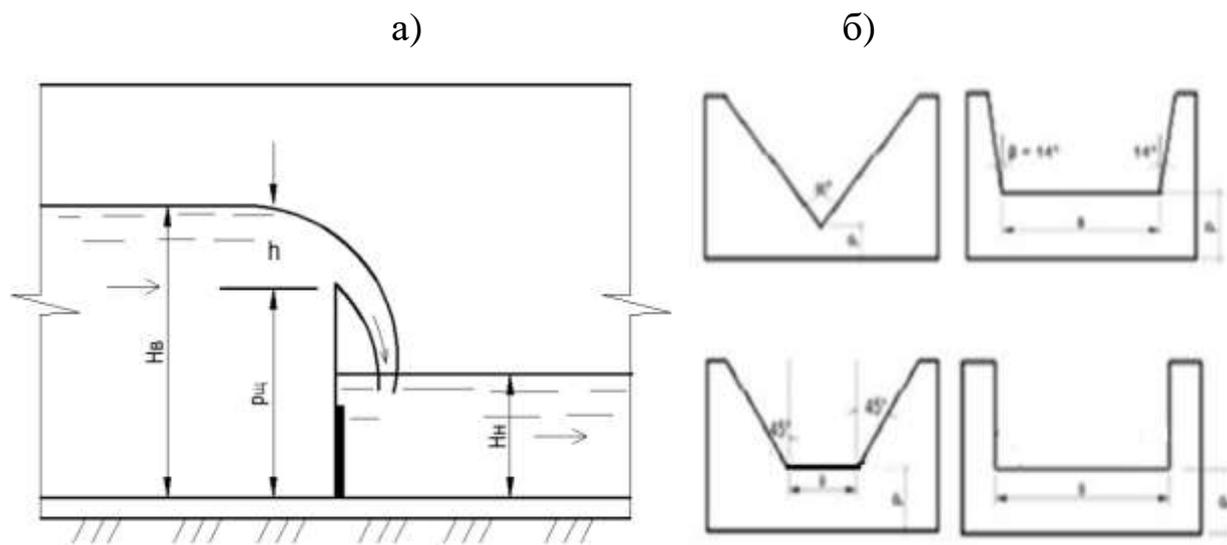


Рис. 3.4. Продольный разрез водомерного сооружения типа «Водосливы с тонкой стенкой» (а) и разновидности самих водосливов (б).

Для всех видов водосливов с тонкой стенкой имеются расчетные формулы для определения пропускных их способностей, которые принимаются за основу при проектировании, строительстве и эксплуатации водомерных сооружений с водосливами. Однако, следует констатировать тот факт, что при выборе вида водосливов не уделяется должное внимание на пропускные их способности, что может относиться к недостаткам при подходе к оснащению водомерных сооружений водосливами. Изложенное объясняется, возможно, отсутствием разработок по оценке пропускных способностей различных видов водосливов.

Для восполнения указанного пробела ниже приводятся результаты такого анализа. При проведении такой работы были приняты следующие примерно одинаковые для всех водосливов исходные условия: ширина водосливов по дну $b=1,0$ м и высота порога водосливов (рис. 3.4а) $P=0,30$ м.

Задача выполняемой работы – при одинаковых «живых площадях» потоков на различных видах водосливов определить значения напоров воды над водосливами и пропускные их способности при этих напорах. Для решения этой задачи на основании расчетных данных были построены графики зависимостей $\omega=f(h)$ и $Q=f(h)$ (где ω – площадь «живого сечения» потока на водосливах; Q – расход воды; h - напор воды над водосливами), по данным которых решалась поставленная задача.

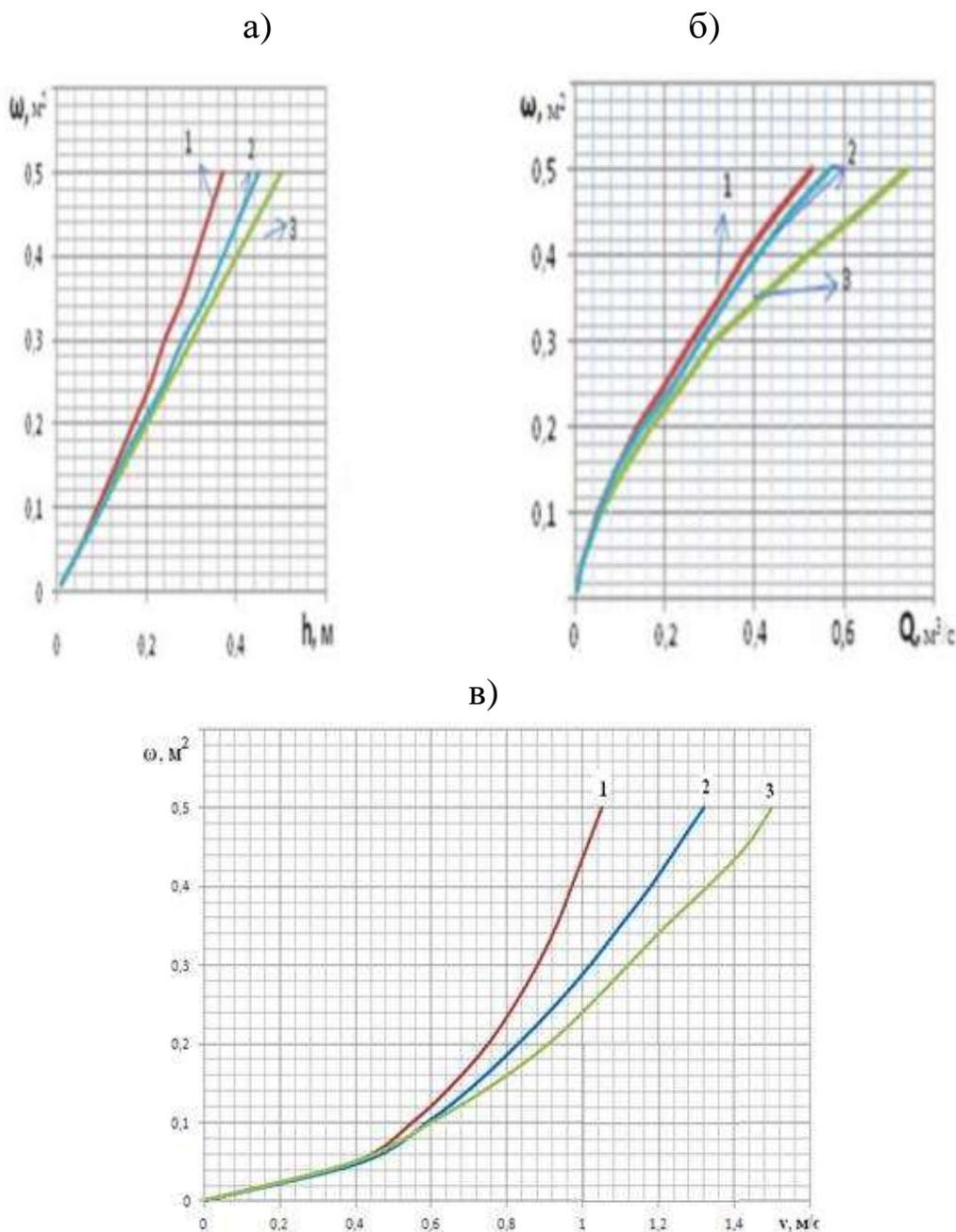


Рис. 3.5. Графики зависимостей $\omega=f(h)$ (а), $\omega=f(Q)$ (б) и $\omega=f(v)$ (в) для водосливов различного вида. 1 – по водосливу Иванова ($\alpha=45^\circ$); 2 – тоже Чиполетти ($\alpha=14^\circ$); 3 – тоже Базена ($\alpha=90^\circ$).

Результаты расчета пропускных способностей водосливов различного вида

Площадь "живого сечения" потока над водосливами ω , м ²	Наименование водосливов с тонкой стенкой								
	Иванова			Чиполетти			Базена		
	Напор h, м	Расход Q, м ³ /с	Скорость v, м/с	Напор h, м	Расход Q, м ³ /с	Скорость v, м/с	Напор h, м	Расход Q, м ³ /с	Скорость v, м/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	0,05	0,020	0,4	0,05	0,021	0,42	0,05	0,020	0,40
0,10	0,09	0,055	0,55	0,10	0,059	0,59	0,10	0,068	0,60
0,15	0,13	0,097	0,65	0,14	0,108	0,72	0,15	0,115	0,77
0,20	0,17	0,150	0,75	0,19	0,166	0,83	0,20	0,182	0,91
0,25	0,21	0,205	0,82	0,24	0,233	0,93	0,25	0,255	1,02
0,30	0,24	0,261	0,87	0,28	0,306	1,02	0,30	0,336	1,12
0,35	0,28	0,325	0,93	0,33	0,385	1,10	0,35	0,427	1,22
0,40	0,31	0,388	0,97	0,37	0,472	1,18	0,40	0,532	1,33
0,45	0,34	0,454	1,01	0,41	0,562	1,25	0,45	0,643	1,43
0,50	0,37	0,525	1,05	0,45	0,660	1,32	0,50	0,750	1,50

Пропускные способности водосливов рассчитывались по формулам, приведенным в подразделе 2.2.2 работы.

Итоговые результаты гидравлического расчета пропускных способностей водосливов различного вида приведены в таблице 3.5, графически в виде графиков $\omega=f(h)$ (рис. 3.5а) и $\omega=f(Q)$ (рис. 3.5б) $\omega=f(v)$ (рис. 3.5в) на рис. 3.5.

Данные таблицы и графиков свидетельствуют о нижеследующем:

- при значениях напора $h \leq 0,15$ м (при них площадь «живого сечения» потоков составляет $\leq 0,15$ м²) расходы воды на водосливах различного вида совпадают или мало отличаются друг от друга и составляют порядка $0,100$ м³/с;

- с дальнейшим увеличением напоров (более $0,15$ м) и уменьшением углов, пропускные способности водосливов начинают различаться, при этом такое отличие пропускных способностей начинает сильно выявляться при последующих увеличениях уровней воды перед сооружениями;

- при напорах $h \geq 0,15$ м пропускная способность водослива Чиполетти больше, чем у водослива Иванова, а пропускная способность водослива Базена больше, чем у водослива Чиполетти (такие результаты получены несмотря на то, что «живая площадь» потоков над всеми видами водосливов, как это вытекает из таблицы 3.5, принималась одинаковой);

- в прямой зависимости от напоров зависят и скорости протекания воды через водосливы – чем больше напоры, тем больше и скорости течения воды, что положительно влияет на увеличение пропускной способности, например, водослива Базена.

Изложенные результаты гидравлического расчета по оценке пропускных способностей различных видов водосливов должны быть приняты во внимание при проектировании, строительстве и эксплуатации водомеров с тонкими водосливами.

В целях упрощения эксплуатации гидропостов с водосливами, последние должны выполняться съемными, чем облегчиться промыв наносов с верхнего бьефа сооружений. При этом данный вопрос должен решаться совместно с высотой порога водослива, то есть с регулируемой высотой его порога.

Опыт эксплуатации действующих водомерных сооружений с водосливами указывает на то, что:

- назначать сразу оптимальную высоту порога водослива весьма трудно, так как отсутствуют для решения этого вопроса более надежные какие-нибудь технические решения:

- чем выше высота порогов, тем точнее осуществляется учет водных ресурсов, так как благодаря ей создаются благоприятные условия по гашению кинетической энергии потока в верхнем бьефе и обеспечению свободного истечения через водосливы;

- при наличии подтопленных истечении через водосливы приходится предпринимать меры по наращиванию высоты порогов, что вообще-то трудно выполнимо в условиях эксплуатации и особенно в вегетационный период.

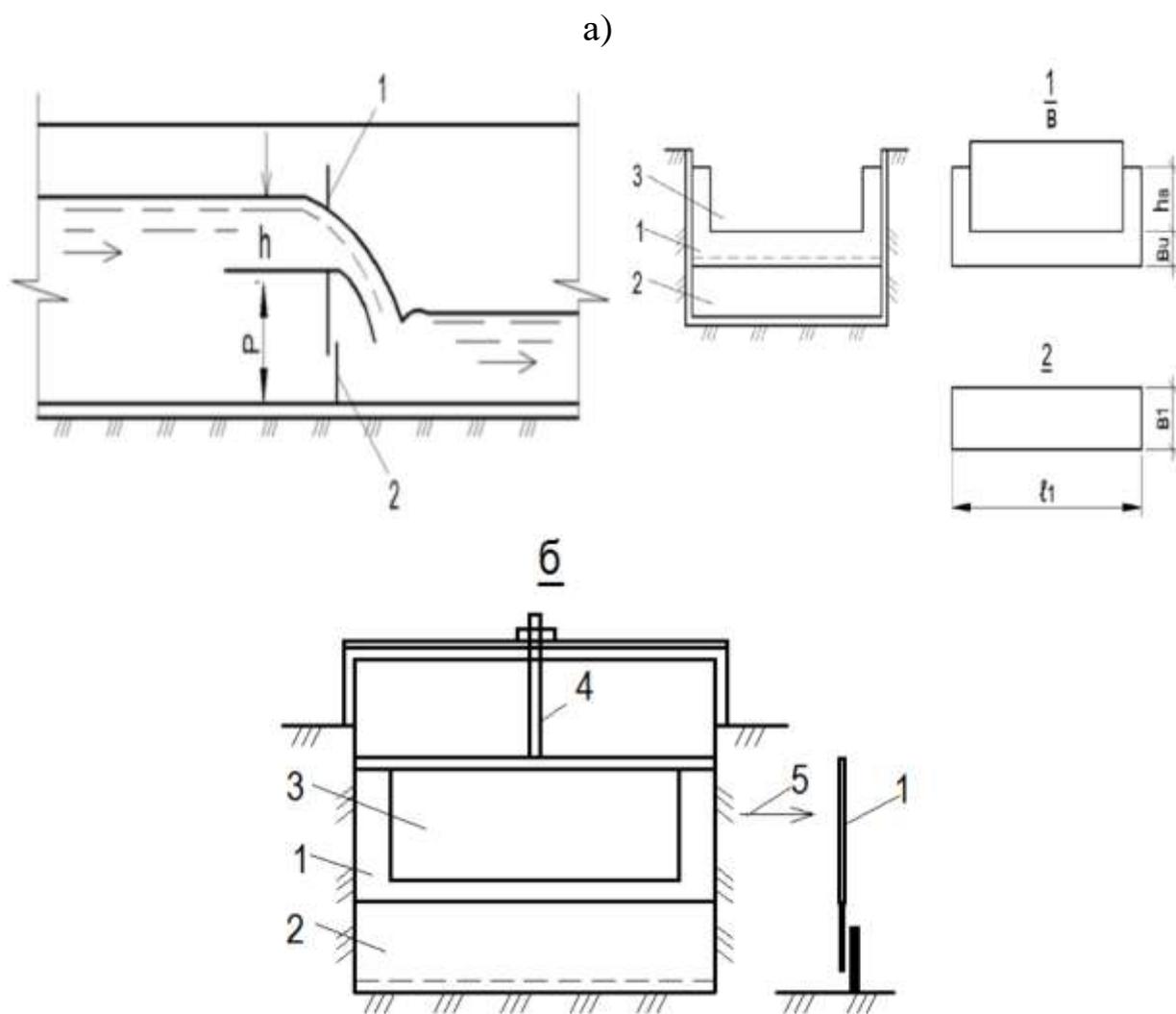


Рис. 3.6. Схемы водослива (а) и затвора-водослива (б) с регулируемой высотой их порога. 1 – водослив; 2 – щиток; 3 – водопропускное отверстие; 4 – подъемное устройство; 5 – направление течения воды.

Недостатки гидростов с водосливами могут быть устранены при использовании приведенной на рис. 3.6 конструкции, в соответствии с которыми водосливы по высоте выполняются составными (рис. 3.6а), то есть они состоят из двух частей: верхней – самого водослива 1 и нижней – щитка 2. Здесь водослив выполняется подвижным и перемещается по пазам, предусмотренным в стенках или боковых устоях сооружения. Щиток 2 выполняется стационарным или подвижным, при этом его ширина принимается равной $1 = (0,8 - 0,9)$, где – принятая высота порога водослива.

Утечки воды между элементами 1 и 2 устраняются применением уплотнителей из гидромелиоративной или прорезиненной ткани.

На схеме рис. 3.6б приведена схема затвора-водослива с регулируемой высотой порога водослива.

Предлагаемые водосливы с регулируемой высотой порога позволяют:

- при ухудшении командования – водоподача будет осуществляться путем опускания щитка 1 с водосливом;
- при подтоплении с нижнего бьефа – путем поднятия того же щитка 1 с водосливом.

Следует отметить, что работоспособность водомерных сооружений с регулируемой высотой порога была проверена на восьми экспериментальных гидростовах (некоторые из-них приведены в таблице 3.4) и как показывает опыт их эксплуатации, результаты положительные [2, 47, 48].

3.3.3. Применительно к каналам с земляным руслом

Эти водотоки имеют малые размеры и характеризуются низкой пропускной способностью. Течение воды в них спокойное. По сравнению с водотоками, построенными в земляном русле в равнинной зоне и вдоль горизонталей в предгорной зоне, каналы с земляным руслом, проложенные поперек горизонталей в предгорной зоне, имеют устойчивое русло, что благоприятно отразится на размещении на них водомерных сооружений прежде всего типа «Фиксированное русло». В качестве примеров можно указать гидростовы, приведенные на рис. 2.5

и 2.6, обеспечивающие учет водных ресурсов с допустимой погрешностью.

При удачно выбранных измерительных участках на водотоках с земляным руслом, проложенных поперек горизонталей в предгорной зоне, для учета воды могут быть применены и гидропосты типа «Водосливы с тонкой стенкой». В качестве примера можно привести гидропост (рис. 2.16б), функционирующий на отводе Р-8 из ЗБЧК.

Несмотря на то, что на рассматриваемом гидропосту водослив с тонкой стенкой установлен стационарно, он работает в свободном режиме истечения, обеспечивая тем самым учет водных ресурсов с допустимой погрешностью.

Что же касается водоучета на каналах, построенных в земляном русле в равнинной зоне и вдоль горизонталей в предгорной зоне, то он осложнен тем, что гидропосты типов «Фиксированное русло» и «Водосливы с тонкой стенкой», как это следует из раздела 2, интенсивно заиливаются наносами (илом, песком) и зарастают растительностью (камышом, другими травами). В результате этого вновь построенные сооружения быстро выходят из строя.

Несмотря на сложные условия для учета воды на водотоках, построенных в земляном русле в равнинной зоне и вдоль горизонталей в предгорной зоне, и в таких условиях должен вестись учет воды, при этом если для этого не подойдут известные сооружения, то должны разрабатываться другие – усовершенствованные или новые средства для учета воды.

К таким водомерам относится ниже описанное сооружение, при разработке которого ставилась задача – разработка устройства, обеспечивающего работу сооружения как при свободном, так и при подтопленном режимах истечения водопропускного отверстия, а также создание условий для измерения расхода воды путем градуировки сооружения.

В разработанном устройстве (рис. 3.7) [32], которое состоит из фиксированного прямолинейного в плане участка канала, продольный профиль (дно) которого также выполнен прямолинейным, вертикального (перемещаемого по пазам в стенках сооружения) щита, полностью перекрывающего канал, горизонтальной полки, прикрепленной к щиту со стороны нижнего бьефа на расстоянии 20-

30мм от нижней кромки щита, двух-трех косынок, предусмотренных для обеспечения жесткости (устранения вибрации) полки, с ее параметрами – длина полки на 15-20мм меньше, чем ширина канала в нижнем бьефе (этим обеспечивается свободное перемещение полки между боковыми стенками сооружения), а ширина полки принимается из расчета $= (3 - 4) \cdot b$ (– максимальное открытие щита при пропуске максимального расхода воды), но назначается в пределах $= (300 - 500)$ мм, урвнемерных рек, прикрепленных к стенкам канала в верхнем и нижнем бьефах сооружения, и винтового подъемника с ручным приводом.

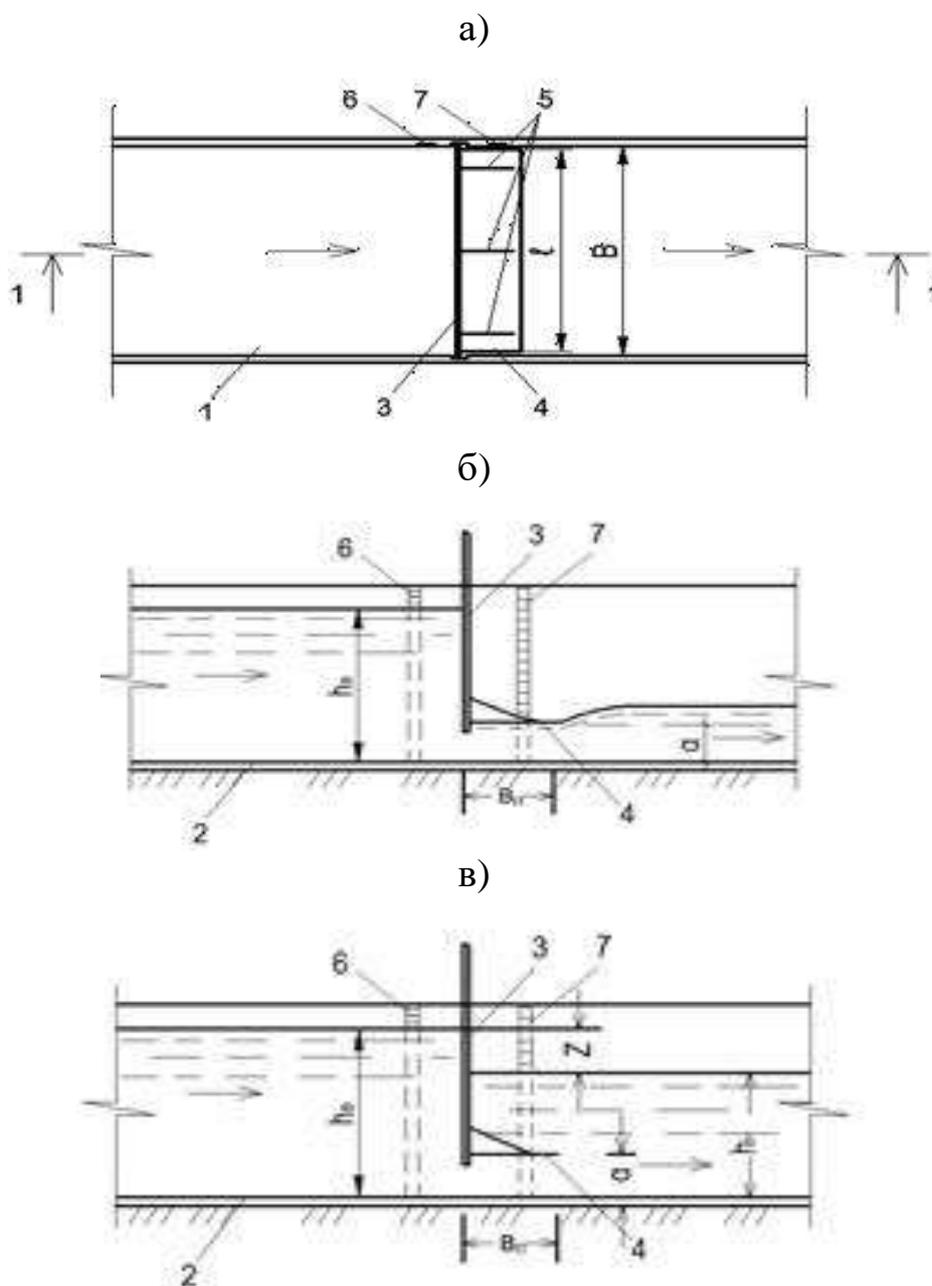


Рис. 3.7. Водомерное сооружение типа «Прямоугольный насадок».

Данный водомер градуируется по методу «скорость-площадь», при которой расход воды определяется по формуле

$$Q = \mu \cdot F \cdot v \quad (3.1)$$

где F - площадь водопропускного отверстия в конце напорного водовода;

l и h - длина и высота водопропускного отверстия; v - скорость потока при выходе из водопропускного отверстия.

При градуировке сооружения измеряются действующие напоры: h - при свободном (рис. 3.7 разрез 1-1 (б)) и Z - при подпорном (рис. 3.7 разрез 1-1 (в)) режимах истечения. Затем строятся графики зависимостей $Q = f(h)$ и $Q = f(Z)$, по которым определяются расходы воды при замеренных напорах h и Z .

Теоретические формулы по определению скоростей течения потока из-под полки:

- при свободном режиме истечения (рис. 3.7 разрез 1-1 (б))

$$v = \sqrt{2gh} \quad (3.2)$$

- при подпорном режиме истечения (рис. 3.7 разрез 1-1 (в))

$$v = \sqrt{2gZ} \quad (3.3)$$

На рис. 3.7а приведено водомерное сооружение в плане, на рис. 3.7б - в разрезе 1-1 (б) показано при свободном режиме истечения водопропускного отверстия и на рис. 3.7в - в разрезе 1-1 (в) - при подпорном режиме истечения водопропускного отверстия.

Водомерное сооружение содержит прямолинейный в плане измерительный участок 1, с прямолинейным продольным профилем его дна 2, щит 3, полки 4, косынки 5 и уровнемерные рейки 6 и 7.

Водомерное сооружение работает следующим образом.

В случае отсутствия подпора с нижнего бьефа, то есть при свободном режиме истечения [разрез 1-1 (б)], щит опускается до того, пока водопропускное отверстие под полкой начнет работать полным сечением. После этого фиксируется уровень воды в верхнем бьефе водомерной рейкой 6 и измеряется действующий напор h , по которому впоследствии определяется расход воды по отградуированному графику $Q = f(h)$. При наличии подпорного режима истечения [разрез 1-1 (в)],

возникающего под влиянием водоподпорного сооружения, расположенного в нижнем бьефе, или из-за заиления и зарастания отводящего в земляном русле канала, проводится фиксация уровней воды в бьефах по рейкам 6 и 7, по показаниям которых определяется действующий напор Z и по нему – расход воды, используя в этом случае, отградуированный график $Q = f(Z)$.

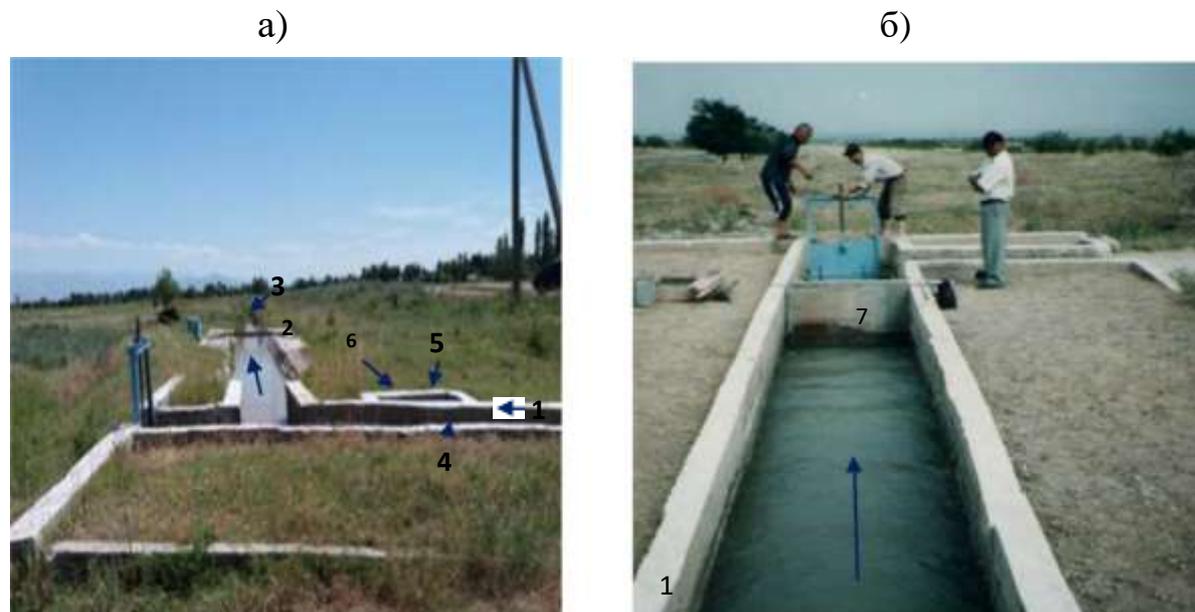


Рис. 3.8. Водомерные сооружения типов «Фиксированное русло» (а) и «Прямоугольный насадок» (б) на Р-12-12 системы ВБЧК.
1 – прямоугольный участок канала; 2 – гидропост типа «Фиксированное русло»; 3 – отводящий канал в земляном русле; 4 – измерительный створ; 5, 6 – уровнемерные колодцы; 7 – водомер типа «Прямоугольный насадок».

Проверка работоспособности разработанного водомера проводилась на сооружении, построенном на Р-12-12 системы ВБЧК. Существующий гидропост типа «Фиксированное русло» (рис. 3.8), как это вытекает из [24, 48], работал в сложных режимах истечения – в равномерном, с переходом в подпорный, причем переменного характера.

Сооружение трудно эксплуатировалось (приходилось проводить частые вертушечные замеры) и имело низкую пропускную способность. Учет водных ресурсов осуществлялся в основном «на глаз», поскольку скорости потока со временем резко уменьшались (с 0,5-1,0 м/с при

равномерном режиме до 0,1-0,2м/с при подпорно-переменном, при которых затруднялось измерение скоростей потока гидровертушкой). Все это приводило к тому, что при проведении замеров расходы воды определялись либо с поправками в пределах 10-25см, либо, как это отмечено выше, «на глаз».

Причинами такой работы гидропоста были заиливание и зарастание отводящего в земляном русле канала (его трасса проходит почти параллельно горизонталям) и наличие в нижнем бьефе водораспределителя, создающего подпор при распределении воды между двумя отводами.

В целях улучшения учета водных ресурсов при подаче ее в Р-12-12, на начальном участке (в измерительном створе 4) был построен водомер типа «Прямоугольный насадок» (рис. 3.8). При этом сам водоток имеет прямоугольное сечение, что положительно использовано для создания сооружения без боковых сжатий струй. Отсутствует и донное сжатие, так как низ водопропускного отверстия совмещен с дном водотока. Также отсутствует вертикальное сжатие струй, поскольку вход в водовод выполнен по радиусу закругления, с горизонтальной полкой. Иначе говоря, на этом экспериментальном сооружении отсутствовало сжатие струй по всему периметру водопропускного отверстия, что должно привести к увеличению пропускной способности гидропоста и коэффициента расхода в расчетной его формуле.

На построенном сооружении немаловажную роль играла и горизонтальная полка – ею создавалось на выходе из водопропускного отверстия параллельноструйное течение, при котором проводилась градуировка гидропоста.

На построенном сооружении, отнесенном к категории экспериментального, верхняя часть диафрагмы изготовлена в виде плиты из железобетона, нижняя – из листового железа, при этом нижняя часть насадка:

- закреплена к верхней при помощи болтов;
- выполнена так, что ею регулировалась высота водопропускного отверстия напорного водовода.

Такое конструктивное выполнение диафрагмы позволило изучить пропускную способность сооружения при различных высотах

водопрopusкного отверстия, а именно при $h = 0,20$ и $0,10$ м. Следует также отметить, что работа сооружения при $h = 0,20$ м проверялась без успокоительных колодцев (они еще не были построены), а при $h = 0,10$ м – без них и при них. При отсутствии успокоительных колодцев – уровень воды перед и за диафрагмой измерялись в канале, а когда они были построены – уровни воды измерялись в самих колодцах.

Методика исследований заключалась в следующем:

- расход воды, пропускаемый из-под полки, определялся градуировкой самого сооружения методом «скорость-площадь»;
- при градуировке сооружения применялась микровертушка типа ГМЦМ;
- скорости воды измерялись в створе выхода из напорного водовода;
- расход воды определялся по формуле (3.1)
- коэффициент расхода определялся по формуле

$$\mu = \frac{Q}{\sqrt{Z}} \quad (3.4)$$

где Z – напор (разность уровней воды в верхнем и нижнем бьефах);

- по полученным данным строились графики зависимостей

Данные исследований при $h = 0,20$ м приведены на рис. 3.9 в виде графиков зависимостей $\mu = f(Z)$ (рис. 3.9а) и $Q = f(Z)$ (рис. 3.9б), которые свидетельствуют о том, что:

- сооружение имеет повышенную пропускную способность, так как при напоре порядка $Z=1$ см расход составляет уже 100 л/с и при $Z=9$ см $Q=300$ л/с;
- коэффициент расхода составляет порядка 0,98.

Следует отметить, что изложенные результаты являются предварительными, так как были получены не измерением уровней воды в колодцах (они еще не были построены), а замером их непосредственно в канале перед и за диафрагмой (в этом случае волнение водной поверхности не могло не отразиться на результатах измерения). Но тем не менее, эти результаты, как следует из данных рис. 3.9, положительные. Однако, наравне с ними, появились трудности, связанные с:

- измерением минимальных (порядка 30-50л/с) расходов воды, так как при этих расходах было затруднено определение напоров ≤ 1 см (бывают случаи, когда водопользователям подаются такие расходы);

- определением напора Z при малых его значениях, когда имеется волнение водной поверхности в канале перед и за диафрагмой.

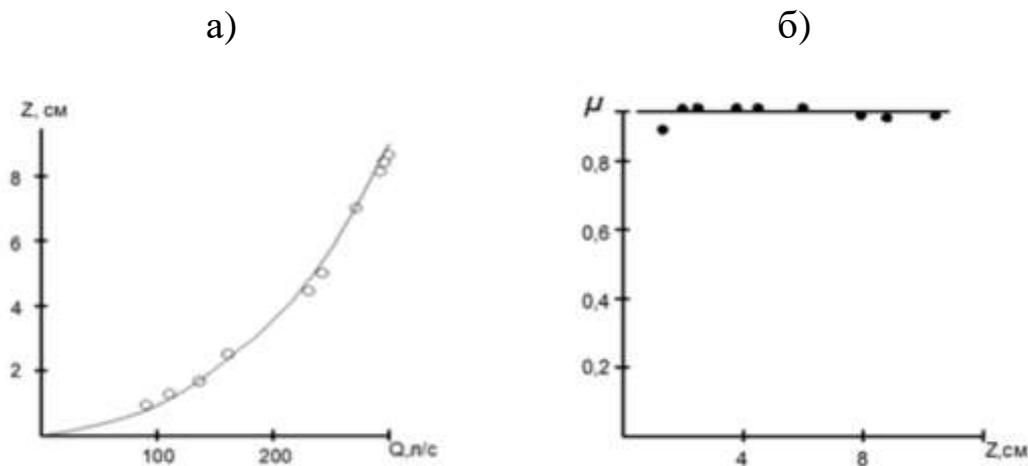


Рис. 3.9. Графики зависимостей $\mu = f(Q)$ (а) и $\mu = f(Z)$ (б) водомера типа «Прямоугольный насадок» на Р-12-12 системы ВБЧК при высоте водопропускного отверстия $a=0,20$ м.

Проведенное исследование показало, что для тех расходов, подаваемых в Р-12-12 системы ВБЧК, принятая площадь водопропускного отверстия ($S = 1,17 * 0,20 = 0,234\text{м}^2$) оказалась большой и в целях улучшения эксплуатационных показателей сооружения пришлось уменьшить площадь водопропускного его отверстия, уменьшив высоту с 0,20 до 0,10м.

Водомерное сооружение с величиной $a = 0,10$ м было отградуировано вначале без успокоительных колодцев (измерение уровней воды осуществилось в самом канале), затем, после их строительства, при их наличии. Следует сразу отметить, что включение этих колодцев в состав сооружения существенно упростило измерение уровней воды в бьефах и определению величины напора Z .

Результаты градуировки сооружения с $a = 0,10$ м приведены на рис. 3.10 в виде графиков $\mu = f(Q)$ (а) и $\mu = f(Z)$ (б).

Данные этих рисунков свидетельствуют, что:

- имеется строгая связь между μ и Z ;

- на этом сооружении можно измерить расходы порядка 30-50 л/с;

- коэффициент расхода остается постоянным с изменением напора

Z , при этом $\mu_{\text{ср}} = 0,98$.

а)

б)

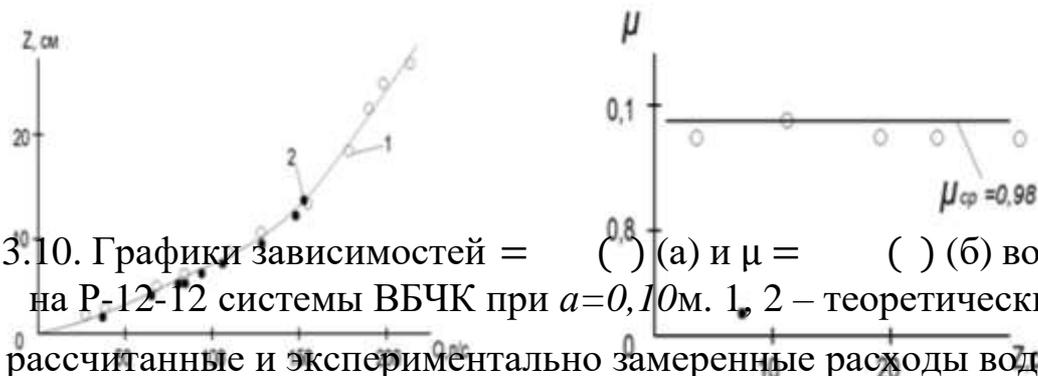


Рис. 3.10. Графики зависимостей $\mu = \mu(Z)$ (а) и $\mu = \mu(Z)$ (б) водомера на Р-12-12 системы ВБЧК при $a=0,10$ м. 1, 2 – теоретически рассчитанные и экспериментально замеренные расходы воды.

16.10.03г на этом сооружении побывали участники семинара-учебы (рис. 3.11), которые, после детального ознакомления с работой «Прямоугольного насадка», пришли к заключению, что:

а)

б)



Рис. 3.11. Участники (представители 10 отделений УМРК ЧД и Иссык-Атинского РУВХ) семинара-учебы на водомерном сооружении с прямоугольным насадком (1) на Р-12-12 (Фото Женалиева З.М.).

- данный водомер может использоваться в качестве средства для измерения расходов воды;

- есть целесообразность реконструкции ряда сооружений на водомер типа «Прямоугольный насадок».

(Эти заключения отражены в протоколе семинара-учебы).

Построенное сооружение было аттестовано и принято в качестве рабочего средства для измерения расходов воды. К сожалению, оно проработало лишь несколько лет и было вырвано трактором водопользователями, не заинтересованными в точном учете получаемой им воде. В результате учет воды ведется на гидропосту типа «Фиксированное русло».

Водомерное сооружение, приведенное на рис. 3.7, может оказаться металлоемким, так как все его составные части - рама, подъемные устройства, затвор, щит и другие - изготавливаются из металла и, следовательно, дорогим.

Задачей следующего совершенствования водомера было снижение металлоемкости и стоимости устройства в сравнении с известным.

Поставленная задача решалась тем, что водомерное сооружение [35], содержащее канал с прямолинейным продольным профилем дна, диафрагмы, водомерные колодцы и рейки, горизонтальную перекрывающую полку, дополнительно оснащено размещенным в нижней части диафрагмы прямоугольным водопропускным отверстием, расположенными по бокам водотока в нижнем бьефе двумя вертикальными стенками с выполненными пазами в верхней их части, примыкающей к диафрагме, при этом горизонтальная перекрывающая полка выполнена Г-образной формы с возможностью перемещения в пазах по высоте между вертикальными стенками и диафрагмой.

Диафрагма и низкие боковые стенки возводятся из подручного материала – бетона, а уложенная Г-образная горизонтальная перекрывающая полка – может изготавливаться как из металла, так и из досок. Горизонтальная перекрывающая полка выполняется регулируемой по высоте, чем обеспечивается пропуск различных (от максимального и до минимального) расходов воды через напорное водопропускное отверстие водомера. При каждом положении полки пропускная способность сооружения будет отградуирована по методу «скорость-площадь», а расход воды определяется по формуле (3.1).

При градуировке водомера измеряются действующие напоры: h - при свободном режиме истечения и Z - при подпорном режиме истечения. Затем строятся графики зависимостей $Q = Q(h)$ и $Q = Q(Z)$, по которым определяются расходы воды при измеренных напорах

h и Z .

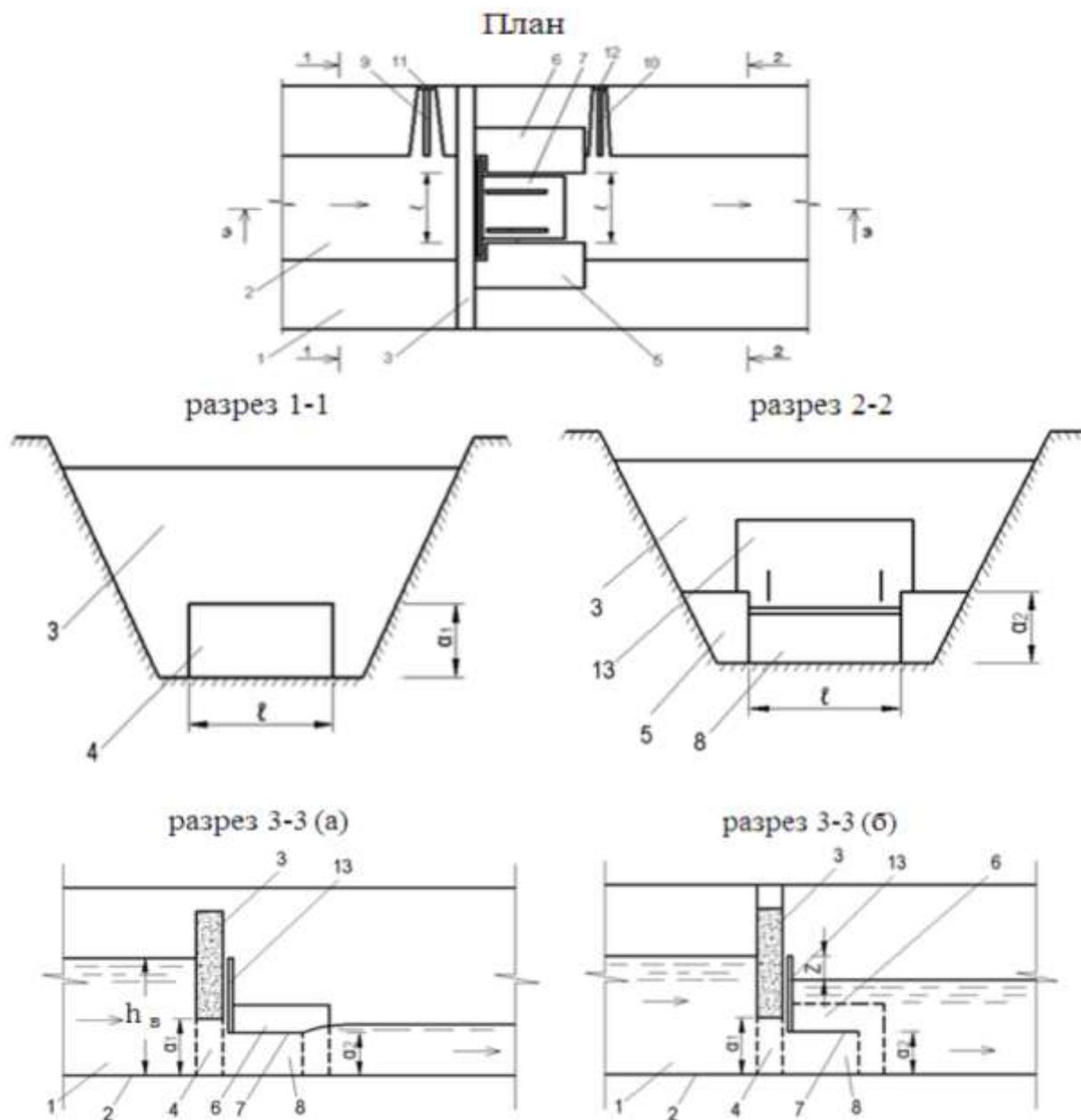


Рис. 3.12. Водомерное сооружение типа «Прямоугольный насадок».

На рис. 3.12 приведено водомерное сооружение в плане, в разрезе 1-1 показан водомер с верхнего бьефа без воды, на в разрезе 2-2 показан водомер с нижнего бьефа без воды, на в разрезе 3-3 (а) показано при

свободном режиме истечения водопропускного отверстия и в разрезе 3-3 (б) – при подпорном режиме истечения.

Водомерное сооружение содержит прямолинейный в плане измерительный участок 1 с прямолинейным продольным профилем его дна 2, диафрагму 3 с прямоугольным водопропускным отверстием 4 в нижней ее части, двух низких стенок 5 и 6, размещенных по бокам водотока в нижнем бьефе, уложенной Г-образной полки 7, перемещаемой по высоте между стенками 5 и 6, при этом полкой 7 создается напорное и параллельноструйное течение воды в водотоке 8, успокоительные колодцы 9 и 10, а также уровнемерные рейки 11 и 12. При работе водомера – прекращение подачи воды в водопроводящий тракт 8 достигается перекрытием отверстия 4 вертикальной частью 13 полки 7.

Водомерное сооружение работает следующим образом.

При свободном режиме истечения [рис. 3.12. разрез 3-3 (а)] полка опускается до того, пока водопропускное отверстие под полкой начнет работать полным сечением. После этого фиксируется уровень воды в верхнем бьефе водомерной рейкой 11 и измеряется действующий напор h , по которому впоследствии определяется расход воды по отградуированному графику $Q = f(h)$. При наличии подпорного режима истечения [рис. 3.12. разрез 3-3 (б)], возникающего из-за заиления и зарастания отводящего в земляном русле канала, проводится фиксация уровней воды в бьефах по рейкам 11 и 12, по показаниям которых определяется действующий напор Z и по нему – расход воды, используя в этом случае отградуированный график $Q = f(Z)$.

На описанном водомере площадь водопропускного отверстия напорного водовода регулируется вертикальным сжатием потока путем поднятия или опускания Г-образной полки, которая обеспечит нормальную работу сооружения, создав напорный режим и параллельноструйное течение воды в водоводе.

Наравне с описанным водомером, могут быть применены и другие. В частности, на рис. 3.13 (вид с нижнего бьефа) приведены две компоновки водомера типа «Прямоугольный насадок», в соответствии с которыми водомеры изготавливаются только из одного строительного материала – бетона. При этом водопропускной водовод в первом случае

(рис. 3.13а) сужается вертикальным сжатием, а во втором (рис. 3.13б) – боковым сжатием.

Водомеры на рис. 3.13, также как на ранее приведенных, состоят из диафрагмы 1, напорного водовода 2 и регулирующих высоту напорного водовода элементов. На рис. 3.13а – боковые низкие стенки напорного водовода возводятся из железобетонных плит, толщиной 5см, а верх самого напорного водовода – выполняется в виде блока Г-образной формы. Ширина этого блока соответствует ширине горизонтальной полки, а высота – $H_2=(1,0-1,2)a_1$, где a_1 – высота водопропускного отверстия в начале напорного водовода.

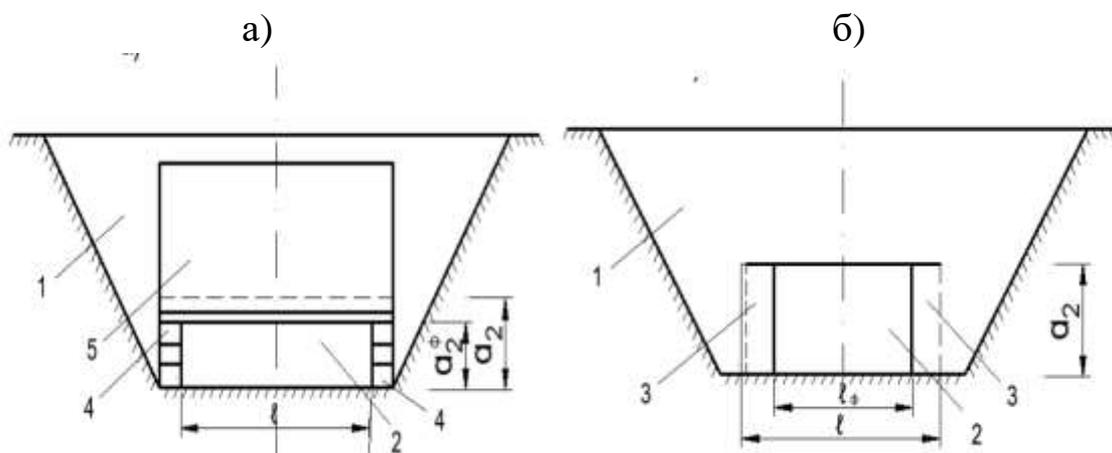


Рис. 3.13. Схемы вертикального (а) и горизонтального (б) сужения напорного водопропускного отверстия водомера (вид с нижнего бьефа).

1 – диафрагма; 2 – водопропускной водовод; 3 и 4 – блоки;
5 – Г-образный блок.

Регулирование высоты напорного водовода на этой компоновке осуществляется разборкой или сборкой плит, уложенных на низких боковых стенках напорного водовода. Так, при необходимости уменьшения высоты напорного водовода – убираются верхние плиты и на их оставшиеся – кладется верх водовода, то есть блок Г-образной формы.

При необходимости увеличения высоты напорного водовода – выполняется обратное действие.

На приведенной компоновке регулирование площадью водопропускного отверстия осуществляется вертикальным сжатием потока. Кроме вертикального сжатия, может применяться и горизонтальное сжатие – как это показано на рис. 3.13б. На этой компоновке площадь сечения напорного водовода регулируется путем

размещения по бокам напорного водовода двух блоков, размерами – длиной, соответствующей длине напорного водовода, высотой, соответствующей a_1 – 0,01м и шириной 0,15-0,2м (допускается установление и одного блока).

Приведенные на рис. 3.13а и б водомеры, также как и на рис. 3.7. и 3.12, подлежат индивидуальной градуировке.

Приведенные на рисунках 3.7, 3.12 и 3.13 водомеры предназначены для применения их в условиях работы сооружений в свободном, подпорном и подпорно-переменном режимах истечения воды.

В процессе проведения работ службой эксплуатации под нашим участием были построены 9 экспериментальных сооружений типа «Прямоугольный насадок», с приведенными в таблице 3.6 техническими характеристиками.

В процессе ввода их в эксплуатацию проводились исследования, в задачи которых входили:

- обследование состояния построенных сооружений, с уточнением параметров основных их элементов;
- изучение режимов работы водомеров;
- проведение работ по градуировке сооружений;
- обработка материалов градуировки, с последующим сопоставлением их с результатами теоретических разработок;
- разработка рекомендаций по компоновке, конструированию и гидравлическому расчету пропускной способности разработанных сооружений.

Методика исследований заключалась в следующем:

- обследование состояния сооружений проводилось путем осмотра и фиксацией его путем фотографирования;
- режимы истечения воды проверялись путем установления факта затопления водой водопропускного отверстия напорного водовода;
- градуировка водомеров типа «Прямоугольный насадок» проводилась в соответствии с рекомендациями нормативных документов [13, 16], а именно: применялся метод «площадь-скорость», при этом скорости измерялись по длине водопропускного отверстия напорного водовода в 3-х точках, а замеры в точках – повторялись двукратно.

Таблица 3.6

Технические характеристики водомеров

Оросительная система	Распределитель	Параметры канала			Ранее построенные водомеры типа					Ныне действующие водомеры типа					
		м		м ³ /с	Водосливы			Фиксированное русло	КНСБ	«Прямоугольный насадок»		«Водослив-насадок»			
					..	, м	..			, м	, м	..	, м	, м	, м
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ВБЧК	Р-21	1,0	1,0	0,220-1,070	0,70	0,45	1,0	-	-	0,80	0,40	-	-	-	-
ВБЧК	Р-23	1,5	1,0	0,140-0,410	1,5	0,76	0,79	-	-	0,70	0,40	-	-	-	-
ВБЧК	Р-25	1,5	1,0	0,140-0,410	1,5	0,70	0,70	-	-	0,70	0,40	-	-	-	-
ВБЧК	Р-4-2	1,0	0	0,100-0,400	1,0	0,23	0,70	-	-	-	-	0,77	0,60	1,0	0,13
ВБЧК	Р-4-3	1,1	0	0,150-0,350	0,70	0,50	0,80	-	-	-	-	0,77	0,63	1,0	0,13
ВБЧК	Т-10	1,1	0	0,100-0,200	-	-	-	-	-	-	-	0,76	0,50	1,0	0,10
ЗБЧК	Р-8	1,37	1,0	0,015-0,180	0,73	0,31	0,50	-	-	-	-	1,0	0,63	1,0	0,10
ЗБЧК	Р-20-3	1,0	1,0	0,050-0,200	-	-	-	+	-	1,0	0,40	-	-	-	-
ЗБЧК	Р-1-1	1,6	1,0	0,050-0,200	1,00	0,35	0,30	-	-	0,85	0,20	-	-	-	-
ЗБЧК	Р-1-8	1,0	1,0	0,050-0,250	-	-	-	+	-	0,80	0,20	-	-	-	-
ЗБЧК	Р-2-6	0,8	1,0	0,100-0,185	-	-	-	-	+	0,60	0,20	-	-	-	-
ЗБЧК	Р-2-7	0,8	1,0	0,100-0,200	-	-	-	-	+	0,60	0,20	-	-	-	-
ЗБЧК	Р-2-8	1,5	1,0	0,200-0,500	-	-	-	-	+	1,20	0,20	-	-	-	-

При вычислении средней скорости потока был использован арифметический способ, в соответствии с которым средняя скорость принималась равной среднему взвешенному значению местных скоростей, измеренных в точках поперечного сечения потока при выходе его из напорного водовода.

По результатам измеренных скоростей потока определялась пропускная способность сооружения по формуле (3.1).

Скорости потока определялись при 3-5 значениях напора, что позволило построить график зависимости $Q = f(H)$ и принять его за основу при подаче воды водопотребителям.

Внедрение разработанных сооружений было разбито на два этапа, при этом:

- на первом этапе планировалось создание двух-трех экспериментальных сооружений и на их основе – изучить эксплуатационные показатели внедренных сооружений;

- на втором этапе планировалось внедрение разработанных сооружений с учетом положительных и отрицательных их сторон, выявленных на базе экспериментальных водомерных сооружений.

Первый экспериментальный водомер был создан на распределителе Р-20-2 системы ЗБЧК, на котором был размещен водослив Иванова, с параметрами – $b = 1,25$ м, $h = 0,13$ м, высота – 0,5м. Недостатки этого водомера – отсутствие бетонной части сооружения под порогом, низкий порог. Но самым главным недостатком было наличие постоянного подпора со стороны нижнего бьефа, из-за чего этим водосливом не пользовались.

Для улучшения учета воды, водомер типа «Водослив» был заменен на «Прямоугольный насадок» (рис. 3.14а, где 1 – диафрагма, выполненная из металла; 2 – водопропускное отверстие). Щитовая часть этого сооружения также была изготовлена из металла. При этом длина водопропускного отверстия = 1100, высота = 200, высота диафрагмы

500мм.

Данное сооружение проработало недолго – его металлические элементы были сразу же украдены. Восстановить его служба эксплуатации не стала (из-за боязни повторной кражи), впоследствии заменив «Прямоугольный насадок» на водомер типа «Фиксированное

русло» на лотке параболического сечения (рис. 3.14б, где 1 – измерительный створ; 2 – успокоительный колодец).

а)

б)



Рис. 3.14. Водомеры типа «Прямоугольный насадок» (а) и «Фиксированное русло» (б) на Р-20-2 системы ЗБЧК (виды с верхнего бьефа). 1 – диафрагма; 2 – лоток; 3 – колодец.

Второй экспериментальный водомер был создан на распределителе Р-20-3 системы ЗБЧК. На этом распределителе был водомер типа «Фиксированное русло», его параметры – $b = 1,0\text{ м}$;

Измерительный участок был облицован железобетонными плитами, поверхность – неровная и деформированная. Но основным его недостатком был подпор, создаваемый со стороны нижнего бьефа. Благодаря этому, учет воды на сооружении практически не велся.

В целях улучшения учета воды на Р-20-3 ЗБЧК был возведен водомер типа «Прямоугольный насадок» (рис. 3.15), причем сама диафрагма выполнена в виде бетонной перегородки, с водопропускным отверстием в нижней ее части.

Размеры водопропускного отверстия - $b = 1,0\text{ м}$; $h = 0,4\text{ м}$; высота самой диафрагмы - $h_{\text{стр}} = 0,9\text{ м}$. Щитовая часть изготовлена из металла.

Перед и за диафрагмой предусмотрены низкие ныряющие стенки, благодаря которым напорному водоводу было придано прямоугольное поперечное сечение. Данное сооружение в первоначальном виде (рис. 3.15а) проработало меньше месяца – его металлические элементы были

разобраны и украдены. Для налаживания работы сооружения пришлось все украденные его элементы заменить на бетонные блоки (рис. 3.16).

а)



б)



Рис. 3.15. Водомер типа «Прямоугольный насадок» на Р-20-3 системы ЗБЧК. а – первоначально построенном виде, б – отсутствуют металлоконструкции сооружения (разобраны и украдены). 1 – диафрагма; 2 – щитовая часть; 3 – водопропускное отверстие.

а)



б)



Рис. 3.16. Возведение водомера типа «Прямоугольный насадок» на Р-20-3 системы ЗБЧК. а – идет реконструкция; б – реконструкция завершена.

Приведенные примеры возведения водомеров типа «Прямоугольный насадок» указывают на то, что:

- в настоящее и ближайшее время эти сооружения должны возводиться только из недорогостоящего материала – бетона, исключив из их состава – металлоконструкций;

- сооружения таких типов легко градуируются и обеспечивается надежность их работы.

Для учета воды в распределителе Р-2-6 системы ЗБЧК в 1950 году был построен водомер типа «Конусный насадок» или КНСБ, технические характеристики которого приведены в таблице 2.9.

Как это известно из раздела 2, водомеры этого типа обеспечивают измерение расходов воды при подпорном режиме истечения. Однако, в процессе их эксплуатации были выявлены следующие недостатки:

- КНСБ не подлежит к градуировке путем установки ротора гидровертушки на выходе из отверстия насадка, так как, из-за конусности последнего, струи имеют форму, не свойственную параллельноструйному течению потока;

- на самом КНСБ отсутствует элемент, регулирующий параметры водопропускного отверстия с тем, чтобы обеспечить напорный режим течения в водоводе при пропуске по нему расходов воды от максимального и до минимального их значений.

а)



б)



Рис. 3.17. Водомерное сооружение типа «Прямоугольный насадок» на распределителе Р-2-6 системы ЗБЧК. а – вид с верхнего бьефа; б – вид с нижнего бьефа. 1 – диафрагма; 2 – рейка; 3 – верх насадка.

Именно по этим причинам построенный водомер не смогли использовать для учета воды на протяжении ряда десятилетий.

При такой ситуации служба эксплуатации вынуждена была проводить замеры расходов воды на временном гидросту типа «Фиксированное русло», расположенному в нижнем бьефе (таблица 2.9). Но этот гидрост не отвечал предъявляемым к нему требованиям, приведенным в нормативных документах [13, 16].

Поэтому, для повышения точности учета воды, конусный насадок в 2014 году был переделан на насадок с прямоугольным поперечным сечением (рис. 3.17).

Размеры водопроемного отверстия на выходе из напорного водовода этого насадка – $0,6 * 0,2$ м. Скорости потока при выходе из напорного водовода (v) измерялись гидровертушкой ГР – 21 м, прошедшей госперверку. Кроме того, эти же скорости рассчитывались теоретически (v_p) по формуле (3.3).

На основании замеренных (v) и рассчитанных (v_p) скоростей построен график $v = f(Z)$ (рис. 3.18), свидетельствующий изменение скоростей течения воды при выходе из напорного водовода в зависимости от напора. Данные этого графика приведены в таблице 3.7, в которой приведены также и результаты определения коэффициента расхода по формуле (3.4).

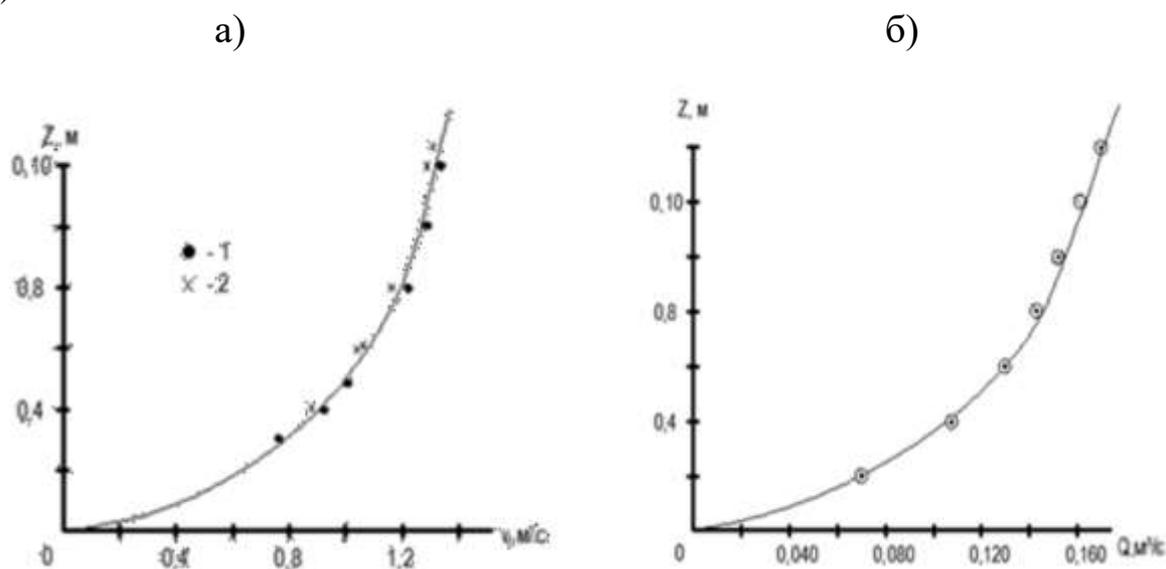


Рис. 3.18. Графики зависимостей $v = f(Z)$ (а) и $v_p = f(Z)$ (б) гидроста №24 на Р-2-6 ЗБЧК. 1 и 2 – теоретические и замеренные скорости потока при выходе из напорного водовода.

Данные этой таблицы свидетельствуют, что:

- на данном этапе исследований построенный водомер типа «Прямоугольный насадок» работал при $Z \leq 0,11$ м, при которых его пропускная способность составила $q \leq 0,160 \text{ м}^3/\text{с}$;

сооружения мало отличаются друг от друга;

- коэффициент расхода $\mu = 0,87-0,89$ и в среднем составляет 0,88.

Таблица 3.7

Результаты замеров расхода воды на гидропосту №24 на Р-2-6 системы ЗБЧК

Напор Z, м	Площадь отверстия м ²	Скорость при выходе из напорного водовода, м/с		м ³ /с	Коэффициент расхода μ
0,03	0,12	0,70	0,77	0,080	0,89
0,05	0,12	0,88	0,99	0,106	0,88
0,07	0,12	1,04	1,17	0,125	0,89
0,09	0,12	1,17	1,33	0,140	0,88
0,11	0,12	1,31	1,47	0,157	0,87

Рассматриваемый водомер, при необходимости, может пропустить и большие расходы, чем $0,160 \text{ м}^3/\text{с}$, для чего напор Z должен быть увеличен более, чем на 0,11 м.

По полученным результатам построен график зависимости $q = f(Z)$ (рис. 3.18б) и по данным этого графика – заполнена рабочая таблица 3.8, по которой осуществляется подача воды водопотребителям.

За период эксплуатации водомера отложение наносов в верхнем бьефе не наблюдалось, так как они промывались потоком воды при протекании ее по напорному водоводу.

Таблица 3.8

Рабочая таблица гидропоста на Р-2-6 для подачи воды (л/с) водопотребителям

h, см	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	40	60	80	98	110	118	126	132	140
10	146	153	160	-	-	-	-	-	-	-

Другой пример использования водомера типа «Прямоугольный насадок» на Р-21 (рис. 3.19) системы ВБЧК. На этом распределителе функционировал водослив Иванова, с приведенными в таблице 3.6

параметрами. В нижнем бьефе сооружения имеется водораспределитель, который, при регулировании расходов воды между отводами, создает подпор.



Рис. 3.19. Водомерное сооружение типа «Прямоугольный насадок» на Р-21 системы ВБЧК. а – вид с верхнего бьефа; б, в, г – виды с нижнего бьефа. 1 – диафрагма; 2 – низкие ныряющие стенки; 3 – плита; 4 – водопропускное отверстие.

Для улучшения учета воды на этом распределителе водомер типа «Водослив» был заменен на «Прямоугольный насадок» (рис. 3.19), с параметрами водопропускного отверстия напорного водовода = 0,8 м и = 0,4 м. Все элементы данного сооружения выполнены из бетона.

Результаты градуировки данного сооружения приведены в следующей таблице.

Таблица 3.9

Результаты замеров расхода воды на гидросту Р-21 системы ВБЧК

Напор Z, м	Площадь отверстия — ²	Скорость при выходе из напорного водовода, м/с		м ³ /с	Коэффициент расхода μ
0,03	0,32	0,71	0,75	0,250	0,93
0,07	0,32	1,17	1,17	0,374	0,99
0,10	0,32	1,35	1,40	0,432	0,96
0,15	0,32	1,51	1,71	0,483	0,89
0,17	0,32	1,80	1,83	0,576	0,98

По данным таблицы 3.9 составлены графики зависимостей $Q = f(Z)$ и $v = f(Z)$

и $Q = f(v)$ (рис. 3.20), а по данным последнего графика – рабочая таблица, по которой осуществляется подача воды водопотребителям.

а)

б)

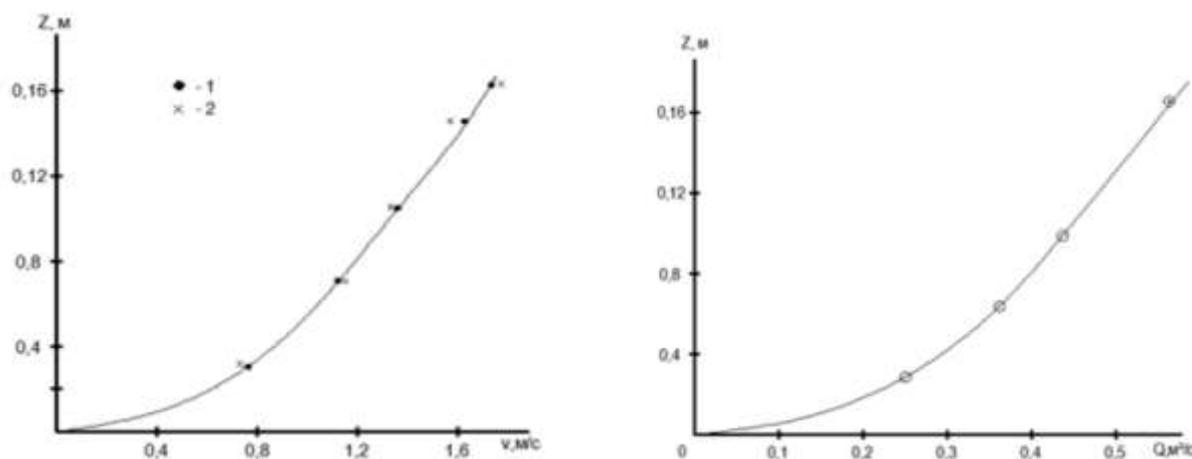


Рис. 3.20. Графики зависимостей $Q = f(Z)$ (а) и $v = f(Z)$ (б) водомера на Р-21 ВБЧК. 1 и 2 – теоретические и замеренные скорости потока при выходе из напорного водовода.

Еще один пример по созданию экспериментального водомера типа «Прямоугольный насадок». На распределителе Р-23 системы ВБЧК был водослив Иванова, шириной по дну = 1,5 и высотой 0,70м. Пропускная способность – 0,130-0,410м³/с. Этот водослив постоянно подтапливался со стороны нижнего бьефа. Поэтому служба эксплуатации вынуждена была

заменить указанный водомер на тип «Прямоугольный насадок», возведив ее из бетона (рис. 3.21).



Рис. 3.21. Водомерное сооружение типа «Прямоугольный насадок» на Р-23 системы ВБЧК. а, в – виды с верхнего бьефа; б, г – виды с нижнего бьефа. 1 – диафрагма; 2 – низкие ныряющие стенки; 3 – плита перекрытия; 4 – водопропускное отверстие; 5, 6 – уровнемерные рейки.

Параметры водопропускного отверстия напорного водовода водомерного сооружения – $h = 0,70$ и $h = 0,4$ м. По данным таблицы 3.10 построены графики зависимостей $Q = f(h)$ и по последнему графику заполнена рабочая таблица, по которой осуществляется водоподача водопотребителям.

Таблица 3.10

Результаты замеров расходов воды на водомере на Р-23 системы ВБЧК

Напор Z, м	Площадь отверстия	Скорость при выходе из напорного водовода, м/с		м ³ /с	Коэффициент расхода μ
0,03	0,28	0,74	0,75	0,207	0,96
0,05	0,28	0,92	0,99	0,258	0,93
0,06	0,28	1,01	1,09	0,284	0,94
0,08	0,28	1,23	1,25	0,344	0,98
0,11	0,28	1,41	1,47	0,395	0,95
					ИР-035

Задачей следующего совершенствования была разработка комбинированного водомерного сооружения, обеспечивающего измерение расходов воды как при свободном, так и подтопленном режимах истечения воды.

Поставленная задача решена тем, что водомерное сооружение, содержащее прямолинейный в плане участок канала с прямолинейным продольным профилем дна, регулируемый вертикальный щит, нижняя часть которого выполнена в виде горизонтальной полки и уровневые рейки, дополнительно содержит установленное на щите подъемное устройство с винтовым подъемником, в верхней части щита предусмотрен прямоугольный водослив, при этом уровневые рейки размещены в уровневых колодцах, причем колодец в верхнем бьефе соединен с каналом посредством трубы, а в нижнем бьефе между колодцем и каналом имеется щель.

Предлагаемое водомерное сооружение [36] иллюстрируется чертежом, где на рис. 3.22 приведено водомерное сооружение в плане; в разрезе 1-1 показан щит с водосливом с верхнего бьефа без воды; в разрезе 2-2(а) показана работа сооружения при пропуске воды из-под горизонтальной полки при свободном режиме истечения воды; на в разрезе 2-2 (б) - при подтопленном режиме истечения воды; на в разрезе 2-2(в) показана работа водослива при свободном режиме истечения воды.

Водомерное сооружение содержит прямолинейный в плане измерительный участок 1 на канале с прямолинейным продольным профилем его дна 2, регулируемый вертикальный щит 3, полностью перекрывающий канал и состоящий из верхней и нижней частей, в верхней части которого имеется водослив 4 прямоугольного сечения, а

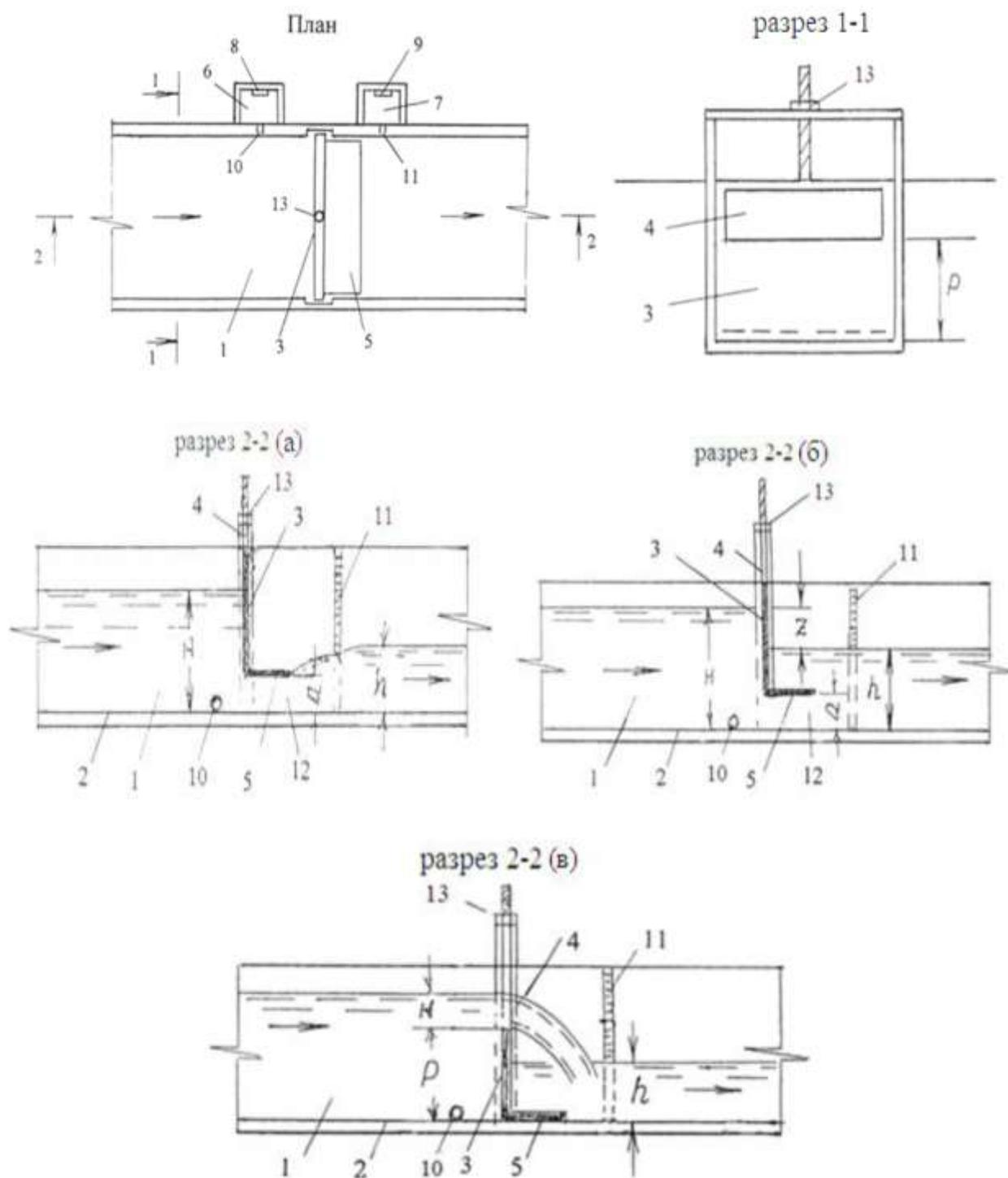


Рис. 3.22. Схема комбинированного водомера типа «Водослив-прямоугольный насадок» применительно к водотокам прямоугольного сечения.

нижняя часть выполнена в виде горизонтальной полки 5, в верхнем и нижнем бьефах участка 1 установлены уровневые колодцы 6 и 7, имеющие соответственно уровневые рейки 8 и 9 для определения действующих напоров h , Z и по ним – расход воды, в верхнем бьефе

уровнемерный колодец 6 соединен с каналом трубой 10, а в нижнем бьефе между уровнемерным колодцем 7 и каналом имеется щель 11. При поднятии вертикального щита 3 между дном 2 и горизонтальной полкой 5 образуется водопропускное отверстие 12 для пропуска воды. Для поднятия и опускания щита 3 предусмотрено подъемное устройство с винтовым подъемником 13. Уровнемерные колодцы 6 и 7, в которых размещены уровнемерные рейки 8 и 9, предназначены для стабилизации уровней воды.

Прямоугольный водослив 4 выполнен в соответствии с требованиями нормативных документов [14, 43].

Регулируемый вертикальный щит 3 обеспечивает пропуск различных расходов воды через напорное водопропускное отверстие 12 сооружения. Пропускная способность водомерного сооружения определяется:

- при пропуске воды через водослив 4 – по приведенным в нормативных документах [14, 43] формулам;
- при прохождении воды под горизонтальной полкой 5 – по формуле (3.1).

При градуировке сооружения (она осуществляется при каждом открытии щита 3) измеряются действующие напоры: h – при свободном режиме истечения воды и Z – при подпорном режиме истечения воды. Затем строятся графики зависимостей $Q = (h)$ и $Q = (Z)$, по которым определяются расходы воды при замеренных напорах h и Z .

Малые (близкие к минимальным показателям) расходы воды (они подаются в тех случаях, когда высота водопропускного отверстия 12 не превышает диаметра лопастного винта вертушки) измеряются при помощи водослива 4, который не подвергается индивидуальной градуировке и его пропускная способность устанавливается расчетом по их расходным формулам, далее по данным расчета строится график зависимости $Q = (h)$, по которому и определяются расходы воды при замеренных величинах h .

Расходы воды через водослив 4 измеряются при наличии на нем свободного режима течения воды.

Водомерное сооружение работает следующим образом. Высота водопропускного отверстия 12 устанавливается на величину $h = 1,5$ (где d – диаметр лопастного винта вертушки). Затем осуществляется запуск

воды. Если водоток начинает работать в напорном режиме, то проводятся работы по измерению расходов воды для градуировки сооружения. При градуировке сооружение может работать в двух режимах:

- при свободном режиме истечения воды (разрез 2-2 (а)) - фиксируется уровень воды в верхнем бьефе уровнемерной рейкой 8 и измеряется действующий напор h , по которому впоследствии определяется расход воды по отградуированному графику $Q=f(h)$;

- при подпорном режиме истечения воды (разрез 2-2 (б)) проводится фиксация уровней воды в обоих бьефах по уровнемерным рейкам 8 и 9, по показаниям которых определяется действующий напор Z и по нему – расход воды, используя в этом случае отградуированный график $Q=f(Z)$.

Если в водотоке при $\alpha = 1,5$ наблюдается не напорный режим истечения воды, то щит 3 опускается на дно 2 участка 1 канала и в нижний бьеф вода подается через водослив 4 (разрез 2-2 (в)). В этом случае измеряется напор воды над водосливом 4, по которому впоследствии определяется расход воды по составленному расчетным путем графику $Q=f(h)$. Этот график может использоваться и при пропуске по водосливу 4 повышенных расходов воды.

Предлагаемое водомерное сооружение является устройством с улучшенными метрологическими характеристиками и позволяющее осуществлять учет воды при всех режимах истечения воды, пропускаемой через данное сооружение.

Схема размещения водомера типа «Водослив-прямоугольный насадок» на рис. 3.22 показана применительно к водотокам с прямоугольным поперечным сечением. Применительно к каналам с трапецеидальным поперечным сечением она может быть такая, которая показана на рис. 3.23. Здесь водомер состоит из подводящего 1 и отводящего 2 участков водотока, щита 3, пазов 4, горизонтальной полки 5, низких затопленных стенок 6, напорного водовода 7. Кроме того, сооружение оснащается уровнемерными рейками и подъемными устройствами.

Благодаря боковых низких затопляемых стенок 6, напорному водоводу 7 придается прямоугольное поперечное сечение, что, совместно с горизонтальной полкой 5, создает параллельноструйное течение воды в самом водоводе 7.

Здесь, также как приведенном на рис. 3.22 сооружении, предусмотрен прямоугольный водослив.

Основные элементы сооружений, приведенных на рисунках 3.22 и 3.23, изготавливаются из металла.

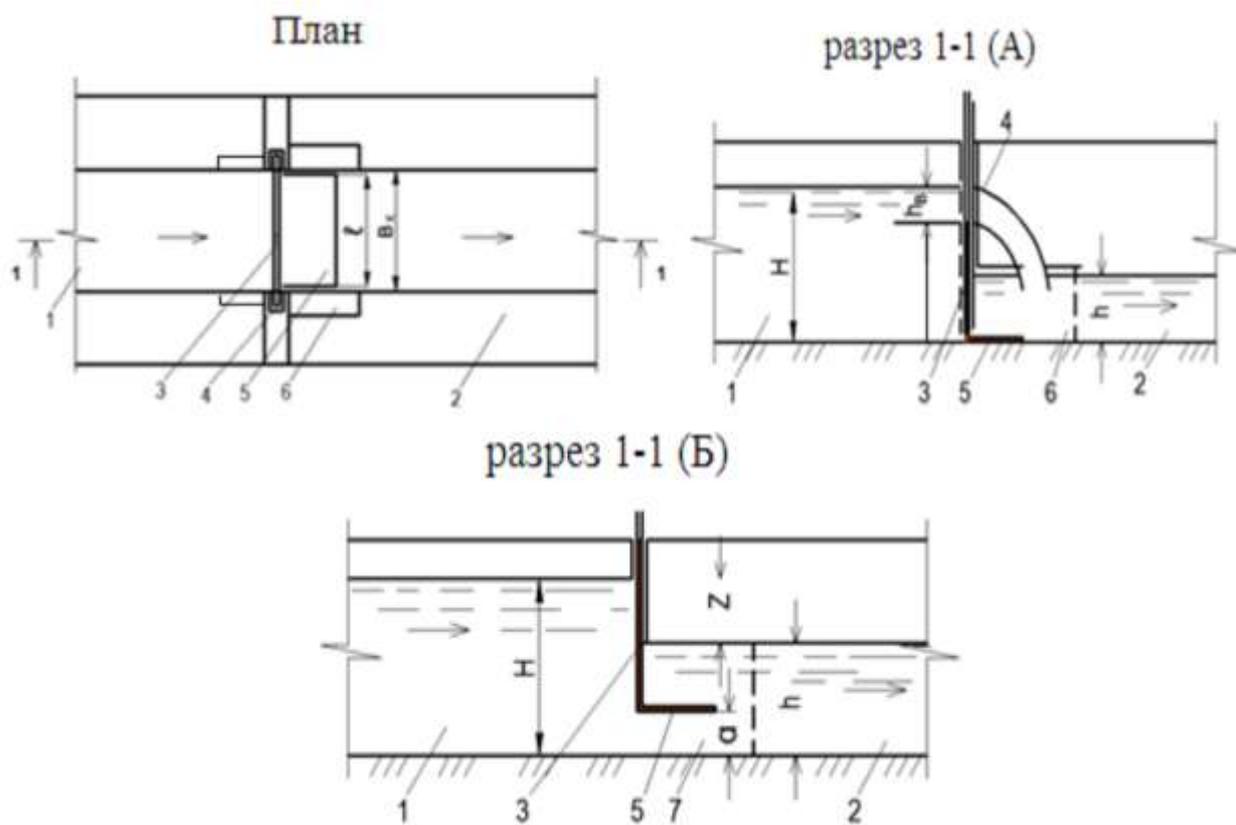


Рис. 3.23. Схема комбинированного водомера типа «Водослив-прямоугольный насадок» применительно к водотокам трапецидального сечения.

Сооружение типа «Водослив-прямоугольный насадок» впервые был построен на распределителе Р-8 системы ЗБЧК.

Здесь ранее был водослив Иванова, который в начале работал нормально, а потом, в процессе заиления и зарастания в земляном русле отводящего канала, стал подтапливаться со стороны нижнего бьефа.

Для улучшения водоучета, на Р-8 системы ЗБЧК был построен в качестве экспериментального объекта водомер типа «Водослив-прямоугольный насадок» (рис. 3.24 и 3.25), который в верхней части состоит из водослива прямоугольного сечения и в нижней – из насадка.



Рис. 3.24. Водомер типа «Водослив-прямоугольный насадок» на Р-8 системы ЗБЧК (замер воды осуществляется водосливом). а – вид с верхнего бьефа; б – вид с нижнего бьефа.



Рис. 3.25. Водомер типа «Водослив-прямоугольный насадок» на Р-8 системы ЗБЧК (замер воды осуществляется насадком). а – вид с верхнего бьефа; б – вид с нижнего бьефа.

Пропускная способность прямоугольного водослива определялась при следующих исходных данных: ширина водослива $b = 1,0\text{м}$; высота порога $= 0,63\text{м}$ и высота водослива $h_b = 0,40\text{м}$. Щит опущен до дна канала.

Расчет пропускной способности прямоугольного водослива проведен по формуле (2.7), полученные результаты оформлены графически $Q = f(h)$ (рис. 3.26).

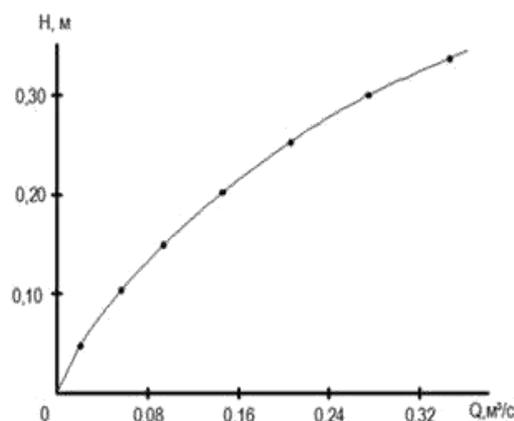


Рис. 3.26. График пропускной способности прямоугольного водослива на Р-8 системы ЗБЧК.

По данным этого графика заполнена рабочая таблица 3.11, в соответствии с которой осуществляется водоподача водопотребителям.

Таблица 3.11

Пропускная способность прямоугольного водослива
на Р-8 системы ЗБЧК

Напор H , м	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Расход Q , м ³ /с	0,019	0,053	0,102	0,157	0,220	0,289	0,365

Пропускная способность водомера типа «Прямоугольный насадок», определялась при следующих исходных данных: длина напорного водопропускного отверстия = 1,0м, принятая его высота = 0,10м (щит приподнят на высоту 0,10м). Данный водомер был отградуирован по методу «скорость-площадь», результаты градуировки приведены в следующей таблице и графически – на рис. 3.27.

Таблица 3.12

Результаты замеров расхода воды на гидросту
на Р-8 системы ЗБЧК

Напор Z , м	Площадь отверстия	Скорость при выходе из напорного водовода, м/с		Расход, м ³ /с	Коэффициент расхода μ
0,03	0,10	0,75	0,77	0,076	0,99
0,06	0,10	1,06	1,09	0,107	0,98
0,08	0,10	1,21	1,25	0,124	0,98
0,10	0,10	1,36	1,40	0,137	0,98
0,15	0,10	1,67	1,71	0,169	0,99
					$\mu=0,98$

Из данных этой таблицы следует, что:

- измеренные и теоретические ρ скорости мало отличаются друг от друга;
- коэффициент расхода = 0,98 – 0,99 и в среднем составляет 0,98.

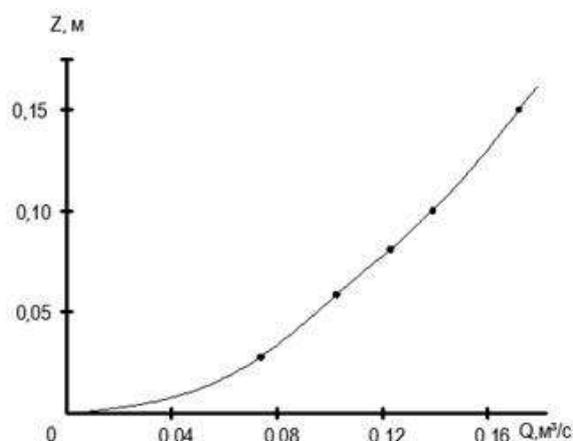


Рис. 3.27. График пропускной способности насадка на Р-8 системы ЗБЧК.

Работоспособность данного водомерного сооружения детально изучалась многими, в том числе работниками Иссык-Атинского РУВХ, ОМК и В, ЧГБУВХ. 26.07.2014года на это сооружение, был организован выездной семинар, на котором приняли участие:

- главные инженера, начальники ОВП и главные метрологи всех РУВХ Чуйской области;
- ответственные работники ОМК и В и ЧГБУВХ.

Всего участников (рис. 3.28) было свыше 20чел., которыми проверялась работоспособность данного комбинированного водомерного сооружения.

В результате детальной проверки и всестороннего анализа увиденного и полученных результатов, участники семинара пришли к выводам (они отражены в составленном им акте):

- а) одобряем новые средства – комбинированный водомер и водомер-диафрагму, (имеется в виду насадок) ориентированные на применение не только при подпорном, но и свободном режимах истечения;
- б) считаем полезным широкого их применения там, где они могут быть приняты по условиям их работы;
- в) считаем, что в целях и учета воды, и ее регулирования – в качестве диафрагмы (имеется в виду насадок) целесообразно использовать плоский щит;

г) рекомендуем металлоконструкции водомеров изготавливать в ЧГБУВХ централизованно, что положительно скажется на качестве выполняемых работ.

(В конце Акта имеются более 20 подписей).

а)



б)



в)



г)



Рис. 3.28. Участники выездного семинара на сооружении Р-8 системы ЗБЧК. а, в – обсуждается увиденное; б, г – проводится смотр объекта. (Замер воды осуществляется при помощи водомера типа «Прямоугольный насадок»).

В настоящее время построены еще три водомера типа «Водослив-прямоугольный насадок» на отводах Р-4-2, Р-4-3 и Т-10 системы ВБЧК, технические их характеристики приведены в таблице 3.6, а их фотографии на рисунках 3.29, 3.30 и 3.31.

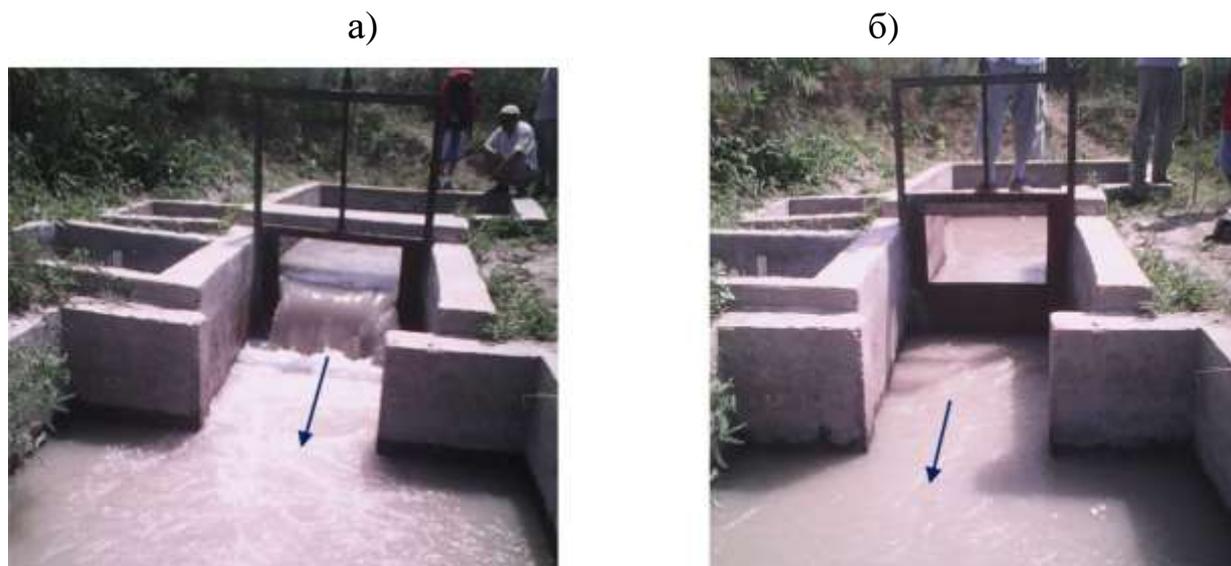


Рис. 3.29. Водомерное сооружение типа «Водослив-прямоугольный насадок» на распределителе Т-10 системы ВБЧК. Водомерное сооружение в работе: а – замер расходов воды осуществляется на прямоугольном водосливе (вид с нижнего бьефа); б – замер расходов воды осуществляется насадком (вид с нижнего бьефа).



Рис. 3.30. Водомерное сооружение типа «Водослив-прямоугольный насадок» на Р-4-2 системы ВБЧК. Водомерное сооружение без воды (а - вид с нижнего бьефа); водомерное сооружение в работе – замер воды осуществляется прямоугольным водосливом (б - вид с верхнего бьефа).

В 2016 году на этих сооружениях проводились работы по устранению допущенных при их строительстве недостатков, по определению технических характеристик водомеров и оформлению

паспортов на сооружений. Кроме того, были проведены работы по предварительному изучению эксплуатационных показателей сооружений. Основные работы по градуировке самих сооружений и установлению других метрологических их характеристик проводятся в этом 2017 году.



Рис. 3.31. Водомерное сооружение типа «Водослив-прямоугольный насадок» на Р-4-3 системы ВБЧК. Водомерное сооружение в работе – замер расходов воды осуществляется прямоугольным водосливом. а – вид с верхнего бьефа; б – вид с нижнего бьефа.

Водомеры, приведенные на рис. 3.22 и 3.23, полнее отвечают предъявляемым к ним требованиям и стали применяться на внутрихозяйственных оросительных каналах Чуйской долины КР. Однако, в процессе эксплуатации построенных сооружений обнаружился следующий его недостаток – высота порогов водосливов оказалась недостаточной для регулирования уровней воды в верхнем бьефе и режима истечения водослива в нижнем бьефе сооружений.

Задачей следующего совершенствования заключалась в разработке устройства, обеспечивающего регулирование уровней воды перед водомером и режима истечения водослива в нижнем бьефе сооружения.

Поставленная задача решалась тем, что водомерное сооружение, содержащее прямолинейный в плане участок канала с прямолинейным продольным профилем дна, регулируемый вертикальный затвор с винтовым подъемником в верхней части которого предусмотрен прямоугольный водослив, горизонтальную полку, уровнемерные колодцы, соединенные с каналом посредством трубы и щели, уровнемерные рейки,

согласно совершенствования, водомер за затвором дополнительно оснащен вертикальным щитом высотой $h_{щ} = 0,9P$ (где P – высота порога прямоугольного водослива), при этом несколько выше нижней кромки этого щита прикреплена горизонтальная полка.

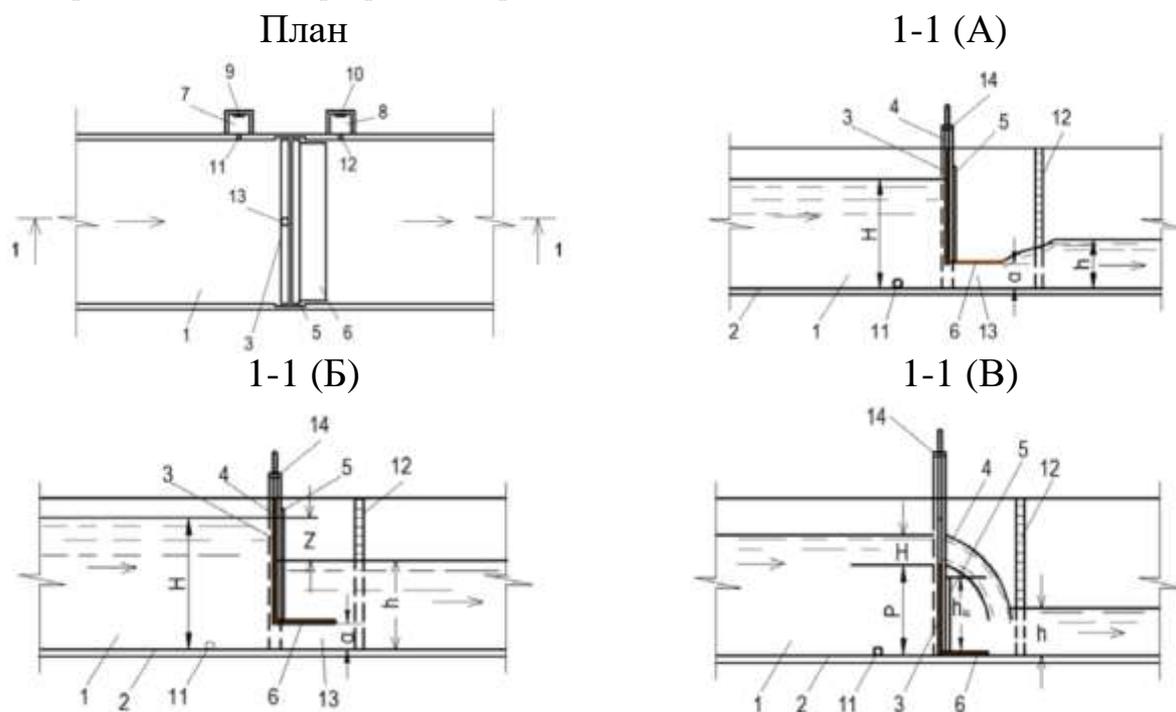


Рис 3.32. Водомерное сооружение типа «Насадок-прямоугольный водослив» с регулируемой высотой порога.

Данное водомерное сооружение иллюстрируется чертежами, где на рис. 3.32 приведено водомерное сооружение в плане; в разрезе 1-1(А) - показана работа сооружения при пропуске воды из-под щита с горизонтальной полкой при свободном режиме истечения воды; в разрезе 1-1(Б) - при подтопленном режиме истечения воды и в разрезе 1-1(В) - показана работа водослива при свободном режиме истечения воды.

Водомерное сооружение содержит прямолинейный в плане измерительный участок 1 на канале с прямолинейным продольным профилем его дна 2, регулируемый вертикальный затвор 3, в верхней части которого имеется водослив 4 прямоугольного сечения, за затвором 3 размещен регулируемый вертикальный щит 5, нижняя часть которого выполнена в виде горизонтальной полки 6, в верхнем и нижнем бьефах участка 1 канала установлены уровнемерные колодцы 7 и 8, имеющие соответственно уровнемерные рейки 9 и 10 для определения действующих напоров H , Z и по ним – расход воды, в верхнем бьефе уровнемерный

колодец 7 соединен с каналом трубой 11, а в нижнем бьефе между уровнемерным колодцем 8 и каналом имеется щель 12.

Щит 5 предназначен для установки порога водослива 4 на оптимальную высоту, при поднятии его совместно вертикальным затвором 3 между дном 2 и горизонтальной полкой 6 образуется водопропускное отверстие 13 для пропуска воды; для поднятия и опускания затвора 3 предусмотрено подъемное устройство с винтовым подъемником 14. При необходимости поднятия щита 5 (для пропуска воды под полкой 6), последний при помощи двух болтов крепится к затвору 3.

Уровнемерные колодцы 7 и 8, в которых размещены уровнемерные рейки 9 и 10, предназначены для стабилизации уровней воды.

Прямоугольный водослив 4 выполнен в соответствии с требованиями нормативных документов МИ 2122-90 и МВИ 12-10.

Регулируемый вертикальный затвор 3 обеспечивает пропуск различных расходов воды как через водопропускное отверстие прямоугольного водослива 4, так и через напорное водопропускное отверстие 13 сооружения.

Пропускная способность водомерного сооружения определяется:

- при пропуске воды через водослив 4 – по приведенным в МИ 2122-90 и МВИ 12-10 формулам;
- при прохождении воды под горизонтальной полкой 6 – по формуле (3.1).

При градуировке сооружения (она осуществляется при каждом открытии щита 5) измеряются действующие напоры: h – при свободном режиме истечения воды [разрез 1-1(А)] и Z – при подпорном режиме истечения воды [разрез 1-1(Б)]. Затем строятся графики зависимостей $Q = f(h)$ и $Q = f(Z)$, по которым определяются расходы воды при замеренных напорах h и Z .

Малые (близкие к минимальным показателям) расходы воды (они подаются в тех случаях, когда высота водопропускного отверстия 13 не превышает диаметра лопастного винта вертушки) измеряются при помощи водослива 4 [разрез 1-1(В)], который не подвергается индивидуальной градуировке и его пропускная способность устанавливается расчетом по их расходным формулам, далее по данным расчета строится график зависимости $Q = f(h)$, по которому и определяются расходы воды при замеренных величинах H .

Расходы воды через водослив 4 измеряются при наличии на нем свободного режима истечения воды [разрез 1-1(В)]. При наличии подпорного режима истечения воды – снимаются болты крепления щита 5 к затвору 3 и осуществляется подъем затвора 3 до получения оптимальной высоты порога водослива 4, при которой установится свободный режим истечения воды. При подъеме щита 3 сброс воды из-под него не происходит, так как водопропускное отверстие 13 перекрыто щитом 5.

Водомерное сооружение работает следующим образом. Высота водопропускного отверстия 13 устанавливается на величину $= 1,5 (D - \text{диаметр лопастного винта вертушки})$. Затем осуществляется запуск воды. Если водоток 13 начинает работать в напорном режиме, то проводятся работы по градуировке сооружения. При градуировке само сооружение может работать в двух режимах:

- при свободном режиме истечения воды [разрез 1-1(А)] – фиксируется в верхнем бьефе равномерной рейкой 9 и измеряется действующий напор h , по которому впоследствии определяется расход воды по отградуированному графику $= (h)$;
- при подпорном режиме истечения воды [разрез 1-1(Б)] – проводится фиксация уровней воды в обоих бьефах по равномерным рейкам 9 и 10, по показаниям которых определяется действующий напор Z и по нему – расход воды, используя в этом случае отградуированный график $= ()$.

Если в водотоке 13 при $= 1,5$ наблюдается напорный режим истечения воды, то снимаются болты крепления щита к затвору 3 и щит 5 опускается на дно 2 участка 1 канала и в нижний бьеф вода подается через водослив 4 [разрез 1-1(В)]. В случае свободного режима истечения измеряется напор воды над водосливом 4, по которому впоследствии определяется расход воды по составленному расчетным путем графику $= (h)$. Этот график может использоваться и при пропуске по водосливу 4 повышенных расходов воды. В случае подтопленного режима истечения – поднимается порог водослива 4 путем поднятия затвора 3 до уровня, пока не установится свободный режим истечения воды через водослив. После этого проводятся выше указанные замеры по определению расходов воды.

Предлагаемое водомерное сооружение является устройством с улучшенными эксплуатационно-метрологическими характеристиками и позволяющее осуществить учет воды при всех режимах истечения воды, пропускаемой через данное сооружение.

Водомеры типа «Водослив-прямоугольный насадок» могут быть изготовлены и из бетона. Для этого предлагается сооружение, приведенное на рис. 3.33.

Данное сооружение состоит из подводящего 1 и отводящего 2 участков канала, бетонной диафрагмы 3, узкой металлической полосы 4, плиты 5, боковых низких стенок 6, водослива 7 и напорного водовода 8.

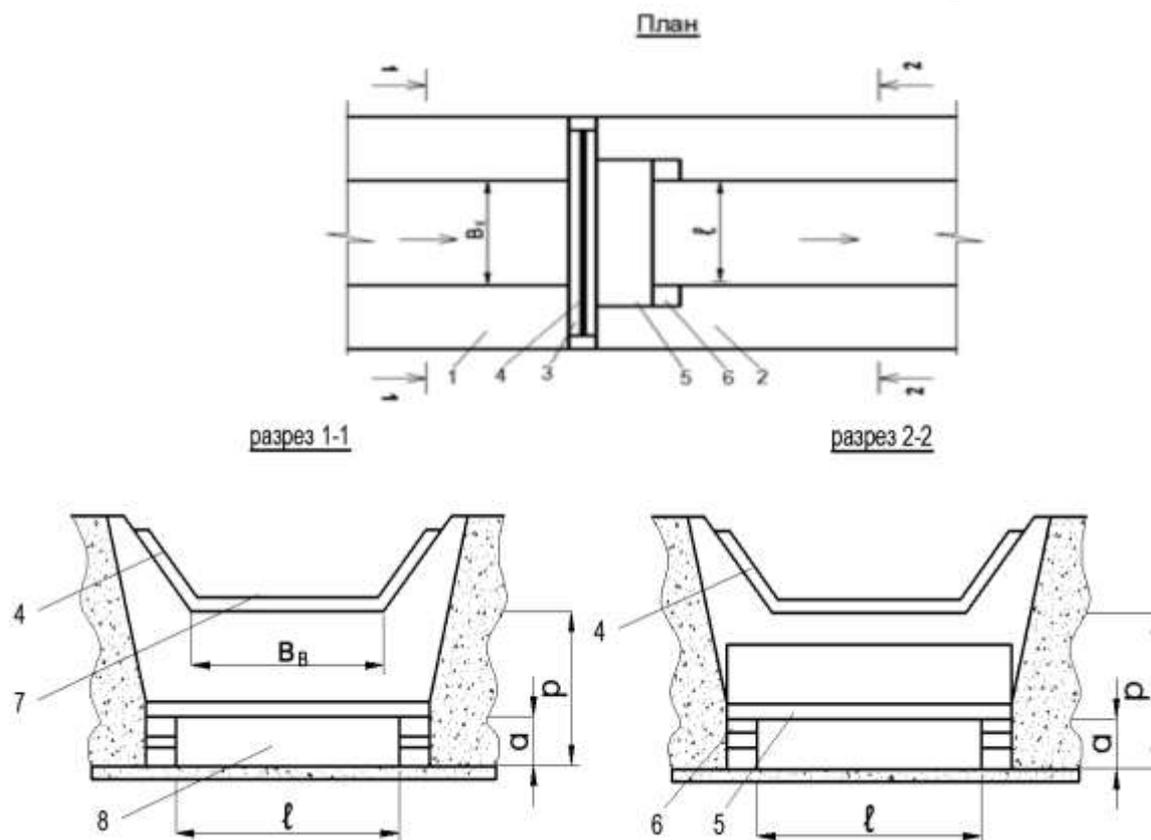


Рис. 3.33. Схема комбинированного водомера типа «Водослив-прямоугольный насадок» применительно к водотоку трапецеидального сечения (изготавливается только из бетона).

Металлическая полоса 4, шириной 100мм, включена в состав устройства для придания водосливу острой кромки.

Кроме указанных элементов, водомер должен оснащаться равномерными рейками. На данном сооружении высота водовода регулируется при помощи блоков 6:

- при необходимости уменьшения величины – убирается верхние блоки и плита 5 кладется на нижние блоки;
- при необходимости увеличения величины - проводится обратное действие;

- при работе водослива – водопроводящий тракт 8 перекрывается Г – образной плитой 6.

Пропускная способность водослива определяется по приведенной в [14, 43] формулой, а водомер типа «Прямоугольный насадок» - градуируется по методу «скорость-площадь».

3.3.4. Применительно к водомерам, расположенным между двумя сооружениями

Как это вытекает из раздела 2 работы, на оросительных системах республики получили распространение водомеры типа «Водосливы с тонкой стенкой», размещенные между трубчатыми водовыпусками в верхнем бьефе и водораспределительными сооружениями в нижнем (рис. 3.34). Опыт эксплуатации таких сооружений показывает, что в большинстве случаев они работают в подтопленном режиме, при этом переменного характера, что недопустимо для данного типа сооружений. В соответствии с нормативными документами [14, 43], они должны работать только со свободным режимом течения воды.



Рис. 3.34. Водомеры типа «Водосливы с тонкой стенкой» размещены между двумя сетевыми сооружениями – трубчатыми водовыпусками и водораспределительными сооружениями (водосливы с тонкой стенкой подтоплены). 1 – водосливы с тонкой стенкой; 2 – водораспределительные сооружения.

Для выполнения нормального учета воды водомеры, расположенные между двумя сооружениями, должны быть реконструированы и при их

реконструкции – они должны быть заменены на водомеры типа «Прямоугольный насадок», применяемые после их градуировки.

Все элементы водомера построены чисто из бетона – в монолитном изготовлении диафрагмы и плит (напорный водовод). Длина водопропускного отверстия – 0,7м, его высота – 0,4м.

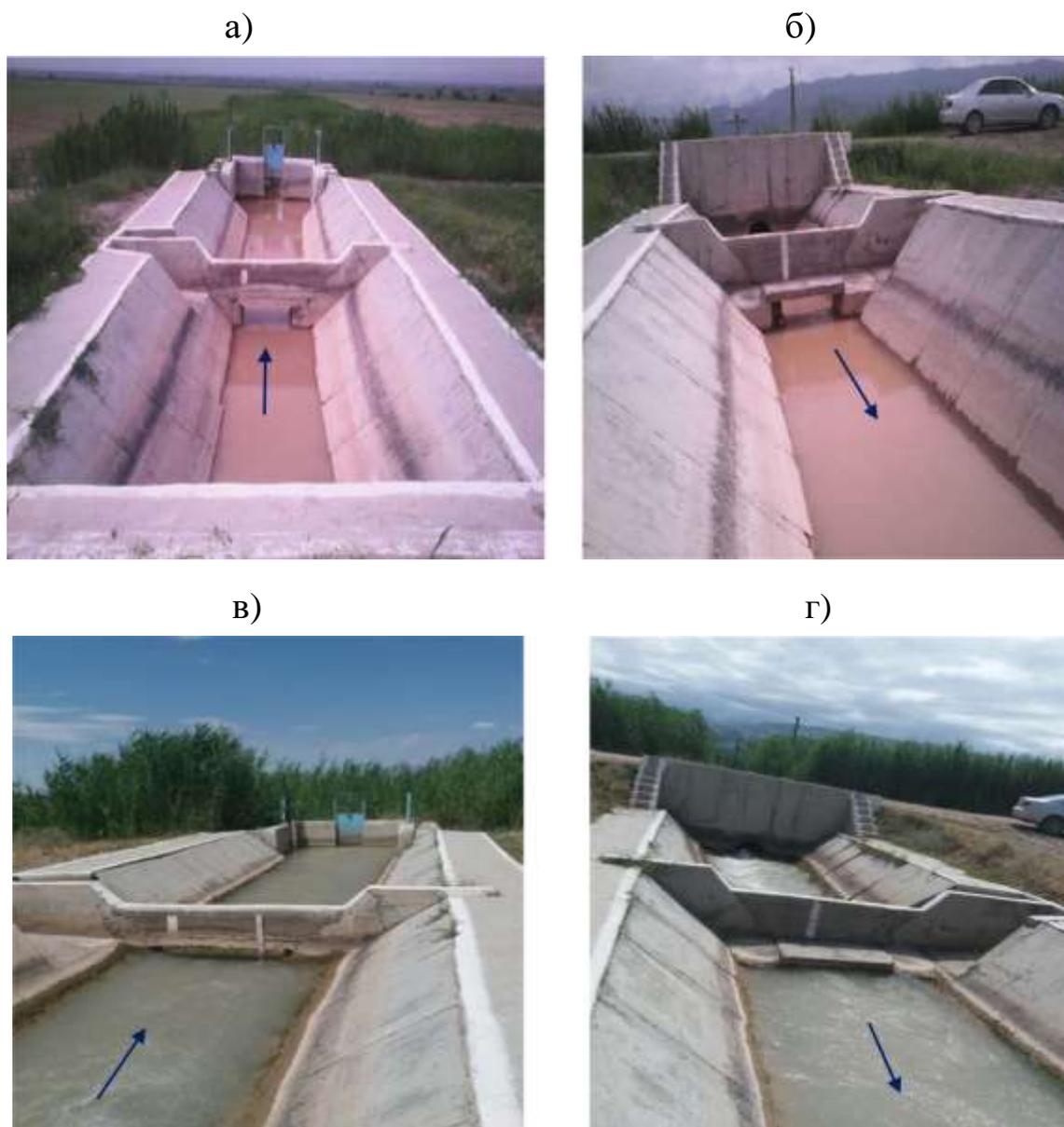


Рис. 3.35. Водомерное сооружение типа «Прямоугольный насадок» на Р-25 ВБЧК. а, в – виды с верхнего бьефа; б, г – виды с нижнего бьефа.

Пример реконструкции водомера, расположенного между двумя сооружениями, приведены применительно к объекту на распределителе Р-21 системы ВБЧК (рис. 3.19). Ниже приводится еще один пример, когда из-за ненормальной работы водомера типа «Водослив с тонкой стенкой»,

он был заменен на водомер типа «Прямоугольный насадок». Это сооружение построено на Р-25 ВБЧК, который имеет следующие параметры: $b = 1,5$ м и $m = 1$. Пропускная его способность $0,14-0,41 \text{ м}^3/\text{с}$. На этом распределителе был построен водослив Иванова, с параметрами: $b = 1,5$ м; $h_b = 0,7$ м и $h = 0,7$ м. При работе водораспределителя в нижнем бьефе водослив постоянно подтапливался, осложняя тем самым учет водных ресурсов.

Для налаживания учета воды на этом распределителе служба эксплуатации реконструировала водомер типа «Водослив с тонкой стенкой», заменив его на «Прямоугольный насадок» (рис. 3.35).

Данное сооружение отградуировано и используется в качестве рабочего средства для измерения расходов воды.

3.3.5. Применительно к водомерам с колодцами-гасителями

Водосливы с тонкой стенкой могут устанавливаться как в руслах водотоков (каналов), так и в успокоительных резервуарах – в колодцах – гасителях. В принципе в республике до 1975 года так и делалось. Однако, с появлением в 1977 году нормативного документа [39], строительство водомерных сооружений с колодцем-гасителем и водосливом было приостановлено. Причиной тому явилось то, что в указанном документе:

- устройство водосливов предусматривалось только на каналах и все требования, предъявленные к этим средствам измерения расхода воды, были разработаны исходя из необходимости размещения водосливов только на каналах;

- размещение водосливов в успокоительных колодцах – гасителях не было предусмотрено и как следствие – отсутствовали необходимые требования к таким сооружениям.

Такое положение дел отпугивало производителей, так как при строительстве водомерных сооружений с колодцем-гасителем и водосливом, последние просто не проходили бы метрологическую аттестацию только из-за отсутствия нормативного документа.

Нормативный документ [39] был пересмотрен в 1990 году, однако и в новом варианте [43] не было рассмотрено устройство водосливов в колодцах-гасителях.

Имея ввиду необходимость в метрологической аттестации водосливов, применяемых в успокоительных баках (емкостях) лабораторных установок и водомерных сооружений с колодцем-гасителем и водосливом, построенных на оросительных системах республики, в 1993 году был разработан новый нормативный документ [30], в соответствии с которым допускается применение водосливов с тонкой стенкой при свободном истечении из естественных водоемов, резервуаров и других емкостей при соблюдении следующих условий:

- соотношение площадей поперечного сечения потока в плоскости порога водослива и емкости должна быть не менее, чем 1:5;
- длина емкости в сечении, перпендикулярном к плоскости порога водослива, должна составлять не менее пяти ширин водослива по дну;
- разность абсолютных значений скорости потока перед плоскостью водослива не должна превышать $\pm 20\%$.

Следует отметить, что нормативный документ [30] является дополнением к МИ 2122-90 и МВИ 12-10 [14, 43]. Поэтому все требования, предъявляемые к самим водосливам в последних документах, остаются в силе и в новом руководстве. Однако действие МВИ 475555-13-93 [30] направлено на использовании стандартизованных водосливов с тонкой стенкой для специальных условий применения, а именно:

- в каналах и естественных водотоках с сокращенными прямолинейными измерительными участками;
- на водовыпусках из водоемов, резервуаров и других емкостей.

Иначе говоря, с разработкой нормативного документа [30] область применимости водосливов с тонкой стенкой значительно расширилась.

Водомерные сооружения с колодцем-гасителем и водосливом относятся к категории перспективных средств измерения расхода воды, так как:

- на них водоучет осуществляется точнее, чем на гидропостах, построенных в руслах каналов (обеспечивается плавный и равномерный подход воды к водосливам из-за практически полного гашения кинетической энергии подводящего потока);

- на таких сооружениях лучше обеспечивается свободное истечение через водосливы из-за наличия возможности варьирования параметрами последних (в руслах каналов размеры водосливов ограничиваются размерами самих водотоков);

- в большинстве случаев такие сооружения могут быть построены в голове отводов, то есть сразу за щитами – регуляторами, что позволит повысить точность водоучета и сократить время регулирования водоподдачи (продолжительность переходных процессов) водопользователям, а также упростить условия труда эксплуатационного персонала – регулировщиков;

- водораспределительный узел, в состав которого входит и водомерное сооружение, становится компактным, что весьма удобно при его эксплуатации;

- такие сооружения значительно дешевле водомерных сооружений с водосливами в руслах каналов.

Эти и другие неотмеченные здесь преимущества водомерных сооружений с колодцем-гасителем и водосливом указывают на целесообразность широкого их внедрения в производство. Однако, ему должно предшествовать изучение эксплуатационных показателей действующих сооружений, с учетом которых (положительных и отрицательных сторон) можно было бы разработать рекомендации по проектированию, строительству, эксплуатации и метрологической аттестации водомерных сооружений с колодцем-гасителем и водосливом. Однако, с сожалением приходится констатировать тот факт, что таких сооружений практически нет. Единичные сооружения, построенные в качестве экспериментальных, практически не работают. К ним можно отнести водомер, приведенный на рис. 3.36.

Это сооружение построено на одном из отводах Р-9 ЗБЧК и включает в свой состав плоского щита 2, успокоительного колодца-гасителя 3, диафрагмы 4 и водослива с тонкой стенкой 5. Дно колодца-гасителя неуглубленное, благодаря чему кинетическая энергия потока, выходящего из-под щита, полностью не гасится. Правда, диафрагма и водослив создают подпор, но этого недостаточно для успокоения потока в колодце-гасителе, что отрицательно сказывается на учете воды. Мало этого, сам водослив разрушен.



Рис. 3.36. Водомер с водосливом в конце успокоительного колодца с неуглубленным дном. 1 – отвод Р-9 из ЗБЧК; 2- щит; 3 – успокоительный колодец-гаситель; 4 – бетонная диафрагма; 5 – разрушенный водослив с тонкой стенкой.

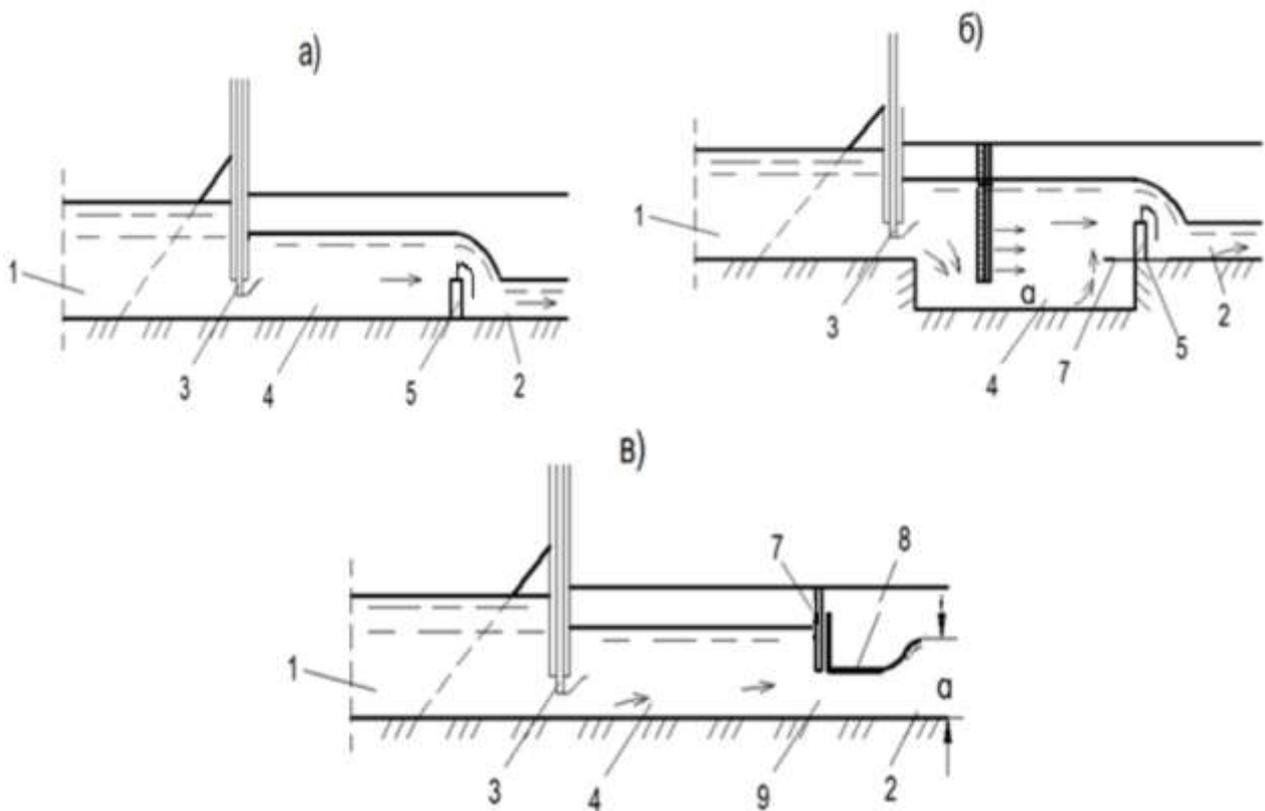


Рис. 3.37. Схемы водомеров с колодцами-гасителями – продольные разрезы. а, в – колодцы-гасители с неуглубленными днами; б – то же с углубленным дном. а, б – водомеры типа «Водослив с тонкой стенкой»; в – водомер типа «Прямоугольный насадок».

Для налаживания учета воды на рассматриваемом водомере, с нашей точки зрения, его следует реконструировать, выполнив следующие виды работ (рис. 3.37):

- дно колодца-гасителя 4 следует углубить хотя-бы на 0,5м;
- построить гасительную стенку 6, выполнив верхнюю часть сплошной, нижнюю – сквозной. При этом основная часть потока должна протекать через водопропускное отверстие, образуемое между дном колодца 4 и нижней частью стенки 5;
- при необходимости предусмотреть козырек 7, который направлял бы восходящие струи в сторону стенки 6 и этим дополнительно способствовал бы успокоению потока в колодце;
- восстановить водослив, заменив трапецеидальное его сечение на прямоугольное с шириной, соответствующей ширине колодца по дну.

Объем работы будет небольшим, путем реконструкции водомера по приведенным выше рекомендациям можно не только в корне улучшить метрологических показателей рассматриваемого водомера, но и резко упростить его эксплуатацию.

В колодец-гаситель будет поступать взвешенные наносы, которые, не задерживаясь в нем, вместе с потоком воды будут промываться в нижний бьеф сооружения.

Наравне с водомером, приведенным на рис. 3.37б, при реконструкции сооружения можно использовать и сооружения типа «Прямоугольный насадок». Его схема приведена на рис. 3.37в, из которого следует, что в конце колодца-гасителя строится диафрагма 8, а за ней – напорный прямоугольный насадок. В последнем случае дно колодца-гасителя остается прежним, вопросы о гашении кинетической энергии потока и очистки самого колодца от наносов не ставятся, учет воды ведется с градуировкой самого сооружения.

В рассмотренном примере приведены рекомендации по реконструкции конкретного сооружения. Если имеются аналогичные гидросты, то приведенные рекомендации могут быть распространены и на них.

3.3.6. Применительно к водомерам на уступе перепада

Известно, что при строительстве каналов с земляным руслом поперек горизонталей, на этих водотоках, с целью устранения их размывов, возводятся сопрягающие сооружения – перепады или быстротоки с расстояниями между ними порядка 300-500м.

Учет воды на таких водотоках осуществляется при помощи водомеров типа «Фиксированное русло», построенных на прямолинейных участках самих каналов. Опыт эксплуатации таких водомеров показывает, что они работают нормально только в первые годы эксплуатации.

В дальнейшем, из-за заиления наносами и зарастания растительностью земляных в русле каналов, резко ухудшаются метрологические показатели водомеров – появляются подпоры переменного характера и уменьшаются скорости течения воды (эти явления резко осложняют градуировку сооружений, без которой водомеры не могут применяться в качестве рабочих средств для измерения расходов воды).

Имеется предложение [52], в соответствии с которым учет воды рекомендуется проводить на уступе перепада, применив для этой цели водомеры типа «Фиксированное русло».

Это – интересное предложение, но оно не нашло практического применения только из-за того, что на уступе перепада поток имеет не параллельноструйное течение, а протекает по кривой спада, что не позволяет проводить градуировку сооружения.

Задача усовершенствования – разработка сооружения, обеспечивающего учет воды без индивидуальной градуировки водомера.

Поставленная задача решается тем, что водомерное сооружение [33], содержащее прямолинейный в плане подводный канал, береговой ковш, с равномерной рейкой, размещенный на уступе перепад тонкостенного трапецеидального водослива, металлический щит, закрепленный к водосливу горизонтально со стороны верхнего бьефа, колодец-гаситель и отводящий канал, при этом щит, вместе с боковыми гранями водослива, образует новый водослив трапецеидального сечения, которым и измеряется расход воды. Высота порога первого водослива 100-200мм, нового – 300-400мм.

Водосливы изготавливаются в соответствии с требованиями нормативных документов [14, 43].

В соответствии с рекомендациями этого же документа определяются параметры и пропускная способность самого водослива. При этом для определения фактической пропускной способности водомера строится график зависимости $q = (h)$, где q – расход воды, h – напор воды над водосливом.

Разработанное сооружение приведено на рис. 3.38.

Водомерное сооружение содержит прямолинейный в плане подводный канал 1, перепад 2, колодец-гаситель 3, отводящий канал 4, стационарный водослив трапецеидального сечения 5, съемный щит 6, береговой ковш 7 с уровнемерной рейкой 8, щит 6 вместе с гранями водослива 5 образует новый водослив 9 трапецеидального сечения, которым и измеряется расход воды. Высота порога первого водослива 100-200мм, нового – 300-400мм. При измерении ноль рейки устанавливается на уровне порога нового водослива 9.

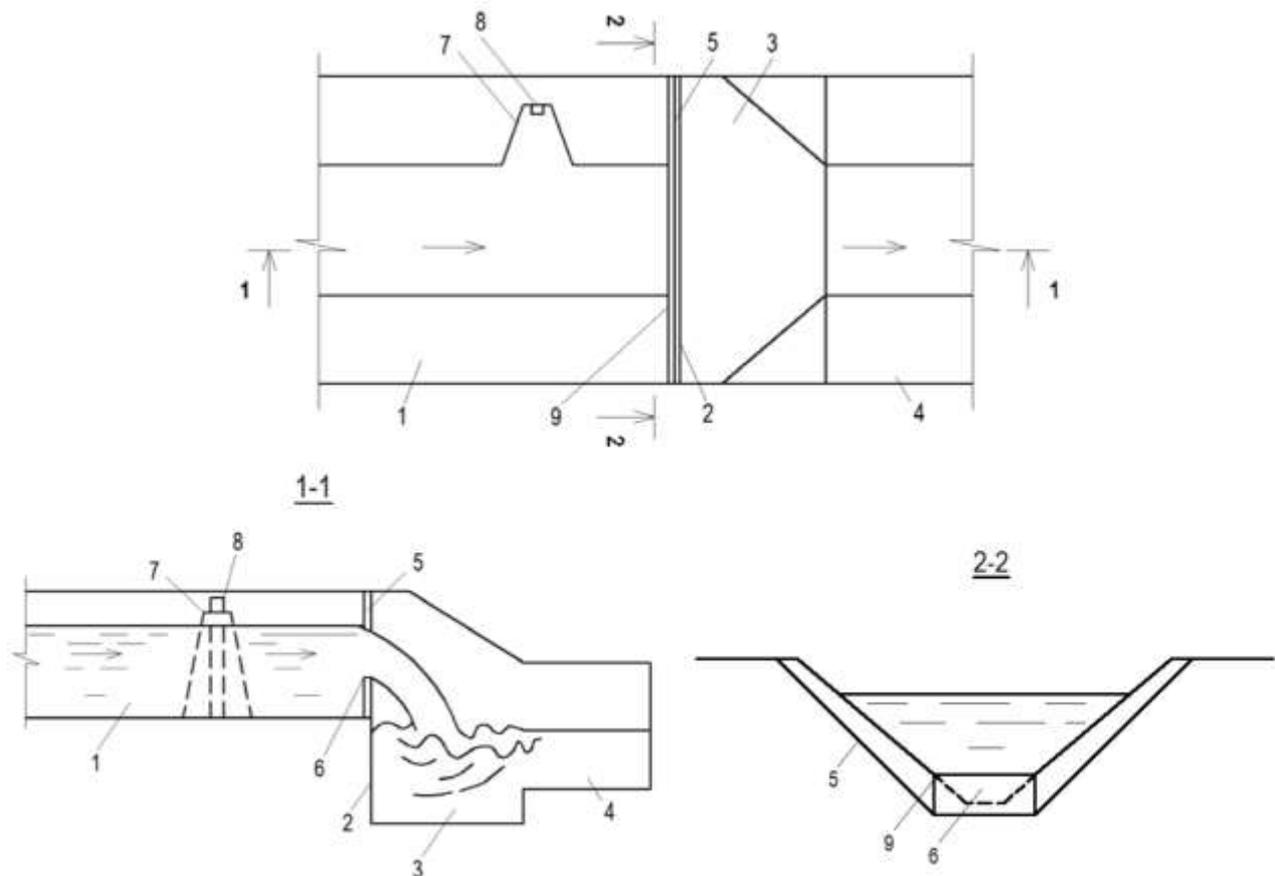


Рис. 3.38. Водомерное сооружение типа «Водосливы с тонкой стенкой» на уступе перепада.

Водомерное сооружение работает следующим образом. При подаче воды на сооружение, в верхнем бьефе происходит накопление воды, которая, по мере увеличения ее глубины, начинает сбрасываться в нижний бьеф через водослив 9. С момента, когда подаваемая на сооружение вода полностью начинает сбрасываться в нижний бьеф через водослив 9, приступают к измерению расходов воды.

Для этого по уровневой рейке 8 измеряется напор воды над водосливом 9 и по его величине по графику $q = (h)$ определяют расход воды. Благодаря перепаду 2, водослив 9 будет работать только при свободном режиме истечения, что благоприятно отразится на метрологическом показателе водомера. По мере заиливания наносами верхнего бьефа, эти наносы промываются потоками воды при снятом щите 6. После промывки наносов, щит 6 устанавливается на месте, и приступают к измерению расходов воды заново.

При этом, в соответствии с нормативными документами [14, 43], учет воды осуществляется без индивидуальной градуировки водослива (он стандартизован), что положительно скажется на эксплуатационных показателях водомера.

Эффективность предложенного водомера будет заключаться в улучшении метрологических характеристик и условий эксплуатации сооружения, а также в снижении стоимости его строительства.

Следует отметить, что приведенное на рис. 3.38 предложение может применяться также и на лотках САНИИРИ (рис. 2.1г), на которых, как это известно, погрешность измерения расходов воды резко возрастает при прохождении по ним расходов воды, близких к минимальным их значениям. В республике такие лотки имеются, свыше 20 сооружений функционируют только в Кадамжайском районе Баткенской области.

Чтобы повысить точность измеряемых расходов воды при уменьшенных ее глубинах на лотках САНИИРИ необходимо:

- применять съемный водослив прямоугольного сечения с наименьшим боковым сжатием или без него;
- установить этот водослив на уступе перепада, заблаговременно предусмотрев пазы в стенках лотка.

В принципе этим водосливом можно измерять расходы воды в широких пределах их изменения, осуществив промывку наносов при снятом самом водослива.

3.3.7. Применительно к щитовым-водомерам

Водораспределители в виде открытых регуляторов имеют простую конструкцию и обеспечивают распределение воды между отводящими каналами, благодаря чему они нашли широкое применение на оросительных системах республики.

Однако, эти регуляторы имеют ряд недостатков, основным из которых является отсутствие возможности учета расхода воды на них. Поэтому на регуляторах осуществляется только распределение воды, а учет воды осуществляется на специальных водомерных сооружениях, установленных на отводящих каналах.

Устройство двух сооружений (регулятора и водомера) на каждом отводящем канале – неэкономично и эксплуатация их сложна.

Поэтому, в условиях каналов со спокойным режимом течения, распределение, и учет воды целесообразно осуществлять на одном сетевом сооружении – на открытом регуляторе, снабженного и элементами регулирования, и элементами учета воды. К таким элементам, по всей вероятности, могут быть отнесены затворы самих водораспределителей или точнее – плоские их щиты.

Чтобы использовать затворы этих водораспределителей в качестве водомеров, их следует реконструировать, причем реконструировать так, чтобы без каких-нибудь сомнений можно было-бы применять их в качестве средств для измерения расходов воды. При этом такие затворы должны продолжать выполнять и свою первоначальную функцию – создавая подпоры, распределять расходы воды между отводами.

К настоящему времени применительно к водораспределительным сооружениям, возводимым на каналах со спокойным режимом течения, разработаны три конструкции затворов-водомеров, которые успешно могут применяться на практике в качестве средств для измерения расходов воды.

Это:

- водомер типа «Затвор-водослив» с нерегулируемой высотой порога водослива (рис. 3.39) [37];

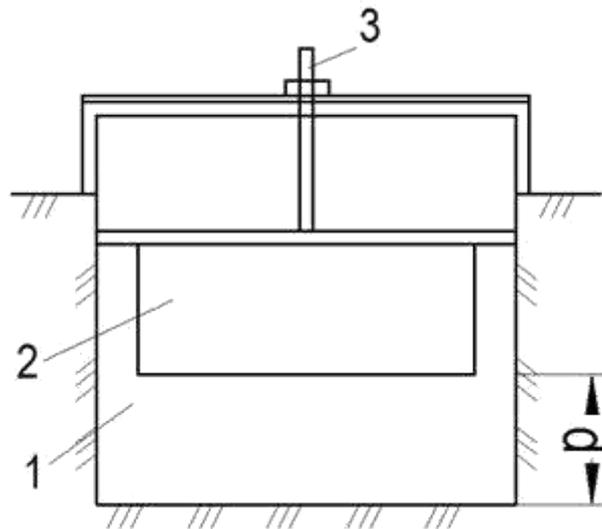


Рис. 3.39. Затвор-водослив с нерегулируемой высотой порога водослива.
1 – плоский щит; 2 – водослив; 3 – подъемник.

- водомер типа «Затвор-водослив» с регулируемой высотой порога водослива (рис. 3.40) [47, 48];
- водомер типа «Прямоугольный насадок» (рис. 3.7) [32].

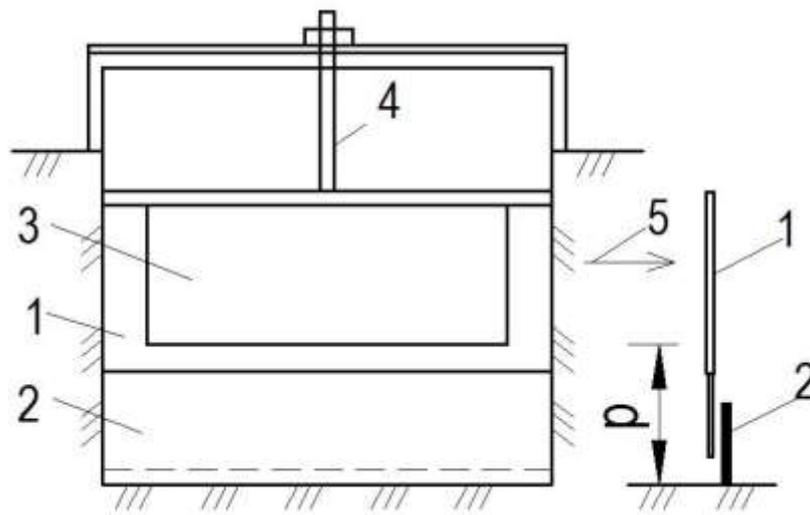


Рис. 3.40. Схема водослива с регулируемой высотой порога. 1 – водослив;
2 – щиток; 3 – водопропускное отверстие.

Эти водомеры в той или иной степени описаны в предыдущих разделах настоящей работы. Поэтому ниже приводятся только примеры их применения на 2-х водораспределительных сооружениях, построенных на каналах со спокойным режимом течения.

Пример, когда на самом водораспределительном сооружении можно осуществить учет водных ресурсов путем использования для этого его обыкновенного плоского щита. На Р-7-13 прямо Атбашинского магистрального канала не работало средство для учета воды. Водомер типа «Фиксированное русло», построенный на Р-7-13 прямо, полностью был разрушен. Поэтому учет воды на этом водоводе осуществлялся «на глаз», что недопустимо в условиях платного водопользования.

Для учета воды, подаваемой в Р-7-13 прямо, было рекомендовано использовать плоский затвор водораспределителя в головной части канала [2], придав ему две функции – водоподпорного сооружения (нижняя часть щита) и водомерного сооружения в виде водослива с прямоугольным поперечным сечением (верхняя часть щита).

При этом учет воды, подаваемой в Р-7-13 прямо, должен был осуществляться при закрытом водопропускном отверстии (в этом случае щит должен был занимать нижнее положение). При необходимости сброса воды (зимнее время) и промыва наносов в нижний бьеф сооружения – щит должен был занять верхнее положение. Регулировка щита – водослива должна была осуществляться ручным (винтовым) подъемником.



Рис. 3.41. Водомерное сооружение на Р-7-13 прямо системы АМК.
Фото А.Ж.Батыковой [2].

Реконструкция плоского щита на щит-водослив была осуществлена работниками Аламудунского РУВХ в мае 2010 года, который приведен на рис. 3.41. Параметры щита: ширина 1300мм и высота 550мм, водослив с тонкой стенкой имеет прямоугольное сечение, с шириной 1200мм, высотой 600мм и высотой порога 550мм.

Водомер с прямоугольным водосливом не подлежит индивидуальной градуировке. Поэтому его пропускная способность определена по приведенной в нормативных документах [14, 43] формуле. Был построен график зависимости $Q = f(h)$ и по нему была заполнена рабочая таблица, данные которой были приняты за основу при подаче воды в Р-7-13. Этот щит-водослив был аттестован и принят в качестве средства для измерения расходов воды.

Он успешно проработал до 2016 года, а в шестнадцатом году был вырван злоумышленниками. В настоящее время установлен плоский щит и учет подаваемой в Р-7-13 воды снова ведется «на глаз».

Другой пример. На распределителе Р-10 ЗБЧК функционирует водораспределитель (рис. 3.42), при помощи которого осуществляется подача воды в Р-10 прямой и Р-10 левый.

Порог водовыпуска в Р-10 левый находится выше дна водовыпуска в Р-10 прямой на 0,5м. Как Р-10 прямой, так и Р-10 левый оснащены водомерами типа «Фиксированное русло». Эксплуатационные показатели этих сооружений приведены в подразделе 2.2.1.4 настоящей работы, из которого следует, что гидропост:



Рис. 3.42. Водораспределительный узел на Р-10 ЗБЧК (вид с верхнего бьефа). а – отвод Р-10 левый; б – отвод Р-10 прямой. 1 – вход в прямоугольный насадок; 2 – щит в голове отвода Р-10 левый; 3 – щит в голове отвода Р-10 прямой; 4 – уровнемерная рейка.

а) на Р-10 прямой полностью заилен (рис. 2.15г), чему способствуют:

- зарастание и заиление отводящего в земляном русле канала, создающие подпоры со стороны нижнего бьефа;
- обилие песка, поступающего из ЗБЧК в Р-10, откуда прямым попадающего в Р-10 прямой;

б) на Р-10 левый проходит практически параллельно горизонталям, имеет обратный уклон; кроме того в конце измерительного участка имеется перегораживающее сооружение.

Все это вместе взятые создавали подпоры, причем переменного характера. Благодаря им, гидропост типа «Фиксированное русло» на Р-10 левый с трапецидальным сечением перестал функционировать. Попытки службы эксплуатации использовать короткий участок водотока с прямоугольным поперечным сечением (сразу за щитом 2) для учета воды также не увенчались успехом, так как [48]:

- измерительный створ был отградуирован только при глубинах воды более 0,5м;
- при глубинах потока менее 0,5м гидропост не был отградуирован по причине малой скорости течения воды (менее 0,2м/с), из-за этого не смогли замерить скорости течения воды гидровертушкой;

- на графике и = () имеет место сильный разброс точек измеренных расходов воды.

Иначе говоря, при такой ситуации подача воды в Р-10 левый осуществлялась с большой погрешностью.

Для улучшения учета воды на Р-10 левый было предложено реконструировать его щит на водомер типа «Прямоугольный насадок» с верхним закругленным входом, с радиусом 0,15м. При реконструкции сам щит был приварен к раме, из-за этого регулирование подачи воды в два отвода осуществлялась щитом 3 в голове Р-10 прямой.

Замеры расходов воды на водомере типа «Прямоугольный насадок» на Р-10 левый проводились по методу «скорость-площадь», при этом при градуировке сооружения применялась микровертушка типа ГМЦМ, а сами скорости измерялись в створе выхода из напорного водовода.

Расход воды определялся по формуле (3.1), а коэффициент расхода μ - по формуле (3.4).

Параметры водопропускного отверстия: длина $l=1,2$ м; высота $a=0,08$ м и площадь $w=la=1,2*0,08=0,096$ м².

Результаты градуировки сооружения приведены на рис. 3.43а – в виде графика зависимости $Q=f(Z)$ и на рис. 3.43б – в виде графика $\mu=f(Z)$.

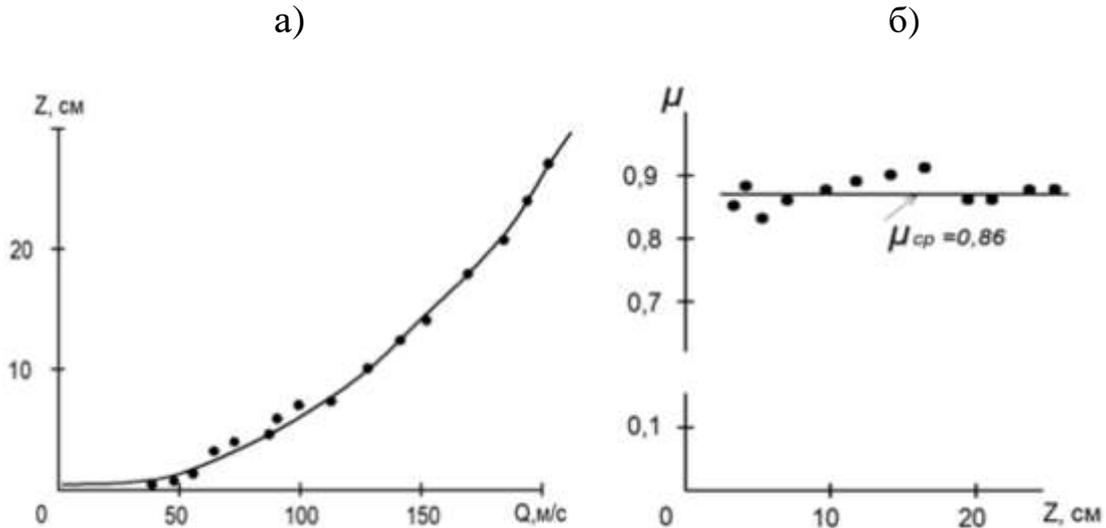


Рис. 3.43. Графики зависимостей $Q=f(Z)$ (а) и $\mu=f(Z)$ (б) водомера типа «Прямоугольный насадок» на Р-10 левый.

Данные этих графиков свидетельствуют о том, что:

- имеется строгая связь между Q и Z ;
- на этом сооружении можно измерить расходы даже при $Q < 50$ л/с;
- коэффициент расхода в основном остается постоянным с изменением напора Z и среднее его значение составляет расхода 0,86.

На основании данных графика на рис. 3.43а составлена рабочая таблица, которой пользуются при подаче воды водопользователям. Таким образом, превратив плоский щит на Р-10 левый в прямоугольный насадок был решен вопрос с учетом воды в этом отводе. При этом затраты на реконструкцию щита не превышала 2-3тыс.сом, отпала необходимость в самом дорогостоящем гидростоме типа «Фиксированное русло» и упростилась регулирование водоподачи между отводами на рассмотренном сооружении.

Измерение расходов воды в Р-10 прямой может быть осуществлено, на наш взгляд, путем реконструкции самого плоского затвора 3 на Р-10 прямой. В этом случае данный затвор должен быть заменен на водослив с регулируемой высотой порога по схеме, приведенной на рис. 3.40. В верхней части затвора выполняется водослив прямоугольного поперечного сечения, за затвором размещается щит, который и позволит регулировать высоту порога водослива.

При замене затвора 3 на водослив с регулируемой высотой порога отпадет необходимость в гидропосте типа «Фиксированное русло», так как учет воды, подаваемой в Р-10 прямой, будет осуществляться именно этим водосливом.

Промыв наносов из верхнего бьефа при такой реконструкции может осуществляться периодически – путем поднятие щита вместе затвором с водосливом.

Применение водораспределительного сооружения в качестве и средства для учета воды представляет важное практическое значение, так как:

- повышается точность измеряемых расходов воды путем применения «Водослива с тонкой стенкой» и «Прямоугольного насадка»;
- резко снижается стоимость строительства водомерных сооружений, так как вместо дорогостоящих гидропостов типа «Фиксированное русло» применяются дешевые средства – «Прямоугольные насадки» и «Водосливы с тонкой стенкой»;
- упрощается эксплуатация сооружения, так как и регулирование, и учет воды осуществляются на одном и том же водном объекте.

3.3.8. Применительно к водомерам, размещаемым в конце трубчатых водовыпусков

Как это вытекает из раздела 2, на оросительных системах республики широкое распространение получили так называемые «трубчатые водовыпуски», подающие воду как из магистральных, так и из межхозяйственных каналов сразу же во внутривладельческие оросители. При этом для учета воды в этих внутривладельческих каналах в головной их частях устраиваются водомеры типов «Фиксированное русло» (рис. 3.44) и «Водослив с тонкой стенкой» (рис. 2.18). Отводящие от них оросители проходят, в основном, в земляном русле и поперек горизонталей, при этом такие картины наблюдаются как в предгорной, так и равнинной зонах.

Параметры построенных сооружений, как это видно из приведенных в разделе 2 фотографий, характеризуются приблизительно следующим образом: измерительные участки весьма короткие, оросители имеют малые размеры, уровнемерные колодцы отсутствуют, вместо них

используются ковши. Практически все водомерные сооружения построены без учета предъявляемых к ним требований.

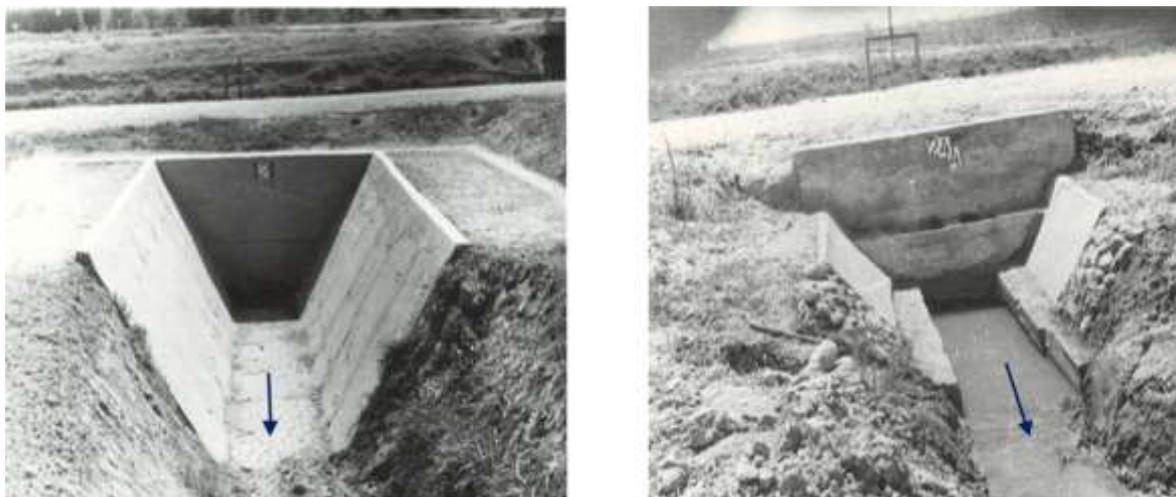


Рис. 3.44. Трубчатые водовыпуски из ЗБЧК. Отводящие каналы в земляном русле. (Фото П.И.Андреева).

Благодаря этому и дополнительно тому, что отводящие в земляном русле каналы усиленно заиливаются наносами и зарастают растительностью и тем самым образуют подпоры переменного режимов истечения, построенные в головной части этих водотоков водомеры перестают использоваться в качестве средств для измерения расходов воды.

В качестве дополнения материалов, приведенных в разделе 2, на рис. 3.44 приводятся фотографии двух сооружений, на которых учет вытекающей из трубчатых водовыпусков воды вообще не проводится.

В качестве примера можно остановиться и на водомере, приведенного на рис. 3.45а. Этот водомер построен на распределителе Р-24-2 системы ЗБЧК, $b=0,7\text{м}$; $m=1$; в техническом паспорте указывается, что «сооружение не соответствует нормативным требованиям». Приведенный в этом документе график зависимости $Q=f(H)$ показан на рис. 3.45б, из которого следует сильный разброс точек измеренных расходов воды и отсутствие какой-нибудь связи между Q и H . В техническом паспорте отмечается также, что отводящий канал в земляном русле «сильно заилен» и водомер работает «на подпоре». Данный водомер типа «Фиксированное русло» не должен работать в подпорном режиме, он, в соответствии с требованиями нормативных документов [13, 16], должен работать только при равномерном (свободном) режиме течения воды.

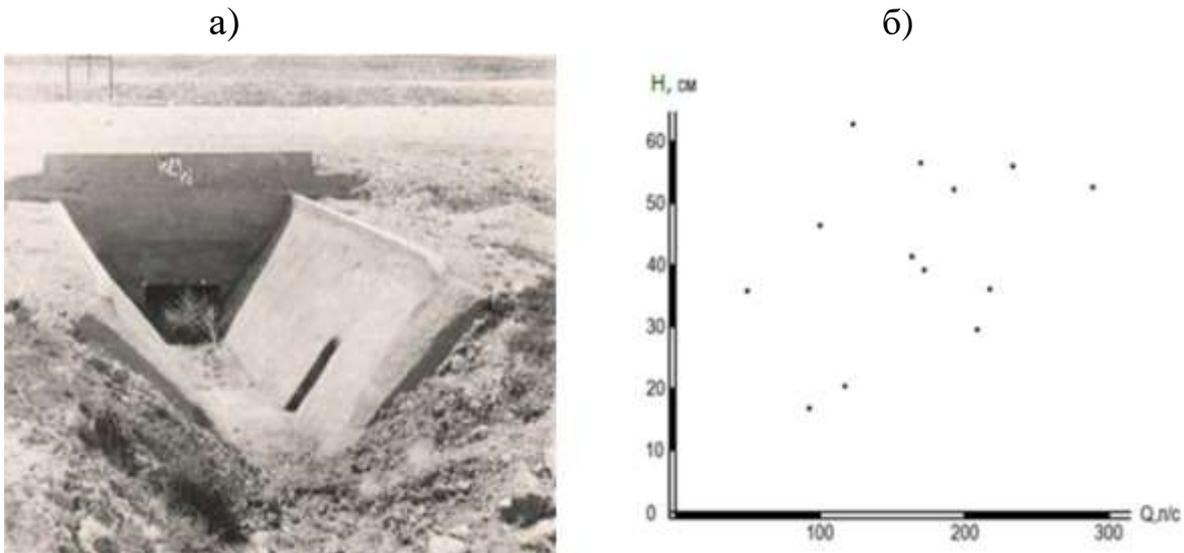


Рис. 3.45. Водомер типа «Фиксированное русло» на Р-24-2 системы ЗБЧК (а) и график пропускной его способности $Q=f(H)$ (б).

Разброс точек на рис. 3.45б указывает на весьма плохую работу рассматриваемого водомера, вследствие этого учет воды осуществляется «на глаз», что недопустимо в условиях платного водопользования.

Имеется ли выход из этого затруднительного положения? Ответ на этот вопрос должен быть только положительным. С нашей точки зрения, учет воды при выходе ее из трубчатых водовыпусков может осуществляться:

- в предгорной зоне, когда трассы каналов проходят поперек горизонталей – при помощи водомеров типа «Фиксированное русло» и редко – водомеров типа «Водосливы с тонкой стенкой», выполненные с регулируемой высотой порога; при этом сами водосливы могут выполняться съемными, чем будет осуществляться промыв наносов из верхнего бьефа сооружения в нижний;

- в равнинной зоне, когда трассы каналов проходят поперек горизонталей – при помощи водомеров типа «Прямоугольный насадок».

Ниже приводятся еще два примера по измерению расходов воды при выходе ее из трубчатых водовыпусков.

На Р-22 (правый восток) ЮБЧК построен гидропост типа «Фиксированное русло» с трассой, проходящей поперек горизонталей в предгорной зоне (рис. 3.46а). Построен он из 2-х секций лотков параболического сечения - Лр-80, пропускная способность водомера – $0,02-0,38\text{м}^3/\text{с}$.

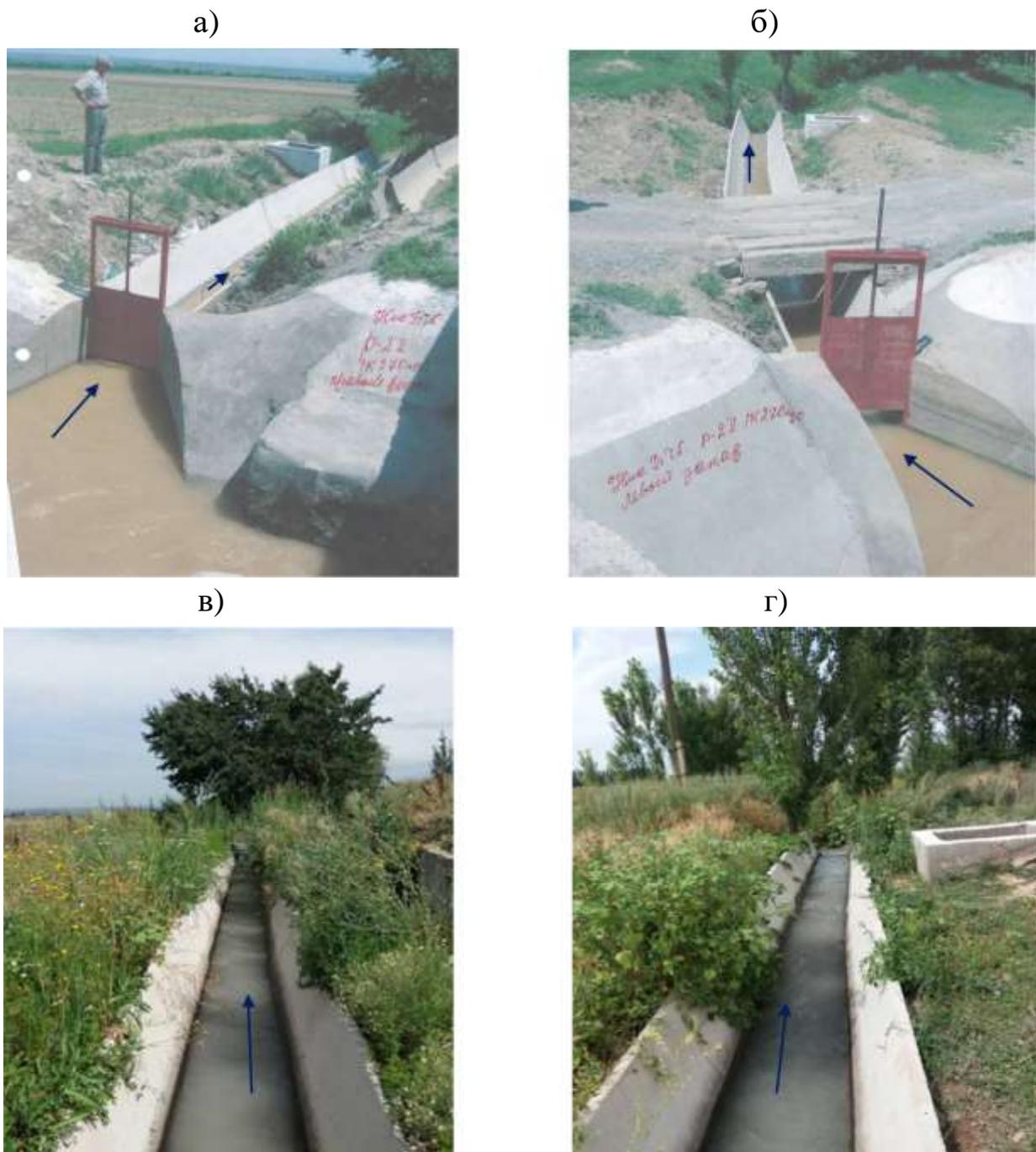


Рис. 3.46. ЮБЧК. Р-22 правый восток (а, в) и левый запад (б, г). Виды с верхнего бьефа.

Опыт эксплуатации данного водомера свидетельствует, что режим течения воды в нем – равномерный, им осуществляется учет воды во всех диапазонах измерения ее расходов.

Лотковые каналы параболического сечения удачно применены для учета воды и на трубчатых водовыпусках, построенных на распределителях Р-22 (левый запад) ЮБЧК (рис. 3.46б), Р-20-2 (рис. 3.14) ЗБЧК и других.

Изложенные примеры приведены применительно к сооружениям в предгорной зоне, примененным для измерения расходов воды при выходе ее из трубчатых водовыпусков. Этот тип водомера может быть непригодным к применению на водотоках в равнинной зоне, когда их трассы проходят перпендикулярно к горизонталям. Ибо на таких водомерах, практически сразу же после их ввода в эксплуатацию, появятся подпоры, причем переменного характера, чем осложниться учет воды. Причина – заиление и зарастание отводящих в земляном русле каналов.

В равнинной зоне учет воды при выходе ее из трубчатых водовыпусков лучше всего осуществить водомером типа «Прямоугольный насадок», который даже при подпорно-переменных режимах истечения обеспечит нормальную его градуировку известным методом «скорость-площадь». Для подтверждения изложенного можно привести следующий пример.



Рис. 3.47. Водомерные сооружения типов «Конусный насадок» (1), «Фиксированное русло» (2) и «Прямоугольный насадок» (3).

На распределителе Р-3 ЗБЧК был построен водомер 1 типа «Конусный насадок» (рис. 3.47а), который практически с момента его строительства не использовался в качестве средства для измерения

расходов воды. Причиной тому явилось то, что его нельзя было отградуировать. При такой ситуации служба эксплуатации вынуждена была предусмотреть временный гидропост 2 типа «Фиксированное русло» (рис. 3.47а), которым предварительно велся учет воды. Но этот временный гидропост функционировал при подпорном режиме истечения. Такая же ситуация наблюдалась и на Р-2-8 ЗБЧК. Поэтому в целях повышения точности учета воды на последнем распределителе служба эксплуатации заменила КНСБ на «Прямоугольный насадок» (рис. 3.47б), который в настоящее время проходит испытание. При этом в задачи испытания входят определение оптимальных параметров напорного водовода и градуировка самого сооружения.

Предварительное испытание данного сооружения указало на возможность его применения в качестве средства для измерения расходов воды.

Следует напомнить то, что водомер типа «Прямоугольный насадок» построен всего на девяти распределителях ВБЧК и ЗБЧК для учета воды при выходе ее из трубчатых водовыпусков (табл. 3.6), отзывы на эти сооружения – положительные.

Выводы

Опираясь на результатов исследований, проведенных в натуральных условиях на действующих сооружениях:

- разработаны уточненные требования к вновь разрабатываемым водомерам;
- осуществлен выбор типов водомеров для совершенствования их компоновок и конструкций.

Показано, что:

- применительно к участковым и временным оросителям могут применяться как стационарные, так и переносные водомеры типа «Водосливы с тонкой стенкой»;
- на бетонированных каналах и лотках параболического сечения успешно могут применяться водомеры типа «Фиксированное русло», при этом их применение не ограничивается режимами течения воды в самих водотоках. На бетонированных каналах могут применяться и «Водосливы с тонкой стенкой»;

- соединение водотоков с успокоительными колодцами должно осуществляться: при $\leq 1,0\text{м/с}$ – при помощи трубки и при $> 1,0\text{м/с}$ – при помощи щели;

- водомеры типов «Фиксированное русло» и «Водосливы с тонкой стенкой» могут применяться на каналах с земляным руслом только в случаях, если их трассы проложены поперек горизонталям. В случаях прохождения их вдоль горизонталей – целесообразно воздерживаться от применения указанных водомеров в качестве средства для учета воды, так как в результате заиления и зарастания отводящих в земляном русле каналов они быстро выходят из строя.

Для учета воды в каналах с земляным руслом разработаны усовершенствованные и новые конструкции водомеров, к числу которых относятся: съемные водосливы с тонкой стенкой; водосливы с регулируемой высотой порога; прямоугольные насадки; водосливы-прямоугольные насадки и щитовые водомеры.

Изучение работоспособности разработанных водомеров проводилось в натуральных условиях – на действующих сооружениях, построенных как в качестве экспериментальных, так и в качестве внедренных.

Результаты проведенных исследований заключаются в следующем:

- наравне со своей функцией, съемные водосливы и водосливы с регулируемой высотой порога легко обеспечивают промыв наносов из верхнего бьефа в нижний;

- водомеры типа «Прямоугольный насадок» легко подвергаются к градуировке и обеспечивают учет воды с допустимой погрешностью;

- водомеры типа «Водослив-прямоугольный насадок» обеспечивают измерение расходов воды как при свободном, так и подтопленном режимах истечения;

- щитовые водомеры, снабженные водосливом с тонкой стенкой и прямоугольным насадком, являются весьма перспективными, так как они экономичны, удобны в эксплуатации и обеспечивают учет воды с высокой точностью;

- данные теоретического расчета пропускной способности водомера типа «Прямоугольный насадок» идентичны с результатами измеренных расходов воды на построенных сооружениях, на которые, как правила, ориентируются при подаче воды водопотребителям;

- отложение наносов перед отверстием разработанных сооружений не наблюдается, они легко промываются в нижний бьеф самим потоком.

4. Рекомендации по компоновке, конструированию и гидравлическому расчету водомерных сооружений на внутрихозяйственных каналах

Как это следует из раздела 3 работы, в условиях внутрихозяйственных оросительных каналов республики могут найти применение следующие типы водомерных сооружений:

- «Фиксированное русло»;
- «Водосливы с тонкой стенкой»;
- «Съемные водосливы с тонкой стенкой»;
- «Водосливы с регулируемой высотой порога»;
- «Прямоугольный насадок»;
- «Водослив-прямоугольный насадок»;
- «Прямоугольный насадок-водослив» с регулируемой высотой порога;
- «Щитовые водомеры».

Водомеры типа «Фиксированное русло» могут широко применяться на бетонированных каналах с прямоугольным и трапецеидальным поперечными сечениями, а также на лотках параболического сечения.

На этих каналах выбираются прямолинейные измерительные участки, последние оборудуются уровнемерными колодцами, которые соединяются при скоростях $< 1,0$ м/с с каналами при помощи соединительных труб и при $> 1,0$ м/с – при помощи щелей, шириной

5 и более сантиметров.

Водомеры типа «Фиксированное русло» могут быть приняты в качестве рабочих средств для учета воды только в случае, если на них наблюдается равномерный режим течения воды. Как показывают опыты эксплуатации действующих сооружений, такой режим устанавливается в случаях, когда сами гидропосты строятся в соответствии требованиями нормативных документов [13, 16] – для каналов прямоугольного и трапецеидального поперечных сечений и [15, 20] – для параболического сечения.

Гидропосты типа «Фиксированное русло», построенные на оросителях с облицовкой как в предгорной, так и равнинной зонах будут

работать нормально, одновременно обеспечивая допустимую погрешность измерения расходов воды.

Что же касается водотоков с земляным руслом, то, как это вытекает из разделов 1, 2 и 3 этой работы, водомеры типа «Фиксированное русло» могут быть применены только там, где сами каналы построены в предгорной зоне и их трассы проходят перпендикулярно к горизонталям. Только в этом случае гидропосты могут обеспечить равномерный режим течения воды, без подпоров со стороны нижнего бьефа сооружений. Такие благоприятные условия наблюдаются как на транзитной части оросителей, так и в головной их части. При этом сами гидропосты должны быть построены по рекомендациям нормативных документов [13, 16] и для каналов трапецеидального сечения – по проекту повторного применения [10].

Не рекомендуется строить гидропосты типа «Фиксированное русло» на каналах с земляным руслом, трассы которых проходят вдоль горизонталей в предгорной зоне и вдоль и поперек горизонталей в равнинной зоне, так как из-за интенсивного заиления наносами и зарастания растительностью (прежде всего камышом) отводящих каналов, эти сооружения быстро (в течение 1,5-2 лет) выходят из строя. При этом очистка отводящих в земляном русле каналов не дает желаемого эффекта.

Водомеры типа «Водосливы с тонкой стенкой», наравне с сооружениями типа «Фиксированное русло», нашли широкое распространение в республике. Однако, как показал опыт эксплуатации многих из – них, из действующих гидропостов – большинство из них оказались не работоспособными. Поэтому над этими водомерами проводились работы по совершенствованию их компоновок и конструкций, в результате были предложены:

- водосливы выполнять съемными, чем обеспечивается промыв наносов из верхнего бьефа в нижний самым сбрасываемым потоком воды;

- водосливы выполнять с регулируемым по высоте их порогом, чем, с одной стороны, облегчается определение оптимальной высоты порога сооружений и, с другой, поднятием порогов водосливов можно избежать подтопления их со стороны нижнего бьефа, обеспечивая тем самым свободный режим истечения воды.

Такие улучшения конструкций водомеров типа «Водосливы с тонкой стенкой» позволили несколько расширить пределы их применимости в условиях внутрихозяйственных оросительных каналов.

Усовершенствованные водосливы могут применяться не только на каналах с земляным руслом, но и на каналах с облицовкой, так как на них будут обеспечены:

- применение водосливов с прямоугольным поперечным сечением, ибо они имеют повышенную пропускную способность, менее металлоемкие и легче изготавливаются.

- промыв наносов самим потоком;

- установление оптимальной высоты порогов водосливов;

- определение пропускной способности сооружений не путем их градуировки, а применением расчетных формул.

Все же усовершенствованные конструкции водомеров типа «Водосливы с тонкой стенкой», как это вытекает из третьего раздела этой книги, может найти широкое применение:

- при строительстве комбинированных водомеров, с включением в их состав усовершенствованной конструкции водосливов;

- при использовании щитов водораспределителей не только как средства для регулирования водоподдачи, но и как средства для учета воды.

Изготовление самих водосливов и размещение их на сооружениях должны осуществляться в соответствии с рекомендациями нормативных документов [14, 43] и проекта повторного применения [40].

Разработанные водомеры типов «Прямоугольный насадок» и «Водослив-насадок» отвечают основным требованиям, предъявляемым к водомерным сооружениям. Поэтому, при правильном их проектировании, строительстве и эксплуатации, они могут найти широкое применение на внутрихозяйственных оросительных каналах республики.

Указанные водомеры могут быть возведены как на каналах с земляным руслом, так и, при необходимости, на облицованных водотоках с трапецеидальным и прямоугольным поперечными сечениями.

Режимы течения воды в верхнем бьефе сооружений должны быть

спокойными, с числами Фруда =

$$\frac{v^2}{gA} \leq 0,25, \text{ что способствует}$$

образованию в напорном водотоке параллельноструйного течения воды.

Сооружения должны размещаться на прямолинейном в плане участке канала, при этом длина измерительного участка может быть принята как $= 3$, где b - ширина канала по верху. Измерительный створ может быть размещен на расстоянии $2b$ от начала измерительного участка. Дно измерительного участка выполняется прямолинейным и горизонтальным, чем создается благоприятное условие для образования на водомере прямолинейного и параллельноструйного течения воды.

Водомеры рационально изготавливать из металлоконструкций, но в его отсутствии – можно возводить, как показывает опыт, и из бетона, хотя в этом случае несколько осложняется регулирование параметрами напорного водовода.

При строительстве диафрагму из бетона, ее высоту следует назначать на $0,15-0,20$ м ниже строительной высоты самого канала. Благодаря этим (в случае переполнения верхнего бьефа водой из-за забивки водопропускного отверстия сооружения всевозможными плавниками) будет обеспечена целостность самого сооружения.

Диафрагма может быть возведена толщиной $0,15-0,20$ м. Водопропускной водовод должен быть прямоугольным и должен работать в напорном режиме. В таких случаях течение воды в водоводе будет параллельноструйным, благодаря чему сооружение будет отградуировано. Созданию прямоугольного поперечного сечения в водоводе трапецеидального сечения способствуют низкие затопляемые стенки, возводимые по обеим его бокам.

Длина этих боковых стенок должна быть длиннее на $0,20-0,30$ м, чем ширина горизонтальной полки, как в металле, так и в бетоне. Этим обеспечивается сохранение параллельноструйного течения воды при выходе ее из водопропускного отверстия напорного водовода. Ширина напорного водовода может быть принята в пределах $0,4-0,5$ м. Длина водопропускного отверстия может назначаться как $\leq k$, где k - ширина канала по дну. Высота водопропускного отверстия a - принимается из расчета пропуска максимального расхода воды при максимальных напорах h и H . Однако, ее величина регулируется подвижным щитом (крышкой), чем создается напорное течение воды в водоводе при прохождении по нему минимальных расходов воды.

Теоретическая пропускная способность водомеров типа «Прямоугольный насадок» определяются по формуле (3.1) при скоростях, рассчитанных по формулам (3.2 и 3.3). Полученные результаты уточняются по мере градуировки сооружений.

Изготовление и возведение прямоугольного водослива, входящего в состав водомеров типа «Водослив-прямоугольный насадок» осуществляется в соответствии с рекомендациями, приведенными в нормативных документах [14, 43]. В соответствии с этими документами, водомеры с водосливами – не градуируются, их пропускная способность определяется гидравлическим расчетом.

По вопросу места размещения водомеров на сети следует отметить, что, как показывает практика, они размещаются по разному:

- в головной части водотоков;
- в удалении от головы на расстоянии 30 и 50м, порою до 100-200м.

При этом все водомеры размещаются только на транзитной части водотоков, подводящие и отводящие участки которых – однотипны.

В гидрометрии есть термин «Щитовые водомеры», но на этого типа водомеров мало кто обращает внимание, хотя, как показывает предварительное его изучение, он обладает рядом преимуществ перед теми, которые строятся на транзитной и головной частей самих каналов.

В качестве подтверждения изложенного, можно сделать ссылку на пример, приведенный в подразделе 3.3.7.

Приведенные там примеры указывают на то, что некоторые типы водомеров и, в частности, устройства типов «Водослив с тонкой стенкой», «Прямоугольный насадок» и «Водослив-прямоугольный насадок» могут быть включены в состав самих водораспределительных сооружений. В этом случае щиты этих сооружений используются и в качестве водоподпорного, и в качестве водомерного устройств (таблица 4.1). Изложенное правильно отражается термином «Щитовые водомеры», поэтому такие сооружения должны именоваться как водомеры типа «Щитовые водомеры».

Исходя из этого положительного опыта можно будет заключить, что в условиях внутрихозяйственных каналов с земляным руслом водомеры могут размещаться как на транзитной части самих водотоков, так и на самих водораспределительных сооружениях. При этом при размещении

Таблица 4.1

Рекомендации по оборудованию водораспределительных сооружений средствами регулирования и учета воды

163

№№ п/п	Оборудование водораспределителей средствами регулирования и учета воды		Способы определения расходов воды в старшем и отводящем каналах
	Щиты на старшем канале	Щиты на отводе	
1	Щит-водослив	Обычный щит	При закрытом щите 2 на отводе через щит-водослив 1 на старшем канале измеряется расход воды Q_1 в подводящем канале, затем открывается щит 2 и вода подается в отвод расходом Q_3 . Его величина определяется как разность $Q_3 = Q_1 - Q_2$, где Q_2 – оставшийся расход воды в старшем канале, измеряемый также по водосливу.
2	Щит-водослив с регулируемой высотой порога	-//-	-//-
3	Обычный щит	Щит-водослив	Измеряется только расход воды Q_3 в отводе
4	-//-	Щит-водослив с регулируемой высотой порога	-//-
5	Щит-водослив с регулируемой высотой порога	Щит-водослив с регулируемой высотой порога	Измеряется расходы воды как в старшем Q_2 , так и отводящем Q_3 каналах, а расход $Q_1 = Q_2 + Q_3$.
6	Щит-прямоугольный насадок	Обычный щит	При закрытом щите 2 на отводе по щиту – прямоугольному насадку 1 измеряется расход воды Q_1 , затем открывается щит 2 и вода подается в отвод расходом Q_3 . Затем по щиту-прямоугольному насадку 1 измеряется расход Q_2 и по разнице $Q_1 - Q_2$ определяется расход Q_3 .
7	Обычный щит	Щит-прямоугольный насадок	Измеряется расход воды Q_3 , подаваемый в отвод.
8	Щит-прямоугольный насадок	Щит-прямоугольный насадок	Измеряются расходы воды как в старшем канале Q_2 , так и в отводе Q_3 , а $Q_1 = Q_2 + Q_3$.
9	Обычный щит	Водослив-прямоугольный насадок	Измеряется расход воды Q_3 , подаваемый в отвод.
10	Водослив-прямоугольный насадок	Обычный щит	Определяется расход воды в отводе Q_3 по разнице замеренных расходов воды в старшем канале как $Q_3 = Q_1 - Q_2$.
11	Водослив-прямоугольный насадок	Водослив-прямоугольный насадок	Измеряются расходы воды как в старшем канале Q_2 , так и в отводе Q_3 , а $Q_1 = Q_2 + Q_3$.
12	Прямоугольный насадок-водослив с регулируемой высотой порога	Обычный щит	Расход воды в отводе Q_1 определяется по разнице замеренных расходов воды в старшем канале как $Q_3 = Q_1 - Q_2$.
13	Насадок-водослив с регулируемой высотой	Водослив-прямоугольный насадок	Измеряются расходы воды как в старшем канале Q_2 , так и в отводе Q_3 , а $Q_1 = Q_2 + Q_3$.

водомеров на сети следует руководствоваться со следующими уточнениями:

- при трубчатых водовыпусках и подаче воды непосредственно во внутрихозяйственные каналы – водомеры должны размещаться в головной части самих водотоков, то есть сразу за трубчатыми водоводами;

- при открытых водовыпусках и подаче воды во внутрихозяйственные каналы через водораспределительные сооружения - водомеры могут быть размещены как на самих вододелителях, так и в головной части отводящих водотоков (в этом случае водомеры должны примыкать к водораспределительным сооружениям);

- при размещении водомеров как в головной части водотоков, так и в составе с водораспределительными сооружениями, особое внимание должно быть обращено на создание условий для нормальной работы водомеров, придав при этом особое внимание на установление оптимальных типов водомеров и их параметров;

- в головной части внутрихозяйственных каналов целесообразно размещать водомеры типов «Водослив-прямоугольный насадок» и «Прямоугольный насадок», а на водораспределителях – водомеры типов «Водослив с тонкой стенкой», «Прямоугольный насадок» и «Водослив-прямоугольный насадок» (на все эти водомеры имеются руководящие документы, рекомендации которых могут быть взяты за основу при проектировании, строительстве и эксплуатации рекомендуемых к применению сооружений).

Примечание: при оборудовании водораспределительных сооружений средствами регулирования и учета воды режим потока в подводящем канале должен быть спокойным.

Касаясь экономических показателей разработанных сооружений, можно отметить следующее.

Создание экспериментальных образцов и внедрение водомерных сооружений типов «Прямоугольный насадок» и «Водослив-прямоугольный насадок» осуществлялись не строительством новых водных объектов, а реконструкцией существующих – путем замены построенных, но неработающих водомеров на усовершенствованные и новые конструкции водомерных устройств. Так, например:

- на распределителях Р-4-2, Р-4-3 и Т-10 системы ВБЧК отсутствовали водомерные сооружения, но в головной части короткие их участки были облицованы и имели прямоугольное сечение. На этих готовых участках были размещены водомеры типа «Водослив-прямоугольный насадок»;

- КНСБ на распределителях Р-1-1, Р-1-8, Р-2-6, Р-2-7 и Р-2-8 были заменены на водомеры типа «Прямоугольный насадок»;

- водосливы Иванова на распределителях Р-21, Р-23 и Р-25 системы ВБЧК были заменены на прямоугольные насадки;

- водослив на распределителе Р-8 ЗБЧК был заменен на водомер «Водослив-прямоугольный насадок»;

- «Фиксированное русло» на распределителе Р-20-3 системы ЗБЧК заменен на водомер типа «Прямоугольный насадок».

При этом замена существующих и неработающих сооружений на вновь разработанные водомеры осуществлялась минимальными затратами (3-5тыс.сом на один водный объект), тогда как затраты на строительство новых объектов составили бы, в зависимости от пропускных их способностей, порядка 30-50тыс.сом.

Наравне с изложенными, экономическая эффективность внедренных сооружений заключается и в следующем:

- вышедшие из строя 10 сооружений возвращены в работу и в настоящее время на них проводятся гидрометрические работы по замерам расходов воды;

- водомеры типа «Прямоугольный насадок» обеспечивают измерение расходов воды при подпорном режиме истечения, а водомеры типа «Водослив-прямоугольный насадок» - как при подпорном, так и свободном режимах истечения. При этом все это происходит на одном и том сооружении, так что в будущем вопрос о реконструкции данного водомера не должен возникать;

- водомеры типа «Прямоугольный насадок» подвергаются к градуировке, чем улучшаются метрологические характеристики сооружений;

- устраняется отрицательное влияние наносов на точность водоучета, так как они, вместе с водой, промываются из верхнего бьефа в нижний;

- улучшаются условия эксплуатации самих сооружений;

- имеются и другие преимущества – простота конструкции, возможность изготовления из подручных материалов и др.

Выводы

Результаты исследований, проведенных на построенных сооружениях, позволили уточнить параметры водомеров и на их основе – разработать рекомендации по компоновке и гидравлическому расчету разработанных водомерных сооружений. Эти рекомендации вошли в проект нормативного документа [12], который, после его утверждения, может быть использован при проектировании, строительстве и эксплуатации водомерных сооружений типов «Прямоугольный насадок» и «Водослив-прямоугольный насадок».

Определена экономическая эффективность внедренных сооружений, которая заключается прежде всего в том, что при минимальных затратах была восстановлена работоспособность 13 водомерных сооружений с высокими водомерными качествами. Промыв наносов на этих сооружениях осуществляется непрерывно, сами сооружения градуируются и могут изготавливаться не только из металла, но в чистом виде и из бетона. Экономическая эффективность от внедрения результатов исследований на 13 сооружениях составила около 260тыс.сом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общая протяженность внутрихозяйственных каналов в республике составляет 21938,68тыс.км, в том числе в земляном русле 15908,49тыс.км, в облицовке 2760,52тыс.км и в лотках 3269,67тыс.км. Эти каналы построены в предгорной и равнинной зонах, при этом проложены они как вдоль, так и поперек горизонталей.

Каналы, построенные в земляном русле в равнинной зоне и вдоль горизонталей в предгорной зоне, интенсивно заиливаются наносами (илом, песком) и растительностью (различными травами, камышом), что резко ухудшает их пропускную способность. Каналы с земляным руслом, проложенные поперек горизонталей в предгорной зоне, имеют устойчивое русло (в виду образования естественной отмостки), что благоприятно отразится на размещении на таких водотоках водомерных сооружений.

Отечественными и зарубежными учеными и инженерами разработаны множество водомеров, к числу которых относятся водомеры типов «Фиксированное русло», «Водосливы с тонкой стенкой», «Конусные насадки», «Лотки» и др. Из этих указанных сооружений на внутрихозяйственной сети республики каналах в той или иной степени получили применение:

- на облицованных водотоках и лотках параболического сечения – водомеры типа «Фиксированное русло», которые работают нормально, обеспечивая учет воды с допустимой погрешностью;

- на водотоках с земляным руслом, проложенных в предгорной зоне поперек горизонталей – водомеры типа «Фиксированное русло», и частично – «Водосливы с тонкой стенкой», работающие с допустимой погрешностью;

- на водотоках с земляным руслом, проложенных вдоль и поперек горизонталей в равнинной зоне и вдоль горизонталей в предгорной зоне:

а) водомеры типа «Фиксированное русло», сразу же выходящие из строя из-за образования подпора в результате заиления и зарастания отводящих в земляном русле каналов, не рекомендуется к применению в качестве средств для учета воды;

б) водомеры типа «Водосливы с тонкой стенкой» могут работать год-два, затем приходится менять их на другие типы водомеров;

в) водомеры типа «КНСБ» - они не подлежат к градуировке и в их составе нет элементов, регулирующих расхода воды. Поэтому в настоящее время построенные такие сооружения заменяются на вновь разработанные водомерные сооружения;

г) водомеры типа «Лотки» не подлежат к градуировке из-за отсутствия на них параллельноструйных течений воды, поэтому они не рекомендуются к применению в качестве средств для измерения расходов воды на внутрихозяйственной сети.

Приняв в качестве основных средств для учета воды во внутрихозяйственных каналах с земляным руслом водомеров типов «Насадки» и «Водосливы с тонкой стенкой», были разработаны требования к их компоновкам и конструкциям, которые легли в основу при разработке новых и усовершенствованных водомерных сооружений. К таким водомерам относятся:

- съемные водосливы с тонкой стенкой;
- водомеры с регулируемой высотой порога водосливов;
- прямоугольные насадки;
- водомеры типа «Водослив-прямоугольный насадок»;
- водомеры типа «Прямоугольный насадок-водослив» с регулируемой высотой порога;
- щитовые водомеры.

Теоретические разработки по определению пропускной способности разработанных сооружений и методика их исследований легли в основу испытания водомеров типов «Прямоугольный насадок» и «Водослив-прямоугольный насадок» на экспериментальных сооружениях, построенных путем реконструкции существующих водомерных сооружений типов «Фиксированное русло», «Конусный насадок», «Водосливы с тонкой стенкой». Проведенными (в натуральных условиях) исследованиями подтверждена работоспособность разработанных сооружений. Кроме того – на основании материалов теоретических и экспериментальных исследований разработаны рекомендации по компоновке и конструированию сооружений и методы их гидравлического расчета.

Определена экономическая эффективность внедренных сооружений, которая заключается прежде всего в том, что при минимальных затратах была восстановлена работоспособность 13 водомерных сооружений с хорошими водомерными качествами. Промыв наносов на этих сооружениях осуществляется непрерывно, сами сооружения градуируются и могут изготавливаться не только из металла, но в чистом виде и из бетона.

Разработанные сооружения могут размещаться как на транзитных участках внутрихозяйственных каналов, так и в головной их части; они могут размещаться и на водораспределительных сооружениях, придав их щитам две функции – водорегулирующего и водомерного устройства.

Щитовые водомеры, снабженные «водосливами с тонкой стенкой» и «Прямоугольным насадком», являются весьма перспективными, что подтверждается экономичностью, простотой эксплуатации и высокими метрологическими показателями.

**Коэффициенты шероховатости русел
каналов и лотков [15]**

№	Состояние поверхностей русел	n
1	Исключительно гладкие поверхности; поверхности, покрытые эмалью или глазурью	0,009
2	Весьма тщательно отстроганные доски, хорошо пригнанные. Лучшая штукатурка из чистого цемента	0,010
3	Лучшая цементная штукатурка. Хорошо отстроганные доски.	0,011
4	Нестроганные доски, хорошо пригнанные. Весьма хорошая бетонировка.	0,012
5	Тесовая кладка в лучших условиях, хорошая кирпичная кладка.	0,013
6	Бетонировка каналов в средних условиях.	0,014
7	Средняя кирпичная кладка, облицовка из тесаного камня в средних условиях.	0,015
8	Хорошая бутовая кладка, старая (расстроенная) кирпичная кладка; сравнительно грубая бетонировка.	0,017
9	Каналы, покрытые толстым, устойчивым илистым слоем; каналы в плотном лессе и в плотном мелком гравии.	0,018
10	Средняя (вполне удовлетворительная) бутовая кладка; булыжная мостовая. Каналы, весьма чисто высеченные в скале.	0,020
11	Каналы в плотной глине. Каналы в лессе, гравии, русла, затянутые сплошной (местами прерываемой) глинистой пленкой. Большие земляные каналы, находящиеся в условиях содержания и ремонта выше средних	0,0225
12	Хорошая сухая кладка. Большие земляные каналы в средних условиях содержания и ремонта и малые – в хороших условиях.	0,025
13	Земляные каналы, большие – в условиях содержания и ремонта ниже средней нормы; малые – в средних условиях	0,0275
14	Земляные каналы в сравнительно плохих условиях (например, местами с водорослями, булыжником или гравием по дну); заметно заросшие травой; с местными обвалами откосов и пр.	0,030
15	Каналы, находящиеся в весьма плохих условиях (с неправильным профилем; заметно засоренные камнями и водорослями и пр).	0,035
16	Каналы в исключительно плохих условиях (значительные промоины и обвалы; заросли камыша; густые корни, крупные камни по руслу и пр).	0,040 и более

**Гидравлические параметры потока в лотковых каналах
параболического сечения (Лр-40; Лр-60 и Лр-80) при R=0,20м**

Н, м	В, м	$\omega, \text{м}^2$	$\chi, \text{м}$	R, м
0,10	0,40	0,027	0,459	0,058
0,11	0,42	0,031	0,487	0,063
0,12	0,44	0,035	0,514	0,068
0,13	0,46	0,040	0,541	0,073
0,14	0,47	0,044	0,568	0,078
0,15	0,49	0,049	0,594	0,083
0,16	0,51	0,054	0,619	0,087
0,17	0,52	0,059	0,645	0,092
0,18	0,54	0,064	0,670	0,096
0,19	0,55	0,070	0,695	0,101
0,20	0,57	0,075	0,719	0,105
0,21	0,58	0,081	0,744	0,109
0,22	0,59	0,087	0,768	0,113
0,23	0,61	0,093	0,792	0,117
0,24	0,62	0,099	0,816	0,122
0,25	0,63	0,105	0,839	0,126
0,26	0,64	0,112	0,863	0,130
0,27	0,66	0,118	0,886	0,133
0,28	0,67	0,125	0,910	0,137
0,29	0,68	0,132	0,933	0,141
0,30	0,69	0,139	0,956	0,145
0,31	0,70	0,146	0,979	0,149
0,32	0,72	0,153	1,002	0,152
0,33	0,73	0,160	1,025	0,156
0,34	0,74	0,167	1,048	0,160
0,35	0,75	0,175	1,071	0,163
0,36	0,76	0,182	1,093	0,167
0,37	0,77	0,190	1,116	0,170
0,38	0,78	0,198	1,138	0,174
0,39	0,79	0,205	1,161	0,177
0,40	0,80	0,213	1,183	0,180
0,41	0,81	0,221	1,205	0,184
0,42	0,82	0,230	1,228	0,187
0,43	0,83	0,238	1,250	0,190
0,44	0,84	0,246	1,272	0,193
0,45	0,85	0,255	1,294	0,197
0,46	0,86	0,263	1,316	0,200
0,47	0,87	0,272	1,338	0,203
0,48	0,88	0,280	1,360	0,206
0,49	0,89	0,289	1,382	0,209
0,50	0,89	0,298	1,404	0,212
0,51	0,90	0,307	1,426	0,215
0,52	0,91	0,316	1,448	0,218
0,53	0,92	0,325	1,470	0,221

Продолжение приложения 2

$H, \text{ м}$	$B, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	$\chi, \text{ м}$	$R, \text{ м}$
0,54	0,93	0,335	1,492	0,224
0,55	0,94	0,344	1,513	0,227
0,56	0,95	0,353	1,535	0,230
0,57	0,95	0,363	1,557	0,233
0,58	0,96	0,372	1,579	0,236
0,59	0,97	0,382	1,600	0,239
0,60	0,98	0,392	1,622	0,242
0,61	0,99	0,402	1,643	0,244
0,62	1,00	0,412	1,665	0,247
0,63	1,00	0,422	1,687	0,250
0,64	1,01	0,432	1,708	0,253
0,65	1,02	0,442	1,730	0,256
0,66	1,03	0,452	1,751	0,258
0,67	1,04	0,462	1,772	0,261
0,68	1,04	0,473	1,794	0,264
0,69	1,05	0,483	1,815	0,266
0,70	1,06	0,494	1,837	0,269

Примечание: при известных H , B , ω , χ и R легко можно определить пропускную способность лотковых каналов параболического сечения по формулам (1.1) и (1.2).

**Гидравлические параметры потока в лотковых каналах
параболического сечения (Лр-100) при R=0,35м**

Н, м	В, м	$\omega, \text{м}^2$	$\chi, \text{м}$	R, м
0,10	0,53	0,035	0,576	0,061
0,11	0,55	0,041	0,609	0,067
0,12	0,58	0,046	0,640	0,072
0,13	0,60	0,052	0,671	0,078
0,14	0,63	0,058	0,702	0,083
0,15	0,65	0,065	0,731	0,089
0,16	0,67	0,071	0,761	0,094
0,17	0,69	0,078	0,789	0,099
0,18	0,71	0,085	0,818	0,104
0,19	0,73	0,092	0,845	0,109
0,20	0,75	0,100	0,873	0,114
0,21	0,77	0,107	0,900	0,119
0,22	0,78	0,115	0,927	0,124
0,23	0,80	0,123	0,954	0,129
0,24	0,82	0,131	0,980	0,134
0,25	0,84	0,139	1,006	0,139
0,26	0,85	0,148	1,032	0,143
0,27	0,87	0,157	1,058	0,148
0,28	0,89	0,165	1,084	0,153
0,29	0,90	0,174	1,109	0,157
0,30	0,92	0,183	1,134	0,162
0,31	0,93	0,193	1,160	0,166
0,32	0,95	0,202	1,184	0,170
0,33	0,96	0,211	1,209	0,175
0,34	0,98	0,221	1,234	0,179
0,35	0,99	0,231	1,258	0,184
0,36	1,00	0,241	1,283	0,188
0,37	1,02	0,251	1,307	0,192
0,38	1,03	0,261	1,331	0,196
0,39	1,04	0,272	1,356	0,200
0,40	1,06	0,282	1,380	0,205
0,41	1,07	0,293	1,404	0,209
0,42	1,08	0,304	1,427	0,213
0,43	1,10	0,315	1,451	0,217
0,44	1,11	0,326	1,475	0,221
0,45	1,12	0,337	1,498	0,225
0,46	1,13	0,348	1,522	0,229
0,47	1,15	0,359	1,545	0,233
0,48	1,16	0,371	1,569	0,236
0,49	1,17	0,383	1,592	0,240
0,50	1,18	0,394	1,615	0,244
0,51	1,19	0,406	1,639	0,248
0,52	1,21	0,418	1,662	0,252
0,53	1,22	0,430	1,685	0,255

Продолжение приложения 3

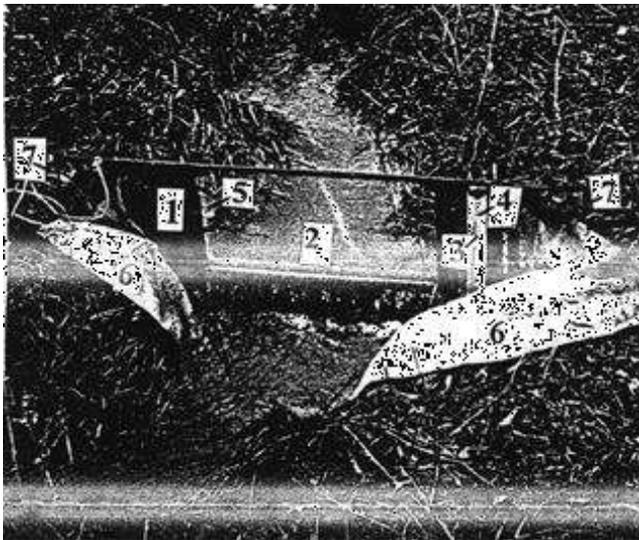
Н, м	В, м	$\omega, \text{м}^2$	$\chi, \text{м}$	R, м
0,54	1,23	0,443	1,708	0,259
0,55	1,24	0,455	1,731	0,263
0,56	1,25	0,467	1,754	0,267
0,57	1,26	0,480	1,777	0,270
0,58	1,27	0,493	1,800	0,274
0,59	1,29	0,506	1,822	0,277
0,60	1,30	0,518	1,845	0,281
0,61	1,31	0,531	1,868	0,285
0,62	1,32	0,545	1,891	0,288
0,63	1,33	0,558	1,913	0,292
0,64	1,34	0,571	1,936	0,295
0,65	1,35	0,585	1,958	0,299
0,66	1,36	0,598	1,981	0,302
0,67	1,37	0,612	2,003	0,305
0,68	1,38	0,626	2,026	0,309
0,69	1,39	0,639	2,048	0,312
0,70	1,40	0,653	2,071	0,316
0,71	1,41	0,667	2,093	0,319
0,72	1,42	0,682	2,115	0,322
0,73	1,43	0,696	2,137	0,326
0,74	1,44	0,710	2,160	0,329
0,75	1,45	0,725	2,182	0,332
0,76	1,46	0,74	2,20	0,34
0,77	1,47	0,75	2,23	0,34
0,78	1,48	0,77	2,25	0,34
0,79	1,49	0,78	2,27	0,34
0,80	1,50	0,80	2,29	0,35
0,81	1,51	0,81	2,31	0,35
0,82	1,52	0,83	2,34	0,35
0,83	1,52	0,84	2,36	0,36
0,84	1,53	0,86	2,38	0,36
0,85	1,54	0,87	2,40	0,36
0,86	1,55	0,89	2,42	0,37
0,87	1,56	0,91	2,45	0,37
0,88	1,57	0,92	2,47	0,37
0,89	1,58	0,94	2,49	0,38
0,90	1,59	0,95	2,51	0,38

Примечание: при известных H , B , ω , χ и R легко можно определить пропускную способность лотковых каналов параболического сечения по формулам (1.1) и (1.2).

Инструкция по эксплуатации переносного водослива Сатаркулова

1. **НАЗНАЧЕНИЕ** – переносной водослив предназначен для измерения расходов воды во временных и участковых оросителях с земляным руслом.

2. **УСТРОЙСТВО** – разработано и изготавливается в соответствии с рекомендациями нормативного документа МИ 2122-90 (Расход жидкости в открытых потоках. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков. Казань 1991) и применяется без индивидуальной градуировки.



Устройство состоит из тонкостенной заслонки 1 с прямоугольным вырезом (водопрпускным отверстием) 2 в верхней части, пьезометра 3, расходной (л/с) шкалы 4, гибких шлейфов 5 и 6 из водонепроницаемой ткани, закрепленных к бокам заслонки при помощи болтовых соединений, отвеса и двух штырей 7.

Расходная шкала 4 закреплена на заслонке со стороны нижнего бьефа, при этом ее ноль соответствует отметке порога водослива.

Назначением гибких шлейфов 5 и 6 является устранение (предупреждение) утечки воды под заслонкой 1 и размыва грунта в нижнем бьефе стекающим с водослива потоком воды.

3. **УСТАНОВКА** – переносной водослив устанавливается на прямолинейном участке оросителя, при этом длина такого участка перед устройством принимается не менее $6B$ (где B – ширина оросителя). Установка водослива осуществляется путем:

- а) врезания (вдавливания) заслонки в дно и берега оросителя;
- б) закрепления заслонки в вертикальном положении штырями в грунт;

в) укладки гибких шлейфов на дно и откосы оросителя (в верхнем и нижнем бьефах) и засыпки их концов грунтом;

г) укладки напорной трубки (длиной 0,3-0,5м) на дно оросителя перед водосливом.

Правильность установки водослива в вертикальной и горизонтальной плоскостях проверяется отвесом. Установка водослива на ороситель осуществляется при отсутствии в нем воды.

4. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ – по уровню воды в пьезометре определяется расход воды (л/с), протекающей через водослив. При определении уровня воды в пьезометре используется метрическая линейка, ноль которой устанавливается на уровне порога водослива. В последнем случае пропускная способность водослива определяется по данным следующей таблицы:

h, см	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	6	10	14	19	24	30	36
10	43	50	57	65	73	82	91	100	110	120
20	131	142	153	165	177	190	203	216	-	-

5. СНЯТИЕ – после выполнения измерений расхода воды водослив вынимается из воды, очищается от грязи (ила, песка), сушится. Шлейфы привязываются к заслонке. Гибкие шланги, отвес, штыри укладываются в мешочек, привязываемый к заслонке. Гибкие шланги, вышедшие из строя, подлежат замене на новые. Шлейфы, вышедшие из строя, ремонтируются или заменяются на новые. При перевозке, установке и снятии переносного водослива должны соблюдаться меры предосторожности для исключения деформации его элементов.

6. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И УСЛОВИЯХ ПЕРЕНОСНОГО ВОДОСЛИВА.

а) ширина – 0,70м;

б) высота – 0,30м;

в) высота порога - 0,10м;

г) диапазон измерения расходов воды - от 6 до 200л/с;

д) режим истечения – свободный (незатопленный);

е) максимальное значение число Фруда потока в оросителе – 0,5;

ж) масса – 4-5кг.

а)



б)



в)



г)



д)



е)



Водомерные сооружения типа «Прямоугольный насадок» на Р-1-1 (а); на Р-1-9 (в); на Р-2-7 (д) – виды с верхнего бьефа; на Р-1-1 (б); на Р-1-9 (г); на Р-2-7 (е) – виды с нижнего бьефа системы ЗБЧК.

Водомерное сооружение типа «Прямоугольный насадок»

Территория Кыргызской Республики покрыта густой сетью внутрихозяйственных оросительных каналов (их протяженность составляет более 22 тыс.км), преобладающее большинство которых (16 тыс.км) построено в земляном русле. При этом трассы таких каналов проходят:

- в равнинной зоне – вдоль и поперек горизонталей;
- в предгорной зоне – в основном вдоль горизонталей.

Как показали исследования [1,2], внутрихозяйственные оросительные каналы в указанных зонах, как правило, быстро заиливаются наносами (илом, песком) и интенсивно зарастают растительностью (камышом, другими травами). Эти факторы, естественно, негативно сказываются на работе не только самих каналов, но и водомерных сооружений, построенных на них. Так, для учета воды на внутрихозяйственных оросительных каналах в Кыргызской Республике строились и продолжают строиться водомеры типов «Фиксированное русло» [3] и «Водосливы с тонкой стенкой» [4]. Но эти сооружения, как это следует из [1,2], в очень короткие сроки (в течение 2-3 лет) их эксплуатации выходят из строя по причине возникновения с нижнего бьефа подпора, причем со временем усиливающегося характера. При этом появлению такого подпора переменного характера способствуют заиливание наносами и зарастание растительностью отводящих от сооружений каналов в земляном русле. Кроме того, заиливаются наносами и сами сооружения, очистка которых от наносов, как показывает практика, не дает желаемого эффекта, так как они снова же заиливаются поступающими к ним наносами.

Для учета воды в таких сложных условиях в середине прошлого столетия в Кыргызской Республике начали строить водомера типа «Конусный насадок» САНИИРИ-Бутырина (сокращенно КНСБ) по конструкции, описанный в [5]. В качестве экспериментальных объектов всего их было построено 10. Однако, в процессе эксплуатации этих сооружений были выявлены следующие их недостатки [1,8]:

- отложение наносов в верхнем бьефе сооружений из-за размещения конусного насадка выше dna подводящего водотока;

- на самом КНСБ отсутствует элемент, регулирующий высоту водопропускного отверстия насадка с тем, чтобы обеспечить напорный режим течения воды в этом водоводе при пропуске по нему не максимальных, а минимальных расходов воды;

- рассматриваемый водомер не подлежит градуировке путем установки ротора гидровертушки на выходе из отверстия насадка, так как из-за конусности последнего, струи потока имеют форму, несвойственную параллельноструйному течению воды.

Наравне с другим недостатками, именно отмеченные негативы КНСБ не позволили построенные сооружения использовать в качестве средств для учета воды. Вместо них, учет воды в каналах проводился на временных гидростаях типа «Фиксированной русло», работающих вместо равномерного режима, к сожалению, в подпорно-переменном режиме истечения. Благодаря этим, учет воды в каналах, на которых были построены КНСБ, велся в основном на глаз, что недопустимо в условиях платного водопользования.

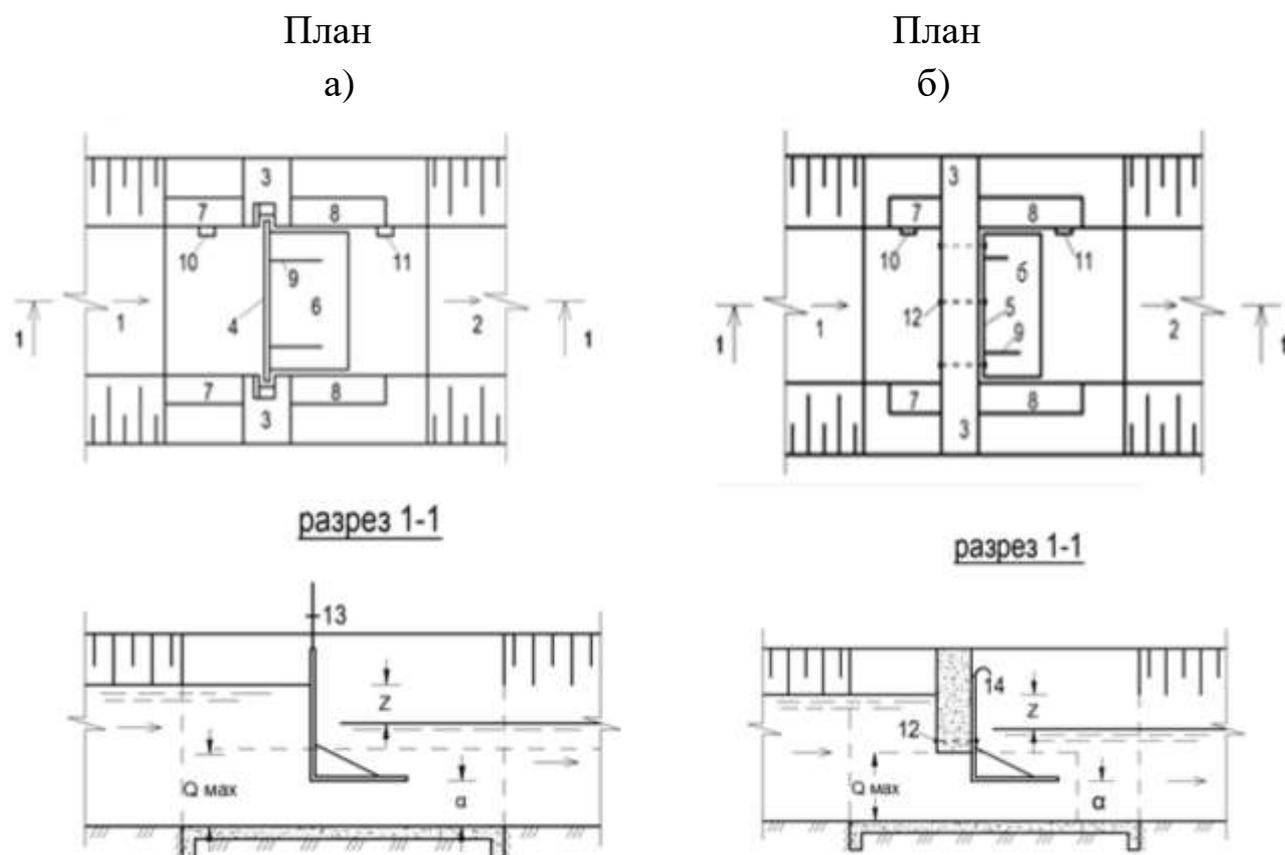


Рис. 1. Схемы водомера типа «Прямоугольный насадок» для применения на внутрихозяйственных оросительных каналах с земляным руслом.

С нашей точки зрения, для условий внутрихозяйственных оросительных каналов с земляным руслом будет более приемлемым водомер типа «Прямоугольный насадок», который в конструктивном разнообразии приведен на рис. 1.

Этот водомер состоит из подводящего 1 и отводящего 2 участков канала, диафрагмы 3, затвора 4, щита 5, горизонтальной полки 6, низких затопляемых стенок 7 и 8, косынок 9, уравниваемых реек 10 и 11, болтовых соединений 12, винтового 13 и ручного 14 подъемников. Низкие затопляемые стенки 7 (длиной 0,5м и высотой) придают насадку прямоугольное поперечное сечение и позволяют устранить боковые сжатия струй при входе потока в насадок. Низкие затопляемые стенки 8 (длиной 0,8-1,0м и высотой) придают насадку форму прямоугольного поперечного сечения (с площадью $= \cdot$, где – длина водопропускного отверстия насадка). Насадок сверху перекрыт горизонтальной полкой 6 (шириной 0,3-0,4м и длиной 0,99), регулируемой по высоте винтовым или ручным приводом.

На приведенных на рис. 1 схемах водомера потоки протекают по насадкам с прямоугольным поперечным сечением, при этом течение воды в самих насадках – напорное. Такое течение воды в прямоугольных насадках позволяет организовывать в них параллельноструйное течение воды, что, в свою очередь, создает благоприятное условие для градуировки самих сооружений.

Пропускная способность водомера типа «Прямоугольный насадок» будет отградуирована по методу «скорость-площадь», а расходы воды определяться по формуле

$$= \dots \quad (1)$$

Где $= \dots$ - площадь водопропускного отверстия насадка; $, -$ длина и высота водопропускного отверстия насадка;

- скорость потока (измеряемая гидрометрической вертушкой или другим скоростным прибором) при выходе его из водопропускного отверстия насадка.

При градуировке водомера, наравне со скоростью, измеряются и значения действующего напора $,$ затем строится график зависимости $= ()$, по которому и определяются расходы воды при замеренных значениях $.$

В настоящее время в Кыргызской Республике по схеме, приведенной на рис 1б (она менее металлоемкая), построены 10 экспериментальных сооружений, успешно применяемых при учете воды в каналах с земляным руслом. В качестве примера можно привести эксплуатационные показатели водомера типа «Прямоугольный насадок», построенного на Р-2-6 системы ЗБЧК (рис. 2).



Рис. 2. Водомерное сооружение типа «Прямоугольный насадок» на Р-2-6 ЗБЧК. а, б - соответственно виды с верхнего и нижнего бьефов.

Строительная высота сооружения 0,9м, размеры водопропускного отверстия насадка $b \cdot L = 0,6 \cdot 0,2$ м. Скорости потока (v) при выходе из насадка измерялись гидровертушкой Гр-21М и теоретически определялись по формуле $v = \sqrt{2gH}$ [8]. Кроме того, по данным v определялись расходы воды Q по формуле (1) и по этим расходам – рассчитывались значения коэффициента расхода сооружения по формуле

$\mu = \frac{Q}{b \cdot L \cdot \sqrt{2gH}}$. Результаты проведенной работы сведены в таблицу 1.

Данные этой таблицы и опыт эксплуатации самого сооружения свидетельствуют о нижеследующем:

- измеренные v и теоретические v скорости мало отличаются друг от друга;
- коэффициент расхода $\mu=0,87-0,89$ и в среднем составляет 0,88;
- промыв наносов из верхнего бьефа (перед водопропускным отверстием насадка) проводится самим потоком, причем промыв осуществляется непрерывно;

- учет воды осуществляется при прохождении как малых, так и повышенных расходов воды;

- на водомере имеется условие для его градуировки, так как при прохождении потока по прямоугольному насадку в нем устанавливается параллельноструйное течение воды; при этом погрешность измерения расходов воды на водомере не превышает 5%.

Таблица 1. Пропускная способность водомера на Р-2-6 системы ЗБЧК.

Напор Z, м	Площадь отверстия м ²	Скорость потока при выходе из напорного насадка, м/с		Расход м ³ /с	Коэффициент расхода μ
0,03	0,12	0,70	0,77	0,080	0,89
0,05	0,12	0,88	0,99	0,106	0,88
0,07	0,12	1,04	1,17	0,125	0,89
0,09	0,12	1,17	1,33	0,140	0,88
0,11	0,12	1,31	1,47	0,157	0,87

Приведенные результаты эксплуатационных и метрологических характеристик водомера типа «Прямоугольный насадок» указывают на его эффективность и целесообразность применения такого сооружения для учета воды в условиях внутрихозяйственных оросительных каналов с земляным руслом.

Литература

1. Сатаркулов С.С., Мамбетов Э.М. Характеристика внутрихозяйственных оросительных каналов и водомерных сооружений на них. Вестник КРСУ. ISSN 1694-500 X. Том 16. №9. 2016.

2. Мамбетов Э.М., Садыбакова Д.К. К вопросу учета воды во внутрихозяйственных оросительных каналах с земляным руслом. Вестник КГУСТА. ISSN 1694-5298. Вып. 2(48). 2015.

3. Гидромелиоративные каналы с фиксированным руслом. Методика выполнения измерений расходов воды методом «скорость-площадь». МВИ 05-90. Минводхоз СССР. 1990.

4. Расход жидкости в открытых потоках. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков. МИ 2120-90 Казань. 1990.

5. Методика выполнения измерений расхода воды с помощью специальных сужающих устройств мелиоративного назначения. МВИ 06-90. Минводхоз СССР. 1990.

6. Патент №179 КР. Водомерное сооружение. Автор: Сатаркулов С. Бюлл. №11 2014.

7. Патент №220 КР. Водомерное сооружение. Авторы: Сатаркулов С., Батыкова А.Ж., Мамбетов Э.М. Бюлл. №1 2017.

8. Мамбетов Э.М. Расходомерное сооружение для внутрихозяйственных каналов с земляным руслом. Международный научный журнал Вестник «Символ науки». ISSN 2410-700 X. Вып.5. Часть 2. 2016.

Комбинированное водомерное сооружение типа «Водослив-прямоугольный насадок»

В Кыргызской Республике в условиях предгорно-равнинной зоны для учета воды во внутриводосливных оросительных каналах с земляным руслом весьма часто прибегают к строительству на них водомерного сооружения типа «Водослив с тонкой стенкой» [1]. Этот водомер простой, стандартизован, применяются без индивидуальной градуировки, погрешность измерения расходов воды не превышает 2%. Водомеры строятся в основном с водосливами трапецеидального поперечного сечения, высота их порогов не превышает $(1,0-1,2)$, где – минимально допустимая порогов, равная 0,3м [1]. Строятся эти водомеры в соответствии с рекомендациями типового проекта[2], режим их работы должен быть только свободным, без подпора. Однако, как показывает опыт эксплуатации многочисленных построенных сооружений [3,4], преобладающее большинство их не применяются в качестве средств для учета воды. Причина – после 2-3 летней эксплуатации сооружений со стороны их нижнего бьефа появляются подпоры переменного характера, что, в свою очередь, является следствием интенсивного заиливания наносами (илом, песком) и зарастания растительностью (камышом, разными травами) отводящих в земляном русле каналов. Под влиянием таких подпоров заиливаются наносами и сами сооружения.

При такой ситуации первым шагом к улучшению водоучета на водомерах с тонкими водосливами было наращивание высоты их порога на 150-200мм [3]. Такой подход к решению вопроса, конечно, правильный. Однако, такому наращиванию имеется предел, выше которого повышение порога водослива становится нецелесообразным. Возникает закономерный вопрос: что делать в таком случае? Отказаться от сооружений, забросить их совсем?

Считаем, что ответ на последний вопрос должен быть следующим: нет, конечно. В таком случае в состав сооружения с водосливом рационально включить водомер типа «Прямоугольный насадок», образовав тем самым новый тип водомера – комбинированное водомерное сооружение типа «Водослив-прямоугольный насадок», при котором

насадок будет работать при подтопленном режиме воды, а водослив – свободном.

Разработанное такое комбинированное водомерное сооружение [5] схематично приведено на рис. 1, которое состоит из подводящего 1 и отводящего 2 в земляном русле канала, затвора 3, в верхней части которого имеется водослив прямоугольного поперечного сечения 4, горизонтальной полки 5, прикрепленной к затвору 3, низких затопляемых стенок 6 и 7, напорного водовода 8, равномерных реек 9 и 10, подъемного устройства 11. Низкие затопляемые стенки 6 (длиной 0,5м и высотой) придают оголовку входа в водовод 8 прямоугольное поперечное сечение и позволяют устранить боковые сжатия струй при входе потока в насадок 8. Низкие затопляемые стенки 7 (длиной 0,8-1,0м и высотой) придают насадку форму прямоугольного поперечного сечения (с площадью $S = b \cdot h$, где b – длина водопропускного отверстия, равной ширине канала по дну). Насадок сверху перекрыт горизонтальной полкой 5 (шириной 0,3-0,4м и длиной 0,99), прикрепленной к затвору 3 и регулируемой по высоте вместе с этим затвором.

Водовод 8 имеет прямоугольное поперечное сечение, течение воды в нем – напорное. Такое течение в прямоугольном насадке позволяет создать в этом водоводе параллельноструйное течение воды, что, в свою очередь, создает благоприятное условие для градуировки самого водомерного сооружения типа «Прямоугольный насадок».

На разработанном комбинированном водомере (рис. 1) прямоугольный водослив не градуируется, градуируется только прямоугольный насадок. Градуировка осуществляется по методу «скорость-площадь», при градуировке, наравне со скоростью потока при выходе его из насадка, измеряются значения действующего напора Z .

Пропускная способность прямоугольного водослива определяется по приведенной в [1] формуле, а прямоугольного насадка – по следующей зависимости

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2gZ} \quad (1)$$

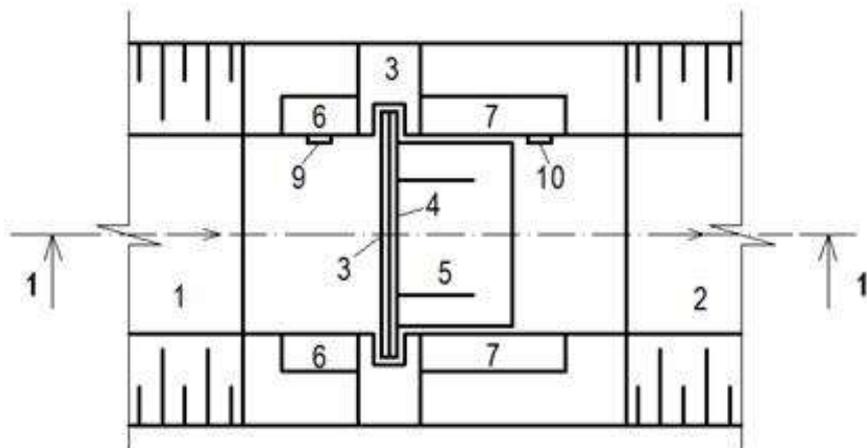
где S – площадь водопропускного отверстия насадка;

h , b – длина и высота водопропускного отверстия насадка; v – скорость потока при выходе его из водопропускного отверстия

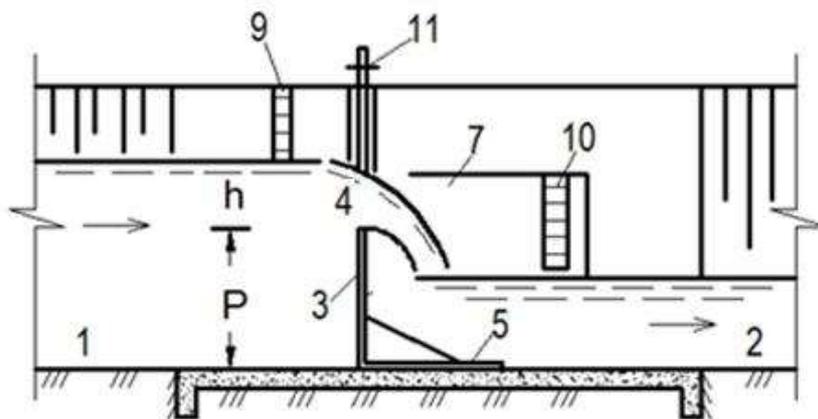
насадка, измеряемая при помощи скоростных приборов.

План

а)



разрез 1-1 (а)



разрез 1-1 (б)

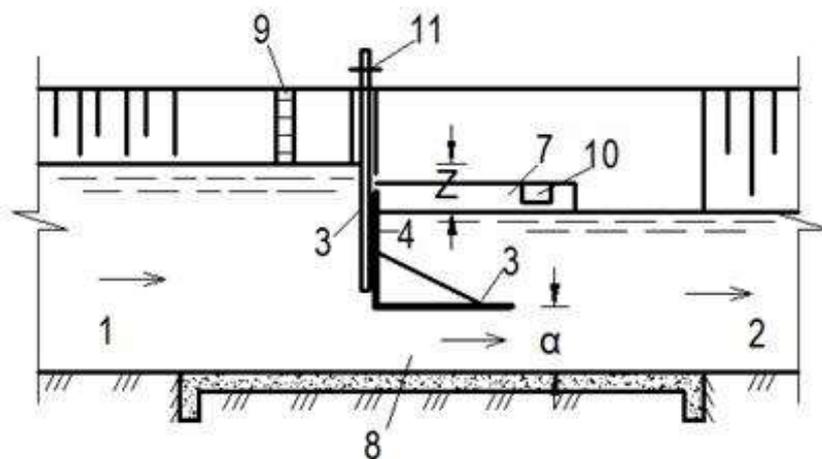


Рис. 1. Схема водомерного сооружения типа «Водослив-прямоугольный насадок».



Рис. 2. Водомер типа «Водослив-прямоугольный насадок» на Р-8 системы ЗБЧК (замер воды осуществляется водосливом). а – вид с верхнего бьефа; б – вид с нижнего бьефа.



Рис. 3. Водомер типа «Водослив-прямоугольный насадок» на Р-8 системы ЗБЧК (замер воды осуществляется насадком) а – вид с верхнего бьефа; б – вид с нижнего бьефа.

Проверка работоспособности предложенного комбинированного водомера осуществлялось на экспериментальном сооружении, построенного на Р-8 системы ЗБЧК, со следующими параметрами:

- в верхней части затвора размещен прямоугольный водослив, в нижней его части – прямоугольный насадок;
- параметры водослива – ширина 1,0м, высота 0,4м и высота порога водослива 0,63м;

- параметры прямоугольного насадка – длина насадка 0,4м, длина водопропускного отверстия 1,0м и его высота 0,1м.

Эксплуатация данного водомерного сооружения показала следующие результаты [6]:

- пропускная способность прямоугольного водослива характеризуется такими данными:

Таблица 1

Напор Н, м	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Расход Q, м ³ /с	0,019	0,053	0,102	0,157	0,220	0,289	0,365

- из-за образования подпора, служба эксплуатации работу водослива перевела на прямоугольный насадок, при этом пропускная способность последнего характеризуется следующими данными:

Таблица 2

Напор Z, м	Площадь отверстия M	Скорость при выходе из напорного		Расход	Коэффициент расхода
0,03	0,10	0,75	0,77	0,076	0,99
0,06	0,10	1,06	1,09	0,107	0,98
0,08	0,10	1,21	1,25	0,124	0,98
0,10	0,10	1,36	1,40	0,137	0,98
0,15	0,10	1,67	1,71	0,169	0,99

Кроме того было установлено, что:

- по мере накопления наносов в верхнем бьефе – они периодически промывались при работе водослива – поднятием затвора и при работе прямоугольного насадка – непрерывно, одновременно осуществляя учет водных ресурсов;

- данные таблиц 1 и 2 позволили построить графики зависимостей $Q=f(H)$ (для водослива) и $Q=f(Z)$ (для насадка), в соответствии с которыми заполнены рабочие таблицы и по их данным осуществляются подача воды водопотребителям – дехканам.

В последние годы, вместо водослива, на этом сооружении учет воды ведется только на водомере типа «Прямоугольный насадок».

Литература

1. Водоучет на открытых системах водопользования. Методика выполнения измерений расхода воды при помощи стандартных водосливов и лотков. МВИ 12-10.
2. Проект повторного применения. Водомерные сооружения для точек выдела в хозяйства (1 очередь). Водосливы с тонкой стенкой (Чиполетти). 1992.
3. Сатаркулов С.С., Бейшекеев К.К. и др. Водомерные сооружения для каналов и лотков. Под редакцией Сатракулова С.С. Бишкек. 2000.
4. Сатаркулов С.С., Бейшекеев К.К. и др. Водомерные сооружения для открытых оросительных систем. Под редакцией Сатаркулова С.С. Бишкек. 2014.
5. Патент №217 КР. Водомерное сооружение. Авторы: Сатаркулов С., Батыкова А.Ж., Мамбетов Э.М. Бюлл. №12. 2016.
6. Мамбетов Э.М. Эксплуатационные показатели водомера типа «Водослив-насадок». Вестник «Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана». №10. 2016.

Водомерные сооружения для головной части внутрихозяйственных оросительных каналов с земляным руслом

Опыт эксплуатации водомерных сооружений, построенных на транзитных участках внутрихозяйственных оросительных каналов с земляным руслом, показывает, что они работают в очень сложных условиях и это связано с тем, что:

- отводящие от сооружений каналы интенсивно заиливаются наносами (илом, песком) и зарастают растительностью (камышом, разными травами);
- заиление и зарастание отводящих в земляном русле каналов вызывают подпоры, причем переменного характера;
- заиливаются наносами и сами сооружения, причем очистка их от наносов не дает желаемого эффекта.

Под влиянием указанных факторов требуемые режимы течения воды на сооружениях (равномерный – на водомерах типа «Фиксированное русло» [1] и свободный – на водомерах типа «Водосливы с тонкой стенкой» [2]) нарушается, что, в конечном счете, приводит к отказу от дальнейшего применения весьма важных для учета воды и очень дорогостоящих при строительстве водомерных сооружений. В республике такие сооружения часто встречаются не только в равнинной зоне, но и в предгорной – на каналах, построенных вдоль горизонталей.

Возникает закономерный вопрос – можно ли вести учет воды во внутрихозяйственных оросительных каналах с земляным руслом, если можно, то каким образом?

Естественно, учет воды должен вестись. При этом для учета воды:

- на транзитной части внутрихозяйственных оросительных каналов с земляным руслом рекомендуется применять водомерное сооружение типа «Прямоугольный насадок» [3,5] и комбинированный водомер типа «Водослив-прямоугольный насадок»;
- все водомерные сооружения рационально разместить в головной части внутрихозяйственных оросительных каналов с земляным руслом, практически примкнув их к самим водовыпускным сооружениям.

Конструкции и компоновки водомерных сооружений типов «Прямоугольный насадок», «Водослив-прямоугольный насадок», а также

методы их гидравлического расчета подробно приведены в [3,4,5]. Поэтому, не останавливаясь на них, ниже приведены результаты разработок по вопросу размещения водомерных сооружений в головной части внутрихозяйственных оросительных каналов с земляным руслом.

Следует отметить, что в последние десятилетия в результате проведения ряда научно-исследовательских работ были разработаны усовершенствованные и новые конструкции водомерных сооружений. Из числа существующих и разработанных новых водомеров в головной части внутрихозяйственных оросительных каналов с земляным руслом могут найти применение следующие типы сооружений:

- «Фиксированное русло»;
- «Водосливы с тонкой стенкой»;
- «Съемный водослив с тонкой стенкой»;
- «Водослив с регулируемой высотой порога»;
- «Прямоугольный насадок».

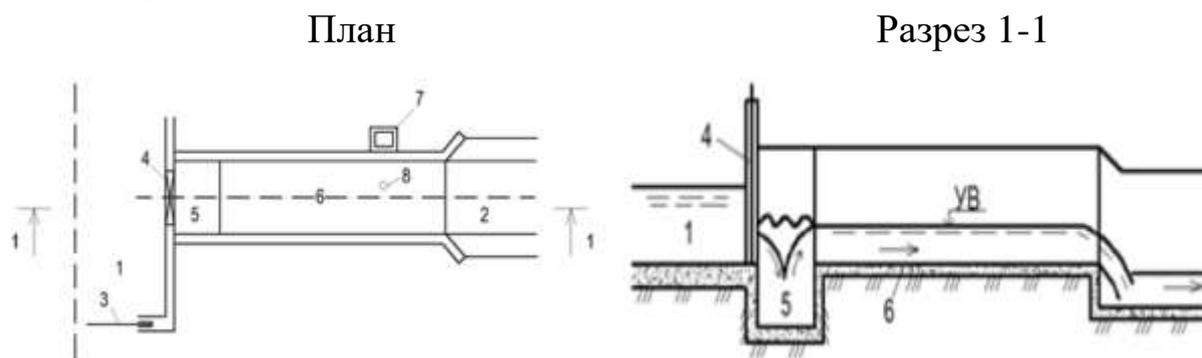


Рис. 1а.

Возможность применения водомера типа «Фиксированное русло» показана на рис. 1а, на котором: 1 и 2 – старший и отводящий каналы; 3 и 4 – затворы водораспределителя на старшем и отводящем каналах; 5 – колодец; 6 – секция лотка параболического сечения; 7 – уравнирный колодец с уравнирной рейкой; 8 – вход в трубу, соединяющую лоток с колодцем. Колодец 5 предназначен для гашения кинетической энергии потока при выходе его из под затвора 4 и, тем самым, обеспечения плавного входа воды в лоток. Параметры колодца 5: длина 1,2-1,5м, ширина соответствует ширине лотка по верху, глубина (ниже дна лотка) – 0,5-0,7м.

Лоток 6 – призматический, имеет параболическое сечение, уклон $\leq 0,0005$ (это позволит создать в конце лотка перепад, что

положительно скажется на работе водомера), измерительный створ размещается на расстоянии 1,5м от конца лотка, режим течения воды – равномерный, без подпора.

Примеры применения водомера – сооружения такого типа успешно функционируют на Р-22 правый восток и Р-22 левый запад ЮБЧК, а также на Р-20-2 ЗБЧК.

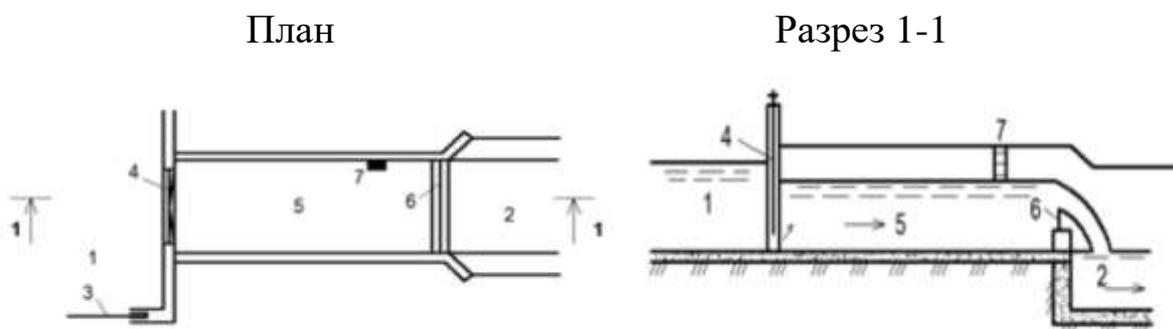


Рис. 1б.

Возможность применения водомера типа «Водослив с тонкой стенкой» показана на рис. 1б, на котором: 1 и 2 – старший и отводящий каналы; 3 и 4 – затворы водораспределителя на старшем и отводящем каналах; 5 – водоток прямоугольного сечения, длиной не менее 3 (где – ширина водотока); 6 – водослив с тонкой стенкой, 7 – равномерный колодец с равномерной рейкой; На рис. 1б водослив – фиксирован. Однако он может выполняться съемным (для промыва наносов из верхнего бьефа) и регулируемым порога по высоте (для избежания подпора со стороны нижнего бьефа); водослив выполняется прямоугольного поперечного сечения, его ширина соответствует ширине водотока 5, чем устраняются боковые сжатия потока. Уклон водотока = 0 (это позволит создать в конце водотока перепад, что положительно скажется на работе водомера).

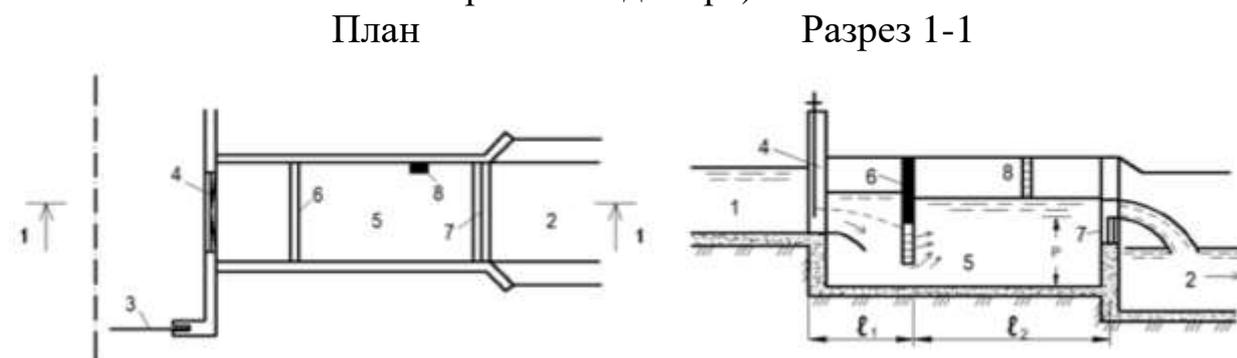


Рис. 2а.

Примеры применения водомера – сооружения такого типа успешно применяются на Р-13, Р-13-2, Р-16, Р-18, Р-6, Р-19-1, Р-20, Р-24, Р-26, Р-26-1, Р-26-2, Р-27, Р-28, Р-31 системы ВБЧК, Р-12 системы ЮБЧК, Р-5, Р-19, Р-21 системы ЗБЧК.

Возможность применения водомера типа «Водослив с тонкой стенкой» показана также и на рис. 2а, на котором: 1 и 2 – старший и отводящий каналы; 3 и 4 – затворы водораспределителя на старшем и отводящем каналах; 5 – колодец; 6 – гасительная в нижней части сквозная стенка; 7 – водослив с тонкой стенкой; 8 – равномерная рейка. Параметры колодца: ширина $k = (1,3 - 1,5) \varnothing$ (где \varnothing – ширина водопропускного отверстия под затвором 4), длина $l = k$, $l = (1,3 - 1,5) k$ и глубина $h_k = 0,5 - 0,7$ м. применяется водослив прямоугольного поперечного сечения, без боковых сжатий, его ширина $= k$ и высота порога $= h_k + h_{тс}$ (где $h_{тс}$ – высота тонкой стенки водослива).

Вертикальная стенка 6 предназначена для гашения кинетической энергии потока при выходе его из под затвора 4, при этом гашению способствует и расщепление потока на отдельную струи.

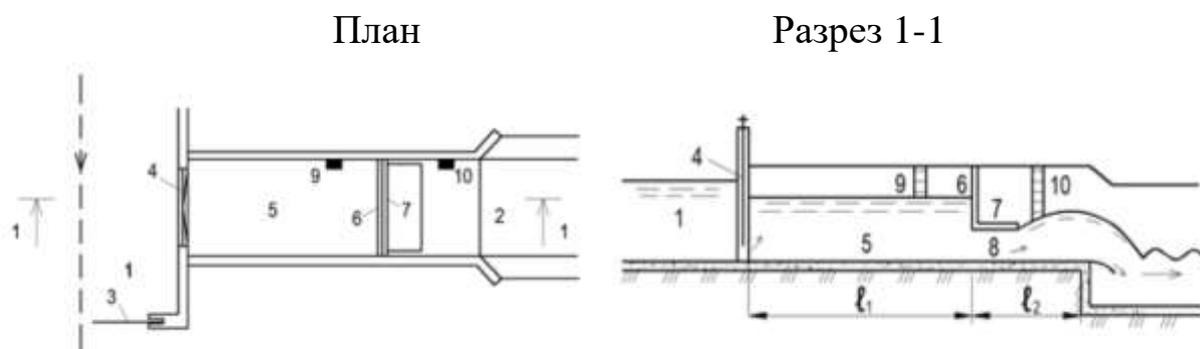


Рис. 2б.

Примеры применения водомера – сооружения такого типа применяются при проведении научно-исследовательских работ на лабораторных установках (русловых моделях, лотках и др.); они имеются и на Р-9 ЗБЧК.

Возможность применения водомера типа «Прямоугольный насадок» показана на рис. 2б, на котором: 1 и 2 – старший и отводящий каналы; 3 и 4 – затворы водораспределителя на старшем и отводящем каналах; 5 – водоток прямоугольного поперечного сечения; 6 и 7 – элементы прямоугольного насадка; 8 – напорный водовод; 9 и 10 – равномерные рейки. Уклон прямоугольного водовода $= 0$, что позволяет создать в

конце водовода перепад. Прямоугольный насадок работает при свободном и подтопленном режимах, при которых его пропускная способность устанавливается градуировкой методом «скорость-площадь». Параметры прямоугольного водовода: ширина $= (1,3 - 1,5) \cdot b$ (где b – ширина водопропускного отверстия под затвором 4), длина $l_1 = (1,5 - 2,0) \cdot b$ и $l_2 = \dots$. Для регулирования высоты водовода 8 (это необходимо для образования напорного режима течения воды в насадке) L-образной щит выполняется подвижным по вертикали. Другие рекомендации по конструированию и компоновке водомера, а также гидравлическому расчету его пропускной способности приведены в работах [3,4].

Примеры применения водомера: экспериментальные сооружения такого типа функционируют на Р-1-1, Р-1-8, Р-2-1, Р-2-6, Р-2-7, Р-2-8 системы ЗБЧК, Р-21, Р-23, Р-25 системы ВБЧК.

Выше приведены четыре возможные варианты размещения водомеров типов «Фиксированное русло», «Водослив с тонкой стенкой», «Водослив с колодцем гасителем» и «Прямоугольный насадок» в головной части внутрихозяйственных оросительных каналов с земляным руслом, то есть сразу за затворами водораспределительных сооружений. Это позволит, с нашей точки зрения, повысить точности учета воды, сократить время на регулирование водоподдачи водопотребителям, облегчить условия работы эксплуатационного персонала – регулировщика; не маловажное значение имеет и то, что водомерные сооружения, построенные в головной части каналов с земляным руслом, становятся значительно дешевле, чем те, которые функционируют на транзитных участках каналов.

Литература

1. Гидромелиоративные каналы с фиксированным руслом. Методика выполнения измерений расходов воды методом «скорость-площадь». МВИ 05-90. Минводхоз СССР. 1990.

2. Расход жидкости в открытых потоках. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков. МИ 2120-90. Казань. 1990.

3. Патент №179 КР. Водомерное сооружение. Автор: Сатаркулов С. Бюлл. №11 2014.

4. Сатаркулов С., Бейшекеев К.К. и др. водомерные сооружения для открытых оросительных систем. Под редакцией Сатаркулова С. Бишкек. 2014.

5. Мамбетов Э.М. Расходомерное сооружение для внутрихозяйственных каналов с земляным руслом. Международный научный журнал «Символ науки». №5/2016 ISSN №2410-700 X. Часть 2.

Водовыпускно-водомерные сооружения для внутрихозяйственных оросительных каналов с земляным руслом

Как известно [1], применяемые на внутрихозяйственных оросительных каналах водомерные сооружения могут быть регулирующим расходу воды и не регулирующим. В первом случае водомеры в своем составе имеют устройств (затворов), при помощи которых не только осуществляется учет воды, но и регулирование ее расхода. Во втором случае осуществляется только учет воды.

К числу водомеров, не регулирующих расходу воды, относятся сооружения, применяемые на транзитных участках каналов и те, которые размещаются в головной части водотоков и функционируют самостоятельно, вне работы водопропускных сооружений.

Что же касается регулирующих, то на таких сооружениях одновременно осуществляются и учет воды, и регулирование подачи воды.

Как это отмечено в [5], при нерегулирующих водомерах на водовыпусках осуществляется только регулирование подачи воды, а учет воды ведется на специальных водомерных сооружениях. К недостатку такого решения относится устройство двух самостоятельных сооружений, что, естественно, не экономично и эксплуатация их сложна.

Поэтому, как это следует из нижеприведенных материалов, в условиях каналов со спокойным режимом течения воды и распределение, и учет воды целесообразно осуществлять на одном и том же сооружении – на открытом регуляторе, снабженного и элементами регулирования, и элементами учета воды. К таким элементам, по всей вероятности, могут быть отнесены затворы самих водовыпускных сооружений или точнее – плоские их щиты [5]. В качестве такого средства в [2] рекомендовано использование плоского щита в головной части водовыпуска или точнее – водопропускное отверстие из-под него. В работе [3] приведен водомер, в диафрагме которого имеется водопропускное отверстие, а в [4] предлагается сооружение, на затворе которого смонтирован щиток для регулирования подачи расходов воды в отвод. Все эти разработки интересны, поскольку были сделаны первые смелые попытки по

использованию плоских затворов водораспределительных сооружений не только как регуляторов расхода, но и учета воды.

Но, к сожалению, предложенные идеи не получили последующего развития.

Дальнейшие работы, проведенные для совмещения функций регулирования и учета воды на одном и том же сооружении, показали, что [5]:

- частично должна быть изменена сама компоновка водовыпуска;
- плоский затвор, устанавливаемый по линии фронта отвода, должен быть убран из состава сооружения;
- затворы, предназначенные к применению для регулирования расхода и учета воды, должны резко отличаться от обычного плоского затвора;
 - такие усовершенствованные затворы должны размещаться не по линии фронта отвода, а вглубь него на расстоянии ≤ 2 , где – ширина отвода;
- на затворах, используемых при возведении водомеров, должны быть созданы условия для их градуировки, к которым прежде всего относится наличие параллельноструйного течения воды; кроме того должны быть подходы к сооружениям также для их градуировки.

Разработки, проведенные с учетом указанных условий, показали следующие результаты [5-8]:

а) отводы водовыпусков должны иметь прямоугольное поперечное сечение (для устранения боковых сжатий измерительных устройств – водосливов и др.) и могут быть короткими - ≤ 2 , где – ширина отвода;

б) обычный плоский затвор, устанавливаемый по линии фронта отвода, должен быть заменен на другие усовершенствованные и новые виды регулирующих расход и учитывающих водные ресурсы устройства:

- на плоский щит, в верхней части которого имеется водопропускное отверстие в виде водослива прямоугольного поперечного сечения;
- на плоский щит, в верхней части которого имеется прямоугольный водослив, с регулируемой высотой порога; при этом регулирование высоты порога водослива достигается за счет узкого щитка, предусмотренного за водосливом, или за счет наращивания порога водослива полоской металлического листа определенной ширине;

- на плоский щит, с прикрепленной к нижней части горизонтальной полкой (этот тип водомера назван «Прямоугольным насадком»);

- на плоский щит, в верхней части которого имеется прямоугольный водослив, а в нижней – горизонтальная полка (этот водомер назван комбинированным водомером типа «Водослив – прямоугольный насадок»);

- на плоский щит с прямоугольным в верхней части водосливом и регулируемой высотой его порога, а также оснащенный в нижней части щитком с горизонтальной полкой (этот комбинированный водомер – разновидность сооружения типа «Водослив – прямоугольный насадок»).

Эти усовершенствованные и новые конструкции щитов во взаимодействие с затвором на водораспределителе на старшем канале (рис 1), на наш взгляд, могут обеспечить и регулирование подачи воды, и ее учета на одном и том же сооружении. Так, в случае:

- на рис. 1А 1-1 (а) высота водослива 4 назначается так, чтобы при сбросе всей воды по старшему каналу 1, вода не переливалась через водослив 4; при этом подача воды в отвод 2 осуществляется созданием подпора в верхнем бьефе при помощи затвора 3, а учет воды производится прямоугольным водосливом 4 без боковых сжатий;

- на рис. 1А 1-1 (б) и регулирование расхода, и учет воды осуществляется самим водосливом, с регулируемой высотой его порога;

- на рис. 1Б и регулирование, и измерение расхода воды осуществляется самим плоским щитом б, при этом режим течения воды в самом насадке – напорный, струи в нем – параллельноструйные; эти условия позволяют применять водомер после его градуировки; при этом данный водомер может работать как при свободном (рис. 1Б 1-1 (а)), так и подпорном (рис. 1Б 1-1 (б)) режимах истечения;

- на рис. 1В приведено комбинированное водомерное сооружение, оно уникальное; на нем водослив 4 применяется при свободном режиме истечения, прямоугольный насадок – как при свободном, так и при подтопленном режимах истечения; уникальность сооружения заключается в том, что через водослив можно отградуировать пропускную способность водомера типа «Прямоугольный насадок».

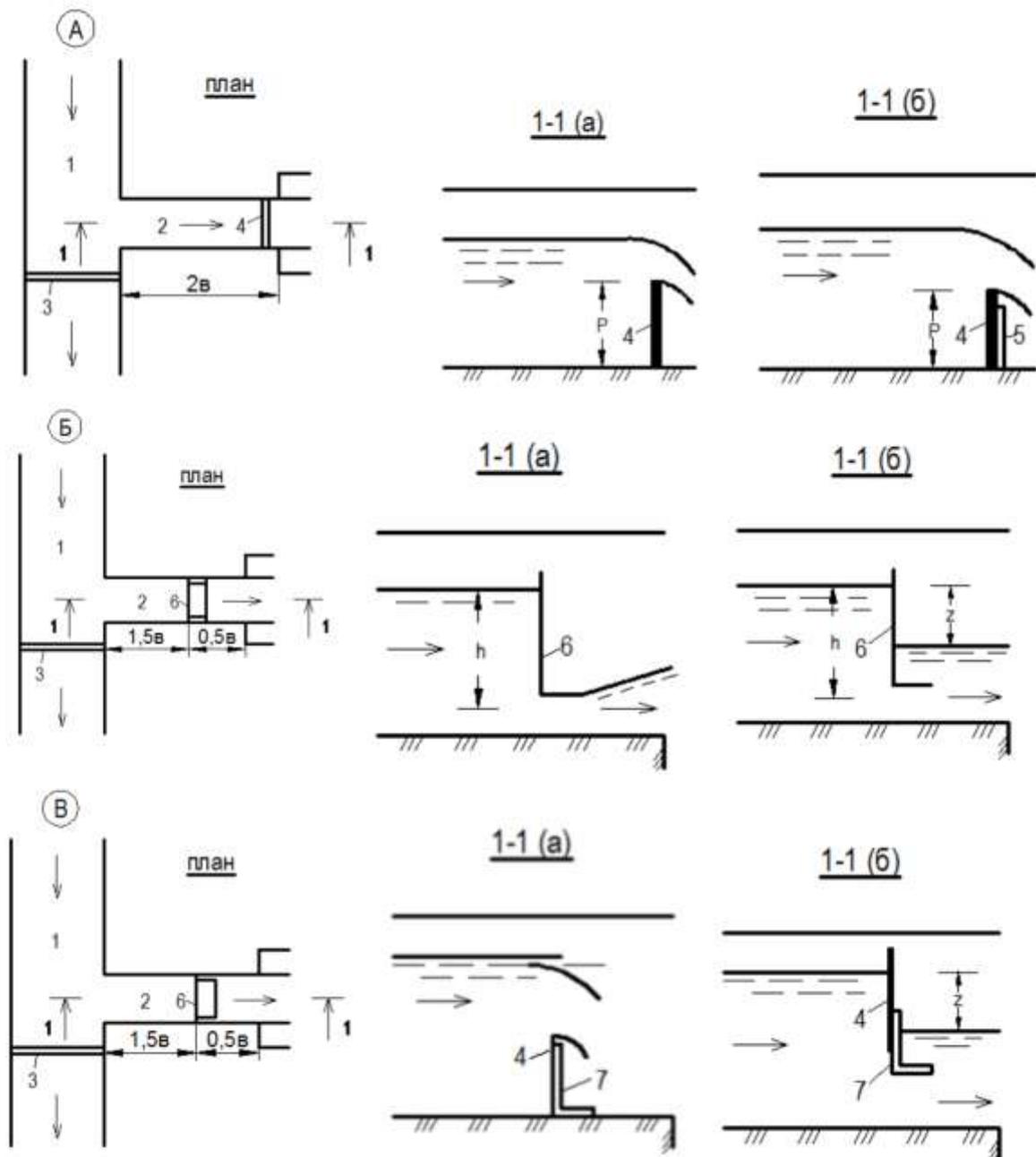


Рис. 1. Схемы размещения усовершенствованных и новых щитовых устройств на отводах водораспределительных сооружений. 1 – старший канал; 2 – отвод; 3 – затвор; 4 – водослив; 5 – щит; 6 – затвор с полкой; 7 – щит с полкой.

На рис. 1 показаны возможности размещения усовершенствованных и новых щитовых устройств на отводах водораспределителей, при этом благодаря именно их осуществляются и регулирование расхода, и учет водных ресурсов при подаче их водопотребителям.

На рис. 2 приведены схемы размещения усовершенствованных и новых щитовых устройств на старшем канале, при этом обычный плоский

затвор в головной части отвода остается в составе водораспределительного сооружения.

При таком размещении щитовых водомеров осуществляется измерение расхода воды в старшем канале при закрытом затворе на отводе, затем подается вода в отвод и одновременно проводится учет оставшейся в старшем канале воды; в этом случае расход воды в отводе определяется как разность двух замеренных расходов воды, протекающих по старшему каналу (в качестве примера можно привести водомерное сооружение на Р-7-13 прямо системы АМК, его фото приведена в этой работе на рис. 3.41).

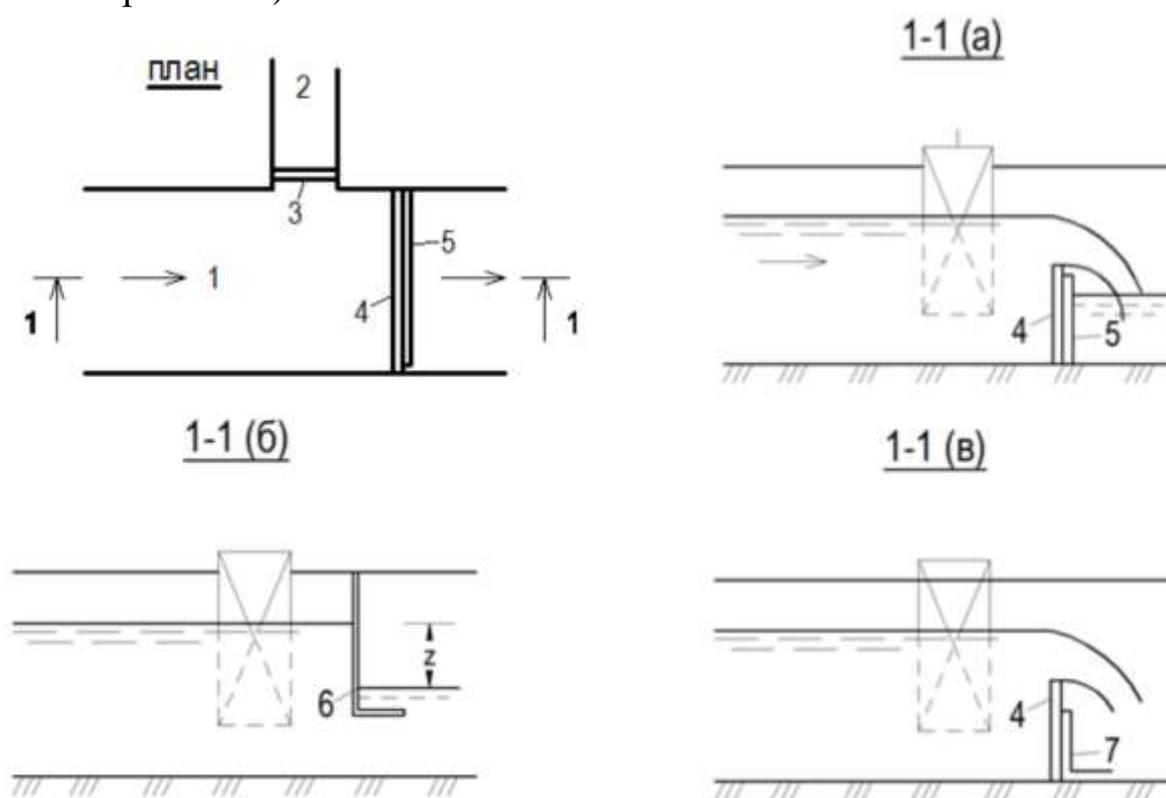


Рис. 2. Схемы размещения усовершенствованных и новых щитовых устройств на старшем канале водораспределительных сооружений.

1 – старший канал; 2 – отвод; 3 – затвор; 4 – водослив; 5 – щит;
6 – затвор с полкой; 7 – щит с полкой.

В заключение можно отметить, что совмещение функций регулирования расхода и учета воды на одном сооружении представляет важное практическое значение, так как:

- это выгодно с экономической точки зрения, ибо отпадает необходимость в строительстве второго дорогостоящего водомерного сооружения;

- этим упрощается эксплуатация сооружения, ибо и распределение, и учет воды осуществляется на одном и том же водном объекте;

- этим повышаются метрологические показатели водомерных сооружений, так как усовершенствованные и новые щитовые водомеры применяются в основном после их тщательной градуировки.

Литература

1. Словарь-справочник гидротехника-мелиоратора. Сельхозгиз, М. 1966г.
2. Ярцев В.Н. Эксплуатационная гидрометрия. М. Сельхозиздат. 1961г.
3. Валентини Л.А. Применение водомерных сооружений на оросительных системах. Автореферат кандидатской диссертации. Ташкент. 1952г.
4. Авторское свидетельство №326284 СССР. Затвор-водомер. Авторы: Артомонов К.Ф., Сатаркулов С.С. БИ №4. 1972г.
5. Сатаркулов С.С., Бейшекеев К.К. и др. водомерные сооружения для каналов и лотков. Бишкек. ПК «Переплетчик». 2005г.
6. Патент №179 КР. Водомерное сооружение. Автор: Сатаркулов С.С. Бюл 11. 2014г.
7. Патент №220 КР. Водомерное сооружение. Авторы: Сатаркулов С.С., Батыкова А.Ж., Мамбетов Э.М. Бюл №1. 2017г.
8. Мамбетов Э.М. Эксплуатационные показатели водомера типа «Водослив-насадок». Вестник «Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана». №10. 2016.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство №326284 СССР. Затвор-водомер. Авторы: Артамонов К.Ф., Сатаркулов С.С. Бюл №4 1972г.
2. Батыкова А.Ж. Совершенствование конструкций водомеров типа «Водослив с тонкой стенкой» для каналов мелиоративных систем. Автореферат кандидатской диссертации. Научный руководитель – С.Сатаркулов. Бишкек. 2011г. С.23.
3. Бейшекеев К.К., Сатаркулов С.С., Мамбетов Э.М. К вопросу совершенствования расходомеров с тонкими водосливами. Вестник «Актуальные вопросы современной науки». ISBN 978-5-00068-590-7. РИНЦ, elibrary.ru. №№475-08/2013. №47 2016г. г.Новосибирск. С.228.
4. Бейшекеев К.К. Совершенствование водомерных и водораспределительных сооружений на каналах – быстотоках оросительных систем горно-предгорной зоны. Автореферат докторской диссертации. Бишкек. 2012г. С.42.
5. Билик. О.А., Валентини Л.А. Эксплуатационная предприятия водного хозяйства в условиях экономической реформы. Фрунзе. 1971г.
6. Бочкарев. Я.В. Эксплуатационная гидрометрия и автоматизация оросительных систем. М. Агропромиздат. 1987г.
7. Валентини Л.А. Применение водомерных сооружений на оросительных системах. Автореферат кандидатской диссертации. Ташкент. 1952г.
8. Водомерные устройства для гидромелиоративных систем. Бутырин М.В., Киенчук А.Ф., Краснов В.Б. и др.; под ред. А.Ф.Киенчука «Колос». М. 1982г. С.144.
9. Водомерные сооружения для каналов и лотков. С.С.Сатаркулов., К.К.Бейшекеев и др. Под редакцией С.С.Сатаркулова. Бишкек: ПК «Переплетчик». 2000г. С.95.
10. Водомерные сооружения для точек выдела в хозяйства. «Фиксированное русло». Рабочий проект для повторного применения. Фонды ПКТИ «Водавтоматика и метрология». 1992г.
11. Водомерные сооружения для открытых оросительных систем. Авторы: С.Сатаркулов, К.К.Бейшекеев и др. Бишкек. 2014г. С.259.
12. Водоучет на открытых системах водопользования. Методика выполнения измерений расходов воды при помощи специальных

сужающих устройств мелиоративного назначения. (Проект). МВИ Бишкек. 2016г. С.21.

13. Водоучет на открытых системах водопользования. Методика выполнения измерений расхода воды на гидростаях типа «фиксированное русло» методом «скорость-площадь». МВИ 11-10. С.28.

14. Водоучет на открытых системах водопользования. Методика выполнения измерений расхода воды при помощи стандартных водосливов и лотков. МВИ 12-10. С.36.

15. Водоучет на открытых системах водопользования. Методика выполнения измерений расхода воды в параболических лотках методом «уклон-площадь». МВИ 13-10. С.76.

16. Гидромелиоративные каналы с фиксированным руслом. Методика выполнения измерений расходов воды методом «скорость-площадь» МВИ 05-90. Минводхоз СССР. 1990г. С.42.

17. Железняков Г.В. Гидрометрия. М. 1964г.

18. Инвентаризация оросительной и коллекторно-дренажной сети Ассоциаций водопользователей (АВП) по Кыргызской Республике на 01.04.2014г. Бишкек. 2014г.

19. Инструкция по учету водозабора оросительными и обводнительными каналами из источников орошения (для гидрометров оросительных систем). Часть 2. Тарирование гидротехнических сооружений на оросительных каналах. Гидрометеиздат. Л. 1966г. С.52.

20. Каналы гидромелиоративные железобетонные параболические. Методика выполнения измерений расхода методом «скорость-площадь». МВИ 33-47555-09-91. 1991г. С.34.

21. Каталог водомерных сооружений. Союзводпроект. М.1989г.

22. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М. 1972г. С.313.

23. Кошматов Б.Т., Бейшекеев К.К., Сатаркулов С.С. Водомерные сооружения для подпорно-переменных режимов истечения. – Бишкек: ПК «Переплетчик», 2003г. С.73.

24. Кошматов Б.Т. Совершенствование конструкции водомерных сооружений на мелиоративных системах. Автореферат кандидатской диссертации. Бишкек. 2010г. С.21.

25. Мамбетов Э.М., Садыбакова Д.К. К вопросу учета воды во внутрихозяйственных оросительных каналах с земляным руслом. Вестник

КГУСТА имени Н.Исанова. ISSN 1694-5298. РИНЦ. №№459-07/2014. 2/2015г. С.73.

26. Мамбетов Э.М. Расходомерное сооружение для внутрихозяйственных каналов с земляным руслом. Вестник «Символ науки». ISSN 2410-700X. РИНЦ, elibrary.ru. №№153-03/2015. 5/2016 В 3 ЧАСТЯХ. ЧАСТЬ 2. 2016г. г.Уфа. С.76.

27. Мамбетов Э.М. К вопросу определения пропускной способности расходомера типа «Водослив-диафрагма». Вестник «Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана». ISSN 1694-7649. 3/2016г. С.26.

28. Мамбетов Э.М. Эксплуатационные показатели водомера типа «Водослив-насадок». Вестник «Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана». ISSN 1694-7649. 10/2016г. С.117.

29. Методика выполнения измерений расхода воды с помощью специальных сужающих устройств мелиоративного назначения. МВИ 06-90. Минводхоз СССР. С.45.

30. Методика выполнения измерения расходов и количества воды при помощи водосливов с тонкой стенкой и регулируемой высотой порога для специальных условий применения (Дополнение к МИ 2122-90). МВИ 4755559-13-93. Бишкек. 1993г. С.11.

31. Назаров М.И. Мощные каналы. Фрунзе. 1958г. С.104.

32. Патент №179 КР. Водомерное сооружение. Автор: Сатаркулов С. Бюл. №11 2014г.

33. Патент №191 КР. Водомерное сооружение. Авторы: Сатаркулов С., Кошматов Б.Т., Абдрасулов И.А., Батыкова А.Ж. Бюл. №9 2015г.

34. Патент №141 КР. Переносной водослив Сатаркулова. Автор: Сатаркулов С. Бюл. №5 2012г.

35. Патент №220 КР. Водомерное сооружение. Авторы: Сатаркулов С., Батыкова А.Ж., Мамбетов Э.М. Бюл. №1 2017г.

36. Патент №217 КР. Водомерное сооружение. Авторы: Сатаркулов С., Батыкова А.Ж., Мамбетов Э.М. Бюл. №12 2016г.

37. Патент №476 КР. Водомерное сооружение. Авторы: Сатаркулов С., Батыкова А.Ж. Бюл. №9 2001г.

38. Патент №129 КР. Водомерное сооружение. Авторы: Сатаркулов С.С., Кошматов Б.Т., Абдурасулов И.А. Бюл. №9 2011г.

39. Правила измерения расхода жидкости при помощи стандартных водосливов и лотков РДП 99-77. Изд.стандартов. 1977г. С.50.

40. Проект повторного применения. Водомерные сооружения для точек выдела в хозяйства (1 очередь). Водосливы с тонкой стенкой (Чиполетти). 1992г.

41. Полотов А.П. О водомерных сооружениях водохозяйственного комплекса Чуйского БУВХ и путях улучшения их работы. Вестник Кыргызского национального аграрного университета им.К.И.Скрябина. №3(22). 2011г. Бишкек. С.83-86.

42. Полотов А.П. Состояние водных объектов Чуйского БУВХ и задачи по усовершенствованию их работы. Вестник Кыргызского национального аграрного университета им.К.И.Скрябина. №3(22). 2011г. Бишкек. С.86-91.

43. Расход жидкости в открытых потоках. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков. МИ 2122-90. Казань. 1990г. С.73.

44. Руководство по проведению градуировки и поверки средств измерения расхода воды в открытых каналах методом «скорость-площадь». ВТР-М-1-80. ММ и ВХ СССР. 1980г. С.56.

45. Руководство по обработке результатов измерений параметров учета воды на оросительных, осушительных и обводнительных системах. ВТР-М-2-80. ММ и ВХ СССР. 1980г. С.70.

46. Сатаркулов С.С., Мамбетов Э.М. Характеристика внутрихозяйственных оросительных каналов и водомерных сооружений на них. Вестник КРСУ. ISSN 1694-500 X. Том 16. №9. 2016г. С.132.

47. Сатаркулов С.С., Бейшекеев К.К., Маллаев Х.М. Водомерные сооружения и пути улучшения их работы. Бишкек. 2000г. С.95.

48. Сатаркулов С.С., Маллаев Х.М., Кошматов Б.Т. и др. Водомерные сооружения для каналов и лотков. – Бишкек: ПК «Переплетчик», 2005г. С.260.

49. Сатаркулов С.С., Бейшекеев К.К., Маллаев Х.М. Руководство по эксплуатации водомерных сооружений. Бишкек. 2001г. С.121.

50. Словарь-справочник гидротехника-мелиоратора. Сельхозгиз, М. 1955г.

51. Справочник по гидротехнике. М.1955г. С.828.

52. Филиппов Е.Г. Гидравлика гидрометрических сооружений. Л. Гидрометеиздат. 1990г. С.288.

53. Технические показатели оросительных систем по республике на 01.01.2016г.
54. Хамадов И.Б., Бутырин М.В. Эксплуатационная гидрометрия в ирригации. М., «Колос». 1975г.
55. Чертоусов. М.Д. Гидравлика (специальный курс). М.-Л. 1957г. С.640.
56. Чугаев.Р.Р. Гидравлика. Л.1982г. с.671.
57. Шаров И.А. Эксплуатация гидромелиоративных систем. М.1959г. С.572.
58. Ярцев В.Н. Эксплуатационная гидрометрия. М. Сельхозиздат. 1961г.
59. Большаков Н.М. Совершенствование технических средств эксплуатации водозаборных узлов на оросительных системах в горно-предгорной зоне (на примере оросительных систем Киргизии). Кандидатская диссертация. Фрунзе, 1984.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Характеристика внутрихозяйственных каналов и оснащенности их водомерными сооружениями.....	5
1.1. Общие сведения.....	5
1.2. Характеристика внутрихозяйственных каналов.....	6
1.2.1. Каналы в земляном русле.....	6
1.2.2. Каналы в бетонной облицовке.....	11
1.2.3. Лотковые каналы параболического сечения.....	12
1.3. Оснащенность внутрихозяйственных каналов водомерными сооружениями.....	14
Выводы.....	14
2. Анализ работы существующих водомерных сооружений.....	15
2.1. Разновидности сооружений, места их размещения и основные требования к ним.....	15
2.2. Эксплуатационные показатели существующих водомерных сооружений.....	19
2.2.1. Водомеры типа «Фиксированное русло».....	19
2.2.1.1. Водомеры на транзитной части каналов.....	19
2.2.1.1.1. На каналах с земляным руслом.....	19
2.2.1.1.2. На облицованных каналах.....	26
2.2.1.1.3. На лотковых каналах.....	29
2.2.1.2. Водомеры типа «Фиксированное русло» в головной части каналов.....	34
2.2.1.3. Водомеры типа «Фиксированное русло» в конце трубчатых водовыпусков.....	36
2.2.1.4. Водомеры типа «Фиксированное русло» за водораспределительными сооружениями.....	41
2.2.2. Водомеры типа «Водосливы с тонкой стенкой».....	44
2.2.3. Водомерные сооружения типа «Лотки».....	55
2.2.4. Водомеры типа «С подпором».....	60
2.3. Анализ о перспективности применения существующих водомерных сооружений для учета воды во внутрихозяйственных оросительных каналах.....	70
Выводы.....	75

3. Совершенствование компоновок и конструкций водомерных сооружений и результаты их испытаний.....	76
3.1. Уточненные требования к водомерам.....	76
3.2. Выбор типов водомеров для совершенствования их конструкций.....	79
3.3. Разработка усовершенствованных и новых водомерных сооружений.....	80
3.3.1. Применительно к участковым и временным оросителям.....	80
3.3.2. На бетонированных каналах и лотках параболического сечения.....	82
3.3.3. Применительно к каналам с земляным руслом.....	96
3.3.4. Применительно к водомерам, расположенным между двумя сооружениями.....	135
3.3.5. Применительно к водомерам с колодцами-гасителями.....	137
3.3.6. Применительно к водомерам на уступе перепада.....	142
3.3.7. Применительно к щитовым-водомерам.....	145
3.3.8. Применительно к водомерам, размещаемым в конце трубчатых водовыпусков.....	151
Выводы.....	156
4. Рекомендации по компоновке, конструированию и гидравлическому расчету водомерных сооружений на внутрихозяйственных каналах.....	158
Выводы.....	166
Заключение.....	166
Приложение 1. Коэффициенты шероховатости русел каналов и лотков.....	169
Приложение 2. Гидравлические параметры потока в лотковых каналах параболического сечения (Лр-40; Лр-60 и Лр-80) при $R=0,20\text{м}$	170
Приложение 3. Гидравлические параметры потока в лотковых каналах параболического сечения (Лр-100) при $R=0,35\text{м}$	172
Приложение 4. Инструкция по эксплуатации переносного водослива Сатаркулова.....	174
Приложение 5. Водомерные сооружения типа «Прямоугольный насадок» на Р-2-4 (а); на Р-2-6 (б); на Р-2-7 (в); на Р-2-8 (г); на Р-1-1 (д) и Р-1-8 (е) системы ЗБЧК.....	176
Приложение 6. Водомерное сооружение типа «Прямоугольный насадок».....	177

Приложение 7. Комбинированное водомерное сооружение типа «Водослив-прямоугольный насадок».....	183
Приложение 8. Водомерные сооружения для головной части внутрихозяйственных оросительных каналов с земляным руслом.....	189
Приложение 9. Водовыпускно-водомерные сооружения для внутрихозяйственных оросительных каналов с земляным руслом.....	195
Список использованной литературы.....	201

С.С. Сатаркулов, Э.М. Мамбетов Д.К. Садыбакова

**ВОДОМЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
ДЛЯ УЧЕТА ВОДЫ ВО ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ**

Компьютерная верстка и дизайн
Э. К. Талканов

Подписано в печать 24.05.2018. Гарнитура Times.
Формат 60x84 1/16. Офсетная бумага. Объем 13,0 п.л.
Тираж 150 экз. Заказ №44.

Отпечатано в типографии
ОсОО «Мега Формат».