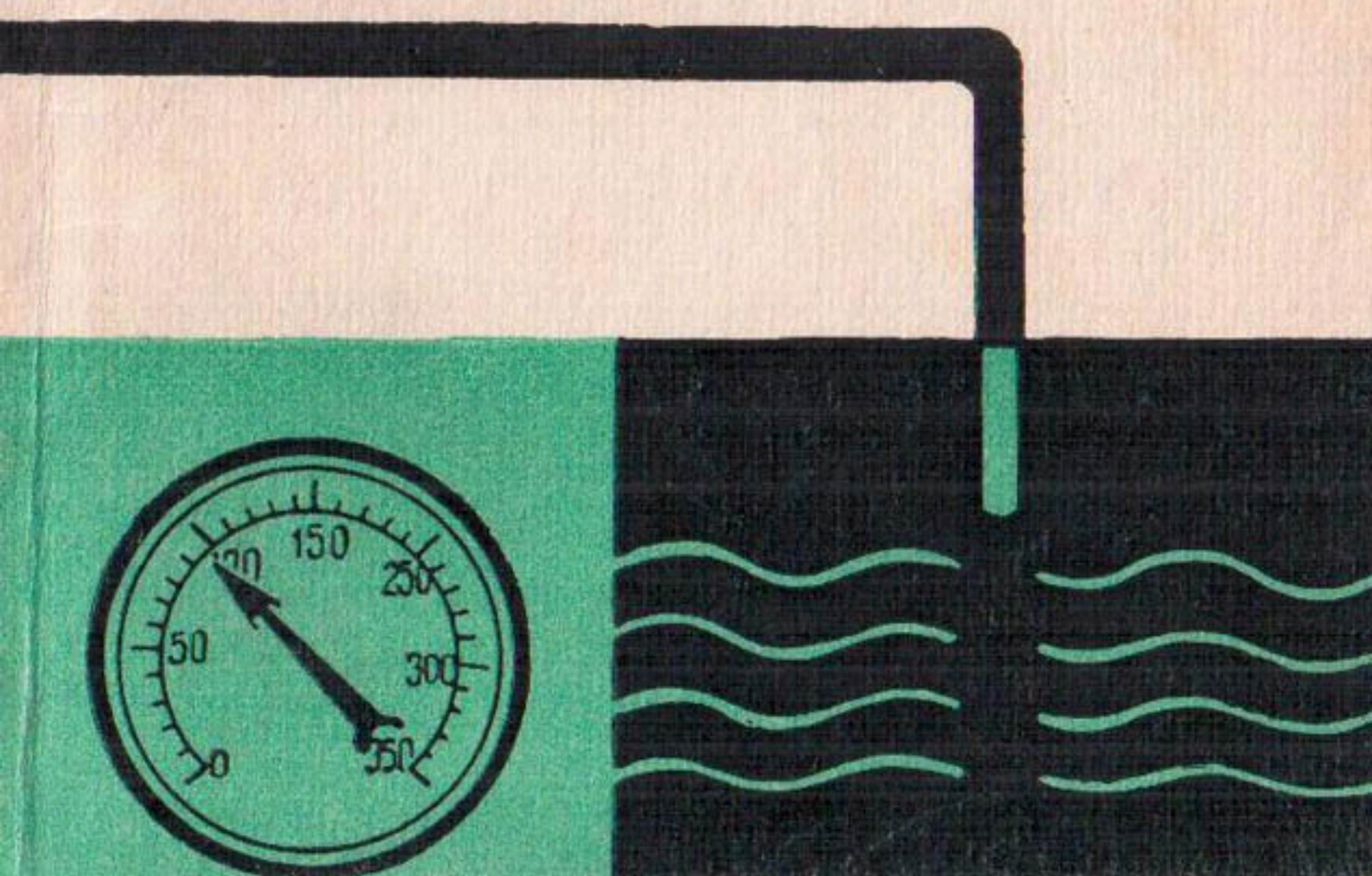
Водомерные устройства для гидромелиоративных систем



ВОДОМЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Под редакцией
кандидата технических наук *А. Ф. Киенчука*

Москва «Колос» 1982

ББК 40.62
В62
УДК 631.67:627.133

Авторы: *М. В. Бутырин, А. Ф. Киенчук, В. Е. Краснов, Н. Н. Кощеев, В. Ф. Малярчук, В. А. Мельникова.*

Рецензент: зав. кафедрой МГМИ, канд. техн. наук *Е. Е. Овчаров.*

Водомерные устройства для гидромелиоративных
В 62 систем/М. В. Бутырин, А. Ф. Киенчук, В. Е. Краснов и др.; Под ред. А. Ф. Киенчука.— М.: Колос, 1982.— 144 с., ил.

Описаны водомерные устройства, дана их классификация по числу измеряемых параметров водомерных постов, по расположению на системе и назначению. Приведены технические требования к изготовлению и установке водомерных устройств, допустимая погрешность измерений, указания по учету воды и эксплуатации.

Для гидротехников, мелиораторов, гидрометров.

В $\frac{3802030000-205}{035(01)-82}$ 65—82

ББК 40.62
631.6

© Издательство «Колос», 1982

Классификация водомерных устройств и постов

Водомерными устройствами (сооружениями) оборудуют открытые каналы, трубопроводы, коллекторно-дренажную и сбросную сеть. При этом расход можно определить по глубине воды, напору, разности уровней в бьефах, напору в верхнем и нижнем бьефах и высоте отверстия истечения при переменном ее значении, давлению или перепаду давления в трубопроводе. Поэтому целесообразно водомерные устройства классифицировать по назначению и измеряемым параметрам, то есть в зависимости от назначения и числа измеряемых параметров.

Водомерные устройства для открытой водопроводящей сети. Работают на принципе измерения переменных: напора (водосливы в тонкой стенке, водомерные пороги, лотки); глубины (фиксированные русла); перепада уровней (насадки, диафрагмы, трубы-переезды с напорным движением воды, сужающие устройства УкрНИИГиМ); глубин в двух створах (устройства с донным или боковым сжатием при свободном и несвободном истечении); перепада уровней и открытия затвора (расходомеры-регуляторы с приставкой на входе, насадком на выходе, сужающим устройством УкрНИИГиМ на выходе, автоматические регуляторы уровня верхнего бьефа, автоматы расхода с одной (РО) и двумя (РД) наклонными стенками, градуированные гидротехнические сооружения с плоскими, сегментными и секторными затворами при свободном и несвободном истечении); глубины и скорости течения воды (гидрометрические установки типа ГР-64, ГР-70, устройство для измерения расхода методом меток).

Водомерные устройства для трубопроводов и насосных станций. Работают на принципе измерения перепада давления (диафрагмы, трубы и сопла Вентури, сужающие устройства УкрНИИГиМ, колена).

Водомерные устройства для коллекторно-дренажной и сбросной сети. Работают на принципе измерения переменных: глубины (фиксированные русла асимметричного сечения); напора (торцовый водослив); перепада уровней (П-образный насадок, водомерные приставки с регулируемой площадью).

Этими водомерными устройствами оснащают следующие водомерные посты:

опорные — на источниках орошения для определения и учета водных ресурсов (запасов) и изучения режима источника;

главные — на магистральных (главных) каналах для водораспределения и балансового учета воды, в том числе главные головные — в головах магистральных (главных) каналов с самотечным или машинным водоподъемом для учета забора воды в оросительную систему и главные транзитные — на транзитных участках магистральных каналов для водораспределения. Обычно их совмещают с перегораживающими сооружениями;

распределительные — на распределительных каналах всех порядков межхозяйственной сети для учета забора и распределения воды, в том числе головные распределительные — в головах распределительных каналов для учета забора воды и распределительные транзитные — на транзитных участках распределительных каналов для водораспределения (обычно их совмещают с перегораживающими сооружениями);

хозяйственные — в головах выдела воды хозяйствам-водопользователям (совхозы, колхозы и др.), предназначенные для нормирования и контроля водоподачи в хозяйство и ведения балансового учета воды за приходными и расходными статьями;

внутрихозяйственные — на распределительной и оросительной сети внутри хозяйства;

контрольные — на магистральных (главных) и распределительных каналах для наблюдения за уровнями воды, контроля на участках каналов за допустимой высотой уровня для сохранения и устойчивости дамб, градуировки измерительных устройств, сооружений, определения КПД;

сбросные — на сбросных каналах для учета неиспользованных остатков воды, в том числе сбросные оросительные — на сбросных каналах для измерения неиспользованной оросительной воды и сбросные дренаж-

ные — на сбросных каналах для определения лишней поверхностной и грунтовой воды в коллекторах и дренах; дренажные — на коллекторно-дренажной сети, в том числе на открытых коллекторах и дренах, на трубчатых коллекторах и дренах, на скважинах вертикального дренажа для учета стока воды;

специальные — на различных каналах для выполнения исследовательских, изыскательских и других работ.

Гидравлический расчет водомерных устройств. Основные положения о погрешностях

Гидравлический расчет. Для водомерных устройств он состоит из двух этапов: по известным гидравлическим характеристикам потока (расход воды, глубины, гидравлический перепад уровней и др.) из формулы пропускной способности находят геометрические размеры, а затем, задаваясь шагом изменения гидравлических характеристик (напор, глубина, перепад уровней) от нуля до максимальной величины, вычисляют расходы с построением градуировочной функции или, наоборот, задаваясь шагом изменения расходов воды от минимального до максимального, определяют соответствующие гидравлические характеристики потока с использованием тех же формул пропускной способности или учетных формул и строят графики или таблицы.

Гидравлический расчет для градуировки фиксированного русла при равномерном движении воды вычисляют по формуле (Агроскин и др., 1964; Щербина, 1967):

$$Q = C\omega\sqrt{Ri}, \qquad (1)$$

где C — коэффициент Шези, $C=(1/n)R^y$; ω — площадь живого сечения потока; R — гидравлический радиус, $R=\omega/\chi$; i — уклон дна канала; n — коэффициент шероховатости; y — показатель степени, $y=2{,}5\sqrt{n}-0{,}13+0{,}75\sqrt{R}\,(\sqrt{n}-0{,}1)$; χ — смоченный периметр водотока.

Значение y можно определить по упрощенным формулам:

при $R<1$ м $\quad y=1{,}5\sqrt{n}$;

при $R>1$ м $\quad y=1{,}3\sqrt{n}$.

При этом для вычисления расхода воды необходимо задавать глубину потока h. Градуировочная характеристика имеет вид $Q=f(h)$.

В случае неравномерного установившегося режима движения расход воды в канале Q может быть вычислен также аналитически. Расчетную формулу в данном случае можно получить из уравнения Д. Бернулли, примененном для двух створов участка канала, расположенных на расстоянии L друг от друга (Киенчук, 1971):

$$h_1+\frac{\alpha Q^2}{2g\omega_1^2}+iL=h_2+\frac{\alpha Q^2}{2g\omega_2^2}+IL, \qquad (2)$$

которое имеет вид:

$$Q=\sqrt{\frac{h_2-h_1-iL}{[(1/2g\omega_1^2)-(1/2g\omega_2^2)-(L/k^2)]\alpha}}, \qquad (3)$$

где h_1, h_2, ω_1, ω_2 — глубины воды и площади живого сечения потока в первом и втором створах; i — уклон дна канала; L — гидравлический уклон потока; k — расходная характеристика (модуль расхода) для равномерного движения потока при том же расходе, $k=\omega C\sqrt{R}$; α — коэффициент Кореолиса, $\alpha=1$; g — ускорение свободного падения.

При вычислении расхода этим способом требуется высокая точность измерения геометрических размеров канала, уклона дна, а также гидравлических элементов потока.

Для водосливов с тонкой стенкой или практического профиля (водомерные пороги) формула имеет вид

$$Q=m\omega\sqrt{2gH}, \qquad (4)$$

где m — коэффициент расхода (зависит от типа и конструкции водослива); ω — площадь истечения; H — геометрический напор над порогом водослива (скоростной напор не учитывается, так как скорости подхода составляют менее 0,5 м/с, что обеспечивается компоновкой водомерного поста).

Градуировочная характеристика в этом случае имеет вид $Q=f(H)$.

Для водомерных устройств с нерегулируемой площадью истечения (водомерные приставки, насадки, диафрагмы, сужающие устройства УкрНИИГиМ для трапецеидальных, прямоугольных параболических каналов, трубчатых сооружений) расход воды определяют по формуле

$$Q=k\omega_0\sqrt{2gz}, \qquad (5)$$

где k — коэффициент водомерности или расхода, который зависит от конструкции водомерного устройства и режима истечения; ω_0 — площадь истечения; z — гидравлический перепад уровней воды (действующий напор).

Градуировочная характеристика имеет вид $Q=f(z)$.

Гидравлический расчет для построения градуировочной характеристики подпорно-регулирующего сооружения с плоскими или сегментными затворами выполняют по формуле

$$Q=\mu a\Sigma b\sqrt{2gz}, \qquad (6)$$

где μ — коэффициент расхода (иногда коэффициент скорости); a — высота открытия затвора; Σb — ширина действующего водосливного фронта; z — действующий напор на затвор с учетом или без учета скоростного напора.

Градуировочная характеристика имеет вид $Q=f(a; z)$.

Водомерные устройства для трубопроводов (сужающие устройства расходомера) обычно применяют стандартных размеров и расчет их не нужен.

Погрешности при измерении. Для расхода воды или глубины (напора) они могут быть абсолютными, полными относительными, среднеквадратичным отклонением результата измерений, приведенными относительными, вероятными.

Абсолютная погрешность измерения глубины, напора, открытия затвора при водоучете для водомерных устройств может составлять $\pm 0{,}01$ м.

Среднее квадратическое отклонение при измерении расхода может быть вычислено для водомерных устройств с одним переменным параметром (водосливы, пороги и т. д.) по формуле

$$\sigma_{Q_1}=\sqrt{\sigma_m^2+\sigma_{\Sigma b}^2+{}^9/_4\sigma_H^2}; \qquad (7)$$

двумя переменными параметрами или разностью уровней воды при нерегулируемой площади истечения по формуле

$$\sigma_{Q_2}=\sqrt{\sigma_\mu^2+\sigma_\omega^2+{}^1/_4\sigma_z^2}; \qquad (8)$$

с тремя переменными параметрами при регулируемой площади истечения по формуле

$$\sigma_{Q_3}=\sqrt{\sigma_\mu^2+\sigma_{\Sigma b}^2+\sigma_a^2+{}^1/_4\sigma_z^2}, \qquad (9)$$

где σ_Q — погрешность в измерении расхода воды; σ_m, σ_μ — погрешности в определении коэффициента расхода (скорости); σ_ω, $\sigma_{\Sigma b}$, σ_a — погрешности в измерении площади истечения, ширины дей-

ствующего водосливного фронта, открытия затвора; σ_H; σ_z — погрешности в измерении глубины и гидравлического перепада уровней.

Среднее квадратическое отклонение вычисляют по формулам:
при измерении расхода приборами

$$\sigma_{Q_п} = \sqrt{\sigma_Q^2 + \sigma_п^2}; \qquad (10)$$

при использовании систем телеизмерения

$$\sigma_{Q_{ти}} = \sqrt{\sigma_Q^2 + \sigma_п^2 + \sigma_{ти}^2}; \qquad (11)$$

при автоматическом управлении

$$\sigma_{Q_{упр}} = \sqrt{\sigma_Q^2 + \sigma_п^2 + \sigma_{ти}^2 + \sigma_{рег}^2}. \qquad (12)$$

В формулах (10...12) приняты приведенные относительные погрешности для приборов $\sigma_п$, телеизмерения $\sigma_{ти}$ и регулирования $\sigma_{рег}$.

Оптимальное соотношение σ_Q, $\sigma_п$, $\sigma_{ти}$, а в условиях полной автоматизации и $\sigma_{рег}$ можно выбрать по графику (рис. 1) в зависимости от конструкции водомерного устройства (Овчаров, Плотников, 1972; Хамадов и др., 1975).

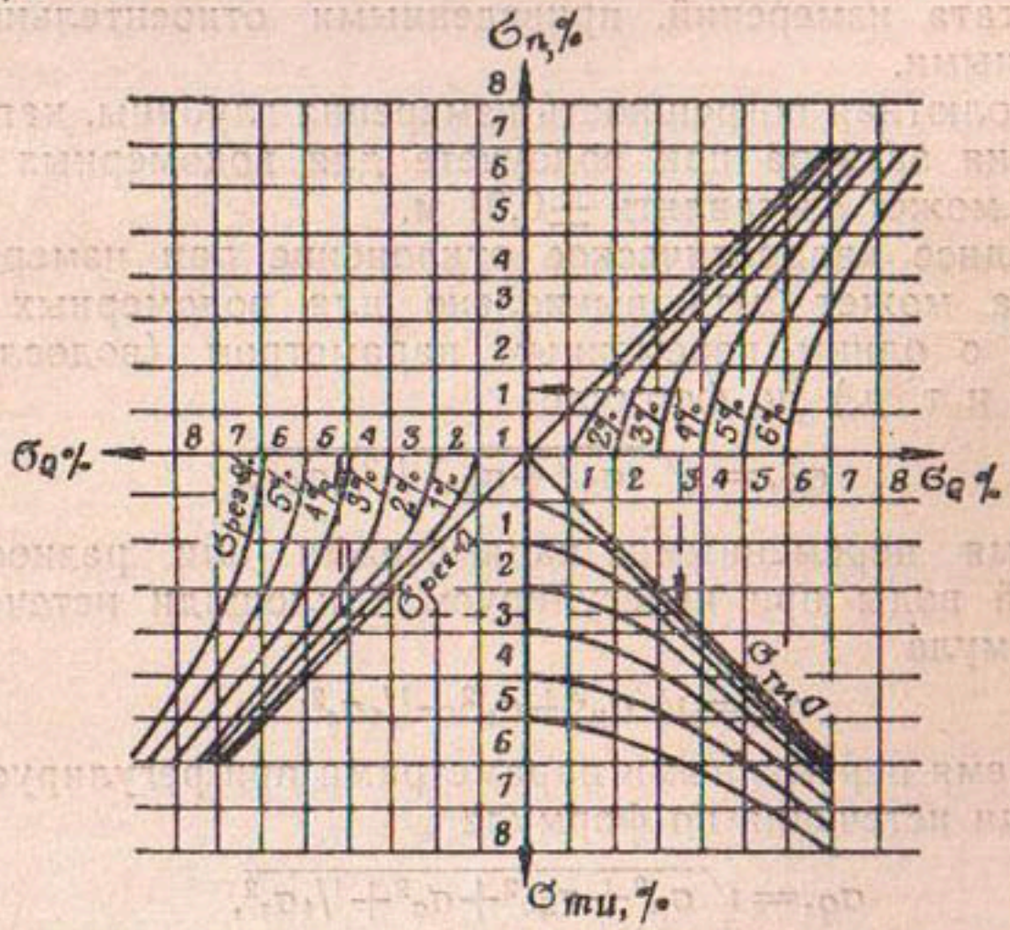


Рис. 1. Универсальные графики выбора и оценки погрешности для водомерных устройств при различной степени автоматизации и телемеханизации процесса измерения расхода воды.

Водомерные устройства переменного напора или глубины для открытых каналов

Эта группа средств измерения (учета) воды относится к преобразователям, создающим напор (уровень, глубину) воды, от которого однозначно зависит и определяется расход воды. Она включает водосливы, лотки и пороги, работающие в условиях свободного, а иногда и несвободного истечения. Чаще всего эти устройства используют в качестве транзитных водомерных (на транзитных водомерных постах).

Водосливы в тонкой стенке. В зависимости от формы выреза их подразделяют на трапецеидальный водослив Чиполетти — ВЧ; трапецеидальный водослив Иванова — ВИ; треугольный водослив Томсона — ВТ.

Конструктивные схемы, основные параметры, размеры и формулы для определения расхода водосливов приведены в таблицах 1, 2 и на рисунке 2.

Для расчета размеров водосливов необходимо знать продольный уклон дна и профиль поперечного сечения канала в створе установки водослива, гидравлические элементы (расход Q_{max}, Q_{min}; бытовые глубины воды $h_{б\,max}$, $h_{б\,min}$; скорости течения v_{max}, v_{min}), которые должны быть известны или вычислены по формуле Шези.

На небольших каналах с расходом до 0,1 м³/с (а иногда и бóльших) для измерения расхода воды используют треугольные водосливы со свободным истечением (рис. 2, *а*).

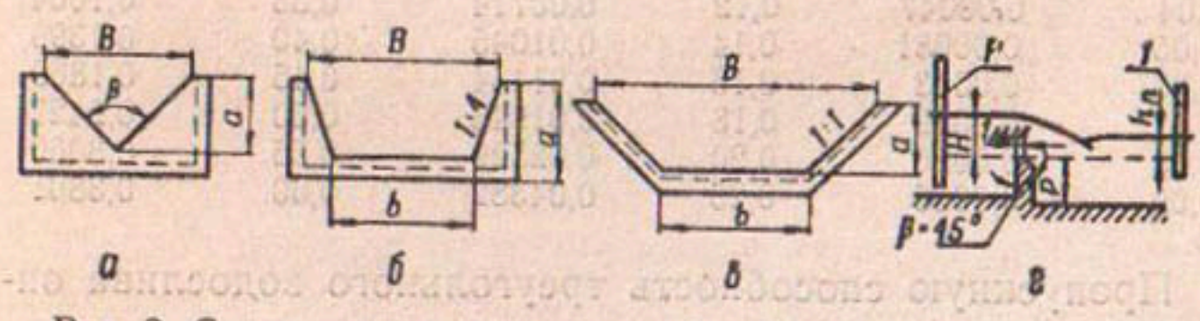


Рис. 2. Схемы водосливов в тонкой стенке:
а — треугольного (Томсона); *б* — трапецеидального (Чиполетти); *в* — трапецеидального (Иванова); *1* — рейка.

1. Основные параметры водосливов

Типоразмер	Ширина порога $в$, м	Высота выреза $а$, м	Ширина поверху $В$, м	Напор, м		Расход, м³/с		Подходная скорость v_0, м/с
				H_{min}	H_{max}	Q_{min}	Q_{max}	
Водосливы Томсона (треугольные)								
ВТ-0,25	—	0,25	0,50	0,06	0,20	0,0010	0,0250	0,20
ВТ-0,40	—	0,40	0,80	0,08	0,35	0,0025	0,1000	0,25
ВТ-0,60	—	0,60	1,20	0,10	0,55	0,0045	0,3100	0,30
ВТ-0,80	—	0,80	1,60	0,12	0,70	0,0070	0,5700	0,35
ВТ-1,00	—	1,00	3,00	0,15	0,90	0,0120	1,0000	0,40
Водосливы Чиполетти (трапецеидальные $m_1=1:4$)								
ВЧ-0,50	0,50	0,25	0,625	0,05	0,20	0,010	0,080	0,20
ВЧ-0,75	0,75	0,35	0,925	0,07	0,30	0,030	0,230	0,25
ВЧ-1,00	1,00	0,50	1,250	0,10	0,40	0,060	0,470	0,30
ВЧ-1,25	1,25	0,60	1,550	0,12	0,50	0,100	0,800	0,35
ВЧ-1,50	1,50	0,70	1,850	0,15	0,60	0,160	1,300	0,40
ВЧ-2,00	2,00	0,90	2,450	0,20	0,80	0,330	2,600	0,40
ВЧ-2,50	2,50	1,10	3,050	0,25	1,00	0,600	4,600	0,50
ВЧ-3,00	3,00	1,30	3,650	0,30	1,20	0,970	7,300	0,50
Водосливы Иванова (трапецеидальные $m_1=1:1$)								
ВИ-0,50	0,50	0,25	1,00	0,05	0,20	0,010	0,085	0,25
ВИ-0,75	0,75	0,35	1,45	0,07	0,30	0,030	0,290	0,30
ВИ-1,00	1,00	0,50	2,00	0,10	0,40	0,070	0,600	0,35
ВИ-1,25	1,25	0,60	1,45	0,12	0,50	0,100	1,000	0,40
ВИ-1,50	1,50	0,70	2,90	0,15	0,60	0,170	1,600	0,50
ВИ-2,00	2,00	0,90	3,80	0,20	0,80	0,350	3,300	0,60
ВИ-2,50	2,50	1,10	4,70	0,25	1,00	0,600	5,900	0,65
ВИ-3,00	3,00	1,30	5,60	0,30	1,20	1,000	9,000	0,70

2. Пропускная способность треугольного водослива

H, м	Q, м³/с	H, м	Q, м³/с	H, м	Q, м³/с
0,03	0,00028	0,10	0,00455	0,30	0,0687
0,04	0,00047	0,12	0,00714	0,35	0,1004
0,05	0,00081	0,14	0,01045	0,40	0,1399
0,06	0,0013	0,16	0,01454	0,45	0,1869
0,07	0,0019	0,18	0,01943	0,50	0,2427
0,08	0,0026	0,20	0,02529	0,55	0,3060
0,09	0,0035	0,25	0,04382	0,60	0,3801

Пропускную способность треугольного водослива определяют по формуле

$$Q=0{,}316(\operatorname{tg}\beta/2)\sqrt{2g}\,H^{5/2}, \qquad (13)$$

где β — угол в вершине водослива; H — напор над его порогом.

При эксплуатации наибольшее распространение получили треугольные водосливы с углом в вершине $\beta=90°$. В этом случае пропускную способность водослива вычисляют по формуле (табл. 2)

$$Q=1{,}4H^2\sqrt{H} \qquad (14)$$

или точнее

$$Q=1{,}343H^{2{,}47}, \qquad (15)$$

где H в м, Q в м³/с.

На каналах с расходом до 6...8 м³/с можно применять трапецеидальные водосливы в тонкой стенке со свободным и затопленным истечением (рис. 2, *б*).

Свободное истечение через водослив в тонкой стенке можно получить в основном в голове канала (у распределительных бассейнов) или при больших уклонах дна. При малых же уклонах допускается затопление водослива со стороны нижнего бьефа.

Пропускную способность трапецеидального водослива в общем виде находят по формуле

$$Q=mb\sigma_{\text{п}}\sqrt{2g}\ H^{3/2}, \qquad (16)$$

где m — коэффициент расхода, $m=0{,}42$; b — ширина водослива; $\sigma_{\text{п}}$ — коэффициент подтопления (при свободном истечении $\sigma_{\text{п}}=1$); H — напор над порогом.

Чаще всего применяют водослив с углом наклона ребра к вертикали $\beta=14°$ или заложением откосов 1 : 4. Для этих водосливов при свободном истечении используют упрощенную формулу

$$Q=1{,}86bH^{3/2}. \qquad (17)$$

В формуле (17) все линейные величины должны быть в метрах, тогда расход получат в м³/с. Эту формулу применяют, когда напор измеряют на расстоянии $(3...4)H_{\max}$ от створа установки водослива. Если же измерительные средства (линейка) расположены на самом водосливе (на боковой его части), то

$$Q=1{,}9bH^{3/2}. \qquad (18)$$

Если водослив подтапливается со стороны нижнего бьефа, то необходимо учитывать подтопление. Глубину измеряют контрольными рейками *1* (рис. 2, *г*).

Для определения коэффициента подтопления имеются только частные решения, поэтому для ускорения рас-

3. Определение расходов q воды по затопленному трапецеидаль

Напор H, м	$h_п$, м								
	0	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,14
0,02	0,005	0,005	—	—	—	—	—	—	—
0,03	0,009	0,009	—	—	—	—	—	—	—
0,05	0,021	0,021	0,017	—	—	—	—	—	—
0,08	0,043	0,042	0,039	0,034	0,024	—	—	—	—
0,10	0,060	0,059	0,056	0,051	0,044	—	—	—	—
0,12	0,079	0,078	0,075	0,071	0,064	0,054	0,048	—	—
0,15	0,110	0,110	0,107	0,103	0,096	0,088	0,084	0,071	—
0,18	0,145	0,145	0,142	0,138	0,132	0,124	0,120	0,110	0,097
0,20	0,170	0,170	0,166	0,163	0,157	0,148	0,145	0,136	0,124
0,22	0,196	0,196	0,192	0,188	0,182	0,176	0,173	0,164	0,152
0,25	0,238	0,237	0,234	0,229	0,224	0,218	0,214	0,208	0,196
0,28	0,282	0,282	0,279	0,274	0,268	0,262	0,259	0,251	0,241
0,30	0,312	0,312	0,308	0,304	0,298	0,292	0,280	0,281	0,271
0,32	0,344	0,344	0,340	0,337	0,331	0,326	0,321	0,313	0,304
0,35	0,393	0,393	0,390	0,386	0,381	0,374	0,370	0,362	0,354
0,38	0,445	0,445	0,442	0,437	0,432	0,427	0,424	0,416	0,408
0,40	0,481	0,481	0,478	0,472	0,468	0,462	0,460	0,451	0,442

четов приведена таблица 3, где дан расход трапецеидального водослива при свободном и затопленном истечении при ширине его 1 м (Киенчук, 1971). При ширине $b \neq 1$ м расход можно получить, умножив фактическую ширину на табличный расход q (табл. 3) при равном напоре: $Q = qb$.

Высокую точность при измерении расхода воды водосливами в тонкой стенке можно получить, если высота порога p не менее H_{max}; напор над порогом изменяется $0{,}1b < H < 0{,}3b$; ширина горизонтальной площадки порога водослива равна 1 мм, а скос выполнен под углом 45° со стороны нижнего бьефа (рис. 2, *г*); расстояние от наклонной боковой грани водослива до откоса не менее H_{max}; напор измеряли на расстоянии $l \cong (3...4) H_{max}$ от створа установки водослива; средняя скорость потока в верхнем бьефе $v_0 = Q/[b_к + m_1(p+H)](p+H)$ должна быть меньше допустимой (см. табл. 1).

Для измерения расхода воды используют также прямоугольные с боковым и без бокового сжатия, трапецеидальные, сужающиеся кверху, параболические, радиальные, пропорциональные и другие водосливы. Однако в книге они не рассматриваются, так как широкого распространения на оросительных системах не получили.

ному водосливу при $b=1$ м

0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,078	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,109	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,139	0,122	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,184	0,170	0,152	0,130	—	—	—	—	—	—	—
0,231	0,218	0,202	0,185	0,164	—	—	—	—	—	—
0,261	0,249	0,235	0,218	0,206	0,177	—	—	—	—	—
0,294	0,283	0,269	0,254	0,237	0,217	0,192	—	—	—	—
0,345	0,333	0,321	0,308	0,292	0,273	0,252	0,228	—	—	—
0,398	0,387	0,375	0,362	0,347	0,331	0,312	0,290	0,266	0,235	—
0,433	0,423	0,411	0,399	0,385	0,368	0,351	0,332	0,308	0,283	0,250

Расход воды на водосливах (в основном со свободным истечением, так как точность измерения расхода воды наиболее высокая) измеряют нивелировкой, рейками, разметкой шкалы на водосливе, а также расходографами, самописцами уровня воды, лимнископами, расходоскопами, датчиками уровня и т. д. В этом случае в состав водомерного поста входит (рис. 3): *1* — водослив; *2* — импульсная трубка диаметром 5...7,5 см, сообщающая бьеф с колодцем; *3* — колодец диаметром больше, чем наибольший геометрический размер измерительного преобразователя; *4* — измерительный преобразователь с поплавком *5* и контргрузом *6*, установленный на кронштейне *7*.

Колодец сверху закрывают крышкой *8*, предохраняющей прибор, а также колодец от загрязнения и механических повреждений. Причем размеры его должны обеспечивать максимальное удобство при обслуживании. Для этого высота его над поверхностью земли должна быть не менее 0,6 м, а дно располагаться на 0,1... 0,15 м ниже оси импульсной трубки *2*, что уменьшит периодичность очистки от осаждения взвешенных частиц. Контролируют измерения рейкой *9*.

При работе водосливов с подтоплением измеряют напоры над порогом в верхнем и нижнем бьефах теми

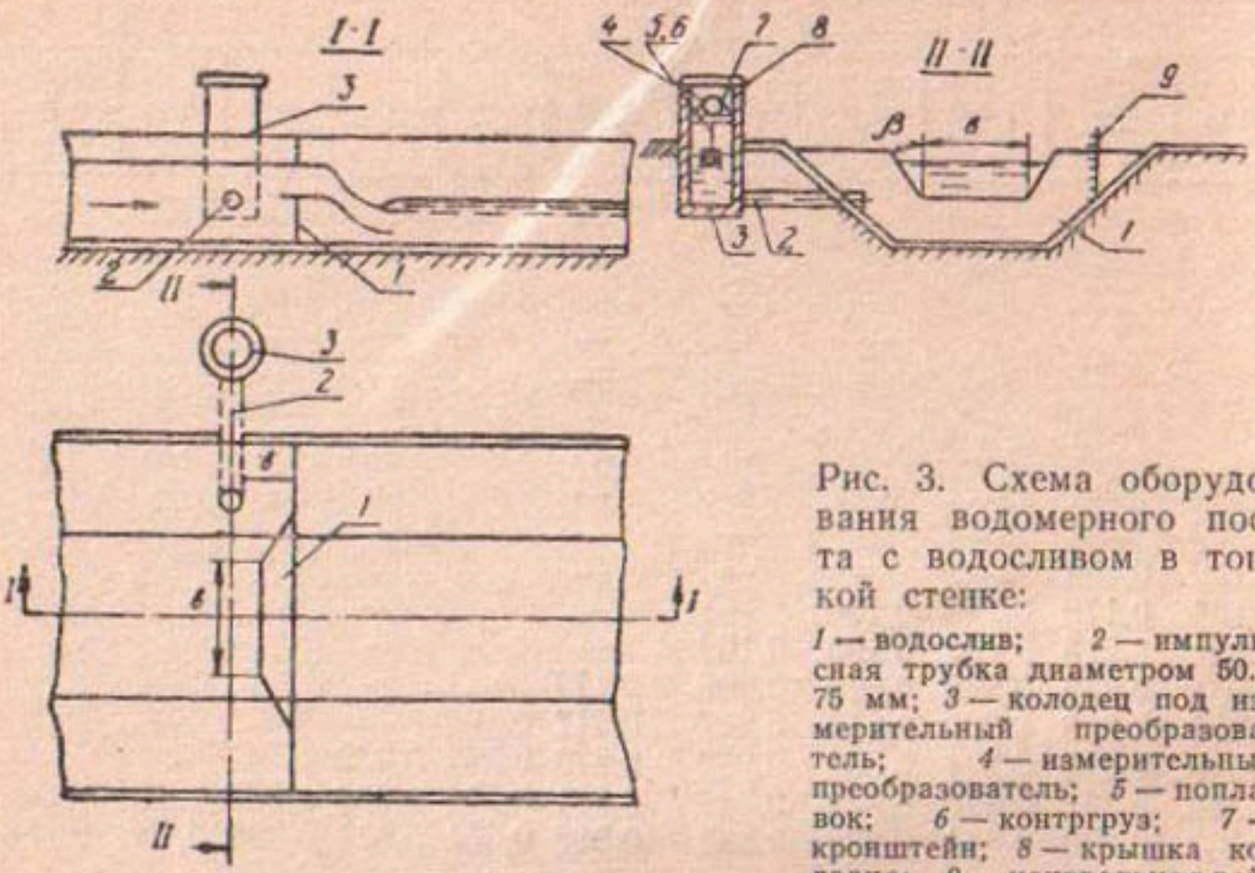


Рис. 3. Схема оборудования водомерного поста с водосливом в тонкой стенке:

1 — водослив; *2* — импульсная трубка диаметром 50... 75 мм; *3* — колодец под измерительный преобразователь; *4* — измерительный преобразователь; *5* — поплавок; *6* — контргруз; *7* — кронштейн; *8* — крышка колодца; *9* — контрольная рейка.

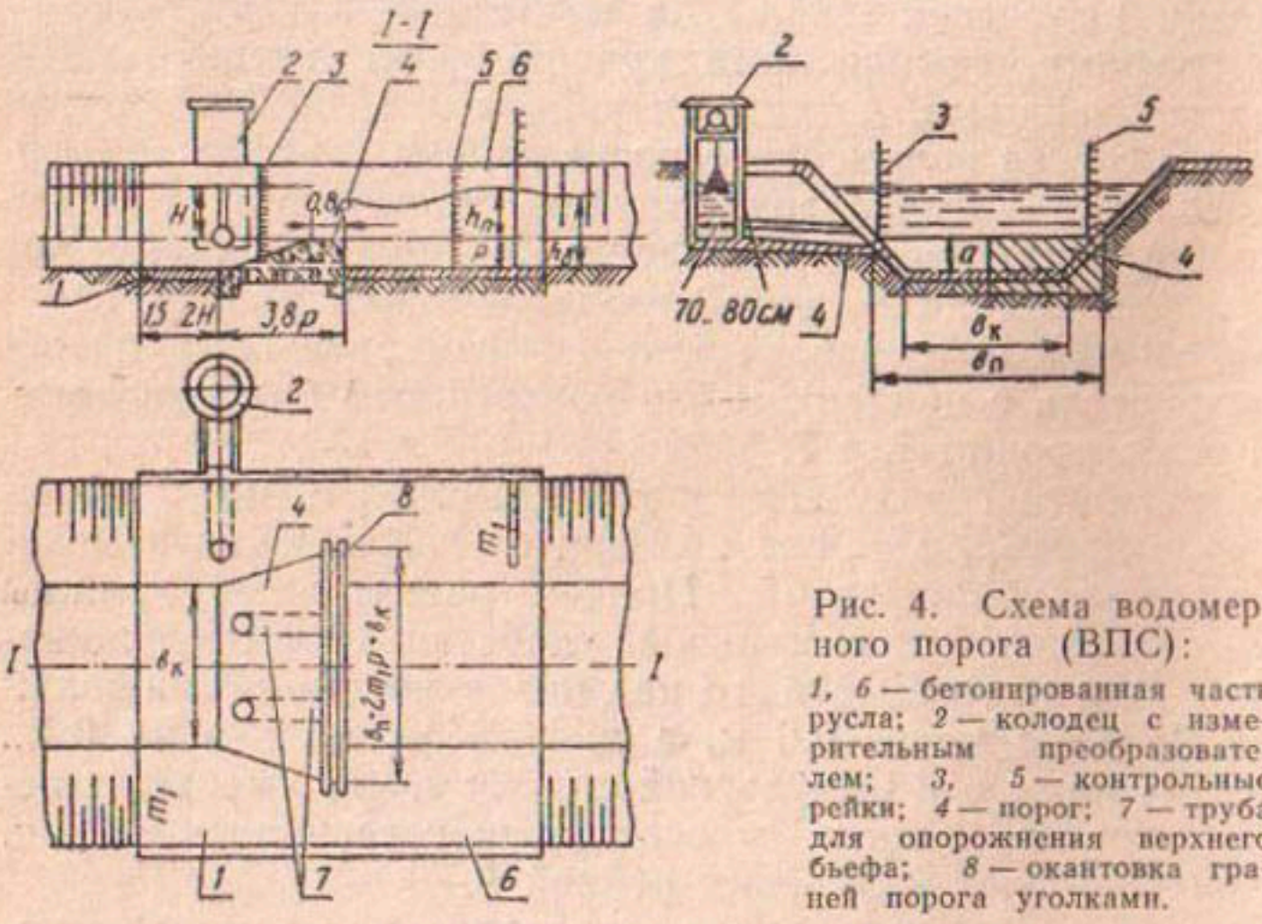


Рис. 4. Схема водомерного порога (ВПС):

1, 6 — бетонированная часть русла; *2* — колодец с измерительным преобразователем; *3, 5* — контрольные рейки; *4* — порог; *7* — труба для опорожнения верхнего бьефа; *8* — окантовка граней порога уголками.

же средствами, что и при свободном истечении воды.

При измерении расхода трапецеидальными водосливами с заложением откосов $m'=1$ (Иванова) расчетной является формула

$$Q=1{,}86[(b+H)/(b+0{,}25)]. \qquad (19)$$

Водомерные пороги САНИИРИ (ВПС). Предназначены для механизированного и автоматизированного измерения расхода (количества) воды в открытых каналах (водотоках) трапецеидального поперечного сечения с расходом до 60 м³/с на транзитных и головных участках каналов при условии, что подпор (подпор ориентировочно равен 0,12...0,15 максимальной бытовой глубины для ВПС без выреза и 0,2...0,25 для ВПС с вырезом воды в канале), создаваемый порогом, не должен уменьшать расход воды, пропускаемый головным сооружением; максимальная глубина воды в канале не должна превышать $^1/_3 b$, а скорость потока — 1,5 м/с; относительное затопление гребня порога, то есть отношение глубины воды над порогом в нижнем бьефе $h_п$ к напору верхнего бьефа $H_п$, должно быть не более 0,8.

ВПС без выреза (рис. 4) применяют при $Q_{max}/Q_{min}=10$, а с вырезом—ВПС$=b$ (рис. 5) при $Q_{max}/Q_{min}>10$.

Водомерный пост ВПС (рис. 4) представляет собой бетонированный участок с шириной по дну $b_к$ и коэффициентом заложения откосов m_1. Длина понурной части не менее $(3...4)H_{п_{max}}$ по гидротехническому расчету для ВПС с расходом более 20 м³/с. Водосливный порог с напорным откосом 1 : 3 имеет горизонтальный гребень длиной $0{,}8p$ и вертикальный уступ высотой p. Уровнемерная или расходомерная рейка *3* расположена в начале напорного откоса порога с нулем на уровне порога водослива, а контрольная рейка *5* в нижнем бьефе для проверки условия $h_п/H\leqslant 0{,}8$. Приборный колодец предназначен для измерительного преобразователя *2*, трубы *7*, заложенные в тело водосливного порога, служат для опорожнения верхнего головного участка (мертвого объема) при нулевом расходе (неполивной период). Грани порога окантованы уголками *8* размером 45×45 мм.

ВПС с вырезом (рис. 5) отличается от ВПС наличием в пороге *4* вырезной части *9* трапецеидального сечения с откосами $m_в$ и высотой выреза $p_в$, через который

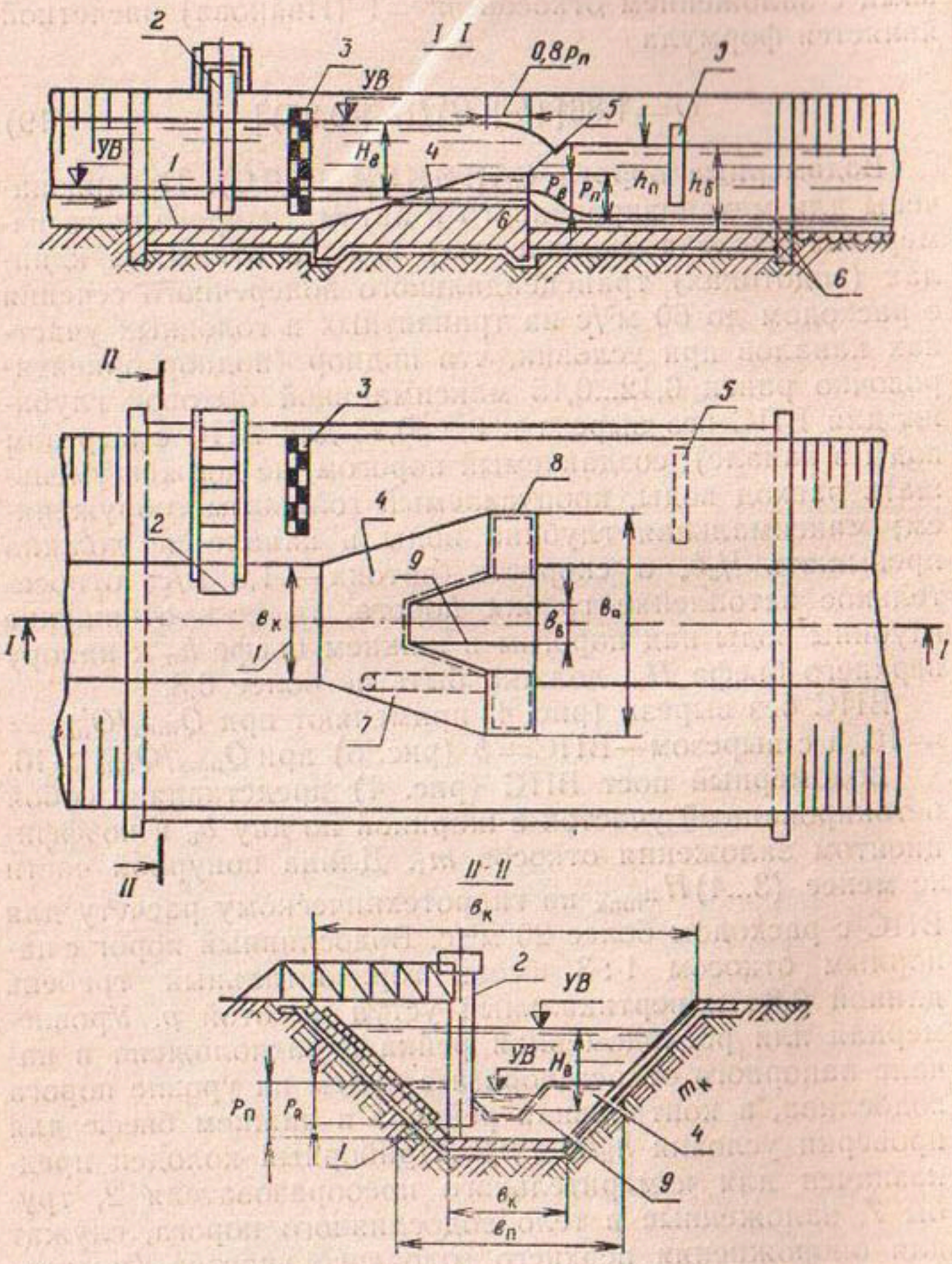


Рис. 5. Схема водомерного порога САНИИРИ с вырезом:

1, 6 — бетонированная часть русла; *2* — колодец с измерительным преобразователем; *3, 5* — контрольные рейки; *4* — порог; *7* — труба для опорожнения верхнего бьефа; *8* — окантовка уголком; *9* — вырезная часть порога.

пропускают и измеряют (с достаточной точностью) малые расходы воды.

С помощью ВПС можно измерять расход при переменном уровне воды в нижнем бьефе от нижележащих подпорно-регулирующих сооружений.

Пропускную способность водомерного порога САНИИРИ без выреза определяют по формуле

$$Q=[(0{,}37+0{,}04(H/p)](b_{\text{п}}+m_1H)\sqrt{2g}\,H^{3/2}, \qquad (20)$$

где $0{,}37+0{,}04\ (H/P)$ — коэффициент расхода порога; $b_{\text{п}}+m_1H$ — средняя ширина потока на пороге; p — высота порога; H — напор гребнем; m_1 — коэффициент заложения откосов канала; $b_{\text{п}}$ — ширина порога на уровне его гребня, $b_{\text{п}}=2m_1p+b_{\text{к}}$; $b_{\text{к}}$ — ширина канала по дну; g — ускорение свободного падения.

Из формулы (20) видно, что расход воды зависит только от одной переменной величины напора над гребнем H. Остальные параметры для конкретного водомерного порога постоянны. Формула (20) действительна при относительном затоплении $h_{\text{п}}/H\leqslant 0{,}8$ ($h_{\text{п}}$ — превышение максимальной глубины в нижнем бьефе над порогом).

Гидравлический расчет и определение размеров ВПС осуществляют подбором по формуле (20), зная $Q_{\max}$ — максимальный расход воды в канале; i — уклон дна канала; поперечный профиль канала в выбранном створе для ВПС; $h_{\text{б}\max}$ — максимальную бытовую глубину воды в канале с учетом возможного заиления и подпора в нижнем бьефе; $b_{\text{к}}$ — ширину канала по дну на бетонированном участке ВПС; m_1 — коэффициент откосов; p — высоту порога (в расчетах ее задают). Для первого приближения принимают $p=0{,}6h_{\text{к}}$, округляя через 0,1 м, то есть 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 м.

Затем вычисляют $b_{\text{п}}=b_{\text{к}}+2mp$ и $h_{\text{п}}=h_{\text{б}}-p$.

По формуле (20) для максимального расхода воды определяют напор H, а затем находят относительное затопление $h_{\text{п}}/H$. Если оно будет меньше 0,8 (желательно 0,65...0,8), то расчет заканчивают. В противном случае высоту порога p принимают больше и расчет повторяют. По окончательно принятым $b_{\text{к}}$, m_1, p, $b_{\text{к}}$, H вычисляют остальные размеры.

Пропускную способность ВПС с вырезом определяют по формуле

$$Q=\varepsilon\mu_{\text{в}}(b_{\text{в}}+m_{\text{в}}H_{\text{в}})H_{\text{в}}\sqrt{2gH_{\text{в}}}+$$
$$+\mu_{\text{п}}(b_{\text{п}}-b_{\text{в}}-2m_{\text{в}}p)(H_{\text{в}}-p_{\text{в}})\sqrt{2gH_{\text{в}}}, \qquad (21)$$

где ε — коэффициент бокового сжатия, $\varepsilon=0{,}7+0{,}3[b_в/(b_п+2m_вp_в)]$; $\mu_в$ — коэффициент расхода вырезной части, $\mu_в=0{,}37+0{,}025[H_в/(p_в+p_в)]$; $\mu_п$ — коэффициент расхода порога, равный $0{,}37+0{,}04(H/p)$; $b_в$ — ширина вырезной части по дну; $b_п$ — ширина порога поверху; $m_в$ — коэффициент боковых откосов вырезной части; $p_в$ — высота вырезной части; p — общая высота порога; $H_в$ — напор воды над дном вырезной части; g — ускорение свободного падения.

Первое слагаемое правой части уравнения (21) определяет расход воды, проходящей через вырезную часть при $H_в \leqslant p_в$, при этом второе слагаемое отбрасывают. Если $H_в > p_в$, то уравнение решают полностью.

Гидравлический расчет и определение размеров проводят подбором по формуле (21) при относительном затоплении $h_п/H \leqslant 0{,}8$ и максимальном расходе. Для этого необходимо знать: максимальный Q_{max} и минимальный Q_{min} расходы воды в канале; поперечный профиль канала в выбранном створе для ВПС с вырезом и соответствующие им глубины воды $h_{б\,min}$, $h_{б\,max}$; $b_к$ — ширину канала по дну на бетонированном участке принимают округленно (соответственно бытовой ширине): 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 6 и т. д.; $m_к$, $m_в$ — коэффициенты откосов канала и вырезной части принимают одинаковыми: 1; 1,5; 1,75; 2; $b_в=0{,}4b_п$ — ширину вырезной части; $p_п$ — высоту порога. В первом приближении принимают $p_п=0{,}8h_{б\,max}$, округляя через 0,1 м, то есть 0,4; 0,5; 0,6 и т. д.; $p_в=0{,}5p$ — высоту вырезной части.

Затем вычисляют $b_п=b_к+2m_1p$; $h_п=h_{б\,max}-(p-p_в)$.

Подобрав по формуле (21) при максимальном расходе Q_{max} необходимый напор $H_в$, определяют условия затопления $h_п/H_в \leqslant 0{,}7...0{,}8$.

По окончательно принятым $b_к$, m_1, p, $p_в$, $b_п$, $b_в$, $H_в$ назначают остальные размеры.

Водомерный лоток Паршалла (ВЛП). Предназначен для механизированного и автоматизированного измерения воды в межхозяйственных и хозяйственных открытых каналах с расходом до 5 м³/с.

Устанавливают их на транзитных водомерных постах, а также на головных участках каналов за сооружением при условии обеспечения свободного истечения для получения однозначной зависимости $Q=f(H)$, что упрощает автоматизацию учета воды, а подпор от лотка не снижает расхода воды головного сооружения. При этом

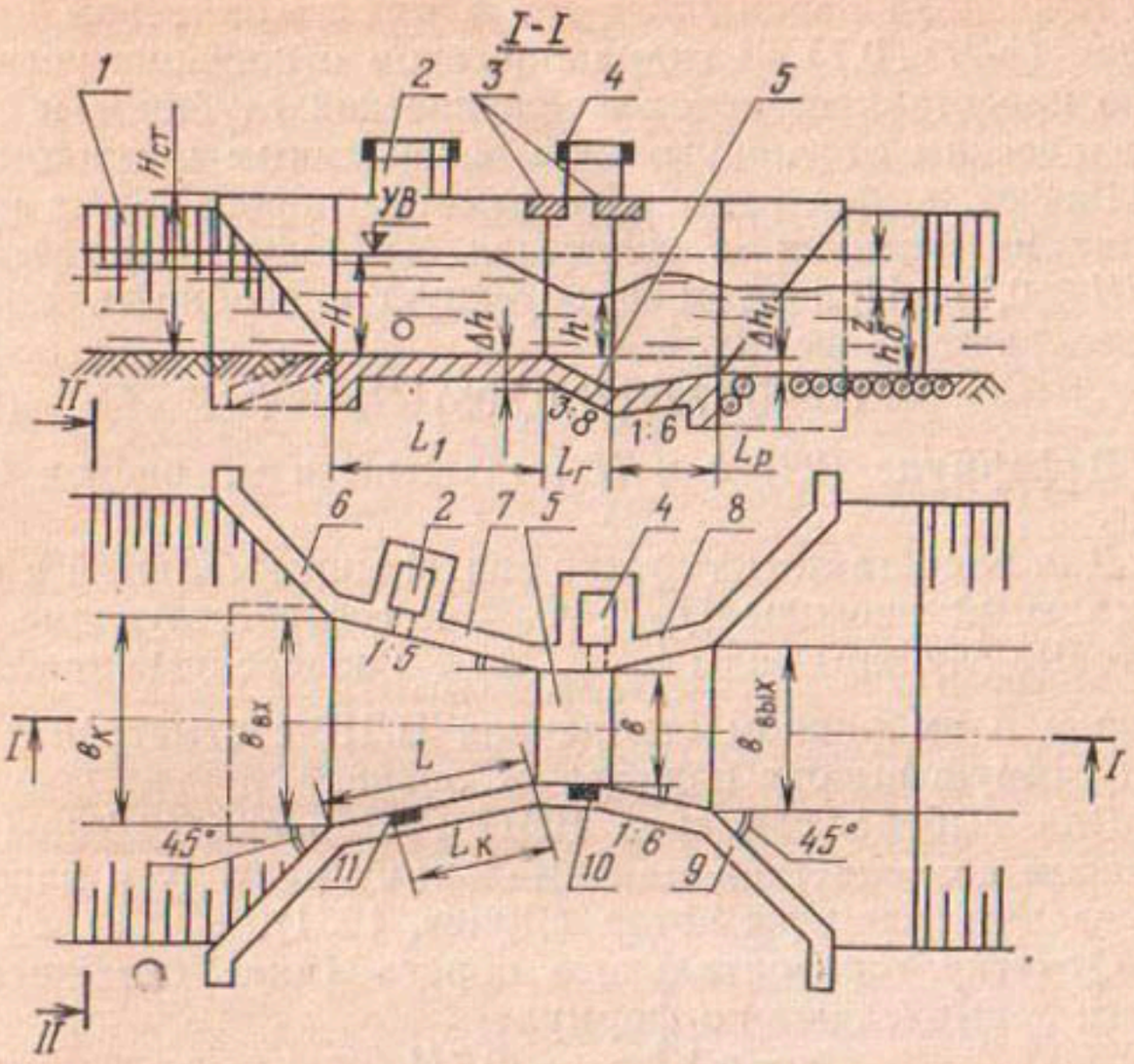


Рис. 6. Схема водомерного лотка Паршалла:

1 — подводящий участок канала; *2, 4* — колодцы для измерительных преобразователей; *3* — распорки; *5* — горловина лотка; *6, 7* — входная сходящаяся часть; *8, 9* — выходная часть лотка; *10, 11* — контрольные рейки.

скорость воды в канале не превышает 1,5 м/с. Недостаток ВЛП — сложность конструкции.

Стандартный ВЛП (рис. 6) состоит из входной сходящейся (1 : 5) части *7* с открылками *6* для сопряжения с каналом, дно (порог) которого горизонтально, а стенки — вертикальные; узкой части (горловины) *5* шириной *b* с дном, имеющим прямой уклон 3 : 8 и параллельными и вертикальными стенками; выходной расходящейся (1 : 6) части *8* с дном, имеющим обратный уклон 1 : 6, и открылками *9* (стенки вертикальные); верхней и нижней уровнемерных реек *10* и *11*, нуль которых совпадает с порогом (дном) входной части; верхнего *2* и нижнего *4* колодцев для установки приборов (самописцев, измерителей уровня), обеспечивающих автоматизацию учета воды.

По принципу действия ВЛП относят к преобразователям переменного напора *H* при свободном истечении,

а также двух переменных H, $h_б$ при затопленном истечении ($h/H<0,7$). В гидравлическом отношении устройство представляет лоток с критической глубиной и гидравлическим отогнанным или затопленным прыжком.

Расчет, выбор размера и отметки порога лотка проводят из условия обеспечения свободного истечения ($h/H<0,7$). При этом пропускную способность лотка определяют по формуле

$$Q=0,372b(H/0,305)^{1,57}b^{0,026}. \quad (22)$$

В формуле (22) b и H выражены в м, расход Q в $м^3/с$.

Для расчета лотка нужно знать: максимальный и минимальный расходы Q_{max}, Q_{min} и соответствующие им бытовые глубины воды $h_{б_{max}}$, $h_{б_{min}}$; поперечный профиль канала в выбранном створе для ВЛП с отметкой дна; допустимую высоту подпора от лотка.

Для выбора размеров ВЛП составлена таблица 4, которая позволяет по максимальному расходу и напору определить размеры лотка (Ярцев, 1951).

Отметку горизонтального порога (дна) сходящейся части x вычисляют по формуле

$$x=y+h_{б_{max}}-0,7H, \quad (23)$$

где H — напор воды над порогом, соответствующий Q;

y — средняя отметка дна; $h_{б_{max}}$ — максимальная глубина.

К полученной отметке прибавляют запас, равный не менее 0,1...0,2 м.

По окончательно выбранным основному размеру b и отметке порога по таблице 4 принимают остальные размеры лотка, а затем определяют его отметки.

Пропускная способность лотков приведена в таблице 5.

Поправку q находят по таблице 6 и зависит она от относительного затопления h/H. H и h измеряют по рейкам или двумя приборами — измерителями уровня воды.

Устройства с плавным боковым или донным стеснением. Используют их для измерения расходов воды на гидромелиоративных системах.

Устройство с донным стеснением (рис. 7, *А*) имеет донный порог полигональной формы. Входная грань порога наклонена с заложением 1 : 2,5, горизонтальная средняя часть имеет длину $4,5p$, концевая часть наклонная с заложением 1 : 4,5.

4. Основные параметры ВЛП

b, м	$B_{вх}$, м	$B_{вых}$, м	L_1, м	L, м	$L_к$, м	H_{min}, м	H_{max}, м	Q_{min}, м³/с	Q_{max}, м³/с
0,25	0,78	0,56	1,32	1,35	0,90	0,03	0,60	0,003	0,25
0,50	1,08	0,81	1,44	1,47	0,98	0,03	0,80	0,006	0,79
0,75	1,38	1,06	1,56	1,60	1,06	0,04	0,80	0,015	1,19
1,00	1,67	1,31	1,68	1,72	1,15	0,05	0,80	0,024	1,62
1,25	1,97	1,56	1,81	1,85	1,29	0,06	0,80	0,038	2,03
1,50	2,27	1,80	1,93	1,97	1,31	0,06	0,80	0,046	2,44
1,75	2,57	2,06	2,05	2,10	1,35	0,07	0,80	0,068	2,88
2,00	2,87	2,31	2,17	2,22	1,41	0,07	0,80	0,076	3,32
2,50	3,47	2,81	2,42	2,47	1,65	0,07	0,80	0,095	4,19

Примечание. Остальные размеры: длина горловины $L_г$=0,61 м; длина расходящейся части $L_р$=0,92 м; высота падения дна горловины Δh=23 м; разность отметок порога и дна выхода Δh_1=0,08 м; высота стенок сходящейся части $H_{ст}=H_{max}+0{,}1...0{,}2$ м одинаковы для всех ширин горловины.

5. Расходы воды (м³/с) *для стандартных лотков Паршалла со свободным истечением*

H, м	Ширина горловины лотка b, м						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50
0,050	0,012	0,016	0,021	0,026	—	—	—
0,075	0,021	0,031	0,041	0,051	0,061	—	
0,100	0,033	0,050	0,965	0,080	0,095	0,126	—
0,125	0,047	0,070	0,092	0,114	0,136	0,179	0,222
0,150	0,062	0,092	0,122	0,152	0,184	0,240	0,297
0,175	0,079	0,118	0,156	0,194	0,231	0,307	0,381
0,200	0,097	0,144	0,192	0,239	0,286	0,379	0,472
0,250	0,137	0,204	0,272	0,340	0,407	0,542	0,675
0,300	0,181	0,272	0,362	0,453	0,544	0,725	0,905
0,350	0,230	0,346	0,462	0,578	0,694	0,927	1,160
0,400	0,283	0,425	0,569	0,714	0,858	1,148	1,440
0,450	0,339	0,511	0,686	0,859	1,034	1,385	1,740
0,500	0,398	0,602	0,808	1,015	1,222	1,639	2,058
0,550	0,461	0,700	0,938	1,179	1,420	1,908	2,399
0,600	0,528	0,800	1,075	1,363	1,630	2,193	2,760
0,650	0,597	0,906	1,219	1,535	1,850	2,429	3,140
0,700	0,669	1,016	1,370	1,725	2,083	2,805	3,530
0,750	0,744	1,132	1,526	1,924	2,323	3,340	3,950
0,800	—	—	—	2,130	2,573	3,920	4,380

Устройства с боковым стеснением (рис. 7, *В*) вначале сужаются, затем имеют постоянную ширину, а концевая часть расширяется. Коэффициент заложения стенок входного участка равен 1 : 4, а концевой части 1 : 6,5. Длина участка с постоянной шириной 6,5*р*.

6. Поправка q (л/с) на затопление для лотка Паршалла с шириной горловины b = 1 м

H, м	h/H					Примечание
	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	
0,050	0,005	0,006	0,007	0,009	0,014	
0,075	0,006	0,007	0,009	0,012	0,020	Для $b \neq 1$ значения умножаются на коэффициент
0,100	0,006	0,008	0,010	0,016	0,027	
0,125	0,007	0,009	0,013	0,020	0,036	
0,150	0,007	0,010	0,015	0,026	0,046	0,57 при $b = 0{,}50$ м;
0,175	0,008	0,012	0,019	0,032	0,057	0,79 » $b = 0{,}75$ м;
0,200	0,019	0,014	0,022	0,038	0,068	1,20 » $b = 1{,}25$ м;
0,250	0,012	0,019	0,031	0,053	0,095	1,39 » $b = 1{,}50$ м;
0,300	0,015	0,025	0,041	0,071	0,124	1,52 » $b = 1{,}75$ м;
0,350	0,019	0,032	0,053	0,090	0,157	1,76 » $b = 2{,}00$ м;
0,400	0,024	0,040	0,067	0,113	0,192	1,94 » $b = 2{,}25$ м;
0,450	0,029	0,049	0,082	0,137	0,230	2,11 » $b = 2{,}50$ м;
0,500	0,036	0,060	0,099	0,163	0,271	2,28 » $b = 3{,}00$ м;
0,550	0,043	0,072	0,118	0,192	0,314	2,45 » $b = 3{,}00$ м;
0,600	0,051	0,085	0,138	0,222	0,360	
0,650	0,060	0,099	0,159	0,254	0,408	
0,700	0,069	0,114	0,182	0,288	0,458	$k = b^{0,815}$
0,750	0,080	0,131	0,207	0,325	0,510	
0,800	0,092	0,148	0,234	0,362	0,564	

При плавном донном и боковом стеснении устройства могут работать со свободным и несвободным истечением, что влияет на их пропускную способность.

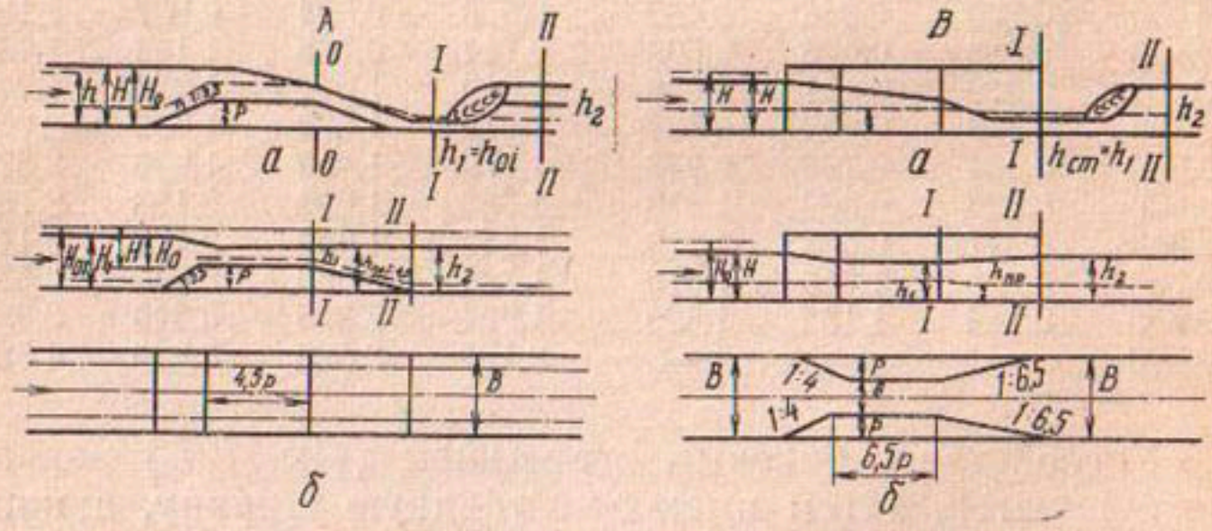


Рис. 7. Схема устройства с донным стеснением (*A*) и с плавным боковым (*B*):

а — свободное истечение; *б* — затопленное.

Для устройств с донным стеснением расход определяют по формуле:

для свободного истечения

$$Q=b\sqrt{\frac{g(h_2^2-h_c^2)h_ch_2}{2(\alpha_{0_1}h_2-\alpha_{0_2}h_1)}} \qquad (24)$$

или

$$Q=b\sqrt{1{,}25h_0^3}; \qquad (25)$$

для несвободного истечения

$$Q=b\sqrt{\frac{g[h_2^2-(h_1+p)^2]h_1h_2}{2(\alpha_{0_1}h_2-\alpha_{0_2}h_1)}}, \qquad (26)$$

где Q — расход, проходящий через устройство; b — ширина сооружения в свету; h_2 — глубина воды в нижнем бьефе; h_c — глубина воды в сжатом сечении; h_1 — глубина воды на выходе из горизонтальной (для суживающейся на выходе из суженной) части устройства; h_0 — глубина воды на выходе из горизонтальной части донного порога; p — высота порога; α_{0_1} — корректив количества движения в сечении I — I, $\alpha_{0_1}=1$; α_{0_2} — корректив количества движения в сечении II — II, $\alpha_{0_2}=1$.

Пропускную способность устройства с боковым стеснением для свободного истечения вычисляют по формуле (24), а для несвободного по формуле

$$Q=b\sqrt{\frac{g(h_2^2-h_{cp}^2)bh_1h_2}{2(\alpha_{0_1}Bh_2-\alpha_{0_2}bm)}}. \qquad (27)$$

Для измерения уровня воды в устройстве с донным или боковым стеснением необходимо в сечении I — I и II — II установить измерительные рейки или самописцы. По измеренным уровням определяют расход воды для свободного истечения по формулам (24) и (25), для несвободного — (26) и (27).

Для свободного истечения при расчете расхода воды по формуле (25) для измерения уровня можно использовать одну рейку или один самописец, построив кривую $Q=f(h)$, а затем пользоваться ею в процессе эксплуатации.

Водомерное устройство трапецеидального сечения для каналов. Предназначено для механизированного и автоматизированного учета воды на открытых каналах с расходом до 2 м³/с, транзитных и головных участков межхозяйственных и внутрихозяйственных каналов при отсутствии переменного подпора в нижнем бьефе. Ско-

рость течения в канале должна быть не более 1,5 м/с (Валентини и др., 1977).

Его достоинства: большой диапазон учитываемых расходов $Q_{max}/Q_{min}>10$ раз, свободно пропускает поверхностные и донные наносы.

Водомерное устройство (рис. 8) состоит из бетонированного участка канала *3* трапецеидального сечения, шириной по дну $b_к=0{,}25...1$ м и заложением откосов $m_1=0{,}5$ или 1, строительной высотой $h_к=0{,}5...1$ м, боковой трапецеидальной диафрагмы *2*, состоящей из двух симметричных пластин, изготовленных из листовой стали толщиной 4...5 мм, скрепленных сверху и снизу уголками шириной 40...50 мм. Ширина диафрагмы по дну $b_с=0{,}8b_к$, поверху $B=0{,}8b_к$, заделка в откосы — 100 мм. Диафрагму заделывают в откосы канала в створе на расстоянии $5b$ от входа. Колодец *4* имеет узкую (10 мм) щель *5*, расположенную на расстоянии $l=(1...2)h_к$, в котором установлена рейка *1*.

Трапецеидальное водомерное устройство работает по принципу гидравлического сопротивления, создающего напор воды за счет равномерного по глубине бокового сжатия потока и отогнанного (незатопленного) прыж-

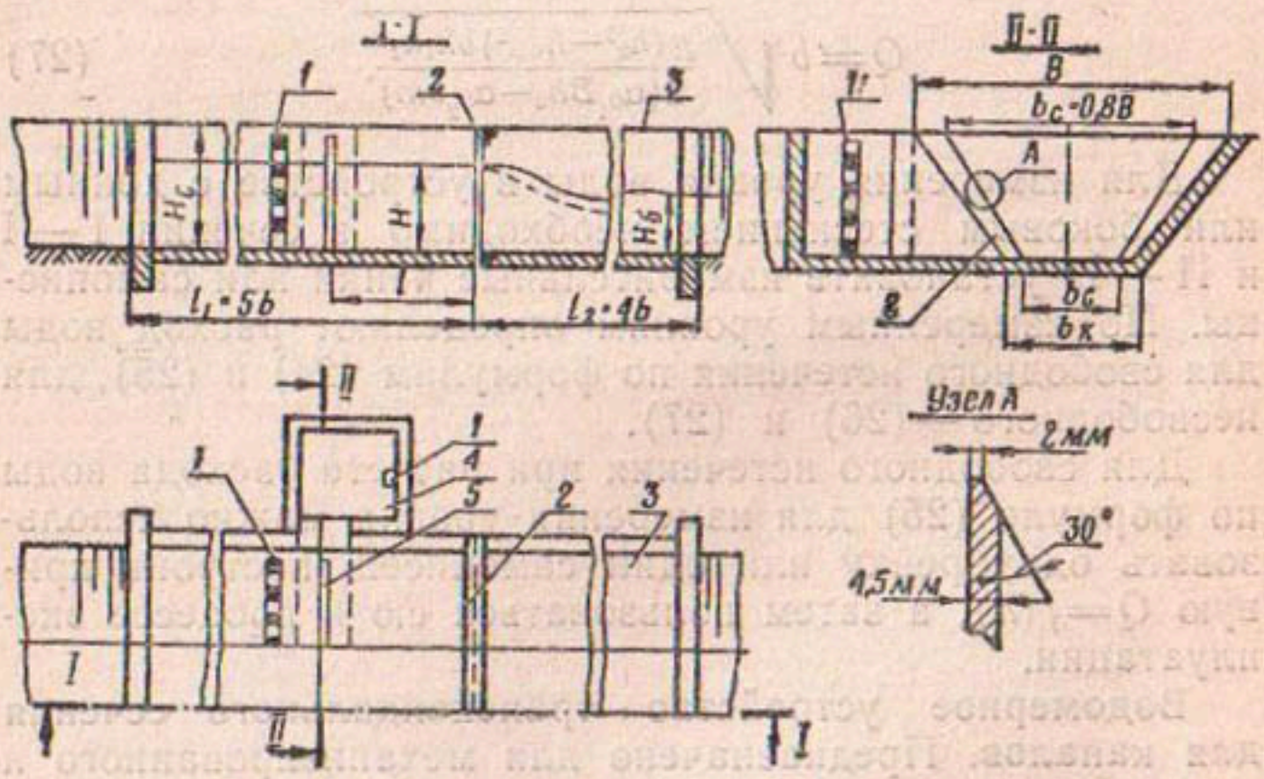


Рис. 8. Схема водомерного устройства для каналов трапецеидального сечения:

1 — контрольные рейки; *2* — диафрагма; *3* — бетонированный участок канала; *4* — колодец под измерительный преобразователь; *5* — щель, соединяющая канал с колодцем.

ка, обеспечивающего независимость расхода от режима потока в нижнем бьефе до относительного затопления $h/H<0{,}8$.

Для гидравлического расчета необходимо знать Q_{max} — максимальный расход воды в канале; i — уклон канала в зоне поста; $b_к$ — ширину по дну; $h_к$ — строительную глубину; m_1 — коэффициент заложения откосов; n — коэффициент шероховатости; $h_б$ — бытовую глубину воды в нижнем бьефе при Q_{max} (определяют расчетом, для работающего канала она известна).

Для расчета водомерного устройства пользуются формулой расхода воды:

$$Q=m(b_к+0{,}8m_1H)H\sqrt{2gH}\,k_c, \qquad (28)$$

где $b_к$ — ширина канала по дну перед диафрагмой; m_1 — принятый коэффициент заложения откосов; H — напор над порогом диафрагмы; k_c — коэффициент сжатия потока, $k_c=0{,}8$; m — коэффициент расхода, который ориентировочно принимается 0,43 для каналов с $m_1=1$ и 0,45 для каналов с $m_1=0{,}5$; g — ускорение свободного падения.

Зная $b_к$ и m_1, по этой формуле подбором находят напор H при известном Q_{max}.

Затем, вычислив бытовую глубину $h_б$ в нижнем бьефе, сравнивают ее с H. Если относительное затопление $h_б/H<0{,}8$, то будет незатопленный режим и однозначная зависимость $Q=f(H)$. В противном случае надо поднять порог всего участка водомерного устройства или за ним устроить перепад.

Расход воды измеряют систематически по уровнемерной или расходомерной рейке. В первом случае составляют таблицу расходов, во втором рейку градуируют в единицах расхода (наносят расходные деления), пользуясь формулой пропускной способности

$$Q=3{,}55m(b_к+0{,}8m_1H)H\sqrt{H}, \qquad (29)$$

где Q — расход воды; 3,55 — коэффициент пропорциональности, $3{,}55=k_c\sqrt{2g}$; $b_к$ — ширина канала по дну; H — напор на пороге устройства; m — коэффициент расхода, который принят для каналов с $m_1=1$ и шириной $b_к=0{,}25...1$ м, равным $0{,}447-(0{,}007/H)$, а для каналов с $m_1=0{,}5$ и $b_к=0{,}25...1$ м — $0{,}467-(0{,}0034/H)$.

Автоматизированный учет воды осуществляют с помощью измерительного прибора уровня воды.

Водомерное устройство для лотковых каналов. Предназначено для систематических измерений расхода во-

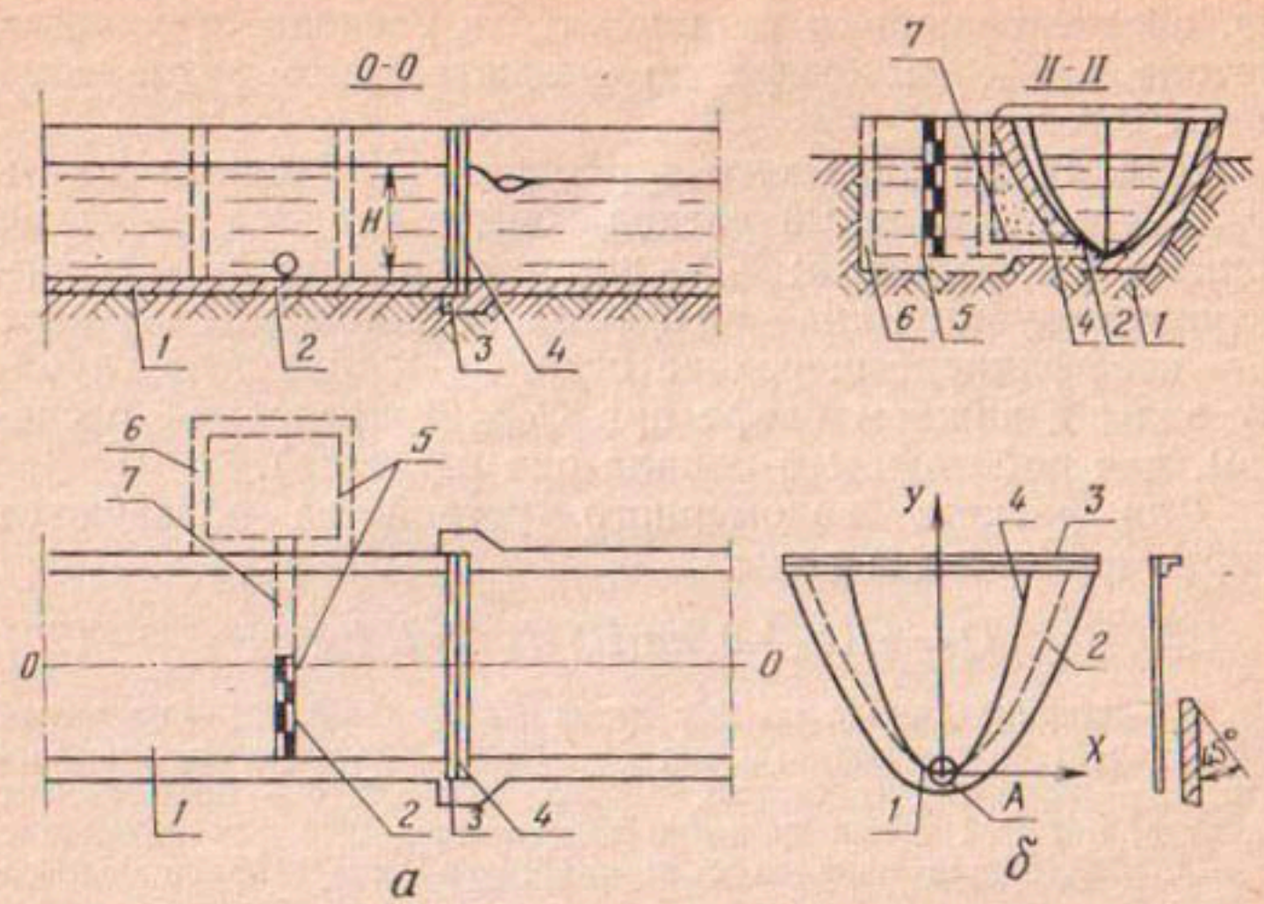


Рис. 9. Водомерное устройство для лотковых каналов:

а — схема устройства; *1* — лоток; *2* — отверстие в лотке; *3* — стык лотков; *4* — диафрагма; *5* — контрольная рейка; *6* — колодец; *7* — импульсная трубка; *б* — схема диафрагмы: *1* — вершина диафрагмы; *2* — линия, соответствующая форме внутреннего сечения лотка; *3* — уголок для жесткости конструкции; *4* — водосливный вырез диафрагмы; *А* — форма кромки водосливного выреза.

ды в каналах с глубиной 0,4...0,8 м, параметром формы p=0,2 м и 0,35 м и глубиной свыше 0,8 и 1 м (рис. 9). Используют его в качестве водомерного устройства транзитного внутрихозяйственного водомерного поста при наличии запасов высоты лотка над уровнем воды (Валентини, 1975, 1976).

Основой устройства является устанавливаемая в лоток металлическая диафрагма, обеспечивающая равномерное боковое сжатие потока.

Форму внутреннего отверстия диафрагмы рассчитывают по уравнению (при k_c=0,8):

$$x = \sqrt{2p_л y}\, k_c, \qquad (30)$$

где $p_л$ — параметр формы стандартного лотка; k_c — коэффициент сжатия потока (отношение площадей живого сечения в створе диафрагмы и в подводящем русле); x, y — горизонтальная и вертикальная координаты отверстия диафрагмы.

Остальные размеры диафрагмы подбирают с учетом габаритов стандартных лотков.

Нижняя кромка отверстия диафрагмы должна располагаться на уровне дна канала, чтобы не возникало препятствий транспортированию наносов в нижний бьеф водомерного поста.

Принцип действия водомерного устройства основан на создании режима истечения через диафрагму в виде отогнанного прыжка.

Расход воды, проходящий через диафрагму, зависит только от напора перед ней и определяется по формуле

$$Q=8{,}351(1+\zeta k_c^2)k_c H^2\sqrt{p_л}, \qquad (31)$$

где Q — расход воды; ζ — эмпирический коэффициент, учитывающий скорость подхода; H — напор воды перед диафрагмой, измеряемый с помощью рейки или прибора, устанавливаемых в успокоительном колодце или непосредственно в канале.

После ряда преобразований формула (31) примет вид:

для лотков глубиной 0,4...0,8 м и параметром формы $p_л=0{,}2$ м

$$Q=3{,}553[0{,}343+(0{,}00064/H)]H^2; \qquad (32)$$

для лотков глубиной свыше 0,8 м и параметром формы $p_л=0{,}35$ м.

$$Q=4{,}969[0{,}343+(0{,}00214/H)]H^2. \qquad (33)$$

Участок канала на расстоянии не менее двух секций лотка до и после диафрагмы должен быть прямолинейным. При этом в нижнем бьефе должен отсутствовать подпорно-переменный режим.

Фиксированные русла (контрольные русла). Предназначены для периодических (контрольных) и систематических (ежедневных) измерений расхода воды в открытых каналах и водотоках при отсутствии или невозможности применения других способов и средств измерения на транзитных (контрольных, балансовых) водомерных постах, а также на головных участках каналов при отсутствии подпорно-переменного режима движения потока в русле (рис. 10).

Водомерный пост состоит из фиксированного (бетоном, плитами и др.) участка водотока *1*, если последний проходит в естественном русле, который должен обеспечивать неразмываемость русла и его незаиляемость при малых скоростях течения. Длина участка $l_{ср}=(5...10)h_{б\,max}$, но не менее 5 м для малых каналов и не бо-

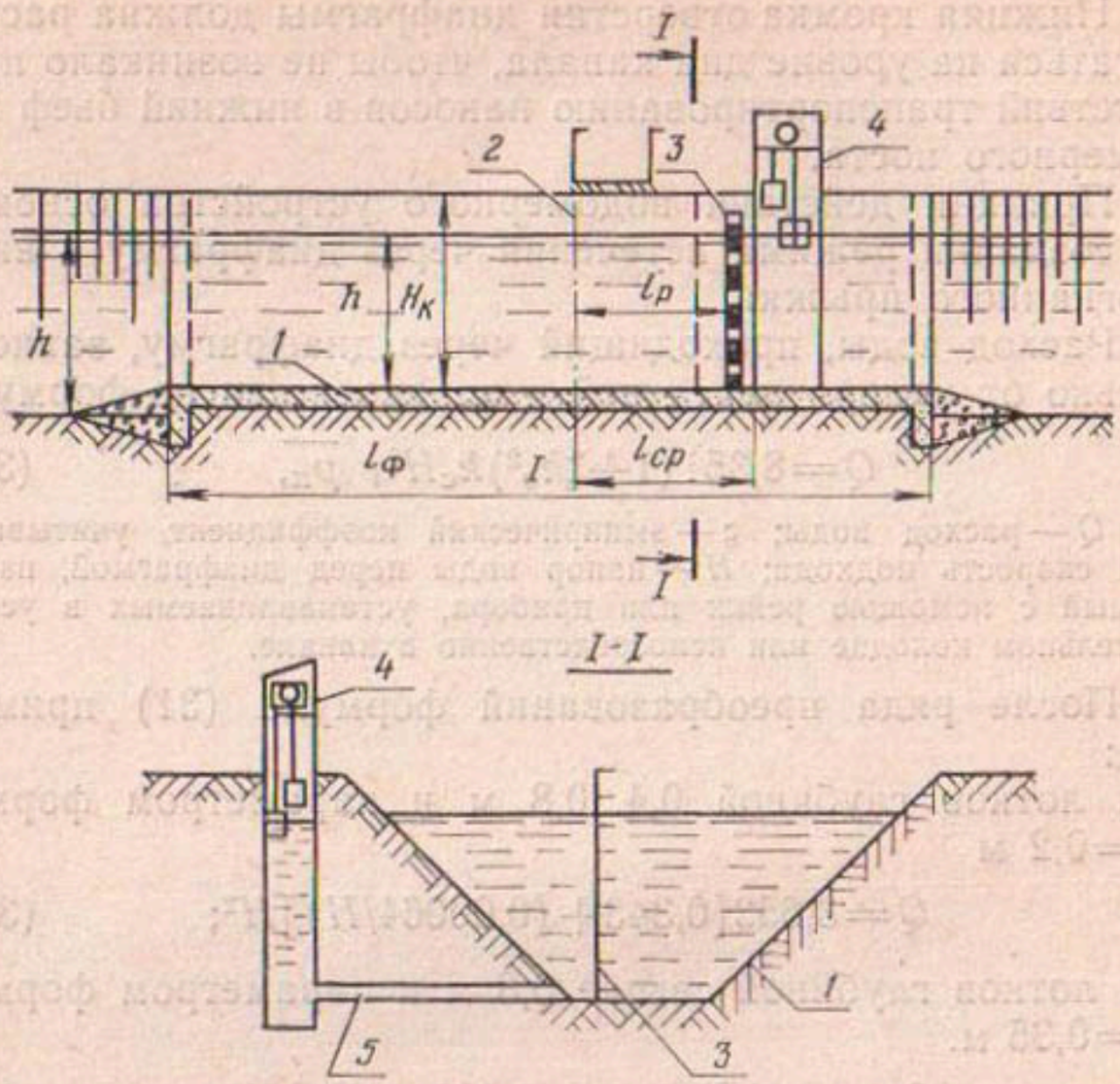


Рис. 10. Схема фиксированного русла:

1 — фиксированный участок; *2* — створ с мостиком; *3* — контрольная рейка; *4* — колодец; *5* — импульсная трубка.

лее 30...50 м для больших. Эта длина обеспечивает образование медленно изменяющегося (параллельно-струйного) движения потока в гидрометрическом створе *2* и расположение устройств для измерения уровня воды. На фиксированном участке располагают гидрометрический створ *2* с мостиком для измерений расхода воды. Для широких и глубоких русел вместо мостика применяют люльки, лодки, паромы или специальные дистанционные гидрометрические установки ГР-70, ГР-64. Створ выбирают на расстоянии $l_0 = (0{,}5...0{,}6)\,l_{ср}$ от начала участка. В створе устанавливают уровнемерную рейку *3* (стандартную или морскую), на которой отметка нуль совпадает с дном русла, выносной колодец *4* — с измерителем уровня воды.

При $Q_{max}/Q_{min} > 15$ фиксированное сечение можно делать ступенчатым или полигональным, то есть с более узкой частью по дну для измерения малых расходов.

Принцип действия (учета воды) контрольного русла заключается в получении однозначной зависимости расхода воды от глубины (уровня) воды $Q=f(h)$. Эту зависимость получают путем градуировочных (периодических, контрольных) измерений расхода воды в гидрометрическом створе вертушкой основным методом «площадь — скорость».

При устойчивой зависимости $Q=f(h)$ возможна автоматизация учета воды по одному измеряемому параметру h. Гидравлический расчет для получения этой связи следует проводить по зависимости (1).

Градуировку водомерного поста и измерения для контроля зависимости чаще всего выполняют русловым методом, который заключается в определении расхода по известным геометрическим параметрам русла (площадь поперечного сечения) и гидравлическим параметрам потока (средняя скорость). В этом случае пропускную способность канала или естественного водотока определяют по общей формуле

$$Q=\omega v, \qquad (34)$$

где Q — расход воды в канале или естественном русле; ω — площадь поперечного сечения канала в створе измерения; v — средняя скорость в том же створе.

Обычно для практических целей расход функционально связывают с каким-нибудь параметром потока. Чаще всего таким параметром является глубина потока h. Тогда для каждого створа $Q=f(h)$. Эта зависимость может быть использована для определения расхода воды по измеренной глубине.

Площадь поперечного сечения в выбранном створе обычно измеряют рейкой с полсантиметровыми делениями, нивелирной рейкой, нивелировкой или другими измерительными средствами.

Среднюю скорость движения в створе (или по отдельным элементарным площадкам — вертикалям) измеряют вертушкой, поплавками, гидрометрическими трубками, датчиками, электролитическим способом, с помощью изотопов и другими методами и измерительными средствами. В книге рассмотрено измерение скоростей только гидрометрическими вертушками и поплавками, так как другие способы не нашли применения на оросительных системах.

При русловом методе измерения расхода воды выполняют следующие работы: выбор участка канала и створа для измерения, разбивка участка на вертикали и закрепление их, измерение площади поперечного сечения между вертикалями, замер скоростей, определение по измеренным площади и средней скорости элементарных расходов по вертикалям или площадкам, а затем суммарного в канале.

Участок канала для створа выбирают, соблюдая следующие условия:

ось канала должна быть прямолинейной или иметь незначительную плавную кривизну;

если канал облицован, то откосы его должны быть устойчивыми, а профиль поперечного сечения не иметь резких изломов линии дна;

при оборудовании постоянного водомерного поста в намеченном створе не должны возникать кривые подпора или спада от нижерасположенных гидротехнических сооружений или участков с изломом дна (для одноразовых измерений это условие не обязательно);

выбранный участок не должен быть заросшим;

общая длина прямолинейного участка должна быть не менее $(4...5)B$ (B — ширина канала при максимальном его наполнении).

Расстояние от выбранного створа до нижележащего подпорно-регулирующего сооружения можно вычислить по формуле

$$L = k(H_{max}/i), \qquad (35)$$

где k — коэффициент запаса, $k=1{,}1$; H_{max} — максимальная глубина воды перед сооружением; i — уклон дна канала между створом и подпорно-регулирующим сооружением.

Если устраиваемый водомерный пост будет постоянным, то русло закрепляют. Ширина закрепленного участка зависит в основном от геометрических размеров поперечного сечения канала и должна быть не менее 2...3 м. Когда ложе канала выполнено из плотных грунтов, его можно использовать без закрепления, но при этом нужно проверять размеры его поперечного сечения не реже одного-двух раз в месяц.

Для измерения скоростей течения в створе на канале необходимо устраивать стационарные (на постоянных водомерных постах) или переносные (на временных) мостики или люльки. На мостике выполняют разбивку

вертикалей с помощью красок или простого карандаша. Расстояние между смежными вертикалями обычно принимают 0,1; 0,2; 0,5; 1 м и т. д. в зависимости от ширины канала.

В облицованном канале трапецеидальной формы по сравнению с естественным водотоком (или без облицовки) число вертикалей значительно сокращается (максимальное число их — шесть): крайние назначают посредине откоса (между урезом воды и линией пересечения откоса и дна), промежуточные — на линии пересечения дна и откоса, средние — в средней части дна канала.

В этом же створе должны быть и промерные вертикали, по которым определяют элементарные площади между ними и вертикали для измерения скоростей, обычно совмещаемые с промерными.

После измерения скорости вертушкой и вычисления расхода воды по сечению потока по каждой вертикали находят элементарный расход, равный произведению средней скорости $v_{ср}$ на ее глубину h

$$q = v_{ср} h \qquad (36)$$

и распределение его по ширине живого сечения. Глубины по вертикалям и расстояние между ними замеряют соответствующими измерительными приборами, а средние скорости измеряют на этих же вертикалях в нескольких характерных точках, затем их вычисляют по соответствующим формулам. На практике средние скорости на вертикалях обычно определяют трехточечным методом — измерение скорости в точках, расположенных по вертикали на расстоянии $0{,}2h$, $0{,}6h$, $0{,}8h$ от поверхности воды. В этом случае $v_{ср}$ определяют по формуле

$$v_{ср} = (v_{0,2h} + 2v_{0,6h} + v_{0,8h})/4, \qquad (37)$$

где $v_{0,2h}$, $v_{0,6h}$, $v_{0,8h}$ — скорости течения потока, измеренные по вертикали на глубине $0{,}2h$, $0{,}6h$, $0{,}8h$.

Иногда при малых глубинах воды в канале пользуются двухточечным методом, при котором среднюю скорость вычисляют по формуле

$$v_{ср} = (v_{0,2h} + v_{0,8h})/2. \qquad (38)$$

Эти способы обеспечивают достаточно точное ($\pm 2...3\%$) для практики определение средней скорости.

При измерении скорости на вертикалях с малыми глубинами, когда использование вертушек на глубине $0{,}8h$ невозможно, применяют одноточечный метод. В этом случае скорость на всех вертикалях измеряют только на глубине $0{,}6h$ от поверхности воды. Вероятная ошибка при одноточечном способе составляет $\pm 5...6\%$.

Обработка большого экспериментального материала, полученного в результате измерений скоростей в потоке в натурных условиях на оросительных системах УССР, показывает, что рекогностировочные контрольные измерения в руслах с достаточной для практики погрешностью (до 5...7%) можно проводить в одной репрезентативной точке потока, а именно: по оси его, на глубине $0{,}85h$ от поверхности, то есть

$$v_{ср} = v_{0,85h}. \qquad (39)$$

По данным натурных наблюдений, проверенных Т. П. Радченко в лабораторных условиях, построен график (рис. 11) зависимости

$$B_т/B = f(h_т/h_в),$$

где $B_т$ — расстояние от уреза воды до точки, где определяют $v_{ср}$; B — ширина потока по урезу воды; $h_т$ — глубина, на которой находится точка с $v_{ср}$; $h_в$ — глубина воды на вертикали.

Из графика видно, что в пределах $0{,}23 < B_т/B < 0{,}67$ среднюю скорость можно измерить достаточно точно на глубине $0{,}85h$.

Перед измерением расхода воды вертушкой необходимо: проверить исправность вертушки, всех принад-

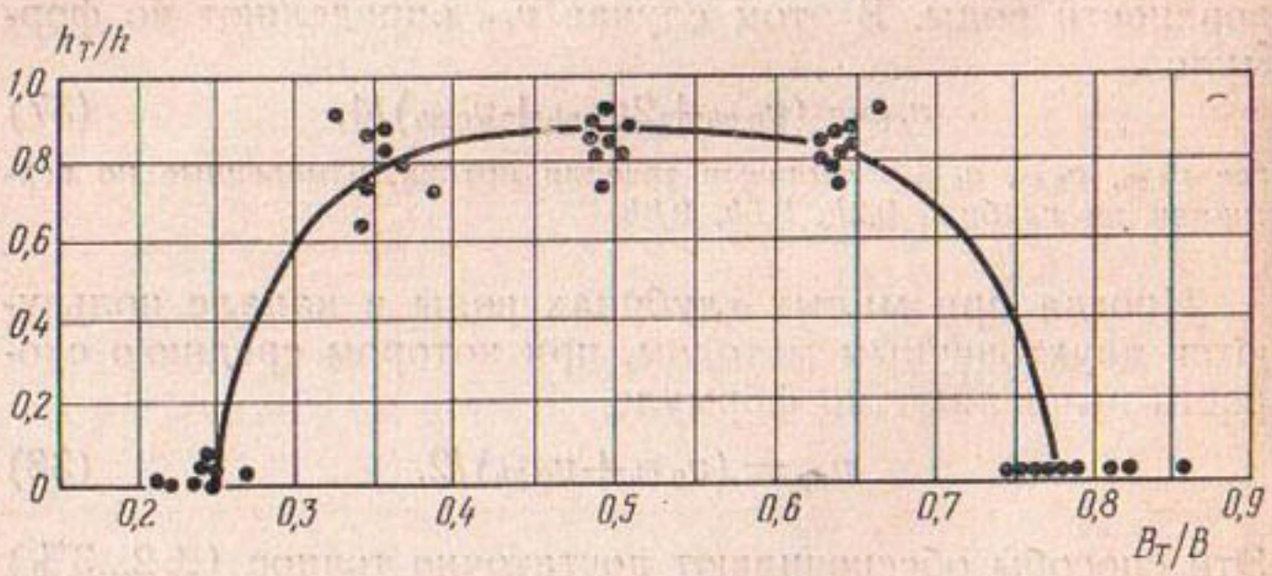


Рис. 11. График зависимости $B_т/B = f(h_т/h)$.

лежностей и приспособлений к ней — правильность сборки отдельных узлов, безотказность действия электрической сигнализации, секундомера, надежность крепления частей и т. д.; описать состояние канала и обстановку работы (по установленной форме) при определении расхода уровня и глубины воды; измерить скорость течения в отдельных точках живого сечения канала по гидрометрическому створу.

Данные наблюдений и измерений заносят в журнал, где записывают общее число сигналов вертушки за время измерения скорости в точке. Обычно продолжительность измерения в точке не менее 100 с.

Измерения скорости воды вертушкой проводят следующим образом.

На каждой вертикали поочередно на соответствующей глубине от поверхности воды устанавливают вертушку.

Перед измерением в каждой точке одним-двумя сигналами проверяют сигнализацию, затем включают секундомер и начинают счет сигналов (сигнал, по которому включают секундомер, не считают). После окончания измерения в точке считают и записывают в журнал время t (в секундах) между первым и последним сигналами и число их N. Разделив N/t, получим число оборотов вертушки в секунду n_1.

Каждая вертушка имеет градуировочное свидетельство — график $v=f(n_1)$, выполненный на бланке миллиметровой бумаги (v — скорость течения, м/с; n_1 — число оборотов лопастного винта вертушки за 1 с). По графику, зная фактическое число оборотов лопасти вертушки n_1, определяют скорость в м/с. После измерения скоростей в точках вычисляют на вертикали среднюю скорость $v_{ср}$ по формулам (37) и (38) и элементарный расход. Полный расход равен сумме расходов между вертикалями. Все записи делают только в журнале или на стандартном бланке.

Полученный график связи $Q=f(h)$ или таблица служат основным документом градуировки водомерного поста, поэтому все проводимые измерения требуют тщательности.

При скорости воды в канале меньше 0,15 м/с расход можно измерять с помощью поплавков. Поплавками могут служить одинаковые плоские куски дерева плохо обтекаемой угловатой формы, с незначительно возвышаю-

щейся над поверхностью воды надводной частью. Для этого выбирают участок канала, по бровке дамбы которого обеспечивается беспрепятственный проход наблюдателя.

Затем рядом с основным гидроствором разбивают два вспомогательных — верховой и низовой. Расстояние между вспомогательными створами должно быть не менее $20v$ (где v — скорость течения по оси канала).

В основном гидростворе натягивают трос с хорошо заметными с берега метками, например цветными свешивающимися с троса полосками материи. Кроме двух вспомогательных створов, намечают створ для пуска поплавков — пусковой створ. Измерения ведут два человека — гидрометр и рабочий.

Замер скорости течения в канале с помощью поплавков осуществляется в следующем порядке: измеряют уровень (глубину) воды на основном водомерном посту; промеряют глубины по основному створу, так же как и при измерении расхода воды вертушкой; измеряют секундомером продолжительность прохождения каждым поплавком расстояния между верхним и нижним створами (одновременно отмечают расстояния от постоянного начала точек, в которых поплавки пересекают основной гидроствор).

В момент прохождения поплавка через верхний створ включают секундомер, а при прохождении нижнего створа выключают и записывают номер поплавка, место прохождения его через средний створ и расстояние от постоянного канала в метрах, время прохода поплавка через нижний створ.

Число поплавков, прошедших через верхний и нижний створы, не считая задержавшихся в пути между этими створами, должно быть не менее 10. Поплавки должны быть пущены так, чтобы точки прохождения их через створ распределились по ширине канала приблизительно равномерно.

Расход воды, измеренный поверхностными поплавками, вычисляют таким образом:

просматривают запись условий, при которых проводили измерения с целью проверки их полноты и правильности. Особое внимание должно быть обращено на сведения об обстановке работы (ветер и другие явления), влияющие на точность промеров глубин и измерения скорости течения поплавками;

на миллиметровой бумаге строят график продолжительности хода поплавков. По оси абсцисс откладывают расстояния от постоянного начала (при прохождении поплавками основного гидроствора), а по оси ординат — продолжительность хода поплавков в секундах. Если при нанесении на график какой-нибудь поплавок по необъяснимой причине покажет резкие расхождения в продолжительности хода с соседними, то он отбраковывается. По нанесенным точкам строят плавную эпюру распределения продолжительности хода поплавков по ширине канала;

в точках выраженных перегибов эпюры, а при отсутствии таких перегибов через равные промежутки назначают скоростные вертикали, обязательно совмещенные с промерными, для которых снимают с эпюры продолжительность хода поплавков и вычисляют поверхностную скорость течения воды (делением расстояния между верхним и нижним створами на время движения поплавка);

вычисляют глубины и площадь нового живого сечения потока между выбранными скоростными вертикалями, затем полусуммы скоростей смежных вертикалей. Последующим умножением их на площадь живого сечения между этими же вертикалями находят элементарные расходы воды. На участке между урезом воды и местом прохождения ближайшего к нему поплавка скорость принимают равной скорости этого поплавка, умноженной на коэффициент 0,8 для земляного канала и 0,9 для бетонированного;

суммируя элементарные расходы, определяют полный фиктивный расход. Действительный расход вычисляют по формуле

$$Q_{изм} = k_п Q_{факт}, \qquad (40)$$

где $k_п$ — коэффициент, который для практических расчетов принимают равным 0,85.

7. Форма журнала для записи данных измерения скорости с помощью поплавков

Положение поплавков по ширине потока	№ поплавков	Время движения поплавков, с	Скорость поплавка, м/с	Средняя скорость серии поплавков, м/с
У левого берега на 0,5 м от уреза	1	33,0	0,15	
	2	33,4	0,17	16,3
	3	33,8	0,17	

Минимальное расстояние между створами принимают 40 м.

При небольших размерах оросительных каналов расход измеряют по максимальной поверхностной скорости. Поплавки при этом забрасывают только по оси канала. В этом случае скорость следует определять не меньше, чем пятью поплавками, и принимать ее равной средней из двух скоростей поплавков, показавших наибольшую скорость. Среднюю скорость вычисляют по формуле

$$v_{ср}=k_2 v_{max\ ср}, \qquad (41)$$

а k_2 — по формуле А. В. Караушева (Киенчук, 1971):

$$k_2=(C-1)/1{,}11C, \qquad (42)$$

C — вычисляют по формуле (1).

Для вычисления k_2 необходимо знать гидравлические и геометрические элементы сечения канала в выбранном створе, которые получают непосредственными замерами и последующими вычислениями.

Однако точность измерения при этом невысокая. Погрешность может достигать $\pm 10\%$.

При исправной вертушке и благоприятных условиях измерения расхода воды ($v>0{,}1$ м/с, параллельноструйное течение, отсутствие растительности) погрешность составляет 2...3%, а в особенно тяжелых условиях ($v<0{,}1$ м/с, $h<2d$, где d — диаметр лопасти вертушки, нескошенная трава)— 8...10%. В среднем принимают погрешность измерения расхода воды вертушкой до $\pm 5\%$. Погрешность измерения расхода воды поплавками ниже и составляет $\pm 10\%$.

Для построения графической, а затем табличной связи $Q=f(h)$ необходимо измерить расход Q и соответствующую этому расходу глубину h по рейке, установленной в створе стационарно. Повторность измерения расхода для каждого значения h не менее трехкратной. Расхождение в значении расхода должно быть не больше 5%, в противном случае измерения повторяют.

Технические требования к изготовлению, установке и эксплуатации водомерных устройств переменного напора или глубины. Водомерные устройства изготавливают, устраивают и монтируют в канале в соответствии

с действующей инструкцией и рабочими чертежами устройства.

Металлоконструкции водосливов в тонкой стенке изготовляют из листовой стали СТ3 толщиной 3 мм — для типоразмеров ВЧ-0,50; ВЧ-0,75; ВИ-0,50; ВИ-0,75; ВТ-0,25; ВТ-0,40; ВТ-0,60; 4 мм — для ВЧ-1,0; ВЧ-1,25; ВЧ-1,5; ВИ-0,75; ВИ-1,0; ВИ-1,25; ВИ-1,5; ВТ-0,8; ВТ-1,0; 5...6 мм — для ВЧ-2,0; ВЧ-2,5; ВЧ-3,0; ВИ-2,0; ВИ-2,5; ВИ-3,0 и окрашивают противокоррозионной водостойкой краской.

Допускаются стыки на сварке (впритык) и уголки жесткости со стороны нижнего бьефа с условием обеспечения чистоты кромки водосливного отверстия. На кромке не должно быть раковин, выступов и т. п.

При изготовлении водосливов основные размеры b, β должны быть выдержаны с погрешностью $\pm 1\%$, остальные — $\pm 2\%$.

Перегораживающие стенки, в которых монтируют водосливы, изготавливают из железобетонных плит, монолитного бетона и других материалов. Габаритные размеры стенок должны быть такими, чтобы поперечное сечение канала перекрывалось с запасом, исключающим размыв, донную и боковую фильтрацию. Толщину стенок принимают конструктивно в зависимости от материала и нагрузок.

Участок канала, где устанавливают водослив, должен быть прямолинейным на расстоянии $(10...15)b$ с симметричным профилем поперечного сечения. При монтаже водослива следует учитывать, что ось отверстия его должна совпадать с осью канала, перегораживающая стенка должна быть вертикальной, порог — строго горизонтальным.

Для обеспечения допустимых подходных скоростей, приведенных в таблице 1, если это необходимо, верхний участок канала на прямолинейном участке длиной $(5...8)b$ расширяют: при $b=0{,}5$ м на 0,1 м, $b=0{,}75$ на 1; $b=2$ на 2,5, $b=0{,}25$ на 3, $b=3$ м на 3,8 м. Соответственно для треугольных водосливов при $b=0{,}5$ м на 0,7 м, $b=0{,}8$ на 1, $b=1{,}2$ на 1,5, $b=1{,}6$ на 2, $b=3$ м на 3,8 м.

Участок канала за водосливом крепят местным материалом или бетонируют на расстоянии $(4...6)b$. Водомерные пороги выполняют из бетона или бутобетона. Порог водослива над дном канала в верхнем бьефе дол-

жен возвышаться на H_{max}, но не менее чем на 0,2 м. Подводящий и отводящий участки канала бетонируют или облицовывают железобетонными плитами. Грани гребня порога и выреза окантовывают полосовым или уголковым железом заподлицо в бетон.

Основные размеры $b_п$, p, $p_в$, m_1, $b_в$ должны быть выполнены с погрешностью не более $\pm 1\%$, остальные — $\pm 2\%$. Контрольную рейку устанавливают в створе в начале наклонной грани порога. Нуль рейки должен совпадать с отметкой порога.

При устройстве лотка Паршалла участок канала должен быть прямолинейным на расстоянии $(3...8)B$, где B — ширина канала по урезу воды.

Лоток Паршалла выполняют из монолитного бетона, железобетона или из сборных унифицированных блоков. Лотки с $b=0{,}25$; 0,5; 0,75; 1 м можно изготавливать централизованно из листового и фасонного железа. При этом основной размер b должен быть выдержан с погрешностью $\pm 1\%$, остальные размеры и высотные отметки $\pm 2\%$.

Цена делений шкал уровнемерных или расходомерных реек должна обеспечивать отсчет с приведенной погрешностью $\pm 1\%$, нули реек точно по нивелиру совмещают с отметкой порога.

Внутренние поверхности стенок и дно лотка должны быть гладкими, без выступов и раковин.

Водомерные устройства трапецеидальной и параболической формы изготавливают из листовой стали Ст 3 и уголков 40×40 или 50×50 мм. Внутренние грани диафрагмы должны быть равными, чистыми, без зазубрин и раковин. Металлоконструкцию окрашивают противокоррозионной и водостойкой краской. Бетонированную часть выполняют с отклонением основных размеров b, B, m_1, x, y, не более $\pm 1\%$. Нули реек должны быть на уровне порога.

Участок канала для водомерного поста с фиксированным руслом должен быть приблизительно прямолинейным на расстоянии 3...8 ширин русла. Фиксированное русло сооружают из монолитного бетона или железобетонных плит, возможна также каменная, булыжная отмостка.

Металлоконструкции (мостик, колодцы и др.) должны быть окрашены противокоррозионной краской.

Поверхность сечения русла, соприкасающаяся с потоком, должна быть гладкой, без раковин, выступов. Допуски в размерах не устанавливаются, так как градуировка водомерного поста индивидуальная.

Систематический (ежедневный) учет воды на водомерных постах проводят по градуировочной зависимости $Q=f(H)$ или (h) (график, таблица, уравнение): при механизированном учете — прямым измерением (отсчетом) по контрольной рейке и определением расхода воды по таблице $Q=f(H)$ или (h); при автоматизированном учете — по измерительному преобразователю (самописцу, измерителю уровня) и контролем последнего по рейке.

Периодические и контрольные измерения расхода воды осуществляют гидрометрической вертушкой основным (двухточечным) способом «площадь — скорость» для построения графика $Q=f(H)$ или (h). Для этого делают 8...10 измерений в диапазоне от Q_{min} до Q_{max}. Контрольные измерения делают 1...2 раза в месяц с целью проверки графика $Q=f(H)$ или (h). При отклонении контрольных расходов по графику более 5% в последний вводят поправку.

Периодически, по мере необходимости проводят контрольную нивелировку поста для проверки совпадения нуля рейки с дном фиксированного русла. Не реже одного раза в год осматривают и ремонтируют пост и очищают русло.

Контрольные рейки изготавливают из нержавеющего материала с несмываемыми делениями и прикрепляют в колодцах или нишах, в откосах каналов с нулями на отметке порога или дна канала.

Шкалы уровнемерных или расходомерных реек градуируют (разбивают) с ценой деления, обеспечивающей отсчет с приведенной погрешностью 1%. Так, для уровнемерных реек до 0,5 м цена деления равна 0,005 м, для реек до 1 м — 0,01 м. Соответственно градуируют и расходные рейки по формулам расхода.

Измерительные преобразователи расхода монтируют в приборных колодцах, расположенных в створах контрольных реек.

При правильном изготовлении, установке и эксплуатации водомерные устройства обеспечивают погрешность, приведенную в таблице 8.

8. Погрешности измерения расхода воды различными водомерными устройствами

Водомерное устройство	Погрешности, %		
	приведенная	вероятная	предельная
Водосливы в тонкой стенке	2,5	1,7	5,0
Водомерные пороги	3	2	6
Лотки Паршалла	3	2	6
Устройства с плавным стеснением	4,0	2,7	6,0
Устройства для трапецеидальных каналов и лотков	4,0	2,7	6,0
Фиксированные русла	5...6	3...4	6...8

Водомерные устройства переменного перепада уровней

Наиболее просты по конструкции и наименее материалоемки водомерные устройства с переменным перепадом уровней воды. Кроме того, они создают значительно меньший подпор в каналах, обеспечивают пропуск крупных наносов в нижний бьеф, исключая отложения их в верхнем. Из этой группы следует рассмотреть: водомерные сходящиеся насадки круглой, прямоугольной или квадратной формы поперечного сечения, сужающие устройства УкрНИИГиМ для прямоугольных, трапецеидальных русл и трубчатых сооружений, диафрагмы круглой или прямоугольной формы поперечного сечения, трубчатые сооружения с напорным движением воды без регулирования затвором на входе или выходе.

Водомерные сходящиеся насадки. Предназначены для автоматизированного и механизированного измерения расходов воды в открытых каналах с малыми уклонами дна (меньше критического) при максимальном расходе воды до 1 м^3/с и диапазоне изменения расходов $Q_{max}/Q_{min} \leqslant 4$, на транзитных распределительных, хозяйственных, внутрихозяйственных и контрольных водомерных постах (рис. 12).

Выбор формы насадка зависит от размера и условий работы канала (рис. 12, *I*). При незначительном подпоре применяют насадки прямоугольного сечения, так как они при одинаковой с другими насадками высоте отвер-

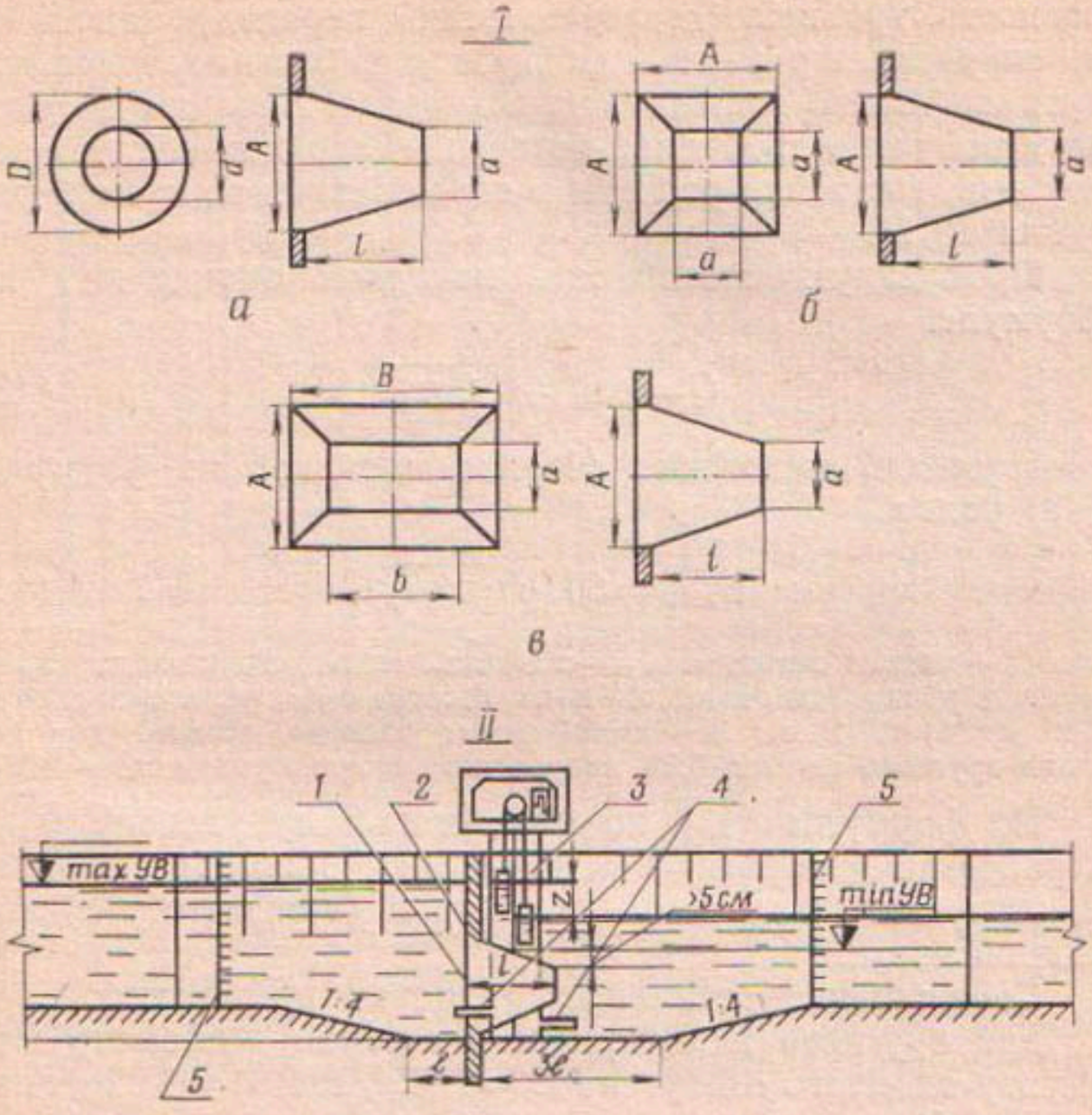


Рис. 12. Водомерные сходящиеся насадки:

I — формы насадков: *а* — круглого сечения; *б* — квадратного; *в* — прямоугольного; *II* — схема установки насадка при понижении дна канала для обеспечения несвободного истечения: *1* — перегораживающая стенка; *2* — насадок; *3* — двухсекционный колодец под измерительный преобразователь; *4* — импульсные трубки для сообщения с верхним и нижним бьефами; *5* — контрольные рейки в верхнем и нижнем бьефах.

стия требуют наименьших действующих напоров. При строительстве водомерных постов с насадками могут быть применены следующие материалы: для перегораживающих стенок — кирпич, бетон, железобетон; для насадков — металл, бетон; для колодцев и импульсных труб — металлические или асбестоцементные трубы соответствующих диаметров.

Принцип действия водомерных постов с насадком состоит в следующем. Поток, встречая преграду в виде местного сопротивления, создает разность уровней перед и за насадком. При постоянной (нерегулируемой) площади истечения и постоянном коэффициенте расхода

разность уровней (гидравлический перепад) однозначно определяет расход воды. Режим работы насадков допускает только несвободное истечение. Если же по расчету получено свободное истечение, насадок следует заглубить, выполнив расчеты в соответствии со схемой рисунка 12, *II*.

Пропускную способность насадков определяют по формуле.

$$Q=\mu\omega_{вых}\sqrt{2gz_p}. \qquad (43)$$

Площадь выходного сечения насадков из формулы (43) равна

$$\omega_{вых}=Q/(\mu\sqrt{2gz_p}), \qquad (44)$$

где Q — расход воды; $\omega_{вых}$ — площадь выходного сечения; z_p — перепад уровней воды перед и за насадком (в расчете задаются 0,02 м$<z_p<$0,4 м); μ — коэффициент расхода, равный для насадка круглого сечения 0,95, квадратного и прямоугольного — 0,925.

Из формулы (44) по максимальному расходу Q_{max} и расчетному перепаду z_p вычисляют площадь выходного отверстия, а по ней — диаметр d (или высоту a) выходной части.

Соотношение остальных размеров принимают:

для круглого и квадратного сечения — диаметр или высоту входного отверстия $D=1{,}92d$, или $A=1{,}92a$, длину $l=2d$ или $l=2a$;

для прямоугольного сечения — высоту входного отверстия $A=1{,}9a$, а ширину $B=2{,}9a$, ширину выходного отверстия $b=2a$ и длину насадка $l=3a$ (Ярцев, 1951).

После определения площади выходного отверстия насадка проверяют минимальный гидравлический перепад уровней из условия:

$$z_{min}=[Q_{min}/(2g\mu\omega^2_{вых})]\geqslant 0{,}02 \text{ м}. \qquad (45)$$

Если $z_{min}<0{,}02$ м, расчет необходимо повторить для большего значения z_p.

Для расчета площади поперечного сечения выходного отверстия можно пользоваться номограммой, представленной на рисунке 13.

Расчет по номограмме проводят в таком порядке. Задаются $z_p\leqslant 40$ см и на номограмме проводят линию параллельно оси абсцисс до пересечения с линией максимального расхода Q_{max}. Из точки пересечения опуска-

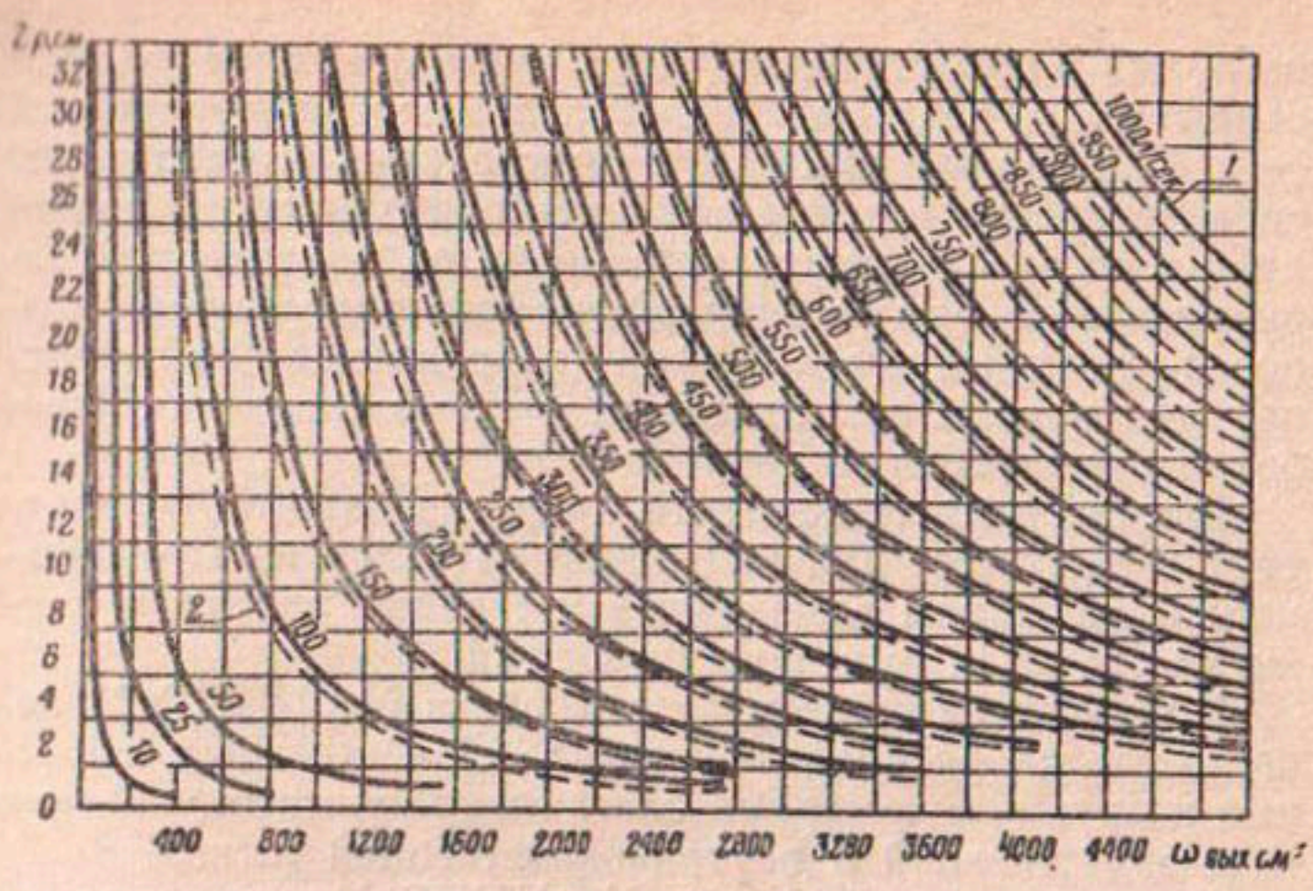


Рис. 13. Номограмма для расчета насадков:
1 — прямоугольного и квадратного сечения; *2* — круглого.

ют перпендикуляр на ось абсцисс, что дает значение $\omega_{вых}$. Минимальное значение ($z_{min} \geqslant 0{,}02$ м) находят, проведя линию из точки пересечения перпендикуляра с минимальным значением расхода перпендикулярно оси ординат.

При расчете насадка следует учитывать, что его входное и выходное отверстия при минимальном уровне воды в нижнем бьефе должны быть затоплены не менее чем на 0,05...0,07 м.

Ниже приведены учетные формулы для определения пропускной способности насадков с различной формой поперечного сечения:

для круглого

$$Q = 3{,}3d^2\sqrt{z}; \qquad (46)$$

для прямоугольного

$$Q = 4{,}1ab\sqrt{z}; \qquad (47)$$

для квадратного

$$Q = 4{,}1a^2\sqrt{z}. \qquad (48)$$

Сужающее устройство УкрНИИГиМ для открытых каналов. Предназначено для местного механизирован-

ного или автоматизированного учета расходов воды в открытых и закрытых водотоках гидромелиоративной сети с расходами до 10 м³/с. Конструкция его позволяет систематически и точно замерять расходы воды, проходящие через сужающее устройство по однозначной зависимости от одного гидравлического параметра — разности уровней воды в бьефах (гидравлического перепада) или напора независимо от режима истечения (свободное, несвободное).

Возможность транзитного пропуска наносов позволяет применять его для измерения расходов воды с большим количеством взвешенных и твердых частиц, а также на системах со сточными водами.

Конструкции сужающих устройств УкрНИИГиМ используют на распределительных, хозяйственных, сбросных и других водомерных постах и транзитных участках межхозяйственной и внутрихозяйственной сети.

Сужающее устройство УкрНИИГиМ — водомерная вставка, устанавливаемая в русле водотока с правильной формой поперечного сечения, стесняющая поток только сверху.

Водомерный пост с устройством для стеснения потока в трапецеидальном или прямоугольном русле состоит из закрепленного фиксированного, прямолинейного участка канала *5*, вертикальной стенки *4*, укрепленной в откосах русла, к которой присоединена потолочная плита *6*, расположенная под углом β к плоскости дна канала в сторону нижнего бьефа, также закрепленная в откосы (рис. 14).

Принцип действия устройства заключается в создании разности уровней воды перед и за ним при прохождении потока через устройство, испытывающего плавное местное сжатие сверху. При постоянных площади истечения и коэффициенте расхода проходящий расход воды однозначно зависит только от разности уровней в верхнем и нижнем бьефах (гидравлического перепада). Поэтому в процессе наблюдений независимо от режима истечения при уклонах дна канала меньше или больше критического по измеренному перепаду можно определить расход воды.

Водомерное устройство имеет две модификации: I — потолочная плита находится под уровнем воды нижнего бьефа и над ней образуется водоворотная зона; II — выход выполнен по типу портальной стенки и над плитой

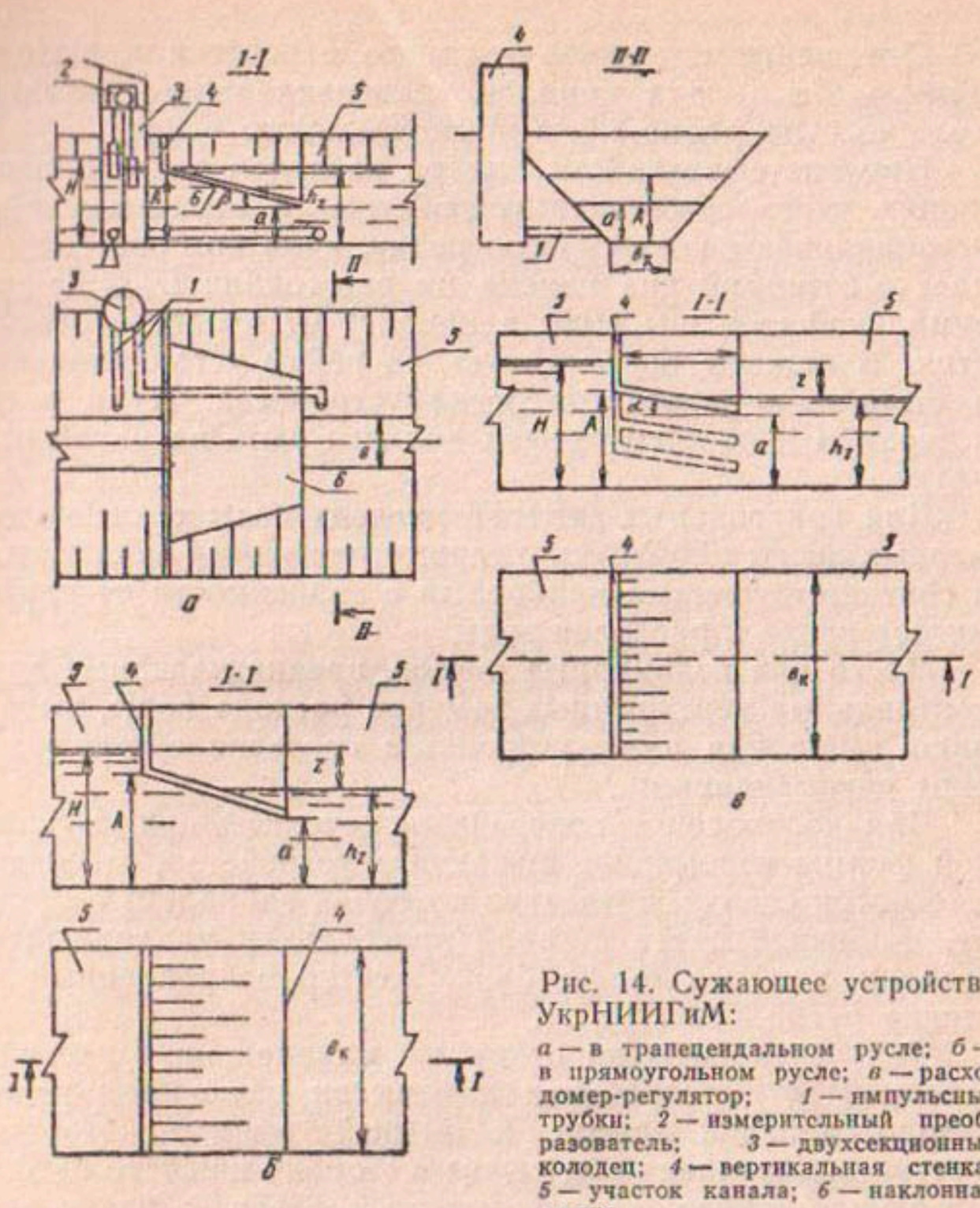


Рис. 14. Сужающее устройство УкрНИИГиМ:

а — в трапецендальном русле; *б* — в прямоугольном русле; *в* — расходомер-регулятор; *1* — импульсные трубки; *2* — измерительный преобразователь; *3* — двухсекционный колодец; *4* — вертикальная стенка; *5* — участок канала; *6* — наклонная стенка.

водоворот отсутствует. В последнем случае устройство можно использовать в качестве переезда.

Оба варианта конструкции выхода могут привести к изменению пропускной способности по отношению друг к другу, поскольку наличие или отсутствие водоворотов изменяет величину сопротивлений.

Однако гидравлические исследования обеих конструкций, проведенные в лаборатории УкрНИИГиМ, показали, что влияние формы выхода на коэффициент расхода незначительно.

Сужающее устройство обычно строят из железобетонных плит, соединяемых между собой в нижней части вертикальной стенки швом.

Отношение площадей входного отверстия к выходному $\omega_{вх}/\omega_{вых}$ для каналов трапецеидального сечения должно быть равно 3,5, а прямоугольного — 2,2.

При систематическом замере расходов воды, проходящих через сужающее устройство, в верхнем бьефе устанавливают контрольную рейку, нуль которой совпадает с отметкой дна канала на расстоянии H_{max} (максимальной глубины воды в канале) от входного отверстия. В нижнем бьефе такую же рейку устанавливают в створе выходного отверстия устройства. Нули реек в верхнем и нижнем бьефах должны быть на одной отметке.

Для контрольных замеров расхода воды такие водомерные посты оборудуют гидрометрическими мостиками и соответствующими приборами в зависимости от параметров русла и расходов воды.

Место для водомерных постов, предназначенных для контрольных вертушечных замеров расхода воды, выбирают выше или ниже устройства согласно существующим рекомендациям.

Для водоводов с поперечным сечением прямоугольной формы водомерное сужающее устройство, стесняющее поток сверху, представляет собой забральную стенку, к нижней части которой присоединен наклонный в сторону нижнего бьефа блок, жестко закрепленный в стенке русла (рис. 14, *б*).

Для учета воды на открытых каналах внутрихозяйственной сети разработан и испытан расходомер-регулятор — плоский затвор, к нижней кромке которого жестко прикреплена под углом в сторону нижнего бьефа сужающая живое сечение потока вставка, образуя сужающее устройство расходомера (рис. 14, *в*). Расходомер-регулятор применяют на каналах гидромелиоративных систем с пропускной способностью до 5 м³/с.

Принцип действия устройств в русле прямоугольного сечения аналогичен трапецеидальному.

Расход воды, протекающей через сужающее устройство любой формы поперечного сечения, определяют по зависимости

$$Q=\mu\omega_{вых}\sqrt{2gz}, \qquad (49)$$

где Q — расход воды; μ — коэффициент расхода (для русл трапецендального сечения при угле наклона $\beta=13°$ $\mu=0{,}8$, $\beta=16°$ $\mu=0{,}86$, $\beta=25°$ $\mu=0{,}79$; для прямоугольного — при $\beta=13°$ $\mu=0{,}95$, $\beta=16°$ $\mu=0{,}93$, $\beta=25°$ $\mu=0{,}81$; для водомера-регулятора — при

$\beta=16^\circ$ осредненное значение $\mu=0{,}87$); $\omega_{вых}$ — площадь поперечного сечения отверстия на выходе; z — гидравлический перепад уровней воды в верхнем и нижнем бьефах (предполагают, что для свободного истечения в открытых каналах $z=H-a$, а для несвободного $z=H-h_z$; H — глубина воды в верхнем бьефе без учета скорости подхода; a — высота выходного отверстия; h_z — глубина воды в нижнем бьефе над выходным отверстием).

Из формулы (49) получаем расход Q в канале трапецеидального сечения:

для свободного истечения

$$Q=\mu(b_к+m_1a)a\sqrt{2g(H-a)}; \qquad (50)$$

для несвободного

$$Q=\mu(b_к+m_1a)a\sqrt{2g(H-h_z)}, \qquad (51)$$

где $b_к$ — ширина канала по дну; m_1 — коэффициент заложения откосов.

Для расчета размеров сужающих устройств необходимо иметь: продольный и поперечный профили участка канала в створе установки сужающего устройства, уклон дна, ширину канала по дну и поверху; коэффициент заложения откосов, высоту дамб, материал ложа русла; максимальные, минимальные и нормальные расходы и соответствующие им бытовые глубины воды; план и продольный профиль всего канала для определения места возможного расположения водомерного поста.

Основные размеры определяют из формулы (49)

$$\omega_{вых}=Q/(\mu\sqrt{2gz_{max}}), \qquad (52)$$

где z_{max} — максимальный гидравлический перепад уровней в верхнем бьефе и в створе на выходе из сооружения (значение перепада принимают в пределах 0,02 м $<z_{max}<$ 0,6 м); μ — коэффициент расхода сужающего устройства.

Затем проверяют минимальный гидравлический перепад при Q_{min}, который должен быть

$$z_{min}=[Q^2/(2g\omega^2_{вых}\mu^2)]\geqslant 0{,}12H. \qquad (53)$$

Если $z_{min}>0{,}12H$, расчет повторяют, задавшись большим z_{max}.

Зная площадь поперечного сечения отверстия, высоту его определяют по формуле:

для выходного отверстия

$$a=\frac{-b_к\pm\sqrt{b_к^2+4m_1\omega_{вых}}}{2m_1}; \qquad (54)$$

для входного отверстия

$$A=\frac{-b_к\pm\sqrt{b_к^2+14m_1\omega_{вых}}}{2m_1}. \quad (55)$$

Длину наклонной части сужающего устройства вычисляют по формуле

$$l=(A-a)/\sin\beta, \quad (56)$$

где β — угол наклона потолочной части к горизонтали.

При расчетах необходимо соблюдать условия $H>A$ или $A<h_б/0{,}88$.

Гидравлический расчет сужающего устройства для прямоугольных русл проводят по формулам (52) и (53).

Высоту выходного отверстия находят делением площади истечения на ширину русла — $a=\omega_{вых}/b_к$, а высоту входного отверстия — из условия $\omega_{вых}/\omega_{вх}=2$, то есть $A=2a$.

Для прямоугольных русл пропускную способность определяют по формулам:

при свободном истечении

$$Q=\mu a b_к\sqrt{2g(H-a)}; \quad (57)$$

при несвободном

$$Q=\mu a b_к\sqrt{2g(H-h_z)}. \quad (58)$$

Диафрагмы. Предназначены для механизированного и автоматизированного измерения расходов воды в открытых внутрихозяйственных каналах с малыми уклонами дна (меньше критического) и расходами до 1 м³/с. Диафрагмами оборудуют внутрихозяйственные и контрольные водомерные посты.

Водомерный пост с диафрагмой представляет собой стенку с расположенным у дна канала отверстием *1* круглого или квадратного сечения, перегораживающую русло канала, которую устанавливают строго перпендикулярно динамической оси движения потока (рис. 15).

Диафрагмы могут быть стационарными и переносными. Стационарные изготовляют из кирпича, бетона или металла, шириной $^1/_4 D_{отв}$.

Для измерения расходов в каналах с малыми поперечными сечениями можно пользоваться переносными диафрагмами.

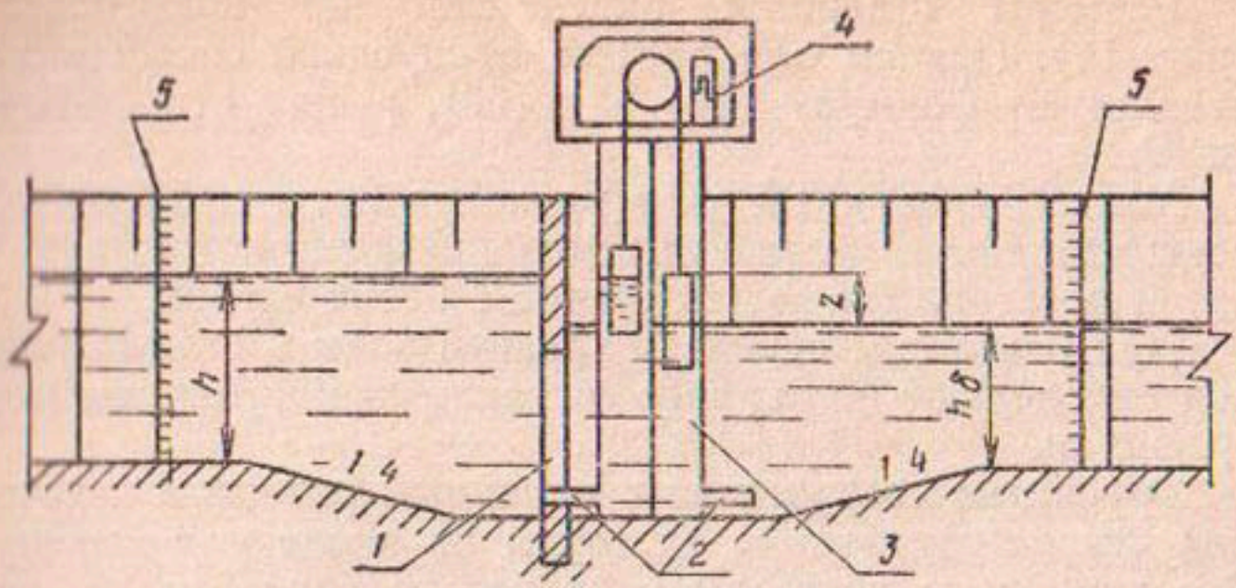


Рис. 15. Схема водомерного поста с диафрагмой:
1 — отверстие в перегораживающей стенке; *2* — импульсные трубки для сообщения двухсекционного колодца с верхним и нижним бьефами; *3* — двухсекционный колодец; *4* — измерительный преобразователь; *5* — контрольные рейки.

Принцип действия и процесс определения расхода воды диафрагмой аналогичен со сходящимися насадками или сужающими устройствами УкрНИИГиМ.

Диафрагмы просты по конструкции, но при прочих равных условиях пропускная способность их вдвое ниже по сравнению со сходящимися насадками. Для повышения их пропускной способности увеличивают гидравлический перепад.

Размеры отверстия диафрагмы рассчитывают по формуле

$$\omega = Q/\mu\sqrt{2gz}, \qquad (59)$$

где μ — коэффициент расхода (по данным исследований автора $\mu = 0{,}62$); ω — площадь поперечного сечения; z — гидравлический перепад уровней.

Из формулы (59) следует, что

$$\omega = Q/(2{,}75\sqrt{z_р}). \qquad (60)$$

Аналогично, как и для других сужающих устройств по максимальному расходу Q_{max} и расчетному перепаду $z_р < 0{,}4$ м, вычисляют площадь отверстия диафрагмы. Затем проверяют минимальный гидравлический перепад уровней при условии

$$z_{min} = Q^2_{min}/(2{,}75\omega)^2 \geqslant 0{,}02 \text{ м}. \qquad (61)$$

Размеры отверстия определяют по номограмме (рис. 16). Причем для расчета пропускной способности используют формулу (59) или (60), решая относительно Q.

Механизированный учет расходов воды диафрагмой осуществляют по разности показаний реек, которые крепят к перегораживающей стенке с обеих сторон.

При известном перепаде уровней воды в бьефах расход определяют по заранее составленным таблицам или графикам.

Трубчатые сооружения с напорным режимом истечения без регулирования затвором на входе или выходе. Это трубчатые переезды с напорным режимом истечения на мелиоративных системах, которые без значительных дополнительных затрат могут быть использованы в качестве водомерных устройств. Они могут быть использованы для измерения расхода воды на транзитных распределительных, внутрихозяйственных, контрольных и сбросных водомерных постах с расходом воды до 50 м³/с.

Пропускную способность сооружений, работающих с напорным режимом истечения без регулирования затво-

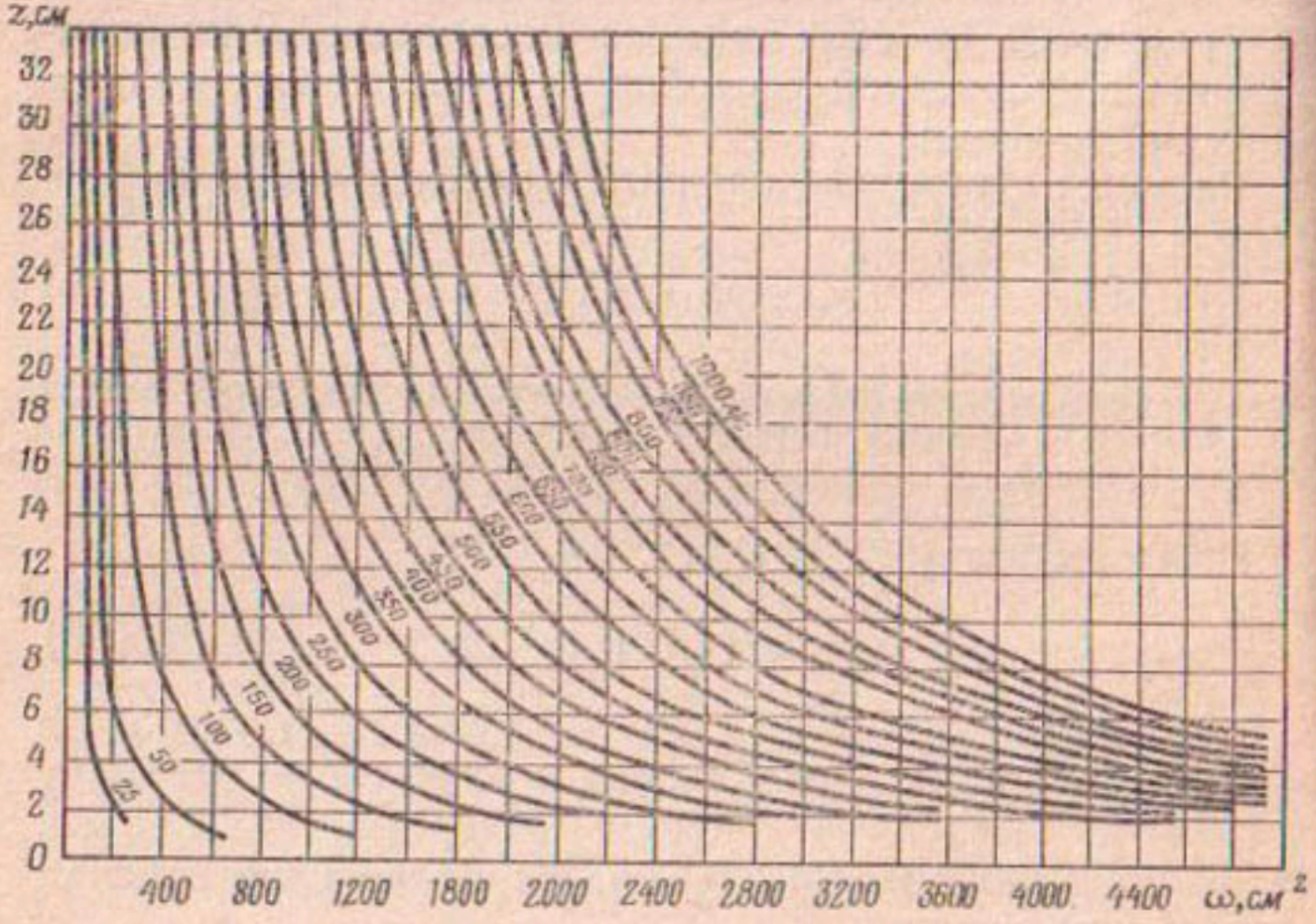


Рис. 16. Номограмма для расчета диафрагмы.

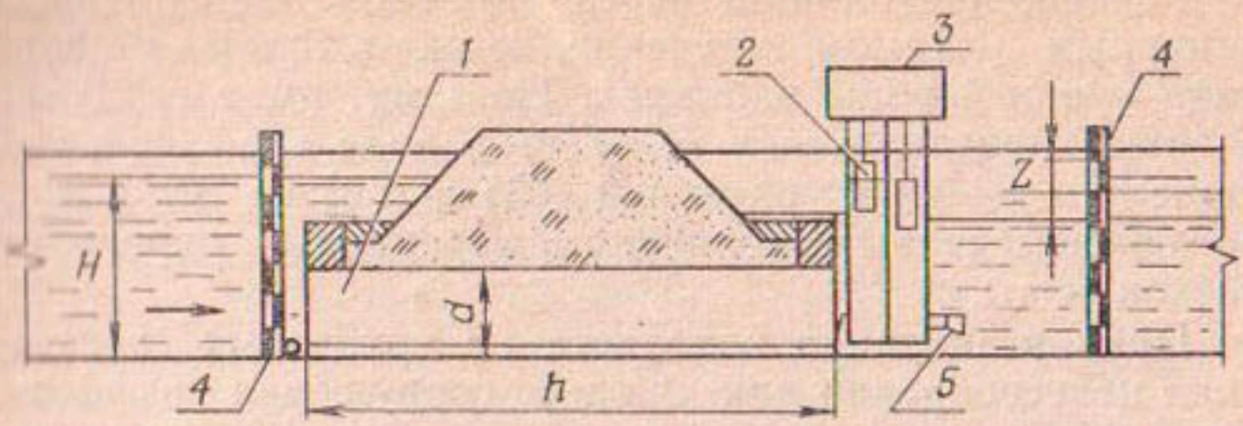


Рис. 17. Схема водомерного поста с трубчатым сооружением с напорным режимом истечения без регулирования отверстия истечения на входе или выходе:

1 — труба сооружения; *2* — двухсекционный колодец; *3* — измерительный преобразователь; *4* — контрольные рейки; *5* — импульсные трубки.

ром на входе или выходе (рис.17), определяют по формуле

$$Q=\mu\omega\sqrt{2gz}=\varphi\omega\sqrt{2gz}, \qquad (62)$$

где ω — площадь сечения трубы; z — гидравлический перепад между уровнем воды в верхнем бьефе и на выходе из трубы в сечении наибольшего понижения уровня h_z. Сечение наибольшего понижения уровня воды в нижнем бьефе рекомендуется принимать на расстоянии $0{,}5d(a)$ от выходного отверстия; φ — коэффициент скорости, который можно вычислить по формуле:

для круглого поперечного сечения трубы

$$\varphi=\frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon_{вх}+\lambda(L/d)}}; \qquad (63)$$

для прямоугольного

$$\varphi=\frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon_{вх}+\lambda[L(a+b)/2ab]}}, \qquad (64)$$

где L — длина трубы; d — диаметр трубы; $\varepsilon_{вх}$ — коэффициент местных сопротивлений на входе в трубу; λ — коэффициент сопротивления трения по длине (принимают по справочникам); a и b — геометрические размеры трубы прямоугольного сечения.

Тогда учетные формулы примут вид:
для круглого поперечного сечения трубы

$$Q=\frac{3{,}48}{\sqrt{1+\varepsilon_{вх}+\lambda(L/d)}}d^2\sqrt{z}, \qquad (65)$$

для прямоугольного

$$Q=\frac{4{,}43}{\sqrt{1+\varepsilon_{вх}+\lambda[L(a+b)/2ab]}}\sqrt{z}. \qquad (66)$$

Расход, проходящий через трубчатые сооружения с напорным режимом истечения, зависит только от перепада уровней воды в бьефах. Поэтому, имея градуировочную характеристику $Q=f(z)$ в виде графиков, таблицы или решения уравнений (65) и (66) на ЭВМ, можно по замеренным величинам перепада z определить расход воды.

При организации водоучета на трубчатых сооружениях целесообразно для каждого сооружения коэффициент скорости, полученный расчетом, проверить контрольными замерами в натуре.

Технические требования к изготовлению, установке и эксплуатации водомерных устройств переменного перепада уровней. Участок канала, где устанавливают водомерные устройства, должен быть прямолинейным, с креплением местным строительным материалом или бетонной облицовкой на расстоянии $3l[6d(a)]$ выше перегораживающей стенки и на $5l[10d(a)]$ ниже во избежание размыва. В случае устройства понижения дна при заглублении устройства весь участок до и после перегораживающей стенки должен быть выполнен с погрешностью не более 0,5%. При отклонении основных размеров от допустимых необходимо в формулах (46), (47), (48) принимать фактические их значения.

Размер перегораживающей стенки насадков и диафрагм должен быть таким, чтобы перекрыть поперечное сечение канала с запасом, исключающим размыв и фильтрацию в обход сооружения.

При правильной установке устройства индивидуальную градуировку для получения градуировочной характеристики не проводят.

При установке измерительного преобразователя показания последнего контролируют по рейкам.

Сужающие устройства УкрНИИГиМ изготавливают для: каналов с поперечным сечением трапецеидальной формы из двух-трех железобетонных плит типа НПК-6×2×0,06, НПК-6×1,5×0,06 или НПК-6×1×0,06 (ТУ 33 УССР 6—73), одну из которых устанавливают вертикально, а остальные — наклонно (в зависимости от длины наклонной части) с заделкой концевых частей в откосы канала и последующей разделкой швов герметиками; каналов с поперечным сечением прямоугольной формы, которые изготавливают из отдельных сборных

блоков, включающих участок канала и сужающее устройство. Марка бетона 150.

Порядок работ по возведению сужающего устройства УкрНИИГиМ следующий: установка или закрепление постоянного репера у канала; нивелировка и разбивка сооружения, ложа канала, гидромостиков и другие мероприятия; установка наклонной и вертикальной плит, опалубки при заделке стыков; затирка и железнение бетонных поверхностей; установка, наладка и проверка в работе дополнительного гидрометрического оборудования и других технических средств.

Перед пуском в эксплуатацию водомерного устройства и контрольного гидроствора необходимо: выполнить съемку, окончательно замерить габаритные размеры, заполнить необходимыми данными паспорт водомерного поста с приложением к ним схематических чертежей; проверить нивелировкой установку «нулей» и делений шкалы реек и других уровнемерных установок.

Для обеспечения нормальной работы диафрагмы необходимо, чтобы: отверстие со стороны нижнего бьефа было затоплено не менее чем на 10%, а со стороны верхнего бьефа — на 30...50% высоты отверстия; диафрагма не уменьшала пропускной способности канала; диапазон изменения гидравлического перепада находился в пределах 0,4 м$>z>$0,02 м; понижение дна при заглублении диафрагмы было плавным с уклоном 1 : 4.

Участок дна канала в месте установки диафрагмы должен быть прямолинейным с симметричным поперечным сечением и закреплен бетоном или местным строительным материалом на расстоянии $2H_{max}$ до диафрагмы и $5H_{max}$ после нее.

Аналогичные требования предъявляют и к трубчатым сооружениям с напорным режимом истечения воды без регулирования затвором на входе или выходе.

Систематический учет расходов воды устройствами осуществляют по кривой или таблице зависимости $Q=f(z)$.

Глубину воды для местного замера измеряют: по контрольным рейкам, а для местного автоматизированного водоучета — по измерительному преобразователю гидравлического перепада в расход.

Для уточнения и проверки кривой $Q=f(z)$ проводят ее градуировку, то есть в начальный период эксплуатации сужающего устройства делают 4...6 контрольных за-

меров расхода воды гидрометрическими вертушками в гидростворе, расположенном выше или ниже устройства, который в процессе эксплуатации используют для периодического (один-два раза в год) контрольного замера при инспекции, спорных вопросах между водопользователями и т. д.

При правильном изготовлении, установке, наладке и эксплуатации водомерных устройств данной группы погрешность измерения расхода воды не должна превышать приведенной в таблице 9.

9. Погрешность измерения расхода воды водомерными устройствами

Водомерное устройство	Погрешность, %		
	приведенная	вероятная	приведенная к 95%-ной обеспеченности
Водомерные сходящиеся насадки	4,8	3,2	3,0
Сужающие устройства УкрНИИГиМ	4,8	3,2	3,0
Диафрагмы	4,8	3,2	3,0
Трубчатые сооружения с напорным режимом истечения воды	6,0	4,0	5,0

Расходомеры - регуляторы

Выше рассмотрены водомерные устройства, которые могут быть использованы в качестве транзитных водомерных постов. Однако общеизвестно, что для осуществления процесса регулирования и распределения воды в пределах гидромелиоративной системы строится от 60 до 90 подпорно-регулирующих сооружений на 1000 га. Использование этих сооружений, кроме основного назначения — систематического измерения расхода воды, рационально и экономически оправдано.

К данной группе водомерных устройств следует отнести: регуляторы с приставкой на входе (различные конструкции), с сужающими устройствами на выходе, авторегуляторы расхода, уровня воды в верхнем или нижнем бьефах.

Предложения об использовании подпорно-регулирующих сооружений в качестве водомерных устройств внесли М. В. Бутырин и В. Е. Краснов. Так, ими раз-

работано, исследовано и внедрено ряд конструкций водомерных приставок к сооружениям с регулируемой площадью истечения. Рядом других авторов внесены дополнения и изменения в конструкции их с целью улучшения гидравлического режима работы. Многие работы направлены на придание функций измерения расхода регулирующим сооружениям. Рассмотрим их более подробно.

Расходомеры-регуляторы с приставкой на входе. Они разделены на ряд групп и видов приставок. Регуляторы с приставками первой группы предназначены для механизированного и автоматизированного учета воды на каналах оросительных систем. Применяют их в качестве головных водомерных постов на магистральных, распределительных, хозяйственных и внутрихозяйственных каналах с расходами до 10 м³/с (в типовом исполнении). При расходах более 10 м³/с их проектируют индивидуально.

Рекомендуются для регулирования и измерения расхода при соотношении максимального и минимального в диапазоне 3...5, который определяют по формуле (67) в зависимости от максимально принятого значения водомерного перепада ($z_{к\max}$) или

$$n = Q_{\max}/Q_{\min} = \sqrt{z_{к\max}/z_{к\min}} = (0{,}71 \ldots 0{,}28)\sqrt{z_{к\max}}. \quad (67)$$

При этом минимальный водомерный перепад $z_{к\min}$ должен быть не менее 0,02 м и зависеть от чувствительности измерительного преобразователя.

Приставки первой группы предназначены в основном для трубчатых и открытых сетевых расходомеров-регуляторов. К ним относят: первый вид — приставка с наклонным входом; второй вид — приставка с горизонтальной верхней полкой и прямым входом; третий вид — приставка с горизонтальной верхней полкой полигонального очертания.

Приставку первого вида (рис. 18) выполняют из трубы круглого, реже прямоугольного сечения, длиной $L = (1{,}5...3)D(a)$, где $D(a)$ — диаметр и высота сечения. Отбор пьезометрического напора для прибора может осуществляться в сжатой зоне за входом или в любом сечении по длине приставки при расстоянии от затвора, равном не менее диаметра или высоты сечения — $l = 0{,}5D(a)$.

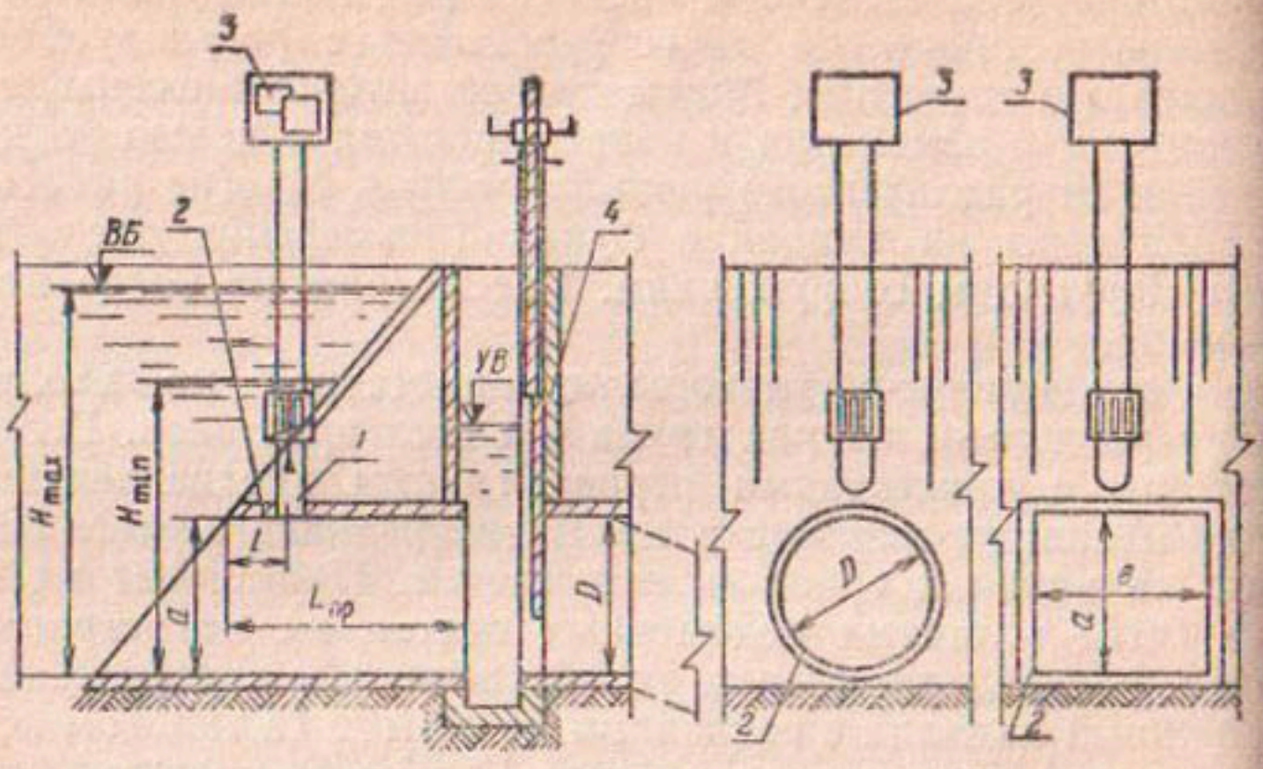


Рис. 18. Схема водомерной приставки первого вида:
1 — отверстие для отбора пьезометрического напора; *2* — водомерная приставка; *3* — колодец под измерительный преобразователь; *4* — затвор.

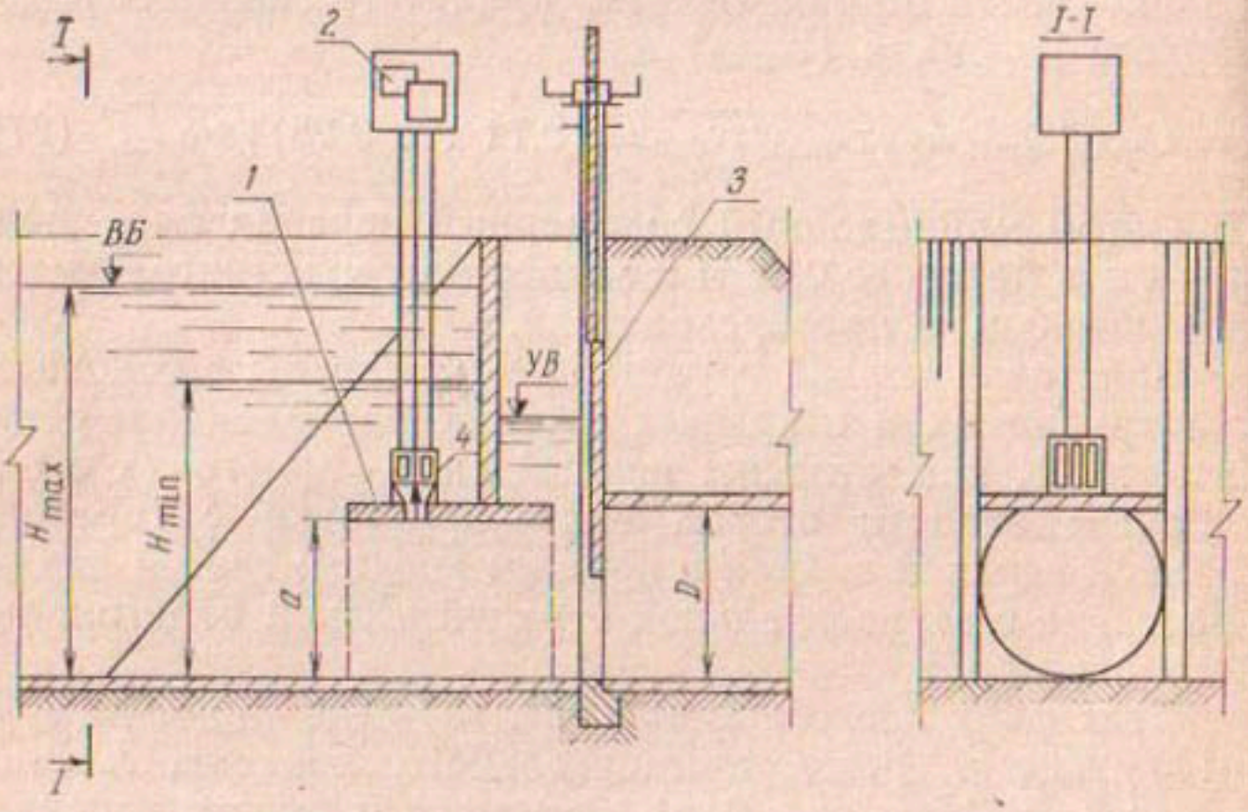


Рис. 19. Схема водомерной приставки второго вида:
1 — водомерная приставка; *2* — колодец под измерительный преобразователь; *3* — затвор; *4* — отверстие для отбора пьезометрического напора.

Приставку второго вида с горизонтальной верхней полкой (рис. 19) и прямым входом выполняют в двух вариантах:

I — приставка *1* образуется установкой горизонтальной полки между ныряющими стенками в глубине оголовка или выдвинута к плоскости откоса его боковой стенки оголовка. Этот вариант используют при расстоянии между ныряющими стенками не более $(1{,}15...1{,}2)b$, где b — ширина подзатворного отверстия. Это дает возможность получить живое сечение приставки, близкое к площади сечения трубы, при высоте сечения $a=(0{,}7...0{,}8)D$. Толщина полки $t\geqslant 0{,}05a$.

II — приставка представляет собой трубу прямоугольного, реже круглого сечения. При ширине оголовка больше $1{,}2D$ ее устанавливают непосредственно в оголовок сооружения. В этом случае использовать боковые стенки для образования приставки невозможно.

В некоторых случаях (при значительном содержании в воде взвешенных наносов) верхнюю часть трубы приставки (I вариант) выдвигают в поток канала на расстояние, равное высоте сечения, для исключения заиления водомерных колодцев измерительного преобразователя.

Приставки третьего вида (рис. 20) состоят из горизонтальной полки, имеющей полигональное очертание

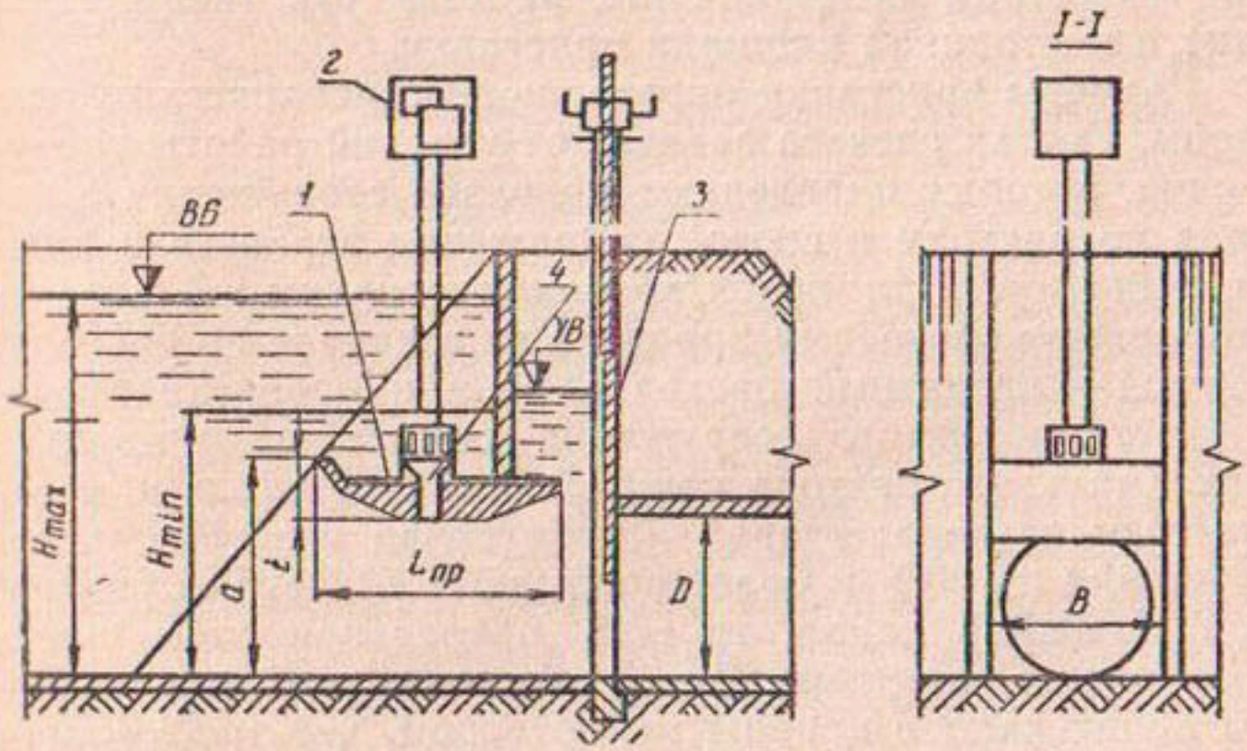


Рис. 20. Схема водомерной приставки третьего вида:
1 — водомерная приставка; *2* — колодец под измерительный преобразователь; *3* — затвор; *4* — отверстие для отбора пьезометрического напора.

нижней поверхности, размещенной между параллельными ныряющими стенками типового оголовка. Входная часть полки выполнена по форме сжатой струи с максимальной толщиной $t=0{,}35a$. Этот вид приставки имеет повышенную пропускную способность и увеличенный водомерный перепад давлений по сравнению с приставкой, имеющей горизонтальную полку.

Отбор давлений проводят в сжатом сечении. Основные размеры приставок даны в таблице 10.

10. Геометрические параметры приставок и расстояние до места отбора водомерного перепада давлений

Вид приставки	Длина приставки $L_{пр}$	Соотношение сторон живого сечения $в:а$	Расстояние от входа до сечения, где происходит отбор давления l
Первый	$(1{,}5...3)D$	—	$0{,}5D$
Второй	$(1{,}5...3)a$	1...3	$0{,}5a$
Третий	$1{,}5a$	1...3	$0{,}4a$

Принцип действия приставок состоит в следующем. При прохождении воды через приставку создается пьезометрический напор ($z_п$) в сечениях верхнего бьефа перед входом и в трубе приставки за входом. Полученная разность напоров (водомерный перепад) однозначно определяет расход воды, проходящий через сооружение при известном коэффициенте расхода $\mu_{пр}$ (водомерности) и постоянной площади приставки.

Размеры приставки определяют гидравлическим расчетом. Состав расчета зависит от условий работы сооружения, которые определяют привязка сооружения в канале по расходу и способ сопряжения верхнего и нижнего бьефов. При проектировании сооружений пользуются двумя способами привязки их в канале по расходу: первый — проектный расход канала и пропускная способность принятого сооружения одинаковы и пропуск максимального расхода воды обеспечивается полным открытием затвора; второй — пропускная способность сооружения на 30% и более превышает расчетный расход, подаваемый в канал, то есть пропускная способность сооружения завышена. Тогда максимальный расход воды пропускают с прикрытым затвором, что требует проведения гидравлического расчета в двух вариантах.

I. В первом варианте гидравлический расчет проводят для сооружения с приставкой при напорном режи-

ме потока в трубчатом регуляторе с учетом всех гидравлических сопротивлений по формуле (68). При этом живое сечение приставки первого или второго вида по величине равно или близко площади сечения трубы-регулятора, затвор полностью открыт, а перепад уровней верхнего и нижнего бьефов сооружения $z_c \leqslant 0{,}4$ м.

$$Q = \mu_c \omega_c \sqrt{2gz_c}, \qquad (68)$$

где μ_c — коэффициент расхода сооружения с приставкой, который вычисляют по формуле

$$\mu_c = 1/\sqrt{\xi_{вх} + \xi_{тр} + \xi_{вых}}, \qquad (69)$$

где $\xi_{вх}$, $\xi_{вых}$ — коэффициенты сопротивления приставки с учетом входа в трубу и выхода из сооружения; $\xi_{тр}$ — коэффициент сопротивления по длине трубы сооружения.

В результате расчета определяют сечение $\omega_c = \omega_{пр}$, назначают диаметр трубы сооружения $D_{тр} = d_{тр} = \sqrt{\omega_c/0{,}785}$ и внутренние размеры приставки $b_к a = \omega_{пр}$.

Средние значения коэффициентов расхода (μ_c) трубчатых сооружений с приставками приведены в таблице 11.

11. Коэффициенты расхода и сопротивлений трубчатых сооружений с приставками

Вид приставки	$\xi_{вх}$	$\xi_{тр}$	$\xi_{вых}$	μ_c
Первый	2,05	0,15...0,20	0,8	0,56
Второй	1,92	0,15...0,20	0,8	0,60
Третий	1,00...1,10	0,15...0,20	0,8	0,73

Второй вариант гидравлического расчета проводят только для приставки при свободном истечении потока через сооружение в нижний бьеф по максимальному расходу воды, подаваемому в канал и принятой разности ($z_ш$) уровней воды перед входом в приставку и в камере за выходным сечением, которая обеспечивает необходимый диапазон изменения расходов. Эта разность напоров меньше разности уровней воды верхнего и нижнего бьефов сооружения или $z_ш < z_c = 0{,}4$ м. Возможен случай, когда $z_ш = z_c$.

Площадь сечения приставки, обеспечивающую пропуск заданного расхода воды через сооружение с при-

крытым затвором при расчете по второму варианту, определяют по формуле

$$\omega_{пр}=Q_{max}/(\mu_{пр}\sqrt{2gz_ш}), \qquad (70)$$

где $\omega_{пр}$ — площадь сечения приставки; Q_{max} — максимальный расход воды; $\mu_{пр}$ — коэффициент расхода приставки. Для приставки первого вида средний коэффициент расхода $\mu_{пр}=0{,}69$ (получено экспериментально), второго — $\mu_{пр}=0{,}72$, третьего $\mu_{пр}=0{,}89$; $z_ш$ — расчетный перепад или разность уровней воды перед входом в приставку и в камере за выходным сечением.

Так как из-за унификации труб и оголовков пропускную способность сетевых сооружений завышают на 20...30%, второй вариант расчета водомерного устройства применяют чаще.

При проектировании открытого регулятора на оросительной сети для придания ему водомерных свойств в состав сооружения вводят водомерную приставку. Размеры приставки определяют из гидравлического расчета расходомера-регулятора.

При затопленном истечении в нижний бьеф и незначительных перепадах бьефов или $z_c\leqslant 0{,}4$ м расчет проводят по указанному перепаду, а при свободном истечении из-под затвора сооружения (при наличии значительного перепада) — по перепаду между уровнем верхнего бьефа и уровнем воды в камере перед затвором (за выходом из приставки), равному $z_c=z_ш=0{,}3...0{,}4$ м в соответствии с заданным диапазоном измерения расхода по зависимости (67).

Таким образом, гидравлический расчет открытого расходомера-регулятора с приставкой осуществляют при известном или заданном максимальном расходе (Q_{max}), максимальном перепаде уровней воды в верхнем и нижнем бьефах (z_c) или верхнем бьефе и щитовой камере ($z_c=z_ш$), рабочем напоре в верхнем бьефе (H) с учетом минимального наполнения (H_{min}) по формуле (70).

При этом расчетный $z_ш$ вычисляют по принятому максимальному перепаду $z_{к\,max}$ к диапазону измерения расхода для приставок первого и второго вида $z_ш=z_c=0{,}71z_{к\,max}$, а для третьего — $z_ш=z_c=0{,}5z_{к\,max}$.

Коэффициенты расхода приведены в таблице 11.

В результате расчета находят высоту и ширину поперечного сечения приставки.

Для всех видов приставок, входящих в состав расходомеров-регуляторов трубчатого и открытого типа, учетная формула расхода воды имеет вид

$$Q=\mu_{пр}\omega_{пр}\sqrt{2gz_{к\max}}, \qquad (71)$$

где Q — расход воды; $\mu_{пр}$ — коэффициент расхода; $\omega_{пр}$ — площадь сечения приставки; $z_к$ — водомерный перепад напоров.

Коэффициенты расхода ($\mu_{пр}$) для приставок первого и второго вида сведены в таблице 12, а для приставок третьего вида при равенстве высоты входного сечения диаметру трубы коэффициент расхода $\mu_{пр}=0{,}855$.

Регуляторы с водомерными приставками второй группы в основном выполняют роль перегораживающих сооружений, узлов вододеления и головных сооружений крупных оросительных каналов (пропускная способность более 10 м³/с).

12. Коэффициенты расхода приставки

Вид приставки	Форма живого сечения приставки	Соотношение сторон живого сечения $в:а$	Расстояние от входа до водомерного сечения l	Коэффициент расхода $\mu_{пр}$
Первый	Круглое	—	$0{,}5D$	0,63
	»	—	$2{,}0D$	0,70
	Прямоугольное	1,0	$0{,}5a$	0,57
	»	1,5	$0{,}5a$	0,55
	»	2,0	$0{,}5a$	0,54
	»	1,0	$2{,}0a$	0,68
	»	1,5	$2{,}0a$	0,67
	»	2,0	$2{,}0a$	0,64
Второй	Круглое	—	$0{,}5D$	0,67
	»	—	$1{,}5D$	0,75
	Прямоугольное	1,0	$0{,}5a$	0,70
	»	1,5	$0{,}5a$	0,70
	»	1,0	$1{,}5a$	0,77
	»	1,5	$1{,}5a$	0,76
	»	1,0	$0{,}5a$	0,58
	»	1,5	$0{,}5a$	0,62

По конструкции сооружение может быть одно- и многопролетным.

Диапазон измерения расходов определяется величиной перепада напоров ($z_{к\max}$) или $П=(0{,}71...0{,}82)\sqrt{z_{к\max}}$ и увеличивается кратно числу отверстий. Например, ес-

ли диапазон расходов одного отверстия равен 4, то для двухпролетного — 8 и т. д.

К приставкам второй группы относятся: приставка четвертого вида, выполненная в виде тонкого ребра над верхней кромкой отверстия в дополнительной забральной стенке, помещенной перед затвором; боковыми стенками приставки служат бычки с плавным очертанием входной части и приставка пятого вида, образованная плавноочерченным козырьком у отверстия в забральной стенке и боковыми стенками-бычками, имеющими плавное очертание входной части.

Приставку четвертого вида (рис. 21) устанавливают в оголовке сооружения, для чего между бычками на рас-

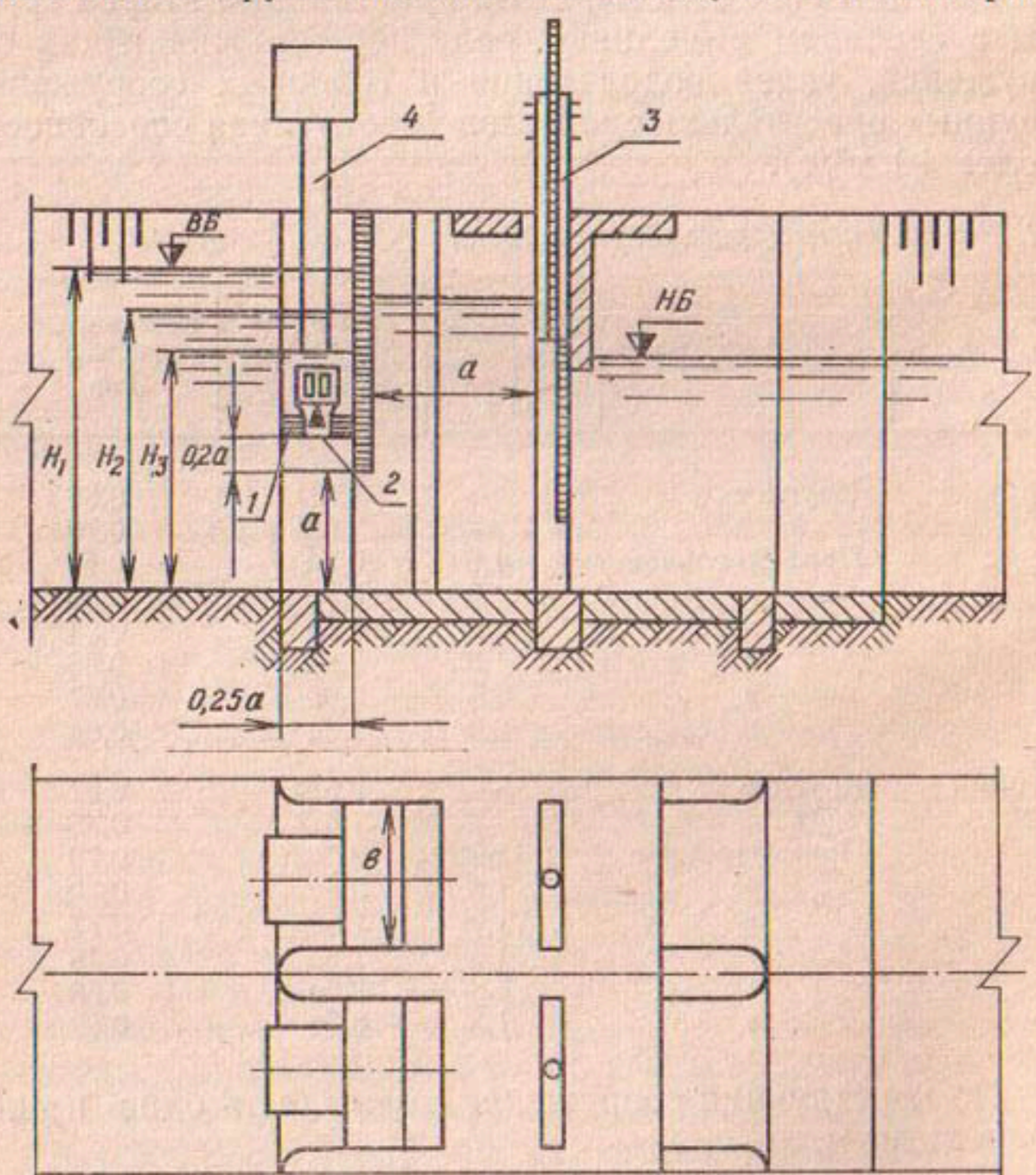


Рис. 21. Схема водомерной приставки четвертого вида:
1 — водомерная приставка; *2* — отверстие для отбора пьезометрического напора; *3* — затвор; *4* — колодец под измерительный преобразователь.

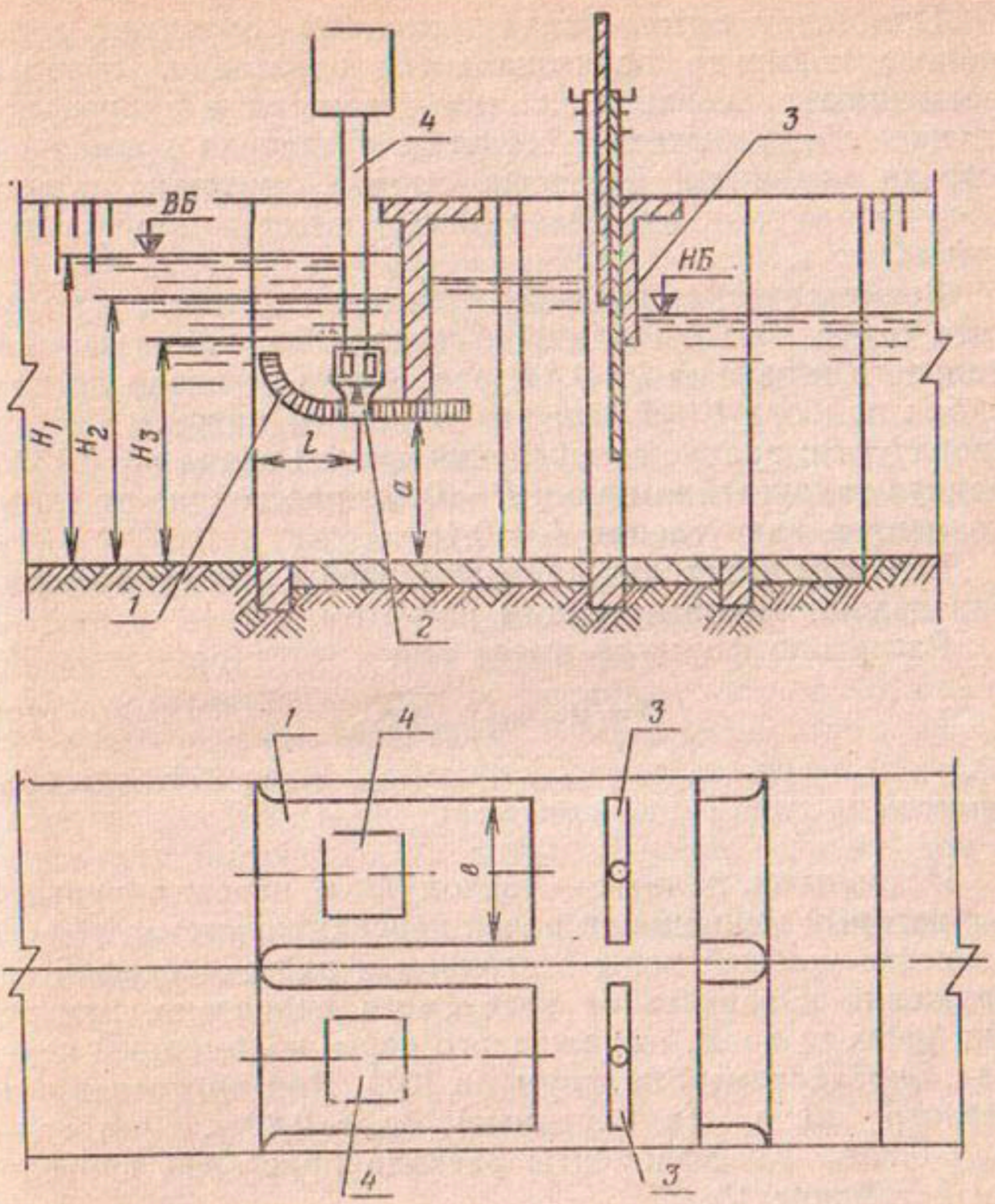


Рис. 22. Схема водомерной приставки пятого вида:

1 — водомерная приставка; *2* — отверстие для отбора пьезометрического напора; *3* — затвор; *4* — колодец под измерительный преобразователь.

стоянии от затвора располагают забральную стенку с отверстием высотой a. Над верхней кромкой отверстия на расстоянии $0{,}2a$ крепят горизонтальное ребро шириной $0{,}25a$ и толщиной $t \geqslant 0{,}05a$, которое находится в пределах плавно очерченной части бычков, что обеспечивает плавный вход потока в отверстие забральной стенки.

Отбор пьезометрического напора на измерительный преобразователь осуществляют с помощью патрубка, который устанавливают в центре ребра и который обеспечивает связь большего и меньшего напора.

Приставку пятого вида (рис. 22) образуют с помощью козырька полигонального очертания, который размещают у верхней кромки отверстия в забральной стенке между бычками оголовка. Передняя кромка козырька находится в створе бычков, имеющих плавно очерченный вход, что обеспечивает высокую пропускную способность.

Геометрические размеры приставки пятого вида: высота отверстия a; ширина отверстия $2a$; длина полигонального козырька $l=0{,}8a$; расстояние от входа до патрубка прибора $l_1=0{,}33a$; расстояние от патрубка до затвора $l_2\geqslant a$; радиус закругления кромки входа $r=0{,}135a$; радиус закругления полки $R=0{,}4a$; расстояние от входа до центра закругления $l_3=0{,}4a$.

Размеры приставки расходомерной части сооружения определяют гидравлическим расчетом.

Расчетная формула имеет вид

$$Q=\mu_{пр}\omega_{пр}\sqrt{2gz_ш}, \qquad (72)$$

где $z_ш$ — перепад уровней воды в верхнем бьефе и камере перед затвором (за выходом из приставки).

Исходными данные — расход Q и перепад уровней $z_ш$, который меньше или равен перепаду системы, то есть разности уровней воды в верхнем и нижнем бьефах сооружения и зависит от требуемого диапазона, измерения расхода воды, выраженного через водомерный перепад, определяемый по формуле (67). Для приставки четвертого вида (в среднем) $z_ш=0{,}89z_к$, пятого — $z_ш=0{,}75z_к$. Коэффициенты расхода приставок приведены в таблице 13.

13. Коэффициенты расхода приставки

Вид приставки	Соотношение сторон живого сечения приставки $в:а$	Коэффициент расхода $\mu_{пр}$
Четвертый	1	0,75
»	2	0,72
»	3	0,66
Пятый	2	0,79

В результате гидравлического расчета находят сечение приставки.

Расходомеры-регуляторы для внутрихозяйственной сети. Предназначены для механизированного или автоматизированного учета воды на внутрихозяйственных водомерных постах открытой сети с расходом до 0,5 м³/с. К этой группе относятся трубчатые расходомеры-водовыпуски и регулятор для лотковой сети.

Трубчатый расходомер-регулятор состоит из асбестоцементной трубы *1*, блока-гасителя *2* в нижнем бьефе с клиновидным затвором и устройства для размещения измерительного преобразователя *3* (рис. 23). Здесь местным сопротивлением служит вход в трубу.

При размещении преобразователя в нижнем бьефе водовыпуска в качестве местного сопротивления предлагается боковая сегментная диафрагма, располагаемая на расстоянии 1,5*D* от затвора (рис. 24).

Длину трубы-расходомера-водовыпуска определяют конструктивно.

Расходомер-регулятор на лотковой сети представляет собой короткую приставку с верхней полкой полигонального очертания (рис. 25). Полку на лоток навешивают на специальных приспособлениях. Регулирующий затвор устанавливают на лотке отдельно за расходомером.

Отбор давления на преобразователь осуществляется в сжатом сечении.

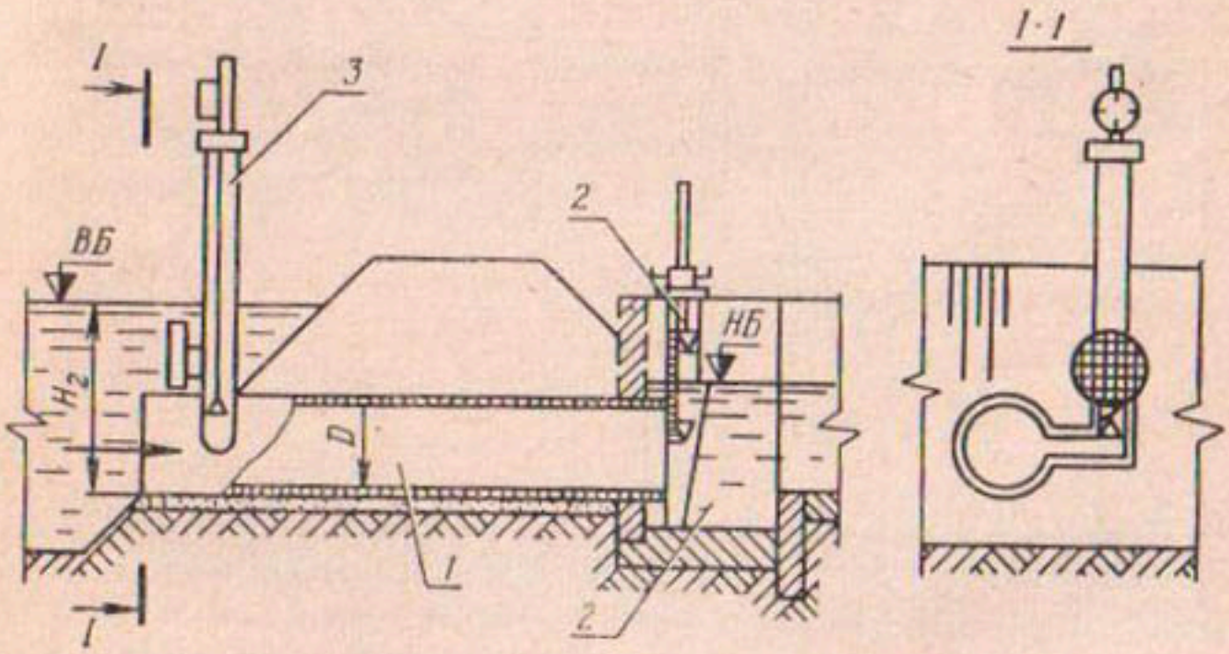


Рис. 23. Схема расходомера-водовыпуска для внутрихозяйственной сети:

1 — труба; *2* — блок-гаситель; *3* — колодец под измерительный преобразователь.

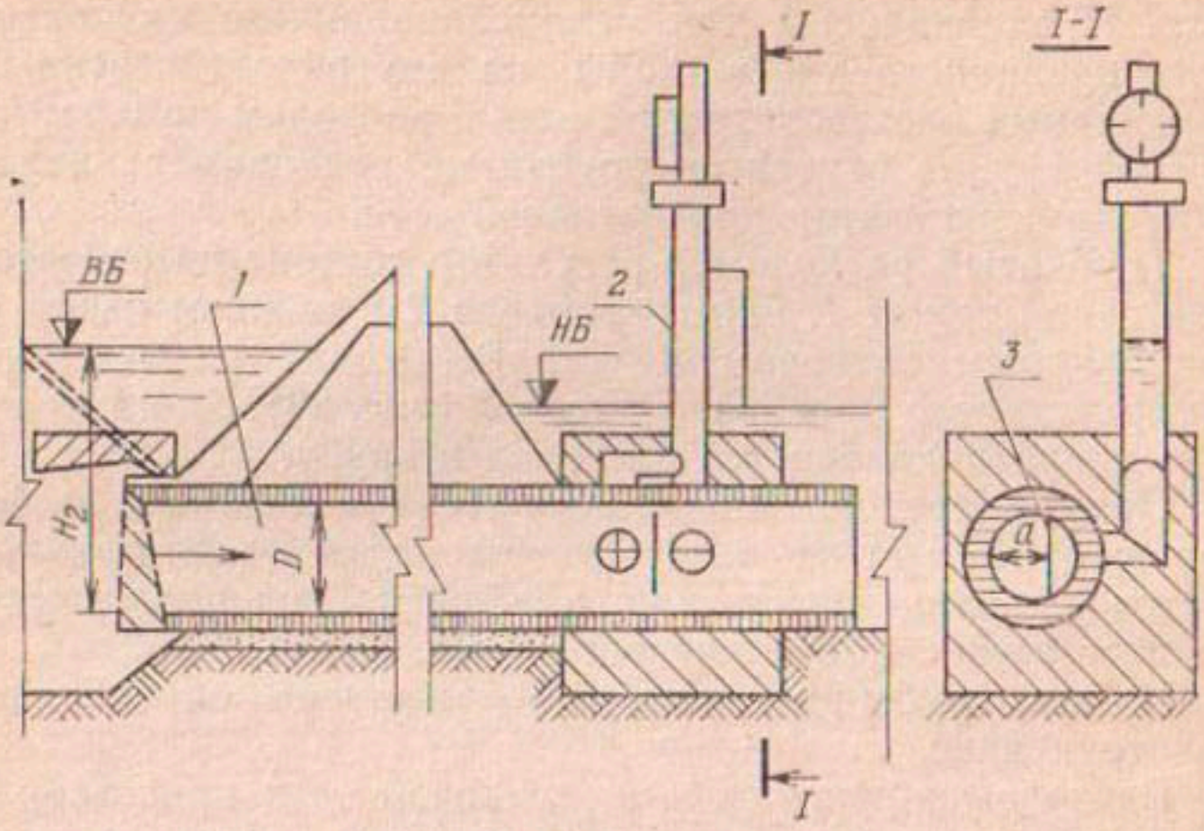


Рис. 24. Схема расходомера-водовыпуска с сегментной диафрагмой:

1 — труба; *2* — колодец под измерительный преобразователь; *3* — сегментная диафрагма.

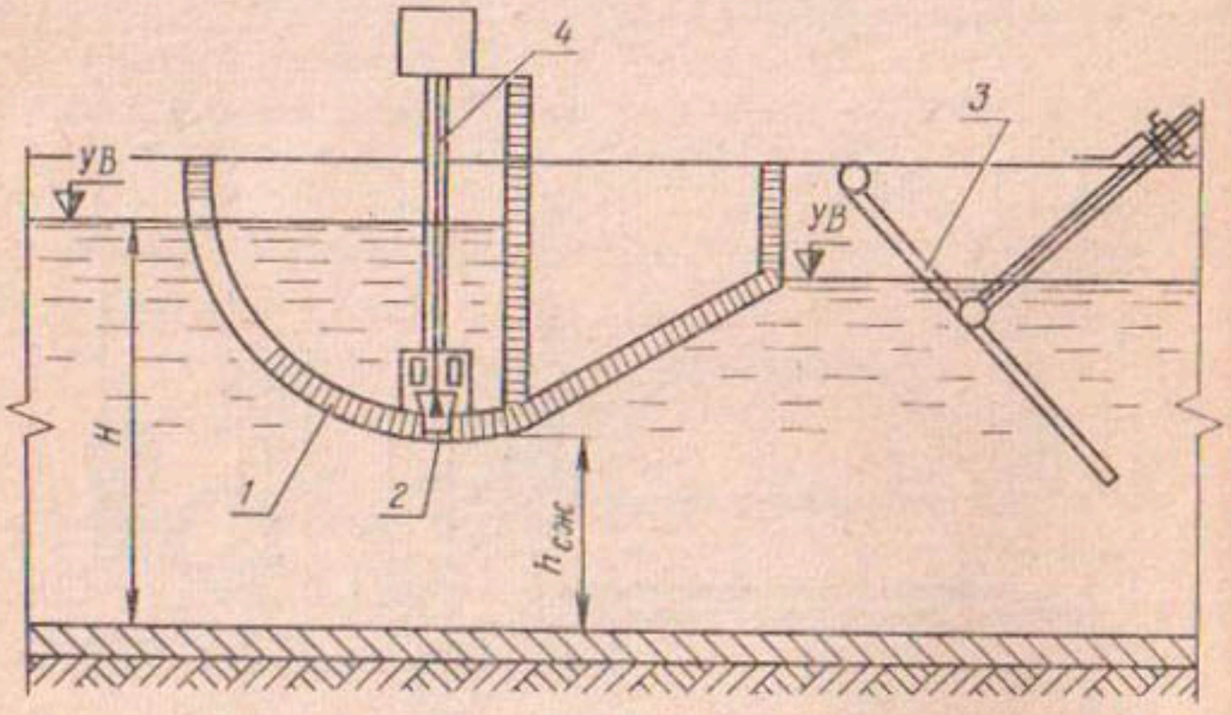


Рис. 25. Схема водомерной приставки полигонального очертания для лотковой сети:

1 — водомерная приставка; *2* — отверстие для отбора пьезометрического напора; *3* — затвор; *4* — колодец под измерительный преобразователь.

Отличительная особенность расходомера — незначительная потеря напора, что обеспечивает большую пропускную способность и увеличенный водомерный перепад ($z_к$) в сравнении с общим перепадом системы ($z_с$), который позволяет учитывать расходы при малых перепадах системы.

Принцип действия описанных расходомеров-регуляторов заключается в образовании водомерного перепада давлений, который определяет расход воды через сооружение, на входе или в месте установки диафрагмы.

Гидравлический расчет расходомера-водовыпуска проводят по формуле расхода

$$Q=\mu\omega\sqrt{2gz_с}, \qquad (73)$$

где μ — коэффициент расхода системы (табл. 14); ω — площадь сечения трубы выпуска; $z_с$ — разность уровней воды верхнего и нижнего бьефов.

14. Коэффициенты расхода системы μ и расходомера k для водомерных устройств на внутрихозяйственной сети

Водомерное устройство	μ	k
Трубчатый водовыпуск по типу приставки с затвором у входного сечения и прибором, установленным на входе при длине трубы:		
$L_{тр}=(6...8)D$	0,72	0,67
$L_{тр}=(1,5...2)D$	0,76	0,68
Трубчатый водовыпуск с боковой диафрагмой на выходе и затвором у выходного сечения при длине трубы $L_{тр}=(6...8)D$ и сужении:		
$a/D=0,70$	0,56	0,59
$a/D=0,75$	0,59	0,66
$a/D=0,80$	0,63	0,74
Расходомер-регулятор для параболических лотков	0,86	0,81

Расчет проводят для проверки пропускной способности трубчатого сооружения с водомерным устройством или определения диаметра трубы водовыпуска по заданному расходу и перепаду системы.

Учетная формула расхода имеет общий вид

$$Q=k\omega\sqrt{2gz_к}. \qquad (74)$$

При известных параметрах устройства и значении k расход воды, проходящий через водовыпуск, вычисляют по измеренному $z_к$.

При автоматизированном учете шкалу расходов на приборе рассчитывают по формуле (74). Методика расчета и построения шкалы расходов приводится в инструкции для измерительного преобразователя.

Трубчатый регулятор с коническим насадком на выходе трубы. Используют на оросительных системах Ростовской области при индивидуальном проектировании и строительстве на хозяйственных отводах и регуляторах внутрихозяйственной сети. Рекомендуют использовать их как расходомеры-регуляторы на расход до 1,5 м³/с и в двухочковом варианте до 3 м³/с.

Конструкция расходомера-регулятора состоит из оголовка с затвором, водопроводящей трубы с коническим насадком, установленным на выходе в нижний бьеф (рис. 26).

Для нормальной работы водомерной части сооружение должно работать на всем диапазоне расходов в затопленном режиме, поэтому требуется заглубление вы-

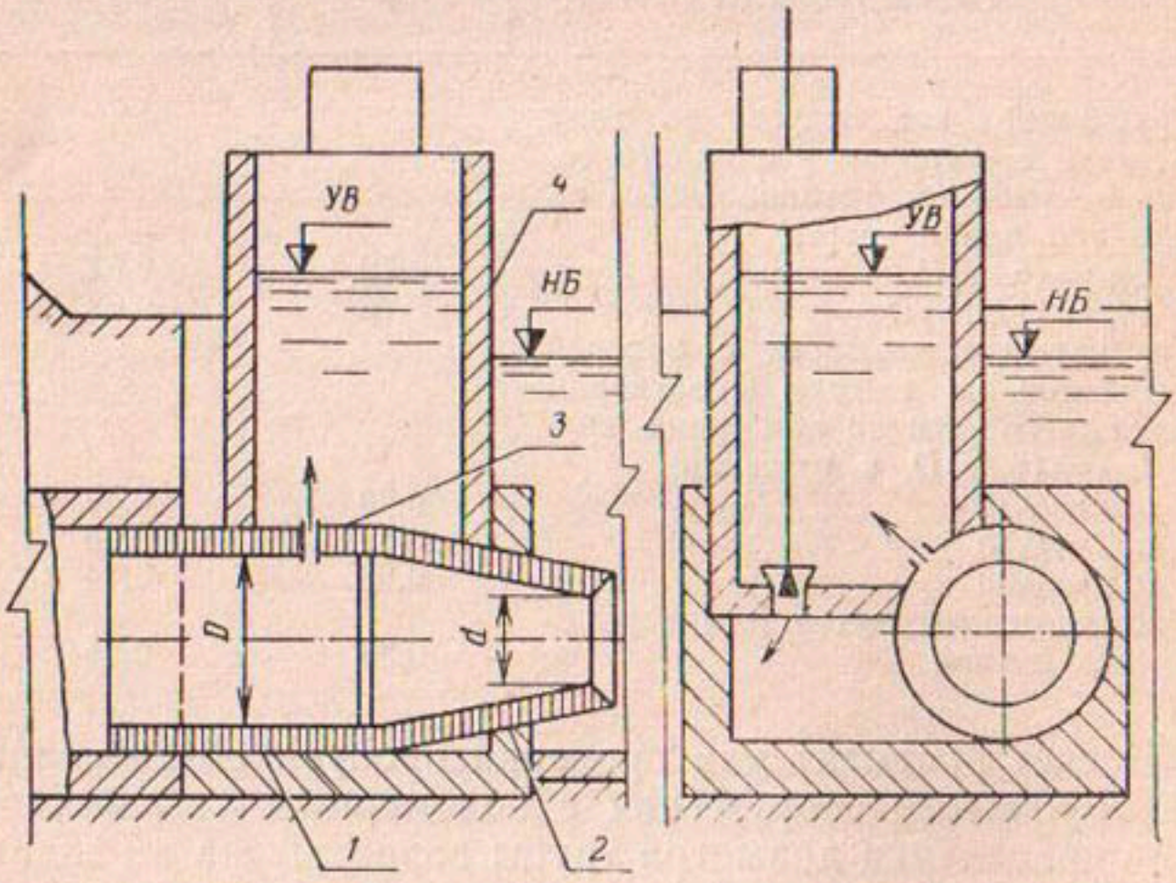


Рис. 26. Схема трубчатого расходомера-регулятора с насадком на входе:

1 — труба; *2* — насадок; *3* — отверстие для сообщения трубы с колодцем под измерительный преобразователь; *4* — колодец.

ходного сечения трубы под минимальный уровень воды в отводящем канале. При наличии перепада и наклонной водопроводящей трубы перед насадком необходимо иметь дополнительный горизонтальный участок трубы длиной 3...4D.

Основные размеры конического насадка круглого сечения: D — входной диаметр, равный диаметру трубы сооружения; d — выходной диаметр отверстия $d=0{,}74D$. Прямоугольного сечения: a — высота выходного сечения, b — ширина выходного сечения, $b=2a$; A — высота входного сечения, $A=1{,}5a$; B — ширина входного сечения, $B=2A$; l — длина насадка, $l=3a$. Квадратного сечения: a — высота выходного сечения; A — высота входного сечения, $A=1{,}35a$; l — длина насадка, $l=1{,}35a$.

Для исключения влияния степени открытия затвора на исходный коэффициент расхода расходомера-регулятора длина водопроводящей части трубы задается больше шести ее диаметров.

Принцип действия устройства состоит в том, что конический насадок, являясь местным сопротивлением, образует водомерный перепад, величиной которого определяется расход воды по прибору, рейкам и градуировочной таблице.

Гидравлический расчет выполняют для определения сечения трубы регулятора и насадка при пропуске заданного расхода при рабочем уровне в верхнем бьефе и максимальном в нижнем. В расчете используют формулу

$$Q=\mu_c\omega_{тр}\sqrt{2gz_c}, \qquad (75)$$

где μ_c — коэффициент расхода системы, равный 0,5 при длине трубы сооружения до насадка (6...8) D; z_c — действующий перепад системы, или разность уровней в бьефах сооружения; d/D — отношение выходного диаметра насадка к входному, $d/D=0{,}74$.

При длине трубы $L_{тр}>8D$ коэффициент расхода системы вычисляют по зависимости (69) с учетом, что $\zeta_{вх}=\zeta_{вых}=3{,}4$ — коэффициент сопротивления насадка при $d/D=0{,}74$.

Размеры конического насадка находят пересчетом по вычисленному диаметру трубы водовыпуска, который соответствует входному диаметру насадка.

Расход воды, проходящей через сооружение и конический насадок, определяют по перепаду уровней между сечением трубы перед насадком и в нижнем бьефе

непосредственно у насадка, а также коэффициенту расхода расходомера (k_1):

$$Q = k_1 \omega_{тр} \sqrt{2gz_к}, \qquad (76)$$

где k_1 — коэффициент расхода, $k_1 = 1{,}12$; $\omega_{тр}$ — площадь поперечного сечения трубы сооружения; $z_к$ — водомерный перепад; g — ускорение свободного падения.

По этой расходной формуле строят градуировочную характеристику $Q = f(z_к)$ в виде графика или таблицы.

Сужающее устройство для трубчатых сооружений. Предназначено для местного автоматизированного учета расходов воды в трубчатых сооружениях диаметром до 1000 мм. Конструкция позволяет осуществлять точный систематический замер расходов воды, проходящих через сужающее устройство в зависимости от гидравлического перепада уровней или давлений независимо от режима истечения (свободное, несвободное).

Способность транзитного пропуска наносов позволяет применять их в условиях наличия в воде большого количества взвешенных и твердых частиц, а также на системах со сточными водами.

Конструкция сужающего устройства применима на распределительных, внутрихозяйственных и сбросных водомерных постах, а также на транзитных участках межхозяйственной и внутрихозяйственной сети при установке на них простейших средств измерения (рейки, гидрометрические вилки и др.), приборов-регистраторов, а также приборов систем телемеханики или дистанционного измерения.

Конструкция сужающего устройства для трубчатых водовыпусков представляет собой отрезок трубопровода, на выходе которого закрепляют сужающую наклонную вставку (рис. 27).

Для механизации измерения водомерный пост оборудуют лимнигрифами, самописцами уровня воды с «тяжелыми поплавками» и др.

При внедрении систем телемеханики вместо расходографов устанавливают датчики перепада уровней или датчики уровня воды, в качестве чувствительного элемента которых применены «тяжелые поплавки».

Принцип действия устройства заключается в следующем. Поток, проходя через устройство и испытывая плавное сжатие сверху, создает разность уровней воды перед и за ним. При постоянной площади истечения и

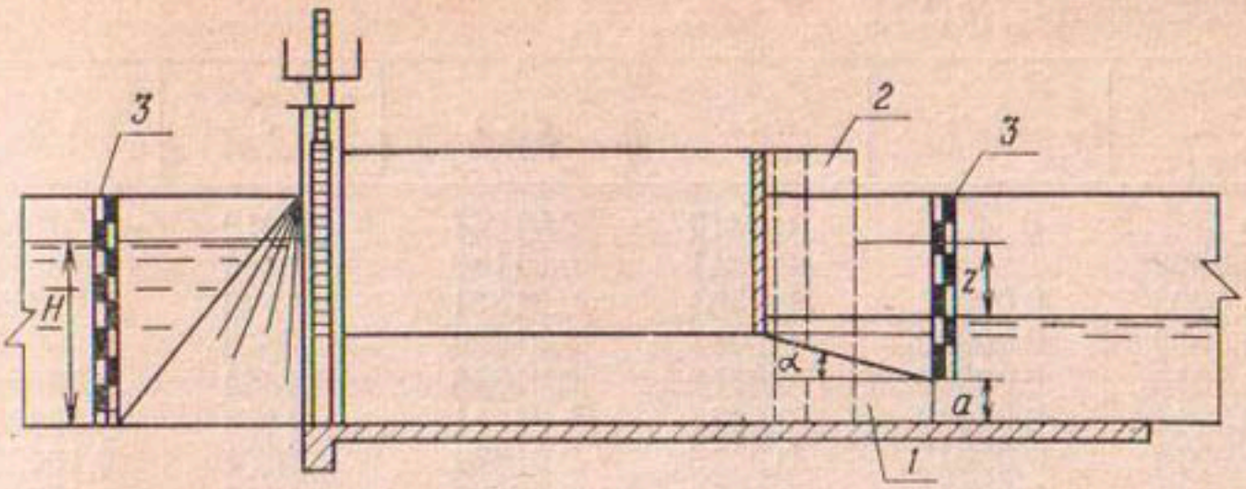


Рис. 27. Схема сужающего устройства для трубчатых сооружений: *1* — сужающее устройство; *2* — колодец под измерительный преобразователь; *3* — измерительные рейки.

постоянном коэффициенте расхода проходящий расход воды однозначно зависит только от разности уровней в верхнем и нижнем бьефах (гидравлического перепада). Поэтому измеренный в процессе наблюдений перепад позволяет определить расход воды независимо от режима истечения.

Расчет сужающего устройства для трубчатых сооружений при известных диаметре, расходе и принятом перепаде вычисляют по формуле

$$\omega_{вых}=Q/(\mu\sqrt{2gz}), \qquad (77)$$

где μ — коэффициент расхода, $\mu=0{,}92$ при $\beta=16°$; $\omega_{вых}$ — площадь выходного отверстия; z — гидравлический перепад перед и за устройством; g — ускорение свободного падения.

Зная площадь $\omega_{вых}$, можно определить высоту сегментного отверстия. Для этого необходимо вычислить $\omega_{вых}/R_т^2=k$, по которому из таблицы 15 находят соответствующее значение $c=a/R_т$. Если известен радиус трубы $R_т$, то высота сегментного отверстия $a=cR_т$. В такой последовательности проводят расчет только при $k<1{,}57$. Когда $k>1{,}57$, вычисляют

$$k'=3{,}14-(\omega_{вых}/R_т^2). \qquad (78)$$

Из таблицы 15 по k' находят c и $a'=cR_т$. Затем вычисляют высоту сегментного отверстия $a=D-a'$. Зная a, D и β, можно определить длину сужающего устройства по формуле

$$l=(D-a)/\sin\beta. \qquad (79)$$

15. Связь $c=f[k(k')]$

c	$\kappa(\kappa')$	c	$\kappa(\kappa')$	c	$\kappa(\kappa')$
0	0	0,0319	0,01067	0,1212	0,07808
0,0002	0	0,0341	0,01180	0,1254	0,08212
0,0003	0,00001	0,0364	0,01301	0,1296	0,08629
0,0006	0,00003	0,0387	0,01429	0,1340	0,09059
0,0010	0,00006	0,0412	0,01566	0,1384	0,09502
0,0014	0,00010	0,0437	0,01711	0,1428	0,09958
0,0019	0,00015	0,0463	0,01864	0,1474	0,10428
0,0024	0,00023	0,0489	0,02027	0,1520	0,10911
0,0031	0,00032	0,0517	0,02198	0,1566	0,11408
0,0038	0,00044	0,0545	0,02378	0,1613	0,11919
0,0046	0,00059	0,0574	0,02568	0,1661	0,12443
0,0056	0,00076	0,0603	0,02767	0,1710	0,12982
0,0064	0,00097	0,0633	0,02976	0,1759	0,13535
0,0075	0,00121	0,0664	0,03195	0,1808	0,14102
0,0086	0,00149	0,0696	0,03425	0,1859	0,14683
0,0097	0,00181	0,0728	0,03664	0,1910	0,15279
0,0110	0,00217	0,0761	0,03915	0,1961	0,15889
0,0123	0,00257	0,0795	0,04176	0,2014	0,16514
0,0137	0,00302	0,0829	0,04448	0,2066	0,17154
0,0152	0,00352	0,0865	0,04731	0,2120	0,17808
0,0167	0,00408	0,0900	0,05025	0,2174	0,18477
0,0184	0,00468	0,0937	0,05331	0,2229	0,19160
0,0201	0,00535	0,0974	0,05649	0,2284	0,19859
0,0219	0,00607	0,1012	0,05978	0,2340	0,20573
0,0237	0,00686	0,1051	0,06319	0,2396	0,21301
0,0256	0,00771	0,1090	0,06673	0,2453	0,22045
0,0276	0,00862	0,1130	0,07039	0,2510	0,22804
0,0297	0,00961	0,1171	0,07417	0,2569	0,23578
0,2627	0,24367	0,4775	0,57551	0,7328	1,04275
0,2686	0,25171	0,4850	0,58827	0,7412	1,05900
0,2746	0,25990	0,4925	0,60116	0,7496	1,07532
0,2807	0,26825	0,5000	0,61418	0,7581	1,09171
0,2867	0,27675	0,5076	0,62374	0,7666	1,10818
0,2929	0,28540	0,5152	0,64063	0,7750	1,12472
0,2991	0,29420	0,5228	0,65404	0,7836	1,14132
0,3053	0,30316	0,5305	0,66759	0,7921	1,15799
0,3116	0,31226	0,5383	0,68125	0,8006	1,17472
0,3180	0,32152	0,5460	0,69505	0,8092	1,19151
0,3244	0,33093	0,5538	0,70897	0,8178	1,20835
0,3309	0,34050	0,5616	0,72301	0,8264	1,22525
0,3374	0,35021	0,5695	0,73716	0,8350	1,24221
0,3439	0,36008	0,5774	0,75144	0,8436	1,25921
0,3506	0,37009	0,5853	0,76584	0,8522	1,27626
0,3572	0,38026	0,5933	0,78034	0,8608	1,29335
0,3639	0,39058	0,6013	0,79497	0,8695	1,31049
0,3707	0,40104	0,6093	0,80970	0,8781	1,32766
0,3775	0,41166	0,6173	0,82454	0,8868	1,34487
0,3843	0,42242	0,6254	0,83949	0,8955	1,36212
0,3912	0,43333	0,6333	0,85455	0,9042	1,37940

Продолжение

c	$\kappa(\kappa')$	c	$\kappa(\kappa')$	c	$\kappa(\kappa')$
0,3982	0,44439	0,6416	0,86971	0,9128	1,39671
0,4052	0,45560	0,6498	0,88497	0,9215	1,41404
0,4122	0,46695	0,6580	0,90034	0,9302	1,43140
0,4193	0,47845	0,6662	0,91580	0,9390	1,44878
0,4264	0,49008	0,6674	0,93135	0,9477	1,44617
0,4336	0,50187	0,6827	0,94700	0,9564	1,48359
0,4408	0,51379	0,6910	0,96274	0,9651	1,50101
0,4481	052586	0,6993	0,97858	0,9738	1,51845
0,4554	0,53806	0,7076	0,99449	0,9825	1,53589
0,4627	0,55041	0,7160	1,01050	0,9913	1,55334
0,4701	0,56289	0,7244	1,02658	1,0000	5,57080

В процессе наблюдений на сужающем устройстве измеряют гидравлический перепад и по его значению вычисляют расход воды по формуле

$$Q = 4{,}08\omega_{\text{вых}}\sqrt{z}. \qquad (80)$$

Градуировочную характеристику $Q = f(z)$ строят в виде таблиц или графика.

Автоматические регуляторы постоянного расхода. Предназначены для нормирования постоянной во времени подачи воды в каналы оросительных систем. Эти регуляторы (любого принципа действия и конструктивных особенностей) должны пропускать постоянный расход независимо от изменения уровней воды в каналах. Автоматические регуляторы постоянного расхода с одной наклонной стенкой — РО и двумя — РД состоят из затвора, к нижней кромке которого приварены наклонные одна или две стенки, обращенные в сторону верхнего бьефа (рис. 28). Такие затворы устанавливают на специальном донном профилированном пороге определенной высоты и длины. Основная принципиальная особенность их — с изменением напора в верхнем бьефе пропорционально ему изменяются местные сопротивления на входе в отверстие за счет наклонной нижней части затвора, что обеспечивает постоянный расход, проходящий через сооружение. Наиболее проста конструкция регуляторов с одной наклонной стенкой — РО, поэтому их в основном и применяют на оросительных системах. РО состоит из плоского затвора с наклонной нижней кромкой *1*, подъем которого осуществляют ручными винтовыми подъемниками, стрелки *2*, шкалы расхода *3*, закрепленной на раме, и порога *4*.

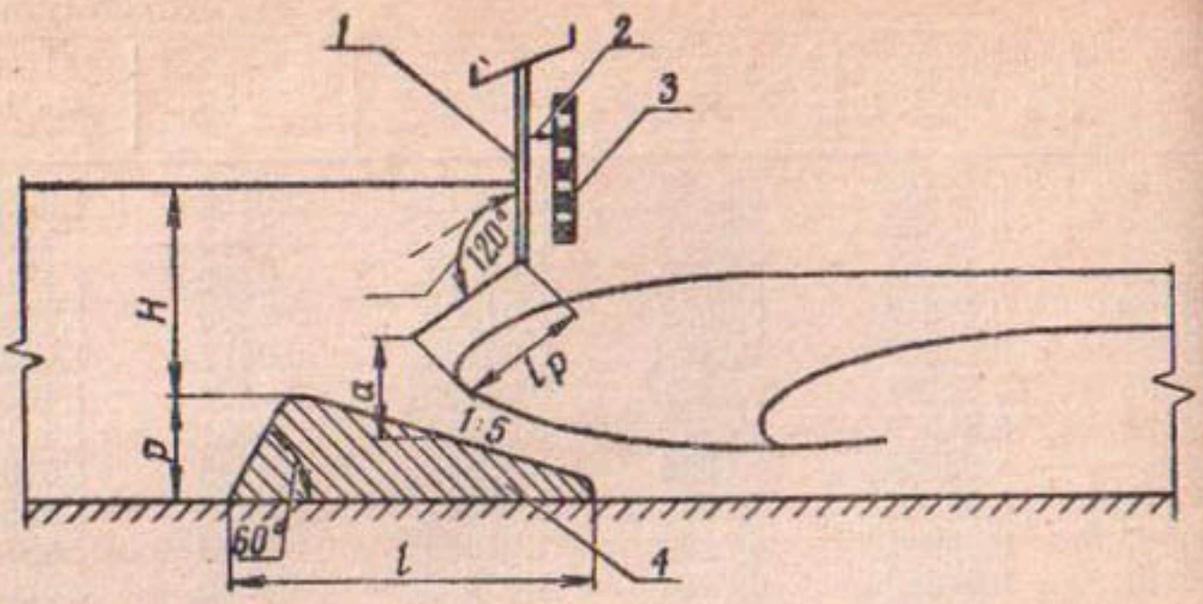


Рис. 28. Схема авторегулятора расхода РО и РД:
1 — затвор с одной или двумя наклонными стенками; *2* — стрелка; *3* — шкала расходов; *4* — порог.

Типовые конструкции РО разработаны на расходы $Q=0{,}1...1{,}4$ м³/с и напоры $H=0{,}25...1$ м. Основные типоразмеры и характеристики их даны в таблице 16.

16. Основные типоразмеры и характеристики авторегуляторов РО

Тип	Расход Q, м³/с	Напор H, м	Допустимые отклонения напора ΔH, м	Ширина порога e, м	Высота порога p, м	Длина порога $l_р$, м	Длина наклонной грани l, м	Максимальная высота открытия затвора a, м
0,1РО	0,1	0,25	0,07	0,50	0,10	0,49	0,24	0,17
0,2РО	0,1...0,2	0,29	0,10	0,80	0,12	0,52	0,28	0,20
0,4РО	0,2...0,4	0,64	0,18	0,80	0,20	0,80	0,44	0,32
0,8РО	0,4...0,8	0,69	0,19	1,40	0,22	0,90	0,48	0,35
1,4РО	0,8...1,4	1,00	0,30	1,40	0,40	1,30	0,70	0,51

Преимущество таких сооружений по сравнению с плоскими щитовыми регуляторами — подача заданного расхода в канал в результате открытия затвора на необходимое деление по шкале, при этом расход остается практически постоянным при колебаниях напора в определенном диапазоне (табл. 16). Расход в этом случае определяют визуально по стрелке и шкале, а сток умножением каждой постоянной величины его на продолжительность работы этим расходом.

Недостаток работы РО и РД: работа только при свободном истечении и небольшом колебании уровней воды в верхнем бьефе. Обычно значительное изменение напора существенно изменяет и расход. Поэтому перед РО

или РД необходимо обеспечить постоянство уровня. Для этого на канале за водовыделом автоматического регулятора поддерживают постоянный уровень воды нижнего бьефа.

Условия применения и особенности эксплуатации расходомеров-регуляторов. Приставки работают нормально при напорном режиме истечения за счет создания определенного напора перед входом и затопления выходного сечения затвором.

Напор перед входом для первого и второго видов приставок задается из условия $H_{max} \geqslant 1{,}7D(a)$ при пропуске максимального расхода и $H_{min} = (1{,}3...1{,}5)D(a)$ — минимального. При малых размерах приставок превышение уровня воды над верхом труб не меньше 0,3 м.

Выходное сечение приставки затапливается: при затопленном истечении — превышением максимального уровня над верхней кромкой выходного сечения приставки при полностью открытом затворе сооружения на $\Delta h \geqslant 0{,}5z_c$ или $0{,}5z_ш$, где z_c — перепад системы и $z_ш$ — перепад в шахте; при свободном истечении в нижний бьеф сооружения — прикрытием затвора так, чтобы глубина $h_z > 1{,}1a$.

Описанные виды приставок рекомендуется применять для сооружений на каналах с прямым подходом потока воды. Возможно также использовать их для узловых водопользователей, линии затворов которых в плане пересекаются под углом не менее 120...130°.

Приставку монтируют в оголовке сооружения в соответствии с расчетной схемой. Правила монтажа изложены в проектах расходомеров-регуляторов. Проектом также предусматривается тип водоучитывающего прибора.

При эксплуатации расходомеров-регуляторов необходимо своевременно подготовить водомерное устройство (к началу вегетационных поливов) и установить периодическое наблюдение за работой сооружения и прибора, не допуская засорения их и водопроводящей части сооружения, а также нарушения в работе водоучитывающего прибора. После вегетационных поливов металлические детали водомерного устройства сооружения и затвора с подъемником окрашивают и смазывают. Измерительный преобразователь проходит профилактический осмотр и проверочную градуировку в соответствии с существующими правилами.

Сужающее устройство для трубчатых сооружений необходимо изготавливать из стальных труб со сваркой наклонной сужающей вставки и последующей установкой изделия на выходе из трубчатого сооружения с закреплением и омоноличиванием стыка.

Основные работы по эксплуатации сужающего устройства: периодические проверки нивелировкой «нулей» реек в верхнем и нижнем бьефах и очистка от мусора импульсных трубок и приборного колодца.

Систематический учет расходов воды на водомерных постах проводят по градуировочной характеристике $Q=f(z)$. Глубину воды измеряют для местного отсчета по уровнемерной рейке, а при автоматизированном водоучете — по прибору (расходографу, преобразователю гидравлического перепада в расход или измерительному преобразователю систем телемеханики).

Основные погрешности расходомеров-регуляторов даны в таблице 17.

17. Основные погрешности в измерении расхода воды расходомерами-регуляторами

Водомерное устройство	Погрешность, %		
	приведенная	вероятная	приведенная к 95%-ной обеспеченности
Расходомеры-регуляторы с приставкой	5,0	4,0	4,6
Расходомеры-регуляторы для внутрихозяйственной сети	5,0	4,0	4,6
Трубчатый регулятор с коническим насадком на выходе из трубы	6,0	4,0	5,7
Сужающее устройство УкрНИИГиМ для трубчатых сооружений	5,0	4,0	4,6
Автоматические регуляторы постоянного расхода	5,0	4,0	4,6

Градуированные подпорно-регулирующие сооружения

Предназначены для механизированного или автоматизированного оперативного измерения расходов воды головными, транзитными, сбросными водомерными постами с расходами до 200 м³/с.

Градуировку сооружений применяют для определения градуировочных характеристик сооружений, нахождения связи градуировочных характеристик с систематически измеряемыми параметрами потока и размерами конструктивных элементов сооружения, косвенного измерения расходов воды по принятым градуировочным характеристикам и систематически измеряемым параметрам потока.

Градуированные сооружения различают по типам, числу систематически измеряемых параметров и положению первичных преобразователей. Применение того или иного сооружения диктуется конструктивными особенностями и режимом их работы (свободное или несвободное истечение из отверстия).

Сооружения с плоскими и сегментными затворами, работающие со свободным истечением. При автоматизации измерений применяют градуированное сооружение, представленное на рисунке 29.

Для визуального контроля при измерении необходимо в верхнем бьефе на расстоянии (3...4)H от затвора

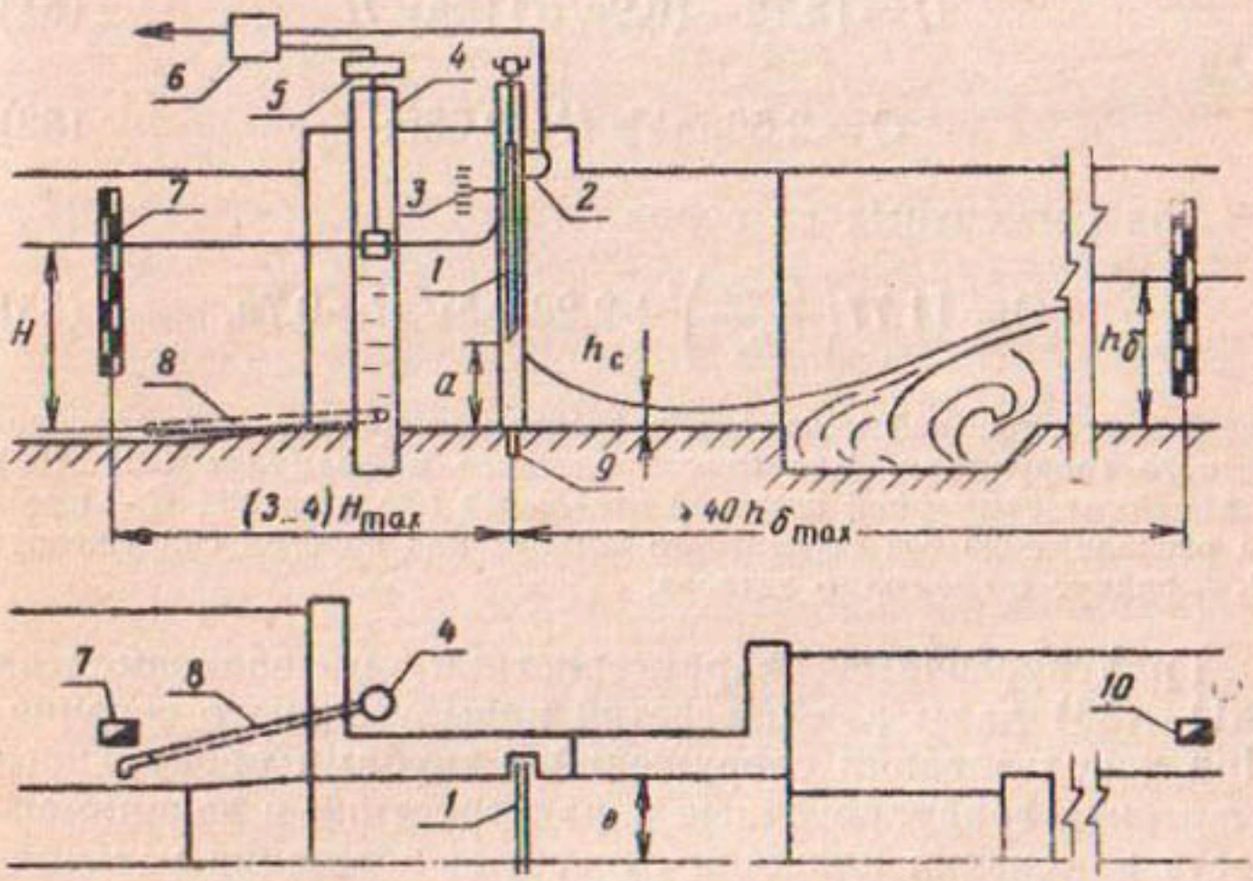


Рис. 29. Схема градуированного сооружения с плоским затвором:

1 — затвор; *2* — измерительный преобразователь высоты открытия затвора; *3* — указатель положения затвора; *4* — колодец под измерительный преобразователь уровня; *5* — измерительный преобразователь напора; *6* — измерительный преобразователь расхода; *7*, *10* — контрольные рейки; *8* — импульсная трубка; *9* — измерительный преобразователь уровня нижнего бьефа.

устанавливать водомерную рейку, а затвор оборудовать указателем высоты открытия.

Принцип действия градуированного сооружения заключается в том, что поток жидкости, встречая на своем пути преграду в виде гидротехнического сооружения с затвором, теряет часть потенциальной энергии, которая преобразуется в энергию движения.

Потери функционально связаны с напором воды в верхнем бьефе и высотой открытия затвора. Измеряя эти параметры потока измерительными преобразователями *2*, *5* и зная ширину водосливного фронта по зависимостям (81)...(83), вычисляют расход, а в автоматическом режиме измеряемые величины преобразуются в расход с помощью устройства *6*.

Систематически измеряют следующие параметры потока: глубину воды над порогом сооружения H (или уровень, ей соответствующий) в верхнем бьефе и высоту открытия затвора a (рис. 29). Расход определяют косвенным путем, используя зависимости:

для плоских вертикальных затворов

$$Q=[2{,}72-(0{,}9a/H)]ab\sqrt{H} \qquad (81)$$

или

$$Q=2{,}66\mu ab\sqrt{H-0{,}65a}; \qquad (82)$$

для сегментных затворов

$$Q=\left[1{,}77\left(\frac{C-a}{R_з}\right)^2+2{,}22\right]ab\sqrt{H-0{,}7a}, \qquad (83)$$

где b — ширина действующего водосливного фронта для однопролетного сооружения. Для многопролетного в формулах (81)...(83) b заменяют суммарной шириной отдельных пролетов Σb; C — высота расположения оси сегментного затвора над порогом сооружения; $R_з$ — радиус сегментного затвора.

Градуировочные характеристики в зависимостях (81)...(83) даны для отверстий прямоугольного сечения. При использовании сооружений с трубами циркульного очертания градуировочные характеристики и закономерность изменения площади отверстия истечения устанавливают при выполнении градуировочных работ.

Учетные зависимости (81)...(83) упрощаются для конкретных сооружений, когда известны b или Σb, $R_з$, C.

Сооружения с плоскими и сегментными затворами, работающие с несвободным истечением. Принцип их

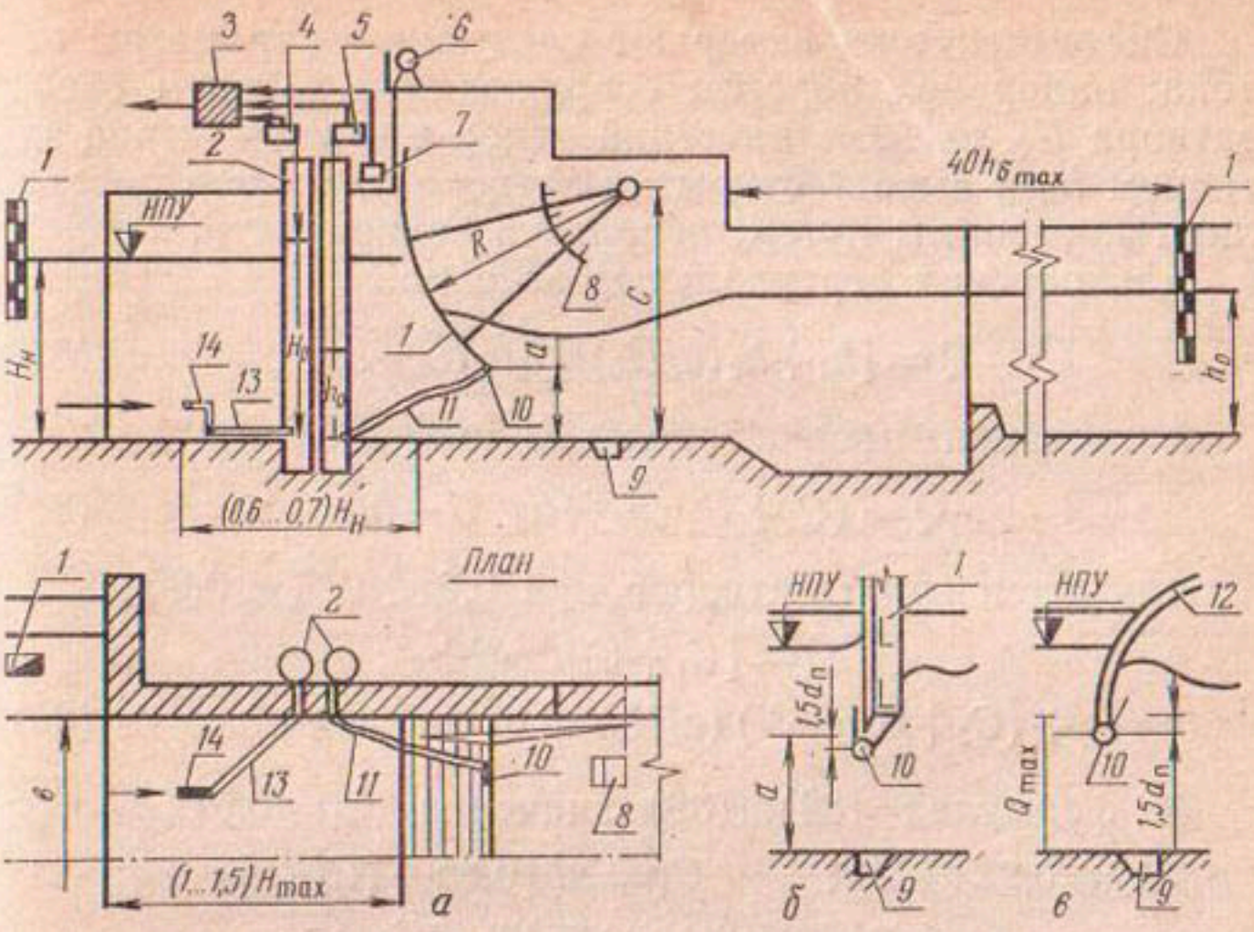


Рис. 30. Схема градуированного сооружения:

а — с сегментным затвором; *б* — схема крепления пьезометра на плоском затворе; *в* — то же, на сегментном затворе; *1* — контрольная рейка; *2* — двухсекционный колодец; *3, 4, 5* — измерительные преобразователи расхода и напоров; *6* — подъемный механизм; *7* — измерительный преобразователь открытия затвора; *8* — указатель положения затвора; *9* — ниша под пьезометр; *10* — пьезометр; *11, 13* — импульсные трубки; *12* — затвор; *14* — трубка Пито.

действия состоит в следующем. Напоры, характеризующие скорость движения потока на участке измерения, воспринимаются первичными преобразователями *10* и *14* и передаются по импульсным трубкам *11* и *13* в секции приборных колодцев *2*, преобразуются в столб жидкости, соответствующий величине напоров (рис. 30). Положение свободной поверхности столба жидкости в каждой из секций регистрируют измерительными преобразователями *4* и *5*, в которых измерительные величины преобразуются в сигналы, воспринимаемые преобразователем устройства телеизмерения расхода воды *3*. В это же устройство одновременно поступает сигнал от измерительного преобразователя *7* о высоте открытия затвора.

Преобразователь *3* в соответствии с формулами (84)...(86) обеспечивает расчет расхода воды, его регистрацию, а при необходимости вырабатывает и посылает сигнал в систему телеизмерений.

Систематически измеряют следующие параметры потока: напор над порогом сооружения в верхнем бьефе затвора H_0, пьезометрический напор в отверстии под затвором $h_п$ и высоту открытия затвора a. Расход определяют косвенным путем, используя зависимости:

для плоских вертикальных затворов

$$Q=[k_1+k_2(a/H_0)^2]a\sqrt{H_0-h_п}; \qquad (84)$$

для сегментных затворов при $a/H_0\leqslant 0{,}6$

$$Q=(C_1+C_2a^{-0,08})a\sqrt{H-h_п}; \qquad (85)$$

для сегментных затворов при $0{,}6<a/H_0<0{,}85$

$$Q=[C_1+C_2a^{-0,08}+ \\ +(C_3+C_4a^{-0,08})(a/H_0-0{,}6)^2]a\sqrt{H_0-h_п}. \qquad (86)$$

В формулах (84)...(86) значения $k_1=0{,}61\Sigma b\sqrt{2g}$; $k_2=0{,}2\Sigma b\sqrt{2g}$; $C_1=\Sigma b[0{,}85-(C/R)]\sqrt{2g}$; $C_2=\Sigma b[(C/R_3)-0{,}25]R_3^{-0,08}\sqrt{2g}$; $C_3=2{,}82\sqrt{2g}\Sigma b-2C_1$; $C_4=2C_2$.

определяют для каждого конкретного сооружения.

Сооружения с плоскими или сегментными затворами, работающие при несвободном истечении (упрощенный метод). Внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами водораспределения требует применения способа измерения расходов воды с одновременным измерением напора в верхнем бьефе и бытовой глубины потока за сооружением для определения объема накопления или сработки воды в бьефах.

Градуированное сооружение включает (рис. 31) гидротехническое сооружение с плоским или сегментным затвором *4*, измерительный преобразователь высоты открытия затвора *6*, измерительные преобразователи глубин воды *3* и *8*, установленные в приборных колодцах *2* и *9*, сообщенных с потоком импульсными трубками *13*, *10*.

Принцип действия заключается в измерении открытия затвора и параметров потока H и $h_б$ установленным оборудованием и регистрации этих величин (механизация измерений). При телемеханизации измерений сигналы, соответствующие a, H и $h_б$, принимают в диспетчерском пункте, где и рассчитывают расход.

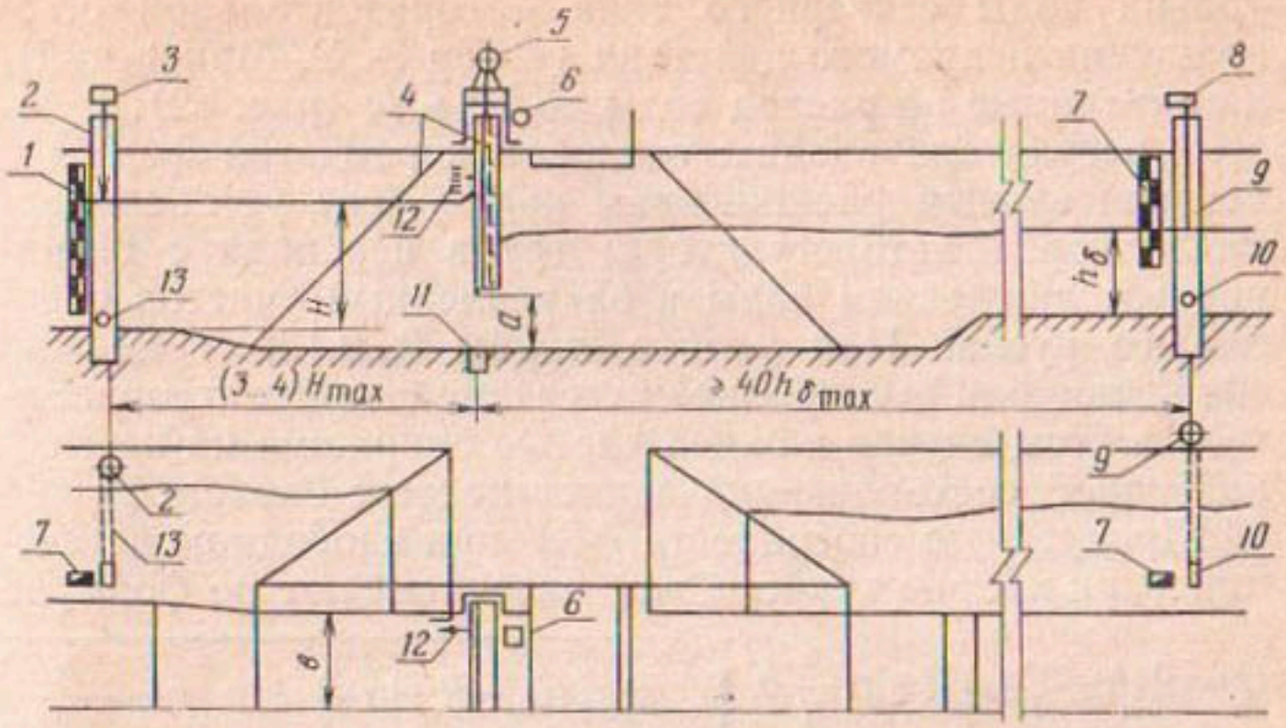


Рис. 31. Схема градуированного сооружения:

1, 7 — контрольные рейки; *2, 9* — колодцы; *3, 8* — измерительные преобразователи напора; *4* — сооружение с затвором; *5* — подъемный механизм затвора; *6* — измеритель высоты открытия затвора; *10, 13* — импульсные трубки; *11* — импульсное уплотнение; *12* — указатель высоты затвора.

Автоматизация измерений обеспечивается при использовании ЭВМ.

Измеряемые параметры потока — глубина воды в верхнем и нижнем бьефах H и $h_б$, высота открытия затвора a.

Расход воды вычисляют по формуле

$$Q=\varphi_б\omega_б\sqrt{2gz_б}, \qquad (87)$$

где φ — коэффициент скорости; $\omega_б$ — площадь живого сечения потока в створе измерения глубины $h_б$; $z_б$ — разность отметок поверхности потока в верхнем и нижнем бьефе, равная $H-h_б+iL$ (i — уклон дна русла между створами измерения H и $h_б$; L — расстояние между этими створами).

Этот способ рекомендуют применять только после градуировки сооружения, в процессе которой устанавливают зависимость $\varphi_б=f(a/h_б)$ и $\omega_б=f(h_б)$.

В дальнейшем по систематически измеряемым параметрам a, H и $h_б$, установленным зависимостям и формуле (87) находят расход.

Автоматические регуляторы уровня (АРУ) секторного типа с горизонтальной осью вращения. Для автоматизации гидромелиоративных систем институтом Укргипроводхоз разработаны автоматические регуляторы

уровня воды секторного типа с горизонтальной осью вращения непрямого действия (автор Э. Э. Маковский), рассчитанные на расход воды до 10 м³/с (рис. 32). В состав регулятора входят: оголовок коробчатой формы с незначительным расширением кверху, где устанавливают затвор *1* авторегулятора; труба перепада с безнапорным движением воды и закрепленный участок отводящего русла. При уклоне трубы 0...0,135 возможно свободное или несвободное истечение из-под затвора. Затвор в этом случае нижней частью опирается на невысокий порог, составляющий единое целое с блоком.

Пропускную способность АРУ при свободном истечении (при уклоне трубы $i>0$) рассчитывают по формуле

$$Q=2(k-C_3\alpha)R\sin\frac{\alpha}{2}b\sqrt{2g\left[H_0-R\sin\frac{\alpha}{2}\sin\left(\alpha_0-\frac{\alpha}{2}\right)\right]} \qquad (88)$$

где k и C_3 — коэффициенты, зависящие от коэффициента расхода АРУ (табл. 18); α — угол открытия затвора в радианах; b — ширина оголовка; R — радиус обшивки затвора; H_0 — напор в верхнем бьефе над порогом сооружения с учетом скорости подхода; α_0 — угол наклона напорной грани затвора к вертикали в закрытом положении.

При подтопленном истечении для расчета используют формулу

$$Q=2\mu bR\sin\frac{\alpha}{2}\sqrt{2g(H_0-h_z)}, \qquad (89)$$

где μ — коэффициент расхода АРУ; h_z — глубина воды за затвором с учетом понижения.

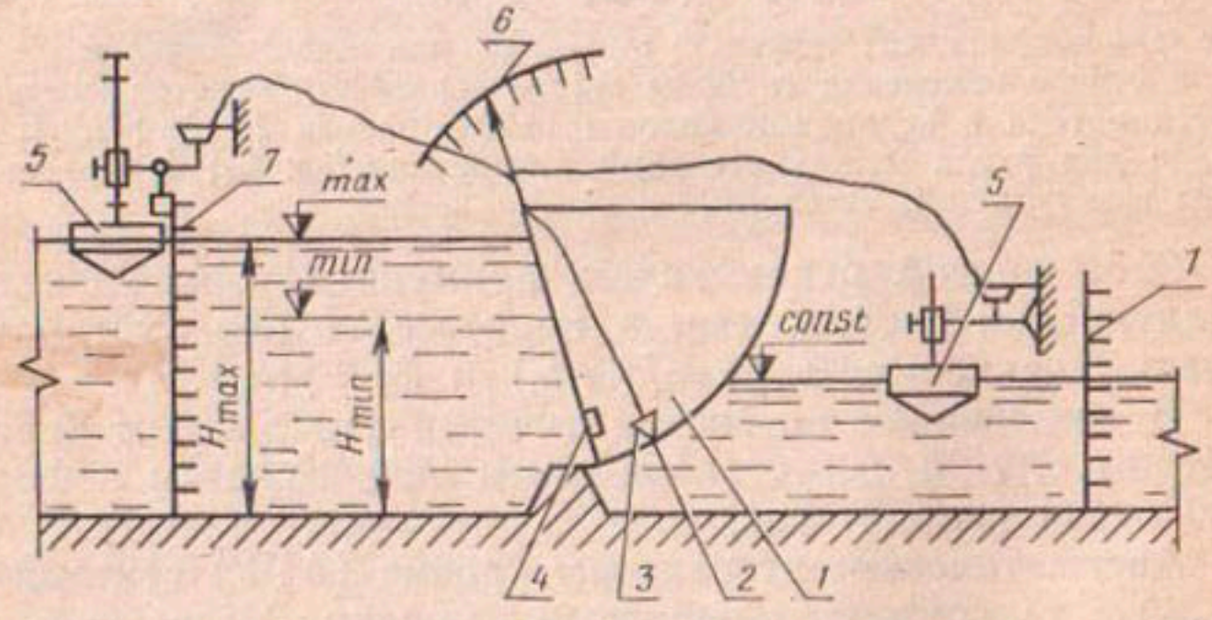


Рис. 32. Схема сооружения с секторным затвором:
1 — затвор; *2* — отверстия; *3* — клапан; *4* — входное отверстие; *5* — датчики; *6* — указатель открытия затвора; *7* — контрольные рейки.

18. Коэффициенты k и $C_э$

Для какого случая даны коэффициенты	Тип уплотнения	k	$C_э$
Для АРУ с порогом высотой $p=0{,}25$ м (для натуры) и $\alpha_0=15°$	На радиальной обшивке	0,733	0,555
Для АРУ с высотой порога $p=0{,}115$ м и $\alpha_0=15°$	То же	0,723	0,555
То же при $p=0$ и $\alpha_0=15°$	» »	0,688	0,555
Для АРУ при $p=0{,}25$ м и $\alpha_0=0$	» »	0,705	0,850
Для АРУ при $p=0{,}25$ м и $\alpha_0=15°$	На напорной грани затвора	0,693	0,555

При $2°<\alpha<9°$ коэффициент расхода вычисляют по формуле

$$\mu=0{,}96-0{,}345(\alpha°/9°) \qquad (90)$$

и при $9°<\alpha<18°$

$$\mu=0{,}615-0{,}065[(\alpha°/9°-1)]. \qquad (91)$$

В общем виде коэффициент расхода может быть представлен формулой

$$\mu=0{,}565/(\alpha/\alpha_c)^{0{,}22}. \qquad (92)$$

Тогда формулы учета воды для градуированных сооружений:

для свободного истечения

$$Q=2\left(0{,}747-0{,}156\frac{\alpha}{\alpha_0}\right)\times$$

$$\times R\sin\frac{\alpha}{2}b\sqrt{2g\left[H-R\sin\frac{\alpha}{2}\sin\left(\alpha_0+\frac{\alpha}{2}\right)\right]}; \qquad (93)$$

для несвободного истечения

$$Q=[1{,}13/(\alpha/\alpha_0)^{0{,}22}]R\sin\frac{\alpha}{2}b\sqrt{2gz}, \qquad (94)$$

где μ — коэффициент расхода; Q — расход воды; α — угол открытия затвора в градусах; α_0 — угол между вертикалью и напорной обшивкой регулятора в закрытом положении, $\alpha_0=15°$; R — радиус обшивки; b — ширина блока (затвора); H — напор над порогом без учета скорости подхода (скоростным напором можно пренебречь, так как величина скорости находится в пределах 0,2...0,4 м/с); z — разность уровней в верхнем и нижнем (за затвором) бьефах.

Анализ полученных уравнений показывает, что в первом случае расход воды зависит только от α и H (при постоянных остальных параметрах) и во втором — от α и z.

Задавшись шагом и пределами изменения этих характеристик по исходным уравнениям, можно построить рабочие таблицы $Q=f(\alpha; H)$ и $Q=f(\alpha, z)$, а оборудовав регуляторы средствами измерения α и $H(z)$, систематически получать по учету воду.

Конструктивные особенности водомерных устройств для оборудования водомерных постов с градуированными сооружениями. Наиболее рациональным с точки зрения измерения расхода вход в гидротехническое сооружение должен быть выполнен плавным циркульного очертания с прямыми или конусными ныряющими стенками. Если вход делают в виде обратных ныряющих стенок (портальных), то затвор целесообразно перенести на расстояние, равное $(1...1,5)H_{max}$ в сторону нижнего бьефа и установить его на горизонтальной части порога. При возвышении порога сооружения над дном канала длина горизонтальной части не должна быть меньше ширины пролета b. Расстояние от уступов до створа установки должно быть не менее $(0,32...0,64)b$, в том числе при маневрировании сегментными затворами, когда с открытием положение отверстия истечения перемещается в сторону верхнего бьефа.

Конструкция затвора должна отвечать условиям $R/H_{max}>1,2$, а. $a_{max}/R\leqslant 0,7$; $C_3=0,4...0,9$. Соблюдение этих условий позволяет использовать учетные зависимости расхода, приведенные выше. Если гидротехническое сооружение не отвечает этим условиям, то учетные зависимости, пределы их применения и погрешности измерения расходов устанавливают в процессе проведения градуировочных работ, которые проводят в соответствии с рекомендациями.

На каждом сооружении для визуального контроля за работой измерительных средств в верхнем бьефе на расстоянии $(3...4)H_{max}$ и в нижнем бьефе на расстоянии $40h_{6max}$ устанавливают водомерные рейки, а на затворе — указатель высоты открытия.

Первичным преобразователем напоров в верхнем и нижнем бьефах служит открытый торец импульсных трубок диаметром 0,05...0,1 м, который выводят в поток в створе установки водомерных реек, а полного напора —

трубка Пито диаметром 0,01...0,02 м, приемный торец которой установлен на расстоянии (0,6...0,7)H от затвора, (0,3...0,65)b от устоя или бычка, (0,025...0,6)H от порога (по высоте), где H — глубина воды, соответствующая НПУ воды перед сооружением.

Первичным преобразователем пьезометрического напора является пьезометр, который крепят у нижней грани затвора (см. рис. 30).

Импульсные трубки диаметром 1,25...1,875 см, соединяющие трубку Пито и пьезометр с приборным колодцем, делают гибкими для маневрирования затвором.

Приборные колодцы или их секции выполняют из металлических или неметаллических труб. Их высота определяется размерами гидротехнического сооружения, а диаметр — размерами чувствительного элемента (например, поплавка), измерительного преобразователя.

Импульсные трубки в приборный колодец вводят на некоторой высоте от его основания, что позволяет использовать нижнюю часть его в качестве отстойника.

Простейшими измерительными преобразователями напоров могут служить водомерные рейки, хлопушки, мерные штанги, а высоты открытия затворов — указатели, состоящие из фиксирующего стержня, прикрепленного к затвору, и разметки на устоях (бычках) гидросооружений.

На системах с высокой степенью механизации, а также в условиях телемеханизации и автоматизации процессов измерения расходов воды необходимо применять измерительные преобразователи заводского изготовления, которые осуществляют не только местную регистрацию измеряемых величин, но и передачу информации в систему телеизмерений.

Для измерения напоров можно применять приборы ДУП-1, ДУЧ-1, ДУК-1, ДСУ-1М, разности напоров — прибор ДРИ, высоты открытия затворов — ДПЗ, ДПЗК или приспособить приборы, предназначенные для измерения напоров. Для автоматизации измерения расходов до 20 м³/с необходимо использовать устройства, разработанные Е. Е. Овчаровым и В. М. Плотниковым (Овчаров, Плотников, 1972), включающие ДРП-2, ДС-1-0,5 (КСД-2). Автоматизация измерений расходов более 20 м³/с может быть осуществлена устройствами, созданными на таком же принципе.

Состав работ по градуировке сооружений. Подгото-

вительные работы по градуировке сооружений состоят из: составления паспорта сооружения и определения пределов, изменения гидравлических и конструктивных характеристик сооружения, разработки схемы размещения водомерных устройств и документации на нестандартное оборудование, изготовления и монтажа водомерных устройств, выбора измерительных приспособлений, приборов, их установки и наладки, разработки плана тарировки.

В паспорт подпорно-регулирующего сооружения включают следующие фактические данные: ширину пролета сооружения b и водосливного фронта Σb; длину входной части $L_{вх}$; глубины над порогом сооружения, соответствующие нормальному подпорному уровню $H_{НПУ}$, форсированному $H_{ФПУ}$, бытовому в нижнем бьефе $h_б$; минимальный действующий гидравлический перепад уровней $z_{min}=H_{НПУ}-h_б$ относительно порога сооружения; максимальный Q_{max} и минимальный Q_{min} расходы воды; максимальное открытие затвора a_{max}; максимальную скорость в отверстии под затвором v_{max}.

Для сооружений с сегментными затворами измеряют дополнительно радиус затвора R и расстояние по вертикали от порога сооружения до оси затвора $C_з$.

Расчетные величины предельных характеристик заносят в паспорт сооружения.

На градуированных сооружениях должны быть предусмотрены водомерные средства для измерения: скоростей и расходов воды русловым способом, положения уровней, высоты открытия затвора, напоров.

Скорости воды измеряют вертушками ГР-55, ГР-21 со служебного мостика, лодки или применяя гидрометрические установки типа ГР в зависимости от ширины B канала.

Для измерения расхода воды в нижнем бьефе следует использовать существующие гидрометрические створы. Когда такие створы отсутствуют, необходимо на расстоянии $l\geqslant 40h_{б\,max}$ ($h_{б\,max}$ — максимальная бытовая глубина в канале относительно порога сооружения) от сооружения в соответствии с требованиями инструкции оборудовать временный гидрометрический створ, положение которого уточняется предварительными наблюдениями за скоростями и профилем канала в нескольких сечениях его при минимальных расходах. Расход воды измеряют по инструкциям.

При градуировке небольших сооружений возможно измерение расходов воды переносными и временными водосливами или порогами.

Уровни воды, соответствующие глубине $h_б$, измеряют реечным постом, оборудованным в соответствии с инструкцией. Уровень воды, соответствующий глубине H, измеряют гидрометрической рейкой, закрепленной на устое (бычке) сооружения в зоне минимальных пульсаций уровня.

Для измерения напоров H_0 и $h_п$ сооружение оборудуют в соответствии с рисунками 29...31. Если затворы сооружения открываются не на одинаковую высоту, предусматривают водомерные средства для каждого затвора или группы затворов с равновеликими открытиями.

План тарировочных работ определяет сроки замеров и условия их проведения. Особое внимание нужно уделять замерам при минимальных и максимальных расходах в канале, максимальных открытиях затвора и минимальных перепадах уровней.

Для градуировки крупных сооружений достаточно выполнить 20...30 комплексных замеров при 6...8 открытиях затворов с различными затоплениями отверстия и разности уровней, охватив равномерно весь диапазон изменения основных характеристик: Q_{max}; Q_{min}; a_{max}; a_{min}; H_{max}; H_{min}; $h_{б\,max}$; $h_{б\,min}$.

Основные положения по эксплуатации градуированных сооружений. Градуированные сооружения с регулируемой площадью истечения предназначены для регулирования водоподачи и измерения расходов воды. На водомерном сооружении, помимо общепринятых эксплуатационных мероприятий, проводят специфические мероприятия, обеспечивающие безаварийную работу водомерных средств.

Монтируют и принимают в эксплуатацию водомерные устройства в соответствии со СНиП.

На водомерном сооружении осуществляют постоянный контроль за работой измерительных преобразователей и правильностью их показаний. Не реже, чем раз в декаду, эти показания сопоставляют с фактическими. Если обнаружено несоответствие показаний, то выясняют причину и устраняют неисправности.

В процессе эксплуатации сопоставляют измеряемые расходы с фактическими. Для этого раз в поливной сезон в контрольном створе на расстоянии $L \geqslant 40 h_{б\,max}$

выполняют 5...7 контрольных измерений расхода русловым способом.

Если расходы при контрольных измерениях значительно отличаются от измеряемых (более ±5%) установленным оборудованием или табличных, проводят корректировку таблиц и перерегулировку приборов.

Не реже одного раза в месяц промывают импульсные трубки.

В соответствии с графиком выполняют профилактические, планово-предупредительные и другие ремонты.

Вопросы демонтажа узлов оборудования или измерительных преобразователей для хранения в межполивной период решают, исходя из конкретных условий эксплуатации.

На водомерном посту в специальном журнале ведут учет всех работ по обеспечению его нормальной работы.

Правильное выполнение градуировочных работ и эксплуатация водомерных устройств обеспечивают погрешность измерения, приведенную в таблице 19.

19. Основные погрешности измерения расходов воды градуированными гидротехническими сооружениями

Способ и устройство	Погрешность, %		
	приведенная	вероятная	приведенная к 90%-ной обеспеченности
Сооружения с плоскими и сегментными затворами, работающие:			
со свободным истечением	6,0	4,0	5,7
с несвободным истечением	6,0	4,0	5,7
с несвободным истечением (упрощенный метод)	5,0	3,3	4,7
Автоматические регуляторы уровня секторного типа с горизонтальной осью вращения	6,0	4,0	5,7

Водомерные устройства для трубопроводов и насосных станций

Водомерное устройство с интегрирующей трубкой. Предназначено для измерения расхода воды в напорном трубопроводе мелиоративных насосных станций, а также

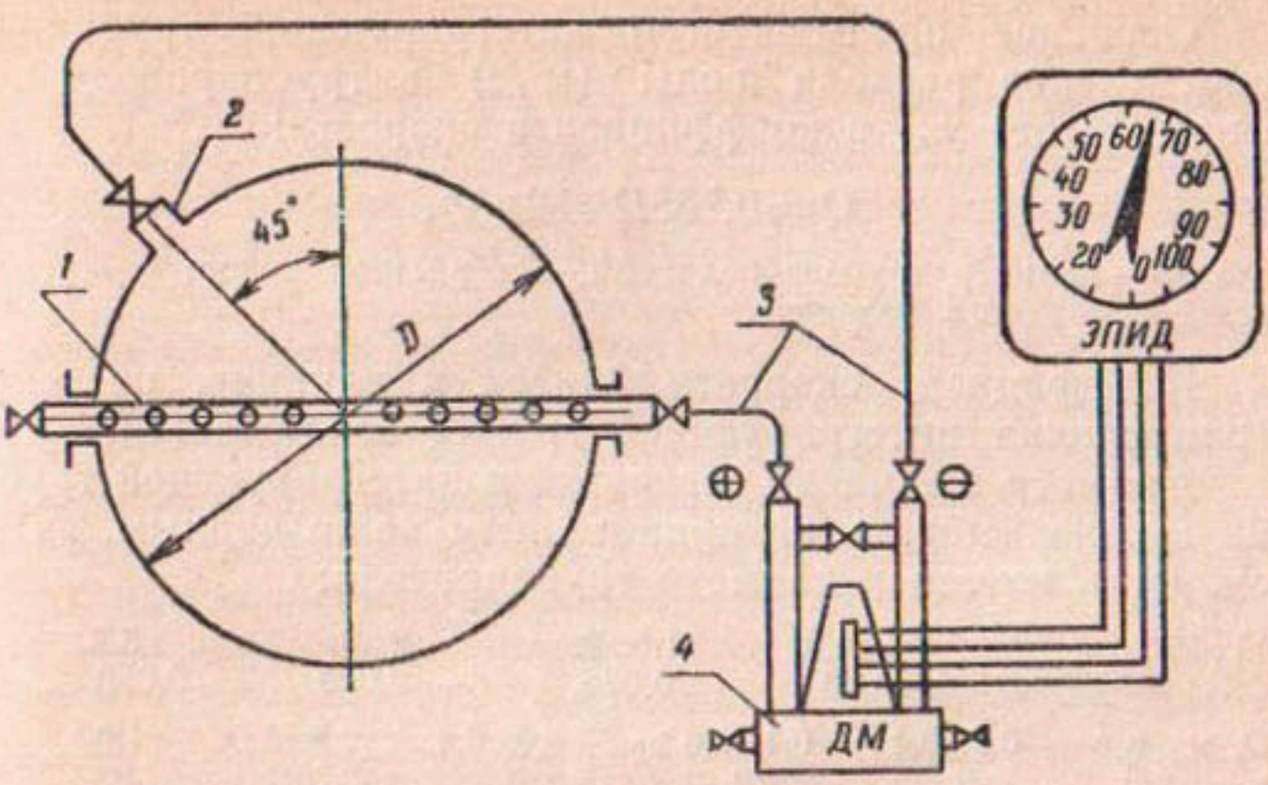


Рис. 33. Водомерное устройство для трубопровода насосной станции с интегрирующей трубкой и дифманометром:

1 — интегрирующая трубка; *2* — точка отбора статического давления; *3* — импульсные трубки; *4* — прибор ДМ.

для учета воды на напорном распределительном трубопроводе закрытой оросительной сети независимо от диаметра.

Устройство состоит из цилиндрической интегрирующей трубки *1*, установленной по диаметру трубопровода, импульсных трубок *3* и регистратора *4* (рис. 33). Интегрирующая трубка представляет собой цилиндрическую трубку малого диаметра с отверстиями на одной из образующих ее поверхностей, направленными против потока воды.

Принцип действия заключается в следующем. При движении воды по трубопроводу в результате неравномерности распределения скоростей по сечению перед каждым отверстием устанавливаются давления, равные скоростному напору в данной точке. В интегрирующей трубке давление осредняется и устанавливается среднее, соответствующее средней скорости в трубопроводе. Разность между осредненным давлением в трубе и статическим у стенки трубопровода соответствует скоростному напору, соответствующему средней скорости потока, что при постоянной площади истечения позволяет определять расход воды.

Основное преимущество интегрирующей трубки — определение расхода воды ($м^3/с$) в трубопроводе по формуле без учета коэффициента скорости:

$$Q=0{,}785D^2\sqrt{2g\Delta h}, \qquad (95)$$

где D — диаметр трубопровода; Δh — скоростной напор; g — ускорение свободного падения.

Коэффициент скорости близок к единице, поэтому градуировка интегрирующей трубки исключается.

Диаметр d и число отверстий n интегрирующей трубки можно выбрать по приведенным ниже данным, зная скорость потока и диаметр трубопровода:

V, м/с	1...1,5	1,5...2	2...3	3,0
d/D	0,020	0,025	0,030	0,050

D, м	0,2	0,2...0,4	0,4...0,6	0,6...0,8	0,8...1,0	1,0
n	6	8	10	12	16	20

Расстояние между отверстиями вычисляют по формуле

$$l=D\sqrt{(2x-1)/n}, \qquad (96)$$

где x — порядковый номер отверстия, считая от центра трубы.

Диаметр отверстий в интегрирующей трубке принимают $d_0 \leqslant 0{,}3d$. Принципиальная схема подключения трубки к дифференциальному манометру показана на рисунке 33.

Из учетной формулы расхода (95) видно, что расход воды, проходящий по трубопроводу, определяется сечением трубы и перепадом Δh. Следовательно, использование описанного водомерного устройства не требует проведения контрольных замеров и градуировки измерительного преобразователя.

При выборе типа дифманометра задача сводится к подбору прибора по пределу измерения перепада давлений, соответствующему перепаду на водомерном устройстве.

Сужающее устройство УкрНИИГиМ для трубопроводов. Предназначено для автоматизированного и механизированного измерения расходов воды в закрытых гидромелиоративных системах.

Конструкция позволяет осуществлять систематическое измерение расходов воды, проходящих через сужающее устройство в зависимости от гидравлического перепада (разности давлений).

Сужающее устройство применимо для трубопроводов диаметром до 1 м на распределительных, хозяйственных, внутрихозяйственных постах, а также транзитных участках межхозяйственной и внутрихозяйственной сети при установке на них приборов-регистраторов, а также приборов системы телемеханики или дистанционного измерения. Рассчитано на разность давлений (перепадов), равную 0,4; 0,63; 1,0; 1,6 атм.

Сужающее устройство представляет собой водомерную наклонную вставку *1*, монтируемую в отрезке трубопровода *2* при помощи конечных фланцев. Наклонная вставка крепится к вертикальной вставке *3* и отрезку трубопровода сварным швом. Для трубопроводов сужающее устройство изготавливают из отрезка металлической трубы (того же диаметра, что и трубопровод), посредине которого делают скос под углом 16° на длину сужающей вставки (рис. 34). По периметру среза накладывают наклонную и вертикальную водомерные вставки, которые крепят сварным швом. Для отбора давлений на входе и в створе выхода устанавливают штуцера для подключения измерительных устройств.

Принцип действия устройства состоит в следующем. Поток, проходя через устройство и испытывая плавное сжатие сверху, создает разность давлений перед и за ним. При постоянной площади истечения и коэффициенте водомерности (расхода) проходящий расход воды однозначно зависит от перепада давлений.

Таким образом, измеренная разность давлений (гидравлического перепада) позволяет в процессе наблюде-

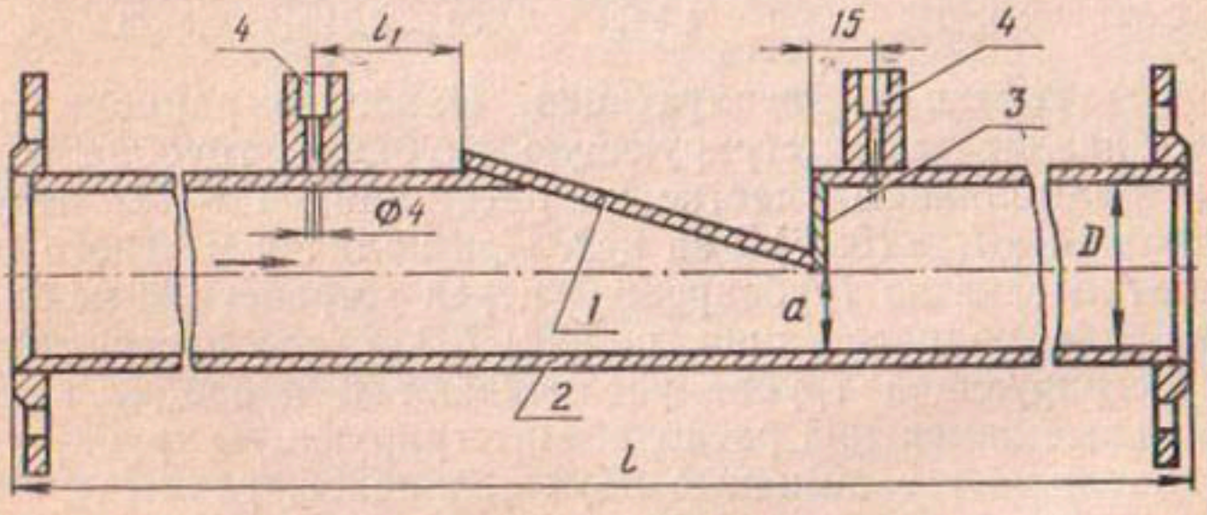


Рис. 34. Водомерное устройство УкрНИИГиМ:
1 — наклонная вставка; *2* — отрезок трубопровода; *3* — вертикальная вставка; *4* — штуцера для отбора давления.

ний определить расход воды, проходящий через сужающее устройство или преобразуется приборами в расход воды.

При измерении расхода воды сужающим устройством в закрытых трубопроводах можно применять дифференциальные манометры, например типа ДМ 35-37 с вторичным прибором КСД-2 (ДС-1-0,5).

Расход воды, проходящий через сужающее устройство, определяют по формуле пропускной способности

$$Q = 3{,}48 \mu D^2 \sqrt{\Delta p/\gamma}, \qquad (97)$$

где μ — коэффициент водомерности (расхода), $\mu = 0{,}89$; D — диаметр трубопровода; $\Delta p/\gamma$ — разность давлений перед и за сужением (в зависимости от прибора назначают 0,4; 0,63; 1,0; 1,6 м).

Основные размеры сужающего устройства для трубопровода диаметром 0,15...0,60 м приведены в таблице 20.

20. Основные размеры сужающего устройства УкрНИИГиМ для трубопроводов

D, м	$\omega_{вых}$, м²	a, м	l, м	l_1, м	Расход Q для $\Delta P/\gamma$		
					0,4	1,0	1,6
0,15	0,0088	0,075	0,345	0,075	0,0219	0,0346	0,0419
0,20	0,0157	0,100	0,459	0,100	0,0389	0,0615	0,0746
0,25	0,0245	0,125	0,574	0,125	0,0607	0,0960	0,1164
0,30	0,0353	0,150	0,689	0,150	0,0875	0,1384	0,1677
0,35	0,0481	0,175	0,805	0,175	0,1192	0,1885	0,2285
0,40	0,0628	0,200	0,922	0,200	0,1556	0,2462	0,2984
0,45	0,0795	0,225	1,030	0,225	0,1970	0,3117	0,3777
0,50	0,0981	0,250	1,150	0,250	0,2431	0,3845	0,4661
0,60	0,0141	0,300	1,380	0,300	0,3494	0,5528	0,6700

Установка и эксплуатация. Наиболее рационально устанавливать интегрирующую трубку в трубопроводе на прямолийном участке на расстоянии $l > 15D$ перед трубкой и $l_1 > (5...6)D$ за ней. При наличии местного сопротивления на трубопроводе перед устройством не ближе, чем на расстоянии, равном $8D$, число отверстий в интегрирующей трубке увеличивают и проводят контрольные измерения расхода. Интегрирующую трубку устанавливают с помощью двух сальников, размещенных на втулках, приваренных снаружи трубы. Штуцер для отбора статического давления в трубопроводе приварен к трубе перед интегрирующей трубкой на расстоянии $2D$.

При эксплуатации особое внимание уделяют состоянию импульсных линий связи, чтобы исключить их засорение и сохранить работоспособность дифманометра. Линии связи и интегрирующую трубку периодически продувают или промывают с помощью специальных насосов.

Порядок изготовления и конструкция изложены на странице 89...90. При изготовлении особое внимание уделяют чистоте обработки внутренней части выходной кромки наклонной вставки.

Периодически проводят продувку штуцеров от загрязнения.

По окончании сезона желательно проверять внутренние части сужающего устройства и удалять налет.

Водомерные устройства для коллекторно-дренажной и сбросной открытой и закрытой сети

К коллекторно-дренажной и сбросной сети относятся: открытые коллекторы и дрены, сбросные каналы, закрытые трубчатые коллекторы и дрены, отводные трубопроводы скважин вертикального дренажа. Водомерные посты в основном располагают в устьях, то есть на концевых участках дрен младшего порядка, впадающих в дрены или коллекторы старшего порядка. На крупных коллекторах могут быть также контрольные (промежуточные) водомерные посты. Особенности работы открытых коллекторов и дрен заключаются в обеспечении бесподпорного режима потока (подпор не более 0,15...0,2 м), наличии малых уклонов и скоростей течения, возможности зарастания русла и оплывания откосов, большом диапазоне соотношения расходов воды. С учетом вышеуказанных особенностей для определения расходов воды могут быть рекомендованы следующие водомерные устройства:

контрольные (фиксированные) русла асимметричного сечения — для больших открытых коллекторов;

утроенные водомерные насадки — для малых открытых коллекторов и дрен;

торцовый водослив — для устьев трубчатых коллекторов и дрен;

П-образный насадок — для устьев отводных труб вертикального дренажа.

Контрольные (фиксированные) русла асимметричного сечения. Предназначены для периодических и систематических (ежедневных) измерений расхода воды при механизированном и автоматизированном учете воды в открытых водотоках (каналах, коллекторах) с большим диапазоном расходов воды 0,03...2 м³/с при малых скоростях течения воды на балансовых (промежуточных), устьевых и головных участках глубоких (более 3 м) коллекторов и каналов при отсутствии переменного подпора.

Конструкция его состоит из фиксированного участка *7* с асимметричным (уклон дна в одну сторону) сечением, несколько сужающим поперечное сечение коллектора (канала) *3* (рис. 35). Участок в начале и в конце должен иметь зубья *1* для предотвращения фильтрации. Длина участка $l_ф$=5...10 м. Высоту фиксированного сечения $h_ф$ принимают на 0,3...0,4 м выше ожидаемого максимального уровня воды, то есть для коллекторов, имеющих большую глубину (3...5 м), эта высота значительно меньше последней.

Для градуировочных и контрольных измерений расхода с помощью гидрометрической вертушки для получения зависимости $Q=f(h)$ устраивают гидрометрический мостик *2* со ступеньками *6*. Систематические измерения при механизированном учете воды проводят по рейке *5*, а при автоматизированном учете — измерительным преобразователем, размещенным в колодце. Дно колодца под прибор заделывается в самой глубокой части так, чтобы вода заходила в колодец через небольшие донные боковые отверстия при минимальном уровне воды в русле. Колодец должен быть расположен ниже гидрометрического створа на $l_к=(5...8)d$.

Градуировка контрольного русла заключается в получении однозначной зависимости $Q=f(h)$ гидрометрическим методом. Суженное и асимметричное сечение русла создает необходимые глубину воды и скорость течения для измерения расхода вертушкой и учета воды при минимальном расходе.

Гидравлический расчет проводят аналогично водомерным устройствам для лотковых каналов. В данном

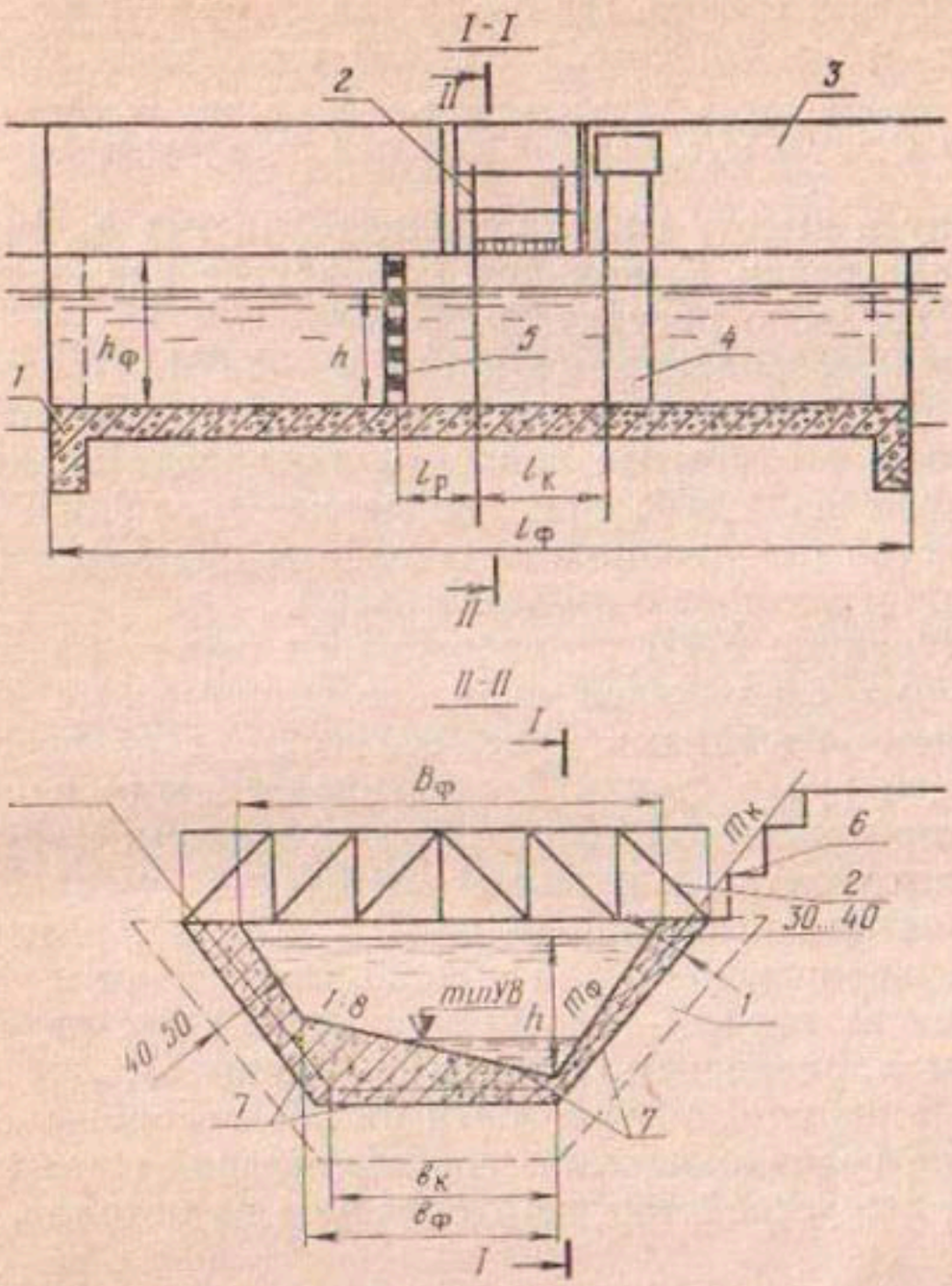


Рис. 35. Контрольное (фиксированное) русло асимметричного сечения — КФР:

1 — зуб; *2* — мостик; *3* — коллектор; *4* — колодец под прибор; *5* — контрольная уровнемерная или расходомерная рейка; *6* — ступеньки; *7* — фиксированное русло.

случае надо определить скорость течения при минимальном расходе, которая должна быть больше незаиляемой и доступной для измерения вертушкой.

Так, при минимально доступной глубине для работы вертушки $h=0{,}2$ м площадь живого сечения треугольного профиля (рис. 35) $F_{min}=(1\times0{,}2):2=0{,}1$ м², гидравлический радиус $R=F_{min}/p=0{,}1/1{,}1=0{,}09$ при уклоне $i=0{,}0006$; $n=0{,}015$; $C=44$. Использовав формулы (25) и (26), получим

$$v=C\sqrt{Ri}=44\sqrt{0{,}09\cdot0{,}0006}=0{,}32 \text{ м/с};$$

$$Q_{min}=v\omega=0{,}03\times0{,}1=0{,}032 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Незаиляемая скорость при $a=0{,}6$ для среднепесчаных наносов будет $v_з=a\sqrt{R}=0{,}6\sqrt{0{,}09}=0{,}18$ м/с$<$0,32 м/с. Следовательно, выбранное сечение русла удовлетворяет нормальным условиям учета воды при $Q>0{,}03$ м^3/с. Верхний диапазон не ограничивается.

Длину и высоту фиксированного участка $l_ф$, $h_ф$, расположение рейки $l_р$, колодца $l_к$ и другие размеры принимают согласно рисунку 35.

Утроенные водомерные насадки — УВН. Предназначены для механизированного и автоматизированного учета воды в открытых коллекторах, дренах и каналах с расходом до 1 м^3/с при диапазоне $Q_{max}/Q_{min}=6...15$. Достоинство их — возможность работы при затопленном переменном подпоре с нижнего бьефа.

Конструкция УВН разработана на основе известных водомерных сходящихся насадков. Водомерный пост с утроенными насадками (рис. 36) состоит из перегораживающей русло стенки *3* с установленными в нее на одной горизонтальной оси тремя насадками (круглого или прямоугольного сечения) *2*. Стенка имеет сверху полку-мостик *5* (ширина полки 0,3...0,35 м), размещенную на кронштейнах для наблюдений, пазы с двумя крайними затворами (плоскими щитами) *7* с двухпозиционным управлением (открыть — закрыть), две уровнемерные рейки *4* с верховой и низовой стороны стенки с нулями, совпадающими с горизонтальной осью насадков. Все это устройство, изготовляемое из металла, уста-

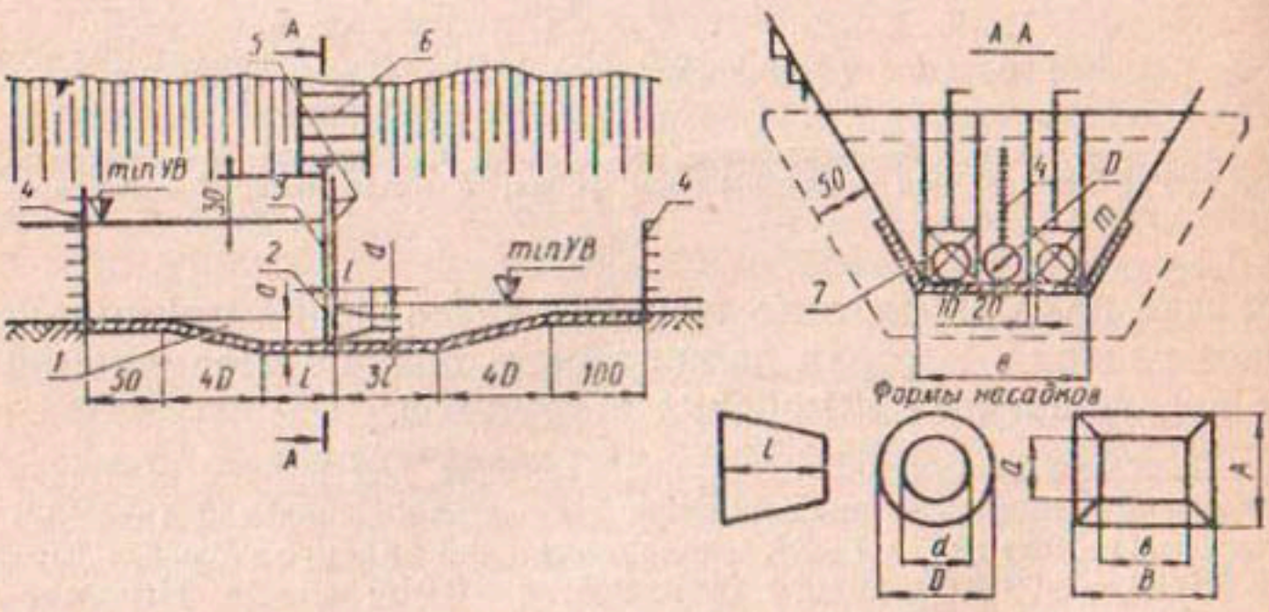


Рис. 36. Схема утроенного водомерного насадка:

1 — пологий пониженный участок русла; *2* — насадки; *3* — перегораживающая стенка; *4* — уровнемерные рейки; *5* — полка-мостик; *6* — ступеньки; *7* — затворы.

навливают поперек русла в пологом котловане *1*, обеспечивающем затопление насадков с нижнего бьефа при минимальном расходе воды. Стенка должна иметь размеры с учетом заделки ее в дно и откосы русла на глубину не менее 0,5 м. Высота стенки на 0,3...0,4 м выше максимального уровня воды в верхнем бьефе с учетом подпора. Обычно коллекторы имеют большую глубину с небольшим наполнением воды. В этом случае верх стенки будет значительно ниже бровки канала. Поэтому для подхода к УВН с одной стороны устраивают ступеньки (лестницы) *6*.

Принцип действия УВН — создание перепада (разности уровней) z, от которого однозначно зависит расход воды.

Для расчета и определения размеров УВН необходимо знать расходы Q_{max} и Q_{min}, соответствующие им глубины (уровни) воды и поперечное сечение русла в створе установки УВН.

Расчет проводят по формулам расхода:
для круглых насадков

$$Q_{max}=3{,}3d^2n\sqrt{z_{max}}; \qquad (98)$$

для прямоугольных

$$Q_{max}=4{,}1abn\sqrt{z_{max}}, \qquad (99)$$

где d, a — диаметр или высота выходного сечения насадка; z — допустимый перепад: 0,16; 0,20; 0,25 м; n — число насадков в секции.

Определенный по этим формулам основной размер d или a округляют до стандартного: 0,10; 0,15; 0,20 и т. д. Остальные размеры принимают по соотношениям: для круглых насадков $D=1{,}92d$, $l=2d$; для прямоугольных $b=2a$, $A=1{,}9a$, $B=2{,}9a$, $l=3a$.

Торцовый водослив. Предназначен для механизированного и автоматизированного учета воды в устьях трубчатых дрен и водовыпусков с расходом воды до 0,5 м³/с при свободном истечении и диапазоне $Q_{max}/Q_{min}=30...40$, безнапорном и напорном режимах в трубе. Конструкция устройства проста и экономична.

Типовая конструкция торцового водослива (рис. 37) состоит из металлической трубы *2*, герметично посаженной на существующую дрену *1*, торцового водосливного отверстия *3*, которое образуют приваренные к трубе сег-

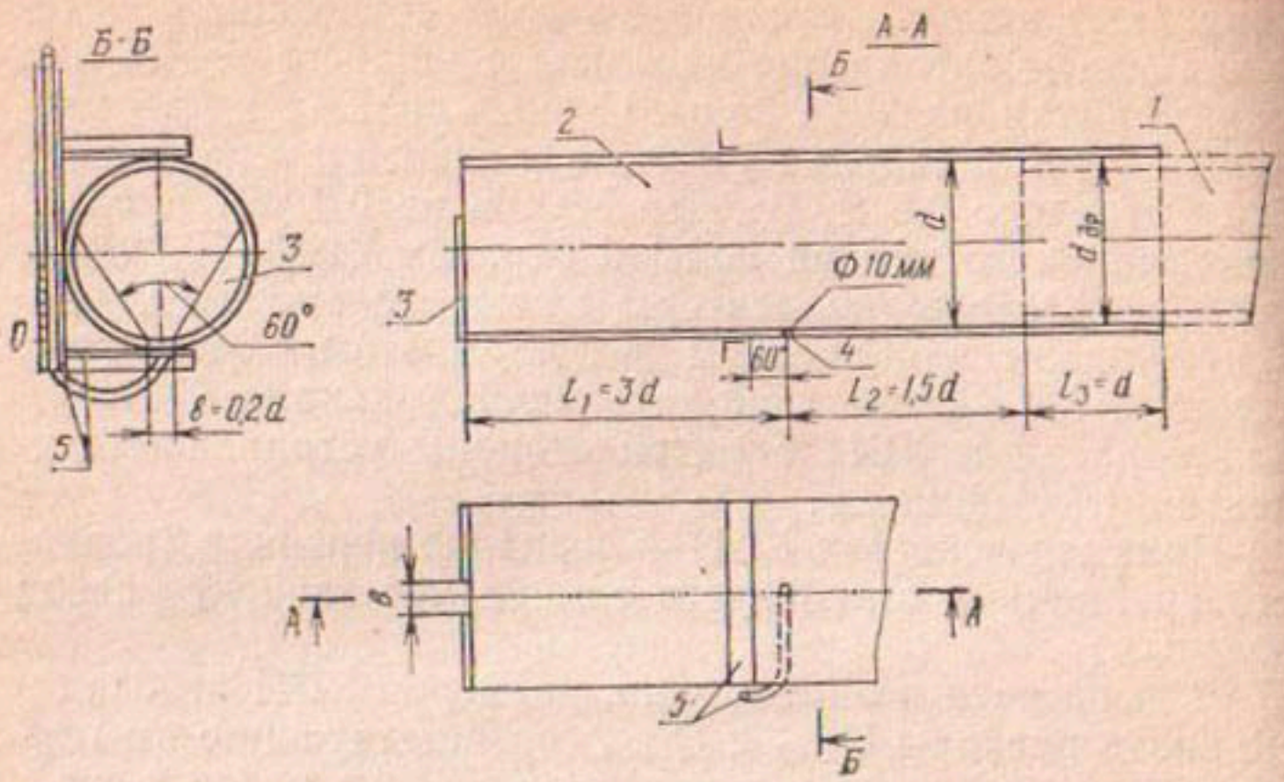


Рис. 37. Водомерное устройство — торцовый водослив:
1 — дрена; *2* — труба; *3* — торцовое водосливное отверстие; *4* — ниппель; *5* — рама с пьезометром и шкалой.

ментные косынки (при этом угол между ними — 60°, расстояние по низу $b=0{,}2d$); ниппеля (бобышки) *4* с внутренним отверстием 10 мм, расположенным на расстоянии $3d$ от торцового отверстия на дне трубы, рамы с пьезометром и шкалой *5*, приваренной к трубе на расстоянии 60...100 мм от ниппеля. Пьезометр с ниппелем соединен резиновой трубкой, что позволяет проводить очистку отверстия.

При необходимости автоматизации учета воды к раме прикрепляется колодец, соответствующий данному измерительному преобразователю. По принципу действия это устройство относится к первичным преобразователям переменного напора, то есть расход однозначно по гидравлической формуле зависит от напора H над дном водосливного отверстия, то есть $Q=f(H)$.

Расчет заключается в определении пропускной способности при принятом диаметре d водомерного устройства, который зависит от наружного диаметра дрены (трубы), то есть $d=d_н+6...10$ мм. Формула расхода имеет вид:

$$Q=\mu\omega_0\sqrt{2gz}, \qquad (100)$$

где μ — коэффициент расхода. Принимают по графику $\mu=f(H/d)$ (рис. 38); ω_0 — площадь истечения, которую вычисляют при

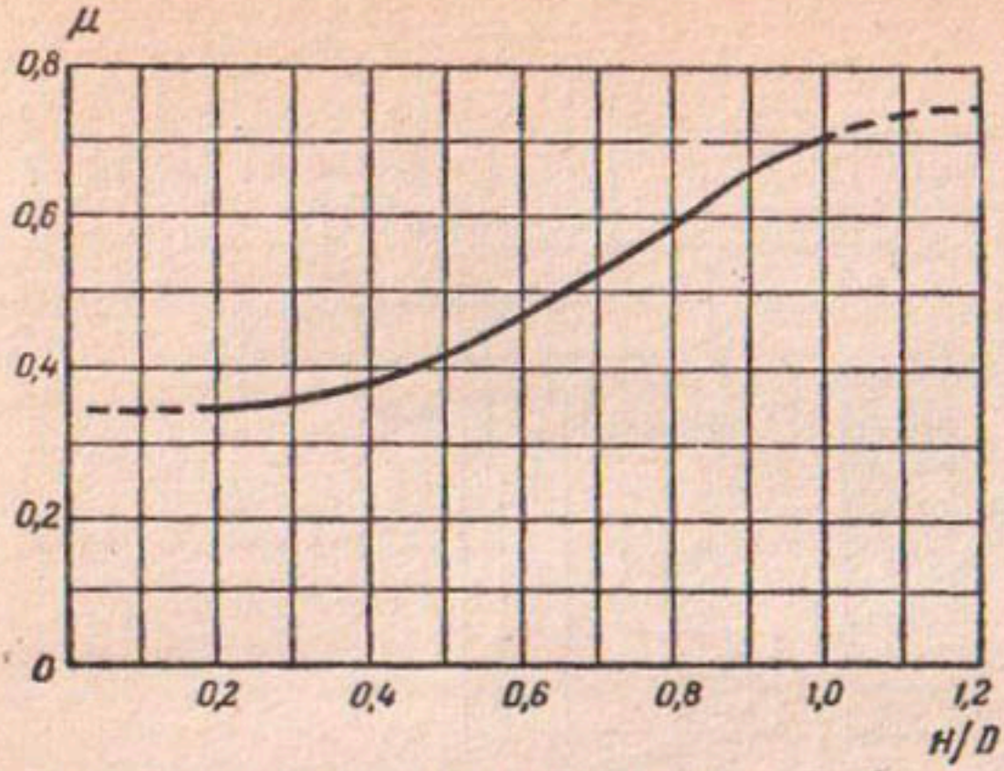


Рис. 38. График связи $\mu=f(H/d)$ для торцового водослива.

$H/d\leqslant 0{,}65$ по формуле трапеции $\omega_0=(b+0{,}58H)H$; $H/d=0{,}65...1$ к формуле трапеции прибавляют площадь сегментной трапеции с высотой $H-0{,}65d$, а при $H/d>1$ — площадь сегмента с высотой $0{,}35d$ (H — напор воды над дном водосливного отверстия).

Остальные размеры принимают согласно рисунку 37: расстояние от торца до ниппеля $l_1=3d$, от ниппеля до кромки дрены $l_2=1{,}5d$, длина стыка $l_3=d$, ширина по низу $b=0{,}2d$, угол между боковыми стенками водослива — 60°.

П-образный насадок. Предназначен для учета воды на устьях трубопроводов от скважин вертикального дренажа с расходом воды до 0,4 м³/с при свободном истечении. Конструкция устройства проста и экономична. П-образный насадок (рис. 39) состоит из трубы *2* с П-образным насадком *1*, бокового отверстия *3* с патрубком *4* для присоединения манометра и отбора давления в точке на расстоянии $3D$ от вертикального подъема насадка. Насадок образуется из прямого участка трубы длиной $6D$, подъема вверх, равного $2D$, горизонтального перехода, составляющего $3{,}5D$, и поворота вниз, равного $2{,}5D$. Устройство присоединяется на сварке или фланцах к трубопроводу от скважины вертикального дренажа. Манометр (пружинный, самопишущий) в точке *4* помещен в прочный кожух (ящик), его можно также разместить в будке. Для этого его соединяют с труб-

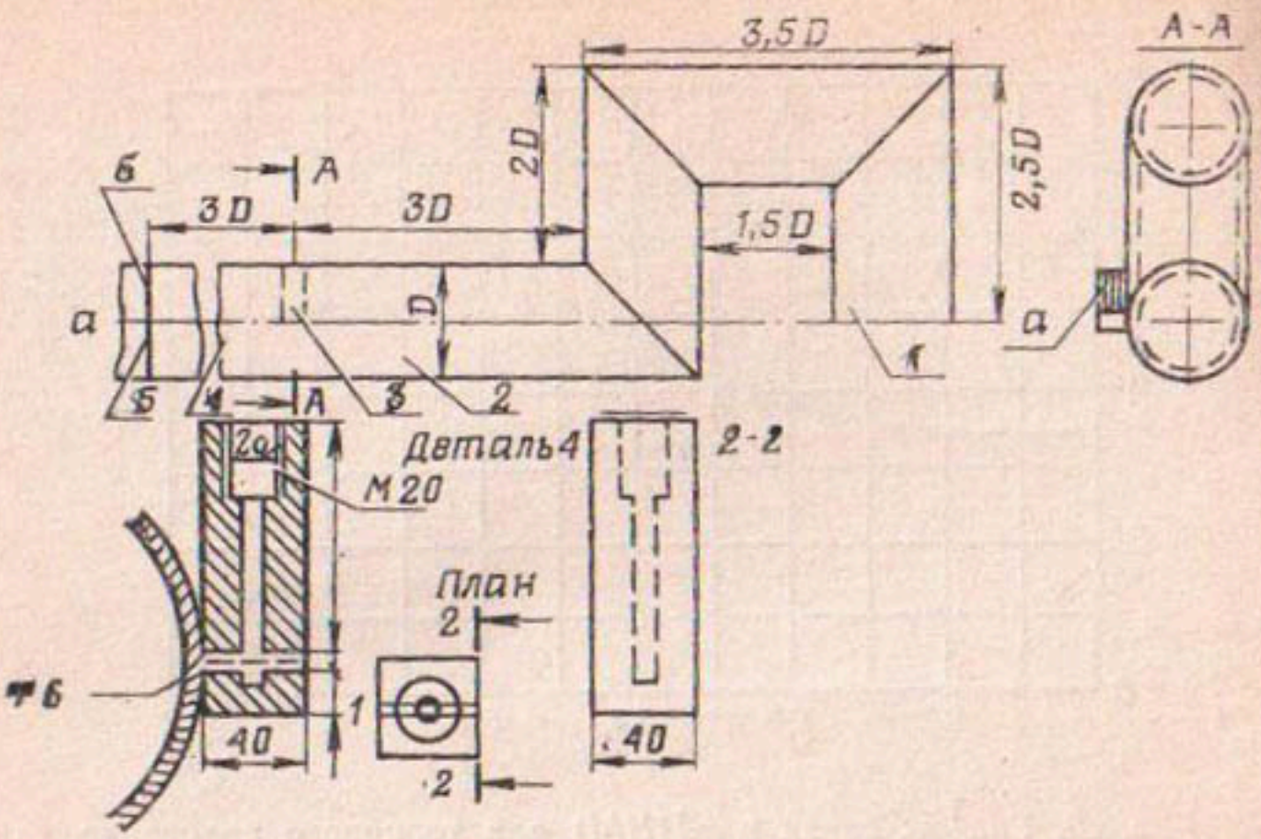


Рис. 39. Водомерное устройство — П-образный насадок:
1 — П-образный насадок; *2* — прямой участок трубы; *3* — отверстие; *4* — патрубок для манометра; *5* — трубопровод; *6* — стык.

кой *4* ($d=15...20$ мм), проложенной сбоку вдоль трубопровода.

По принципу действия это устройство относится к преобразователям расхода воды по переменному напору (давлению) воды. Напорный режим потока в месте отбора давления обеспечивается вертикальным подъемом вверх П-образного насадка.

Гидравлический расчет заключается в определении пропускной способности водомерного устройства.

Расход воды определяют по формуле

$$Q=3{,}48\mu D^2\sqrt{H}, \qquad (101)$$

где μ — коэффициент расхода, который принимают по зависимости $\mu=f(H/D)$ (рис. 40); D — внутренний диаметр трубы насадка; H — напор.

По этой формуле учитывают также расход воды.

Водомерное устройство для открытых дрен и коллекторов. Предназначено для измерения расхода воды в открытых дренах и коллекторах. Применяют на мелиоративных системах для контроля за дренажным стоком с массивов орошения. Диапазон измерения расходов достигает $Q_{max}/Q_{min}=\approx 10...12$.

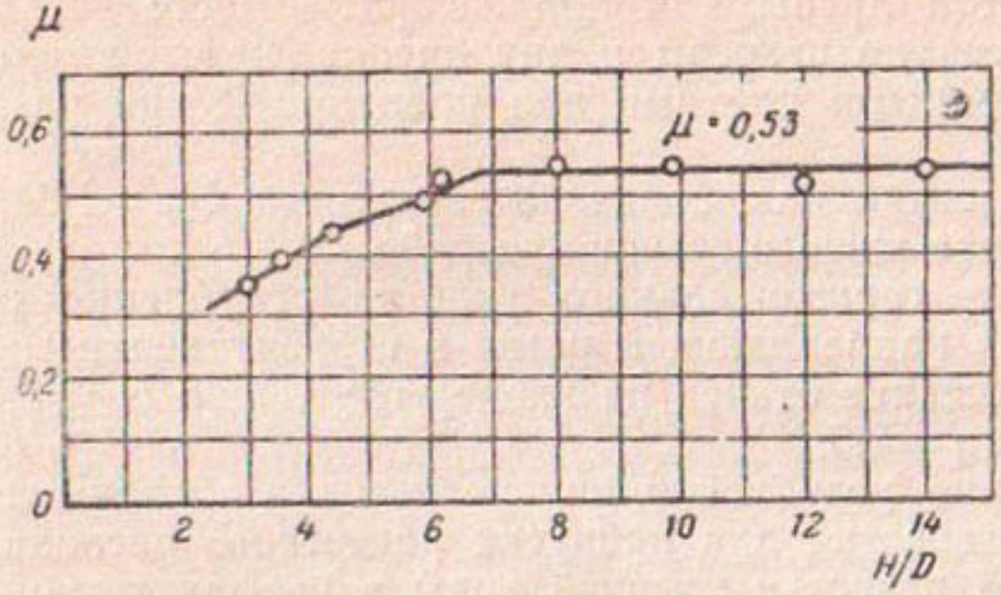


Рис. 40. График связи $\mu = f(H/D)$.

Конструкция устройства (рис. 41) состоит из горизонтальной полки *1*, образующей в прямоугольном углублении дрены или коллектора приставку, и вертикальной стенки *3*, выполняющей роль забральной, где помещен измерительный преобразователь *2*.

Вертикальная стенка, выполненная в виде металлического плоского затвора, перемещается в пазах рамы с помощью простейшего подъемника *4*, что позволяет изменять живое сечение в два раза. Изменение живого сечения требует увеличения диапазона измерения расхода.

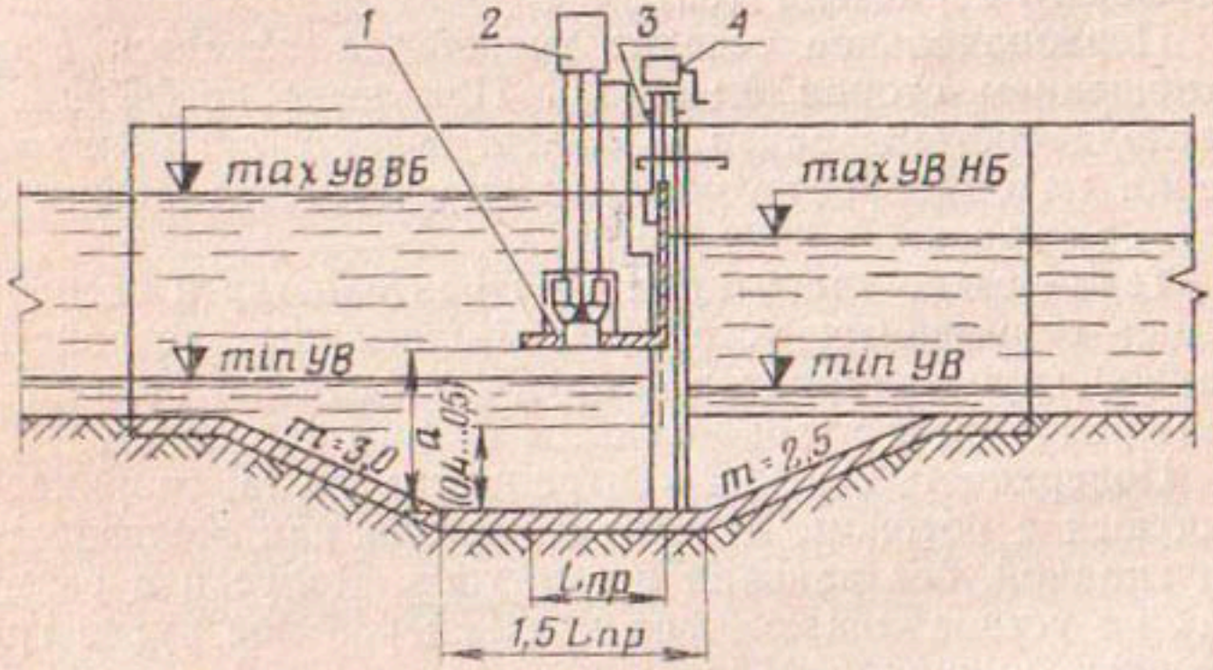


Рис. 41. Водомерное устройство для открытых дрен и коллекторов:

1 — горизонтальная полка; *2* — измерительный прибор; *3* — забральная стенка; *4* — подъемник.

Участок дрены или коллектора в месте установки устройства по откосам и дну крепят железобетонными или бетонными плитами для предупреждения размыва русла.

Горизонтальная полка имеет длину $L_{пр}=1{,}3a$, где a — высота живого сечения устройства.

Длина горизонтального участка углубления равна $1{,}5L_{пр}$ от направляющей рамы в сторону верхнего бьефа. Заложение откоса на входе углубления $m_1=3{,}0$, на выходе $m_1=2{,}5$.

Ширина углубления определяется необходимой шириной отверстия для пропуска расчетного расхода при заданной разности уровней воды в бьефах устройства.

Патрубок для отбора давлений располагают в полке на расстоянии $(0{,}4...0{,}5)a$ и защищают щелевой коробкой от засорения плавающим мусором.

Принцип действия состоит в следующем. При прохождении потока воды через живое сечение устройства в сжатой зоне образуется водомерный перепад давлений, который служит для определения расхода.

Гидравлический расчет водомерного устройства проводят с целью определения размеров отверстия для пропуска максимального расхода воды. По условиям расчета задается разность уровней верхнего и нижнего бьефов (0,25...0,3 м), что обеспечивает диапазон измерения расхода $Q_{max}/Q_{min}=5...6$. В качестве расчетной принята формула расхода (69).

Первоначальное сечение устройства задается с соотношением сторон $b:a=1{,}5$. При этом коэффициент расхода системы равен $\mu_c=0{,}80$. Высоту и ширину сечения находят расчетом по вышеприведенной формуле для приставок.

Технические требования по строительству и эксплуатации водомерных устройств. Водомерные устройства данной группы строят и оборудуют согласно выполненным расчетам и разработанным по ним чертежам.

Поверхность сечения контрольного русла, соприкасающуюся с потоком, делают из бетона или железобетона гладкой, без раковин и выступов. Допуски в размерах не устанавливают, так как контрольное русло градуируют индивидуально.

Насадки УВН изготовляют из листовой стали Ст 3 толщиной 2...3 мм; стенку 4...5 мм и уголков 30×30 или

40×40 мм, затворы — 3 мм. Допускаются стыки на сварке с наружной поверхности.

Основные размеры насадков d, a, b должны быть выполнены с погрешностью не более 1%, остальные размеры — 2...3%.

Трубу для торцового водослива и сам водослив изготавливают из листовой стали Ст 3 толщиной 2 мм для $d=200$ мм и 3 мм для $d>200$ мм.

При сварке деталей внутренняя поверхность трубы и водослива должна быть гладкая без затеков, выступов.

Допуски для угла α составляют ± 1%, для остальных размеров — 2...3%.

Шкала пьезометра должна быть с ценой деления 2 мм, чувствительность прибора 2 мм. Стык трубы с дреной должен быть водонепроницаемым.

Труба и П-образный насадок изготавливают из листовой стали толщиной 2...3 мм, патрубок — из нержавеющего металла.

При сварке деталей внутренняя поверхность трубы с насадком должна быть гладкой без затеков, выступов, сварные швы — чистыми.

Допуски для D составляют $\pm 2...3$ мм, углов $\pm 2°$, остальных размеров — 5...10 мм. Стык трубы с трубопроводом должен быть водонепроницаемым.

Все металлоконструкции окрашивают противокоррозионной краской после ликвидации ржавчины. Участок открытого канала, где устанавливают водомерные устройства, должен быть прямолинейным на расстоянии $(6...8)h_{max}$.

Отметка заложения дна углубления устройства для дрен и коллектора определяется расположением по высоте горизонтальной полки приставки. Выбор местоположения полки зависит от максимального уровня воды в дрене или коллекторе, который определяют расчетом. Полку помещают под максимальный уровень воды в канале с тем, чтобы напор над дном углубления был равен $H_{max}=1{,}7a$.

При снижении уровня и уменьшении напора до $H_{min}=1{,}3a$ полка опускается и живое сечение уменьшается в два раза, обеспечивая измерение уменьшенного расхода.

Следовательно, глубина понижения дна зависит от наполнения в канале и расчетных высоты и ширины сечения устройства.

Систематические измерения расходов воды при механизированном учете осуществляют:

контрольными руслами асимметричного сечения — глубин по контрольной рейке и расхода по градуировочной характеристике $Q=f(h)$;

утроенными водомерными насадками — глубин в верхнем и нижнем бьефах по контрольным рейкам и расхода по градуировочной характеристике $Q=f(z, n)$;

торцовым водосливом и П-образным насадком — отсчетом по уровню в пьезометре и градуировочной таблице $Q=f(H)$.

При автоматизированном учете воды измерение расхода воды осуществляется дифференцированными измерительными преобразователями.

Для всех водомерных устройств не реже одного раза в месяц проводят контрольные измерения расхода воды и проверяют нули измерительных преобразователей для уточнения градуировочной характеристики.

На протяжении поливного сезона систематически осматривают и ремонтируют водомерные устройства. При правильной эксплуатации погрешность измерения расхода воды не превышает значений, представленных в таблице 21.

21. Погрешности в измерении расхода воды

Водомерное устройство	Погрешности, %		
	предельная	вероятная	приведенная к 95%-ной обеспеченности
Контрольные русла асимметричного сечения	6,0...8,0	4,0...5,0	7
Утроенные водомерные насадки	3,0	2,0	2,8
Торцовый водослив	6,0	4,0	5,7
П-образный насадок	6,0	4,0	5,7
Устройство для открытых коллекторов и дрен	6,0	4,0	5,7

Гидрометрические установки

К гидрометрическим установкам относятся установки типа ГР-64М, ГР-70, устройство для измерения расхода методом меток, которые предназначены для измерения скорости и живого сечения потока и по ним вычисления расхода воды.

Дистанционная гидрометрическая установка с электроприводом типа ГР-64М. Установка является стационарным оборудованием гидрометрического (водомерного) поста и предназначена для измерений скорости течения; глубины и ширины потока при дистанционном управлении с берега.

Глубину потока, скорость течения измеряют соответствующими приборами, устанавливаемыми на специальном грузе, помещенном в заданной точке потока посредством дистанционного тросового устройства (рис. 42).

Груз для измерения глубин имеет поверхностный и донный контакты, а для измерения скорости — приспособление для установки вертушки. Груз перемещают по несущему тросу при помощи каретки и двух тяговых тросов, один из которых соединен с грузом и имеет токоведущий провод для передачи сигналов от поверхностного и донного контактов и от вертушки на пульт управления.

Несущий трос в гидрометрическом створе натянут через поток на двух опорах и закреплен по концам якорями в грунте. На нем установлена каретка, перемещающая груз по створу. Поступательные движения каретки и груза вдоль несущего троса осуществляются двумя тросами, концы которых закреплены на каретке, грузе и двух барабанах лебедки. Трос, закрепленный на каретке, пропущен через ролик опоры, установленной на противоположном берегу, а трос, закрепленный на грузе, пропущен через ролик каретки.

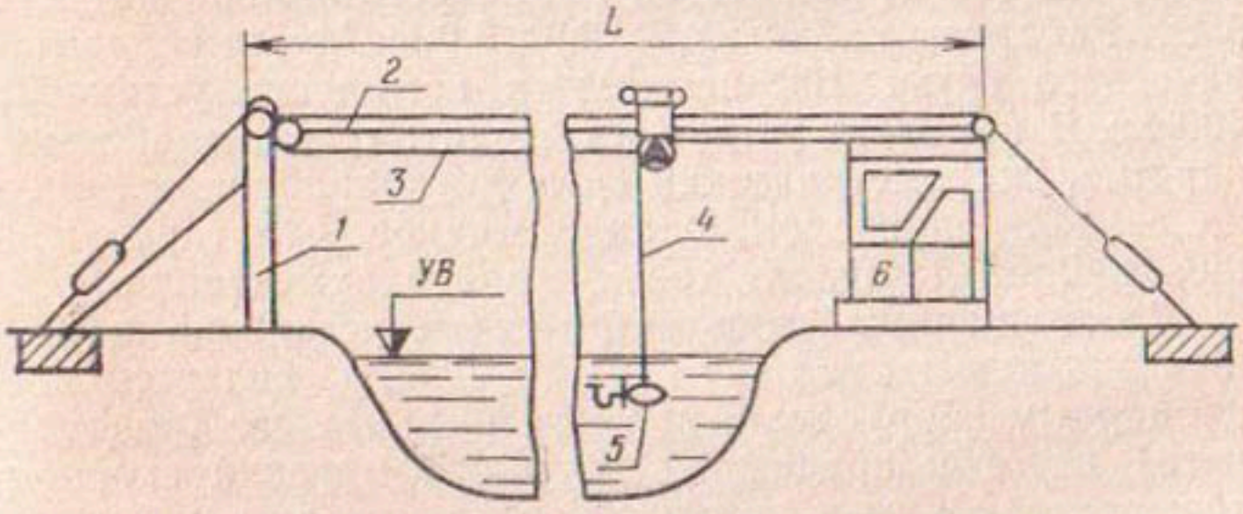


Рис. 42. Схема дистанционной гидрометрической установки:

1 — береговая опора; *2* — ходовой трос; *3* — трос горизонтального перемещения груза; *4* — трос вертикального перемещения; *5* — вертушка; *6* — кабина управления.

Барабаны лебедки вращаются электродвигателями, управление которых проводят кнопочными и релейными переключателями. При изменении глубины груз может автоматически останавливаться при соприкосновении с поверхностью воды или дном. Горизонтальное и вертикальное перемещение груза фиксируется механическими счетчиками с единицей счета, равной 0,01 м.

Для измерения скорости течения воды гидрометрическую вертушку (например, ГР-21М, ГР-55, ГР-99 или ГР-101) устанавливают на кронштейне груза и соединяют с токоведущим проводом троса, груз с вертушкой выводят в заданную точку и по сигналу контрольной лампы на пульте вручную синхронно включают счетчик импульсов и секундомер. По истечении заданного промежутка времени счетчик и секундомер выключают также вручную и снимают с него показания, по которым вычисляют скорость течения воды.

Для удобства работы наблюдателя и защиты от атмосферных воздействий все элементы управления работой установки размещены в кабине. Установка в комплекте с ГР-99 или ГР-101 позволяет измерять расходы воды при максимальных ширине канала 200 м, глубине 12 м и скорости потока 5 м/с.

Погрешность и диапазон измерений зависят от типа применяемых измерительных преобразователей. Эксплуатируют установку при температуре воды выше 0°С.

Скорость перемещения измерительной каретки и груза 0,1 и 0,25 м/с. Напряжение питания электродвигателей 220 и 380 В, частота 50 Гц, потребляемая мощность 5 Вт. Габариты кабины 2,2×2,9×3,0 м. Масса гидрометрического груза 100 кг. Масса комплекта установки 400 кг. В комплект установки входит: тросовая система, каретка, гидрометрический груз, двухбарабанная лебедка с электроприводом, блок счетчиков, пульт управления, кабина, комплект технической документации.

Дистанционная гидрометрическая установка с ручным приводом типа ГР-70. Установка является стационарным оборудованием гидрометрического (водомерного) поста и предназначена для измерений скорости течения, глубины и ширины потока при дистанционном управлении с берега. Глубину потока и скорость измеряют соответствующими приборами, установленными на специальном грузе, помещенном в заданной точке потока посредством дистанционного тросового устройства.

Груз для измерения глубин имеет поверхностный и донный контакты, а для измерения скорости — приспособление для установки вертушки. Груз перемещается по несущему тросу при помощи каретки и двух тяговых тросов, один из которых соединен с грузом и имеет токоведущий провод для передачи сигналов от поверхностного и донного контактов и от вертушки на пульт управления. Несущий трос в гидрометрическом створе натянут через поток на двух опорах и закреплен по концам якорями в грунте. На несущем тросе установлена каретка, перемещающая груз по створу.

Поступательное движение каретки и груза вдоль троса осуществляется двумя тросами, концы которых закреплены на каретке, грузах и двух барабанах лебедки. Трос, закрепленный на грузе, пропущен через ролик каретки. Барабаны каретки приводятся во вращение вручную. Горизонтальное и вертикальное перемещения груза фиксируются механическим счетчиком с единицей счета 0,01 м.

Для измерения скорости течения воды гидрометрическую вертушку устанавливают на кронштейн груза и соединяют с токопроводной жилой троса. Груз с вертушкой выводят в заданную точку и по сигналу контрольной лампы синхронно включается счетчик импульсов и секундомер.

Для измерения глубины груз выводят на заданную вертикаль и опускают вниз. При соприкосновении груза с поверхностью воды на пульте загорается сигнальная лампа, при этом показания счетчика глубин сбрасывают на пульте и груз опускается вниз. При достижении грузом дна загорается вторая сигнальная лампа и со счетчика глубин снимают показания. Для удобства работы наблюдателя и защиты от атмосферных воздействий основные механизмы установки помещены в кабине.

Установка является вспомогательным оборудованием для использования приборов ГР-101, ГР-99 и других при измерении расходов воды. Рекомендуется для гидрометрических постов, удаленных от линий электропередач при максимальной ширине водотока 100 м, глубине 10 м и максимальной скорости течения 2,5 м/с.

Эксплуатируют установку при температуре воды выше 0°С. Погрешность и диапазон измерений зависят от типа применяемых измерительных приборов.

Масса грузов для вертушек 25 и 50 кг. При одном повороте рукоятки ручной лебедки груз перемещается на 0,2 м. При массе груза 50 кг прилагаемое к рукоятке усилие составляет 100 Н. Для питания приборов применяют постоянный ток напряжением 12 В. Потребляемая мощность 2,5 Вт. Габариты кабины 1,5×1,5×2,5 м. Масса установки 1500 кг.

В комплект установки входят: тросовая система, каретка, два гидрометрических груза, двухбарабанная лебедка с ручным приводом, блок счетчиков, кабина, комплект технической документации.

Интеграционная гидрометрическая установка типа ГР-101. Установка предназначена для измерения интеграционным способом средней скорости течения воды на вертикали. Суммирует непрерывно сигналы вертушки при перемещении последней по измерительной вертикали с постоянной скоростью, которая зависит только от глубины потока на вертикали. Средняя скорость течения прямо пропорциональна средней скорости вращения лопастного винта вертушки и определяют ее по градуировочному графику. Ориентация вертушки в потоке и удержание на вертикали обеспечиваются установкой ее на гидрометрическом грузе, снабженном донным контактом, срабатывающим по достижении грузом дна. По вертикали вертушка с грузом перемещается с помощью гидрометрической лебедки. Постоянство скорости перемещения вертушки достигается равномерным вращением рукоятки лебедки по звуковым сигналам метронома. Регистрируют сигналы вертушки электромеханическим счетчиком, а время перемещения — секундомером. Включение и выключение счетчика и секундомера синхронизированы. Глубину на вертикали измеряют одновременно со средней скоростью течения и отсчитывают по счетчику по достижении грузом дна водотока. Установка питается постоянным током напряжением 30, 4,8 и 1,6 В.

Применяют установку для измерения расхода воды средних и крупных водотоков. Эксплуатируют в любых условиях при температуре окружающего воздуха от —20°С до 30°С и относительной влажности до 98%.

Приведенная погрешность измерения скорости течения ±2%.

Диапазон измерения средней скорости течения воды на вертикали от 0,2 до 2,5 м/с, глубины — от 1 до 20 м,

интервалы времени между сигналами метронома 1, 2, 4 и 6 с.

Размеры измерительного пульта 364×250×160 мм, гидрометрического груза массой 25 кг — 1148×242×130 мм, гидрометрического груза массой 50 кг — 1600×263×156 мм, гидрометрической вертушки 292×120 мм. Масса измерительного пульта — 10 кг, гидрометрической вертушки — 1 кг.

В комплект прибора входят: измерительный пульт, грузы 25 и 50 кг, вертушка, комплект технической документации.

Вертушка типа ГР-99. Прибор предназначен для измерения скорости течения воды на вертикалях как в отдельных точках, так и интеграционным способом. Принцип действия основан на вращении лопастного винта под действием набегающего потока и фиксации каждого оборота винта регистратором. Регистратор состоит из электромеханического счетчика, секундомера и устройства, обеспечивающего одновременное включение и выключение счетчика и секундомера. Конструкция вертушки предусматривает возможность эксплуатации ее со штанги и троса. Напряжение источников питания: электромеханического счетчика 30 В, контактов вертушки 1,6 В.

Прибор применяют со штанги при глубинах потока до 2,5 м и на тросе с гидрометрическим грузом при глубинах потока свыше 2,5 м. Эксплуатируют в любых условиях при температуре окружающего воздуха от —30°С до 50°С и относительной влажности до 98%.

Диапазон измерения скорости потока от 0,05 до 5,0 м/с. Приведенная погрешность измерения скорости составляет: при скорости от 0,05 до 0,2 м/с — 6%, от 0,2 м/с и выше — не более 5%.

Диаметр лопастного винта 0,08 м, геометрический шаг винта 130 мм, длина вертушки в собранном виде 235 мм (со стабилизатором — 480 мм). Размеры укладочного ящика 355×210×235 мм. Масса вертушки 0,57 кг. Масса прибора, уложенного в футляр со вспомогательными принадлежностями, 9 кг.

В комплект прибора входят: вертушка, стабилизатор, регистратор, источники питания, футляр, комплект технической документации.

Устройство для измерения расхода методом меток потока. Устройство (рис. 43) предназначено для еди-

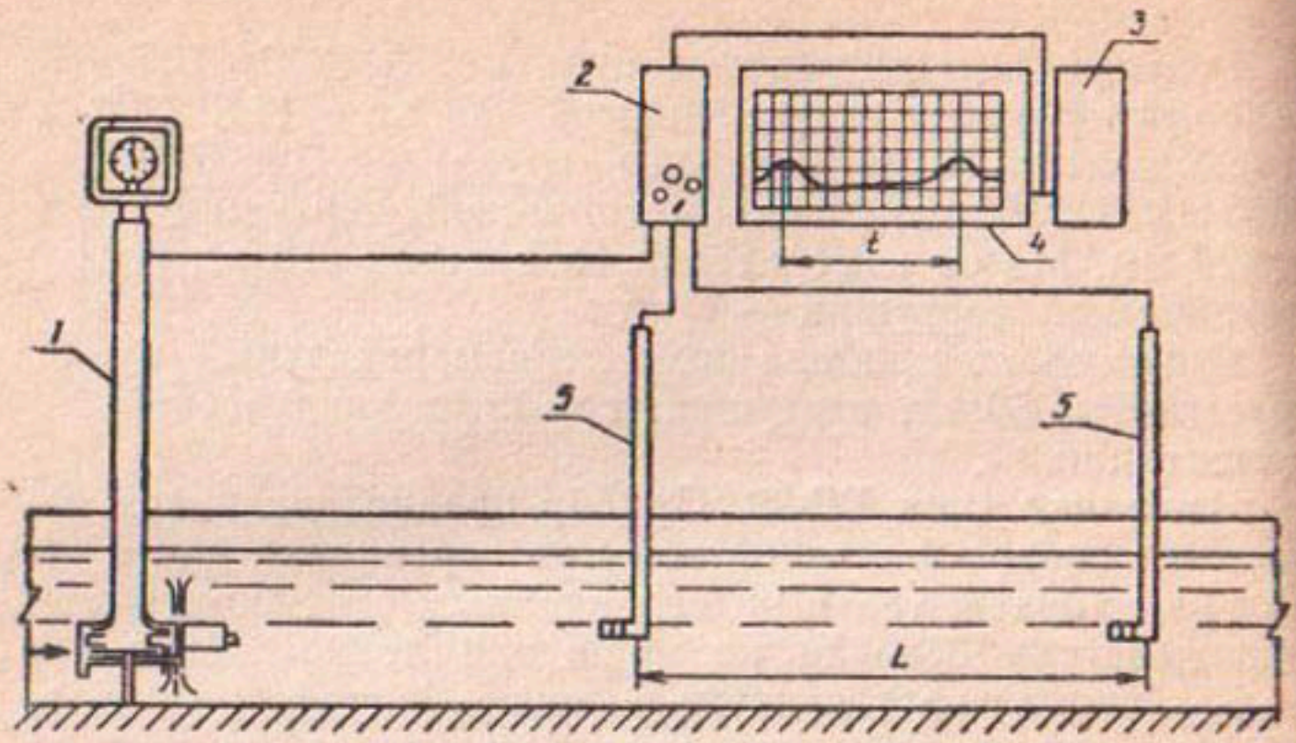


Рис. 43. Устройство для измерения расхода методом меток потока: *1* — дозатор метки; *2* — блок управления; *3* — блок питания; *4* — самопишущий регистратор прохождения метки; *5* — детекторы.

ничных измерений средней скорости и расхода в каналах, дренажных коллекторах, а также для проверки и градуировки нестандартных расходомерных устройств.

Максимальный измеряемый расход при одном дозаторе на блоке управления равен 5 м³/с. Для измерения больших расходов к одному блоку управления можно присоединить несколько дозаторов метки, срабатывающих одновременно.

Электропневматический дозатор метки состоит из электромагнитного клапана с пружиной, укрепленной внизу полой штанги из тонкостенной трубы. Нижнюю часть штанги заполняют веществом метки (концентрированным раствором соли и краски), а верхнюю — сжатым воздухом. Клапан удерживается в закрытом положении пружиной. При подаче из блока управления импульса тока электромагнит на короткое время (0,5...1 с) открывает клапан и в поток импульсно вводится плоская метка.

Прохождение метки в створах детекторов регистрируется самопишущим прибором в виде двух кривых (всплесков). Одновременно на ленте самописца регистрируются сигналы точного времени. Время прохождения t меткой известного расстояния L между детекто-

рами определяется по расстоянию между центрами тяжести фигур, ограниченных указанными кривыми (рис. 43).

Средняя скорость потока $v=L/t$, а расход $Q=v\omega$, где ω — площадь сечения потока.

Общая масса устройства, включая кабели и вспомогательные устройства, 20 кг. Электропитание от сети напряжением 220 В или автономное — 12 В.

Приведенная погрешность по скорости составляет 0,5...1 %.

Принципы использования водомерных устройств для водораспределения

Плановое водопользование связано с управлением водораспределения на гидромелиоративных системах, основой которого является учет воды во всех звеньях сети или, точнее, с гидрометрическим обеспечением (Куротченко, 1979): создание гидрометрической службы, разработка технологической схемы, оснащение гидромелиоративной системы водомерными устройствами, выбор типа водомерных устройств в зависимости от назначения и конструктивных особенностей водомерных постов и необходимых контролируемых параметров водораспределения, строительство и эксплуатация водомерных постов. Последнее является самым важным звеном в управлении водораспределением, предусматривающим использование комплекса задач для принятия решений на основе применения математических моделей и фактического состояния динамической системы, получаемого с водомерных постов, охваченных гидрометрическим обеспечением (водоучетом).

Функционирование межхозяйственного водораспределения. Основная задача межхозяйственного водораспределения — обеспечение забора, транспортирования, аккумулирования и выдачи необходимого количества воды потребителям в заданные сроки ее потребления. При этом решаются две основные задачи: планирование потребности в воде снизу доверху и управление — сверху донизу.

Гидромелиоративная система представляет собой комплекс взаимосвязанных структурных звеньев и элементов, к которым относятся: объекты транспортирования воды (открытые каналы), в которых подача и разбор воды осуществляются насосными станциями или водозаборными сооружениями; объекты управления [главная насосная станция, водозаборное сооружение, насосные станции I, II, III подъемов, затворы с авторегуляторами (или без них) уровня верхнего, нижнего бьефов и затворы в бассейны-накопители или водохранилища]; комплекс технических средств измерения, включающий датчики положения уровня (ДПУ), датчики положения затвора, датчики расхода; система сбора информации с объектов, а также передачи управляющих команд.

На более высоком уровне управления для решения задач планирования, анализа и управления применяют ЭВМ.

Сложность конструктивных решений гидромелиоративных систем, включая рассредоточенность объектов, сбора информации и управления, ставит перед управлением водораспределения следующие основные функции: информационные (планирование водораспределения, состояние контролируемых параметров); управляющие (воздействие на объекты управления).

Выполнение этих функций требует: оперативного планирования потребности водопотребителей в воде; планирования управляющих решений или воздействий; контроля и анализа водораспределения, оперативного баланса воды в системе; корректировки управляющих решений; реализации управления в масштабе реального времени.

Типичная схема функционирования управления водораспределением представлена на рисунке 44.

При планировании потребности в воде водопотребителей в отдел водопользования поступают заявки (документ 1501) на воду хозяйств (из подсистемы планирования поливных режимов — ППР), которые обрабатываются; выдается документ 1502 (задача 10) и одновременно решается задача 11 «Планирование управляющих решений» (время и расход для объектов управления) с выдачей документа 1503. Эти документы являются оперативным планом водораспределения на три периода предшествующей декады.

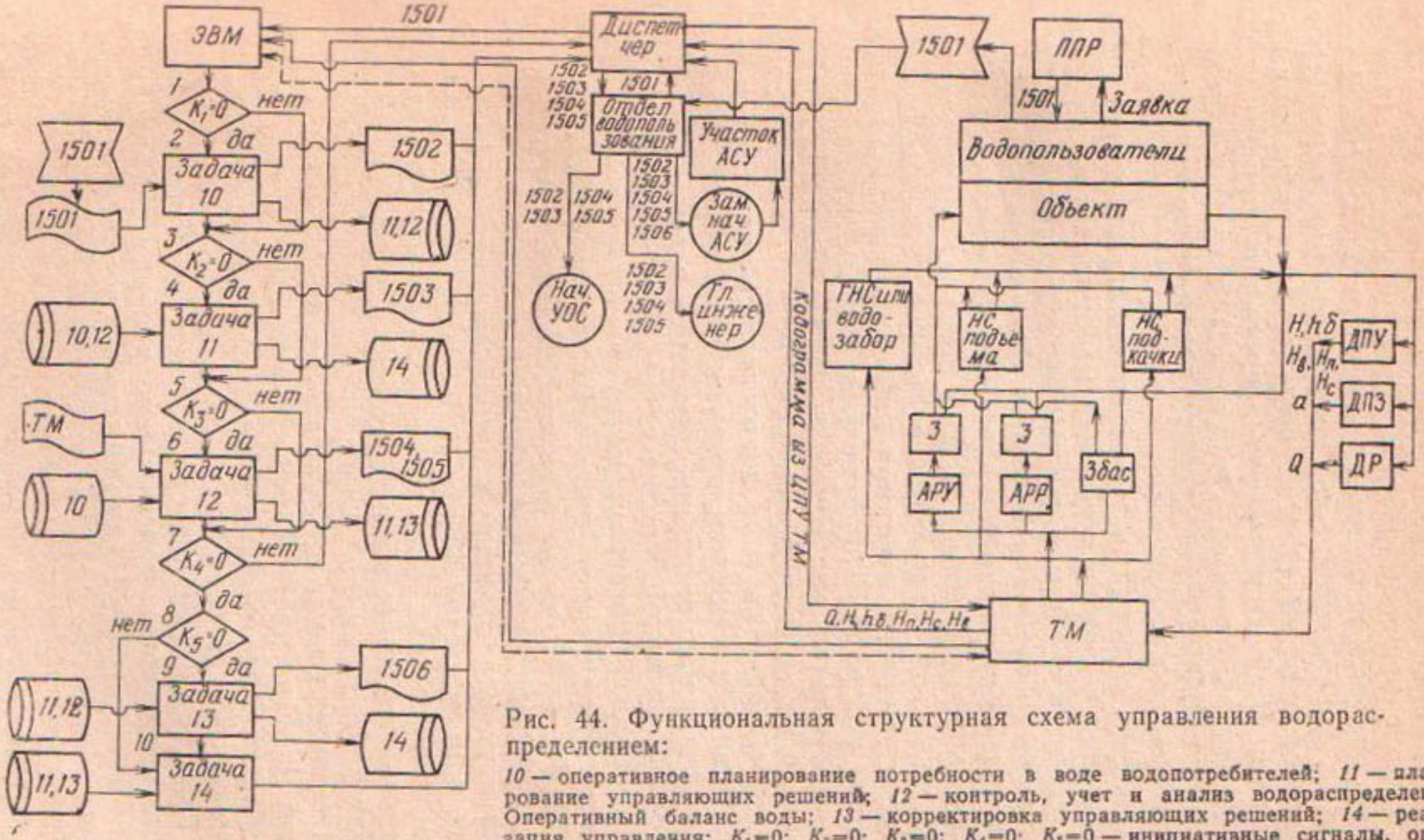


Рис. 44. Функциональная структурная схема управления водораспределением:

10 — оперативное планирование потребности в воде водопотребителей; *11* — планирование управляющих решений; *12* — контроль, учет и анализ водораспределения. Оперативный баланс воды; *13* — корректировка управляющих решений; *14* — реализация управления; $K_1=0$; $K_2=0$; $K_3=0$; $K_4=0$; $K_5=0$ — инициативные сигналы, определяющие необходимость решения задач; *1501* — входной документ (заявки на воду); *1502, 1503, 1504, 1505, 1506* — выходные документы от решения задач *10, 11, 12, 13*; *ГНС* — главная насосная станция (водозабор); *НС* — насосные станции подкачки и перекачки; *ТМ* — система сбора информации; *З* — затворы гидротехнических сооружений; *АРУ* — авторегулятор уровня воды; *АРР* — авторегулятор расхода воды; *ДПУ, ДПЗ, ДР* — датчики уровня, положения затвора или расхода.

Осуществлению реализации управления водораспределением предшествует контроль и анализ состояния объектов с решением задачи 12 «Оперативный баланс воды в системе» и выдачей документов 1504; 1505. В тех случаях, когда отклонений контролируемых параметров от плановых не имеется, осуществляется реализация управления. В противном случае проводят корректировку управляющих решений (задача 13) с выдачей нового документа 1506 и осуществляют реализацию управления управляющими командами.

Основой решения задач межхозяйственного водораспределения являются методы и математические модели.

Основные методы и математические модели межхозяйственного водораспределения. До настоящего времени при проектировании гидромелиоративных систем в основу расчета режимов работы каналов и сооружений было положено статическое состояние системы, то есть считали, что при постоянном расходе постоянны и уровни воды в бьефах. Такой подход получил название метод «макроподхода» (Киенчук, 1979). Особенность его состоит в том, что динамическую систему изучают по ее реакциям, представление о которых составляется в соответствии с изменением входных и выходных величин. И это вполне естественно, поскольку в проектируемой гидромелиоративной системе не имеется данных о структурных связях, обеспечивающих ее функционирование в реальном времени (Вальков, Вершинин, 1977).

Однако опыт эксплуатации показывает, что гидромелиоративная система находится в постоянном изменении всех или отдельных характеристик потока в каналах или на сооружениях. Естественно, ее следует рассматривать как динамическую систему. При функционировании динамических систем в кибернетике применяется метод микроподхода.

В отличие от макроподхода последний указывает на необходимость рассмотрения отдельных структурных звеньев системы, входных и выходных характеристик во взаимосвязи всей системы.

Сам метод предполагает разбивку системы на характерные структурные элементы по уровням организации управления с учетом саморегулирования, обеспечивающего устойчивость системы, составление алгоритма преобразования информации и превращения в необходимый вид, анализ и увязку характерных элементов в общей

системе в их взаимосвязи, составление общего алгоритма функционирования системы.

Такой подход, иными словами, предусматривает расчленение гидромелиоративной системы на характерные структурные звенья (элементы), определение характерных структурных точек, разработку математических моделей объекта и решение задач по увязке выходных параметров нижних звеньев с входными более высоких по уровням организации и управления.

В общем виде характерными структурными звеньями (модулями) являются: внутрихозяйственная сеть, межхозяйственная сеть и магистральные или главные каналы. Для них характерными структурными точками могут быть: водозабор в магистральный (главный), распределительные и внутрихозяйственные каналы, водохранилища (бассейны-накопители), перегораживающие (подпорно-регулирующие) сооружения и насосные станции всех подъемов как на межхозяйственной, так и внутрихозяйственной сети.

Математической моделью для решения задач оперативного управления может служить уравнение водного баланса в системе (Киенчук, 1979), увязанное с временем добегания расходов воды и переходных процессов (Куротченко, 1979).

В общем виде уравнение водного баланса по объемам или расходам можно представить в виде

$$З_{ист}(W; Q)+З_{доп}(W; Q)=П(W; Q)+Ф_к(W; Q)\pm$$
$$\pm N_к(W; Q)+Ф_в(W; Q)\pm N_в(W; Q)+C_т(W; Q)+$$
$$+C_п(W; Q)\pm Т(W; Q)+И(W; Q), \qquad (102)$$

где $З_{ист}$ — водозабор из основного источника; $З_{доп}$ — то же, из дополнительных источников; П — подача воды в нижние структурные звенья; $Ф_к$ — потери на фильтрацию в каналах; $N_к$ — сработка или накопление воды в каналах; $Ф_в$ — потери в водохранилищах или бассейнах-накопителях; $N_в$ — сработка или накопление воды в водохранилищах; $C_т$ — сброс воды технологический (неизбежный); $C_п$ — то же, непроизводительный в структурном звене; Т — забор или подача в трубопроводы; И — суммарное испарение с водной поверхности каналов и водохранилищ (для межхозяйственного водораспределения его можно включить в суммарные потери воды); $(W; Q)$ — баланс по объему и расходу воды.

Уравнение водного баланса в объемах воды можно представить:

для магистрального (главного) канала

$$\Sigma W_{мк}=\Sigma W_{рк}+\Sigma W_{вх}+\Sigma W_{п}+\Sigma\Delta W+\Sigma\Delta W_{в}+ \\ +\Sigma W_{пв}+\Sigma W_{по}+\Sigma W_{с}+\Sigma W_{т}; \quad (103)$$

для распределительных каналов

$$\Sigma W_{рк}=\Sigma W_{хк}+\Sigma W'_{п}\pm\Sigma\Delta W'\pm\Sigma\Delta W'_{в}+\Sigma W'_{пв}+ \\ +\Sigma W'_{с}+\Sigma W'_{т}; \quad (104)$$

для внутрихозяйственной сети

$$\Sigma W'_{хк}=\Sigma W_{по}\pm\Sigma\Delta W''+\Sigma W''_{п}+\Sigma\Delta W''_{в}+\Sigma W''_{пв}+ \\ +\Sigma W''_{с}+\Sigma W''_{т}, \quad (105)$$

где $\Sigma W_{мк}$, $\Sigma W_{рк}$, $\Sigma W_{хп}$, $\Sigma W'_{хк}$ — суммарный забор воды за определенный промежуток времени в голову магистрального канала, распределительную и внутрихозяйственную сеть каналов или насосными станциями [в формуле (103)], $\Sigma W_{хк}$ учитывает забор воды хозяйствами из магистрального канала в формуле (104) — то же, из распределительных каналов; $\Sigma W_{п}$, $\Sigma W'_{п}$, $\Sigma W''_{п}$ — потери воды из магистрального, распределительного и внутрихозяйственного каналов; $\Sigma\Delta W$, $\Sigma\Delta W'$, $\Sigma\Delta W''$ — забор или пополнение объемов воды в бьефах магистрального, распределительного и внутрихозяйственного каналов; $\Sigma\Delta W_{в}$, $\Sigma\Delta W'_{в}$, $\Sigma\Delta W''_{в}$ — забор или пополнение объемов воды в водохранилища тех же каналов; $\Sigma W_{пв}$, $\Sigma W'_{пв}$, $\Sigma W''_{пв}$ — потери воды в водохранилищах тех же каналов; $\Sigma W_{с}$, $\Sigma W'_{с}$, $\Sigma W''_{с}$ — сброс воды в тех же каналах; $\Sigma W_{т}$, $\Sigma W'_{т}$, $\Sigma W''_{т}$ — остаток объемов воды в трубопроводах, относящихся к тем же каналам (определяют умножением площади поперечного сечения трубы на их длину); $\Sigma W_{по}$ — суммарный объем воды, поданной на поле; $\Sigma W_{вх}$ — суммарный водозабор из магистрального канала во внутрихозяйственную сеть.

В зависимости от конструкции гидромелиоративной системы отдельные составляющие уравнения водного баланса могут отсутствовать.

При решении отмеченных выше задач для конкретных гидромелиоративных систем расчет расходов и объемов баланса воды по уравнениям (103), (104), (105) проводят в таком порядке: определяют составляющие водного баланса для характерных структурных точек (начиная с концевых точек системы), а по ним — для характерных структурных элементов и по гидромелиоративной системе в целом.

Объемы воды на забор в межхозяйственную и внутрихозяйственную сеть, входящие в уравнения (103), (104), (105), определяют в общем виде:

$$\Sigma W=W_{(1)}+\ \dots\ +W_{j} \quad (106)$$

или

$$\Sigma W=Q_{(1,j)}t_{(1,j)}+\ \dots\ +Q_{(n,j)}t_{(n,j)}, \quad (107)$$

где $W_1, \ldots, W_{(j)}$ — объемы воды, забираемые в каждой характерной структурной точке и элементе; $Q_{(1,j)}, \ldots, Q_{(n,j)}$ — расходы воды с первого по n-ный периоды для j-той точки или элемента за промежутки времени от t_1 до t_n.

Объемы забора или пополнения воды в бьефах каналов всех порядков или водохранилищ (бассейнах-накопителях) — разница между объемами в начале и конце промежутка времени, за который определяют баланс воды.

Потери воды на фильтрацию в каналах или водохранилищах устанавливают фактическими замерами.

Из опыта эксплуатации оросительных систем УССР следует, что расходы сбрасываемой воды, как правило, непостоянны во времени. Поэтому для любого сбросного канала объем сброшенной воды можно записать в виде интегральной функции

$$W_{c(1,j)} = \int_{t_n}^{t_к} Q_{(1,j)} dt_{(1,j)}. \qquad (108)$$

Учитывая, что время между опросами (интервалами, за которые определяют баланс воды) постоянно и равно $t_0 = t_к - t_n$ (где $t_к$ — время окончания сброса воды), уравнение (108) можно представить в виде

$$W_{c(1,j)} = [Q_{1(j)} + \ldots + Q_{n(j)}] t_0, \qquad (109)$$

где $Q_{1(j)}$; $Q_{n(j)}$ — расход воды по j-тому сбросу за каждый интервал времени t_0, начиная с первого до n-го.

Для более точных расчетов водного баланса сбросные сооружения должны быть оборудованы расходомерами, регистрирующими объем сброса воды во времени. Объемы воды, данные на поля $\Sigma W_п$, определяют по показаниям расходомеров, установленных в точках выдела воды на поле или на дождевальных машинах.

Объем накопления или сработки воды в водохранилищах или бассейнах-накопителях определяется функциональной связью $W = f(h)$, где h — глубина воды (устанавливают для каждого конкретного объекта).

Накопление или сработка воды в бьефах каналов требуют более детального рассмотрения, так как сложность математической модели может привести к значительному снижению оперативности управления водораспределением. На современном этапе строительства гидромелиоративных систем для равнинной зоны УССР приняты следующие основные способы регулирования

в открытых каналах: по верхнему, нижнему бьефам или смешанное регулирование. Для ранее построенных систем иногда используют метод с перетекающими объемами (Киселев, 1972). При этом эксплуатационными задачами (как отмечено выше) являются планирование водораспределения и управляющих решений, контроль и анализ его осуществления. В этом случае могут функционировать две задачи: при планировании известны геометрические размеры каналов, расходы воды в начале и конце каждого бьефа канала $Q_н$, $Q_к$ с учетом путевого разбора $Q_п$, глубина воды в начале или конце бьефа длиной L (в зависимости от способа регулирования), длина бьефа, уклон дна канала; при контроле и анализе водораспределения известны как измеренные геометрические размеры канала (бьефов), расход в начале, конце с учетом путевого разбора, глубина в начале и конце каждого бьефа и длина его.

Для гидромелиоративных систем УССР характерно, что опрос о состоянии объектов (объемах воды в бьефах каналов) проводят через каждые 4...8 ч. Переходной же процесс от неустановившегося движения воды к установившемуся неравномерному происходит плавно в более короткое время. Это дает возможность в периоды опроса в реальном масштабе времени рассматривать движение воды в бьефах каналов как неравномерное движение и для определения объемов воды использовать дифференциальное уравнение. Решение дифференциального уравнения сводится к определению глубин в определенных створах каждого бьефа. Но при известных геометрических размерах и положении свободной поверхности, характеризуемой глубиной воды, можно методом суммирования определить и объем воды. Дифференциальное уравнение неравномерного движения воды имеет вид

$$dh/dL=i(\varkappa^2-1)/(\varkappa^2-j), \qquad (110)$$

где dh/dL — изменение глубин по длине; i — уклон дна канала (бьефа); $\varkappa$ — относительный модуль расхода, $\varkappa=k/k_0$ (k — модуль расхода, соответствующий каждому рассматриваемому сечению неравномерного движения воды в бьефе; k_0 — модуль расхода, соответствующий равномерному движению воды при том же расходе);

$$j=\frac{\alpha C^2 i}{g}\,\frac{b_к+2m_1h}{b_к+2h_j\sqrt{1+m_1^2}}$$

($b_к$ — ширина канала по дну; m_1 — коэффициент заложения откосов; h_j — глубина в каждом створе).

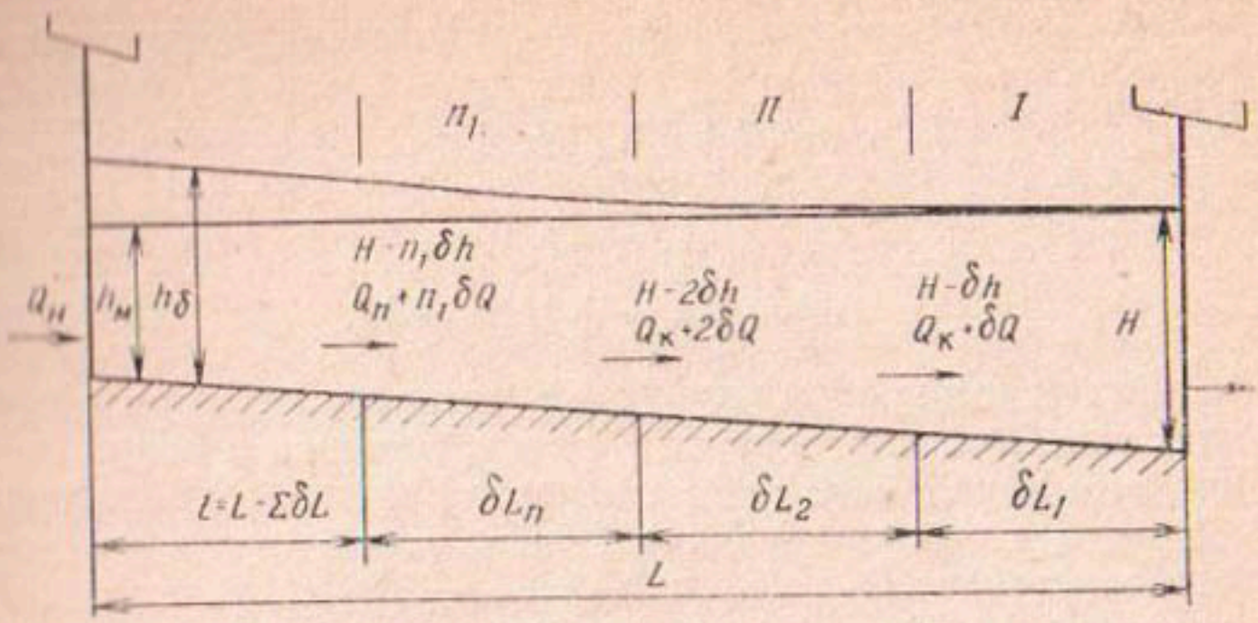


Рис. 45. Расчетная схема:

I, II — участки бьефа канала с неравномерным движением воды; $l=L-\Sigma\delta L$ — участки бьефа, где наблюдается равномерное или близкое к равномерному движение воды.

Так, методом Л. П. Чебышева и Симпсона (метод трапеций) из дифференциального уравнения (110) получено (рис. 45)

$$\delta L=1/2i[\varphi(h_{n+1})+\varphi(h_n)]\delta h, \qquad (111)$$

где δL — приращение по длине; δh — то же по глубине.

Для начального створа каждого бьефа.

$$\varphi(h_{n+1})=\frac{\varkappa^2_{n+1}-1}{\varkappa^2_{n+1}-j_{n+1}}.$$

Для конечного створа каждого бьефа.

$$\varphi(h_n)=\frac{\varkappa_n^2-1}{\varkappa_n^2-j_n}.$$

При решении задач по планированию известны $Q_н$, $Q_к$, $b_к$, m_1, i, Q_n и глубины: при регулировании по верхнему бьефу — глубина в верхнем бьефе H; по нижнему бьефу — глубина в нижнем бьефе $h_б$; смешанном регулировании — H_{max} в верхнем бьефе или $h_б$ в нижнем бьефе. Кроме того, заданной является длина бьефа L. В смешанном регулировании следует выделить два периода: первый, когда осуществляется регулирование по нижнему бьефу и известны $h_б$ и H_{max} и по верхнему бьефу — H_{max}.

Для расчета в первом случае необходимо знать h, которую определить известными методами трудно. По-

этому определяем глубину h_0, соответствующую равномерному движению, задаемся числом участков ($n=L/500$ м) в бьефе и определяем уменьшение глубины δh и ΔQ (потери) в конце каждого участка

$$\delta h_1=(H-h_0)/n_1; \tag{112}$$

$$\Delta Q=(Q_н-Q_к)/(n_1-1). \tag{113}$$

Затем вычисляем глубины в начале и конце каждого участка. Так, для первого участка, начиная с конца бьефа, для начального створа первого участка глубина равна H, а конечного — $h_{к_1}=H-\delta h_1$; для второго участка соответственно $h_н=h_{к_1}$ и $h_{к_2}=h_{к_1}-\delta h_1$ и так для всех участков h_1. Расход воды на границе каждого участка равен расходу предыдущего плюс ΔQ. Расстояние между створами (длину каждого участка) определяют по формуле (111) и ограничивают $\Sigma\delta L=L$. При этом конечная глубина должна соответствовать $h_б$. Следует учитывать, что если $\Sigma\delta L<L$, то на начальном участке $l=L-\Sigma\delta L$ наблюдается равномерное или близкое к равномерному движение воды.

Во втором случае (при регулировании по нижнему бьефу) разница состоит в определении δh, которое будет равно

$$\delta h=(H_{max}-h_б)/n_1. \tag{114}$$

При известных глубинах на каждом участке в начале и конце, размерах поперечного сечения и длине участков δL вычисляют объемы воды в каждом из них по формуле

$$W_j=\frac{(b_к+m_1h_н)h_н+(b_к+m_1h_к)h_к}{2}\,\delta L. \tag{115}$$

Зная объемы воды в каждом n_1-ом отсеке, ограниченном начальным и конечным створами, можно найти суммарный объем на участке бьефа с неравномерным движением воды, который равен сумме всех объемов

$$W_б=\sum_1^{n_1} W_j. \tag{116}$$

При $\Sigma\delta L<L$, то есть когда в начальном участке бьефа движение воды равномерно, объем воды на этом участке определяют по формуле

$$W_р=(b_к+m_1h_б)h_б(L-\Sigma\delta L). \tag{117}$$

При этом суммарный объем воды в каждом бьефе равен

$$\Sigma W_б = W_б + W_р. \qquad (118)$$

Мертвый объем воды в каждом бьефе вычисляют по формуле

$$W_м = (H - h_м)/3i[(b_к + m_1 h_м)h_м + (b_к + m_1 H)H + \sqrt{(b_к + m_1 h_м)h_м(b_к + m_1 H)H}], \qquad (119)$$

где $h_м$ — глубина воды за сооружением при полном прекращении водоподачи в бьеф (глубина, соответствующая мертвому объему).

Объемы воды, которые можно использовать для пополнения бьефа при излишке воды в системе или для сработки из бьефа в случае недостатка ее, определяют по зависимости

$$\pm\Delta W_б = \Sigma W_б - W_м. \qquad (120)$$

Для проверки выполненных решений составлена программа для ЭВМ ЕС-1020 и проведены натурные исследования на магистральном канале Бортничской оросительной системы со следующими параметрами и характеристиками: число бьефов — два; $h_{б_1}=0{,}97$ м; $h_{б_2}=0{,}98$ м; $H_1=1{,}46$ м; $H_2=1{,}3$ м; $i_1=0{,}00056$; $i_2=0{,}00052$; $b_{к_1}=b_{к_2}=1{,}8$ м; $m_1=m_2=1{,}5$; $Q_{н_1}=3{,}8$ м³/с; $Q_{к_1}=3{,}75$ м³/с; $Q_{н_2}=3{,}75$ м³/с; $Q_{к_2}=3{,}73$ м³/с; $L_1=4800$ м; $L_2=2046$ м; коэффициент шероховатости $n=0{,}014$, число участков в бьефе принято $n_1=L/500$ м.

Расходы измеряли протарированными водомерными порогами САНИИРИ — ВПС, глубины — нивелировкой. Одновременно фиксировали время, за которое устанавливались постоянные уровни перед подпорными сооружениями в конце бьефов. Данные о глубинах в бьефах представлены на рисунке 46.

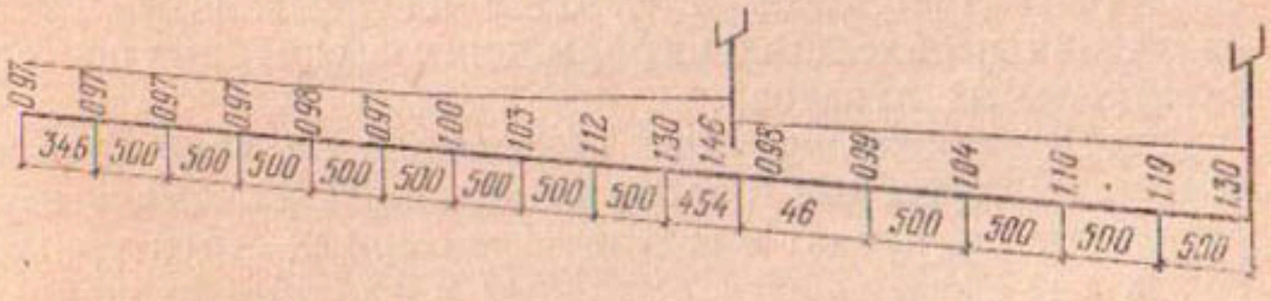


Рис. 46. Распределение глубин потока в бьефах магистрального канала Бортничской оросительной системы.

Объемы воды определяли по формулам (111)...(118), а также по натурным данным, которые приведены в таблице 22.

22. Сопоставление методов расчета объемов воды в бьефах магистрального канала Бортничской оросительной системы

Номер бьефа	Объем воды в бьефе, м³			Отклонение, % от натурных данных		Время стабилизации уровня воды в бьефе, мин.		% отклонения
	по данным натурных измерений	по уравнению (111)	по уравнению Сен-Венана	по уравнению (111)	по уравнению Сен-Венана	$t_{изм}$	$t_{расч}$	
I	17 310	16 745	17 255	—3,26	—0,32	78	75	—3,84
II	7 957	7 657	7 390	—3,96	—7,12	116	100	—13,80

Кроме этого, выполнены расчеты с численным решением уравнений Сен-Венана по неявной конечно-разностной схеме, предложенной О. Ф. Васильевым, результаты которых даны также в таблице 22.

Все решения дают отклонения от натурных данных на величину одного порядка, относительные погрешности не превышают 7%, что вполне удовлетворяет на практике. При этом следует отметить, что фактическое время стабилизации уровней перед перегораживающими сооружениями в обоих бьефах было близким к расчетному (табл. 22).

Полученные результаты указывают на то, что метод решения уравнения неравномерного движения при определении объемов воды в бьефах каналов может быть принят в задачах нормированной водоподачи на оросительных системах.

Решение задач по управлению межхозяйственным водораспределением с применением предложенных математических моделей и методов их решения требует получения необходимой информации с водомерных постов (контрольных пунктов).

Состав контролируемых параметров на водомерных постах. Водомерные посты, оснащенные водомерными устройствами, входят в состав характерных структурных точек, где увязываются выходные и входные величины на основании решения задач по математическим моделям.

23. Состав контролируемых параметров водораспределения

Шифр	Способ регулирования	Источник орошения водохранилища, река	Головные водозаборные сооружения	Головные насосные станции	Перегораживающие сооружения на межхозяйственной сети	Перекачивающие насосные станции	Водовыделы: водозаборные сооружения	Водовыделы: насосные станции подкачки	Водохранилища, бассейны-накопители	Сбросные сооружения
а	По верхнему бьефу	Уровень воды	Уровень нижнего бьефа, открытие затвора, расход	Расход, уровень верхнего бьефа	Расход, уровень верхнего бьефа, уровень нижнего бьефа	Расход, уровень верхнего бьефа, уровень нижнего бьефа	Расход, уровень нижнего бьефа, уровень верхнего бьефа	Расход (в подводящем трубопроводе давление), уровень нижнего бьефа	Уровень воды	Расход
б	По нижнему бьефу	То же	То же	То же	То же	То же	То же	То же	То же	» »
в	Смешанное	» »	» »	» »	» »	» »	Расход, уровень верхнего бьефа, уровень нижнего бьефа	» »	» »	» »
г	Постоянными перепадами	» »	» »	» »	» »	» »	То же	» »	» »	» »
д	Перетекающими объемами	» »	» »	» »	Расход, уровень верхнего бьефа, уровень нижнего бьефа	» »	» »	» »	» »	» »
е	Непосредственным отбором расходов	» »	» »	» »	То же	»	»	»	»	»

Детальное рассмотрение последних позволяет определить состав контролируемых параметров водораспределения, которые для характерных структурных точек представлены в таблице 23. Основными контролируемыми параметрами являются уровни воды в бьефах каналов, открытия затворов и расход воды.

Использование таблицы 23 дает возможность составить технологическую схему гидрометрического обеспечения гидромелиоративной системы, которая представляет собой изображение в символах информации, и последовательность ее сбора, а также посредством таблицы (приложение II) выбрать тип водомерного устройства (или группу их) для каждой характерной структурной точки с целью получения полной и необходимой информации для управления водораспределением.

Приложения

1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ВОДОМЕРНЫМ УСТРОЙСТВАМ

Термин	Определение
Автомат	Устройство, позволяющее осуществлять производственный процесс без непосредственного участия человека
Автоматизация учета воды	Процесс, при котором расход воды измеряется без участия человека
Автоматический регулятор расхода	Устройство автоматического регулирования расхода воды
Водомерный пост	Участок русла, выбранный с соблюдением известных правил и оборудованный первичными и измерительными преобразователями для систематических измерений
Водомерное устройство (водомерное сооружение)	Сооружения для измерения расхода воды при постоянстве связи между расходом воды и уровнем или гидравлическим перепадом
Водомерный насадок в стенке	Сходящийся насадок в вертикальной, перегораживающей канал стенке. Может быть круглого, квадратного и прямоугольного сечения
Водомерный порог САНИИРИ — ВПС	Донный водослив практического профиля в фиксированном русле трапецеидального сечения, имеющий напорный откос 1 : 3, горизонтальный участок на гребне и вертикальный низовой уступ. Установлена однозначная зависимость $Q=f(H)$ до относительного затопления порога 0,8
Водомерный порог САНИИРИ с вырезом — ВПС с вырезом	То же, но в средней части имеет трапецеидальный вырез для измерения малых расходов воды

Термин	Определение
Водомерный лоток Паршалла	Лоток с вертикальными стенками, состоящий из входного сходящегося раструба, горловины с параллельными стенками и дном, имеющим уклон в сторону движения воды 3 : 8, и отводящего раструба с дном, имеющим обратный уклон 1 : 6. Свободное истечение обеспечивается до относительного затопления 0,7...0,75. Возможно использование лотка при затоплении 0,7...0,9 и введении соответствующих поправок
Расходомер-регулятор	Гидротехническое сооружение, предназначенное для учета и регулирования расходов и уровней воды. Основные конструктивные элементы — регулирующая часть и водомерное устройство, образующее с понуром или водобоем единое сооружение.
Водомерная приставка	Короткая труба-приставка во входной (понурной) части трубчатого или открытого регулятора (водовыпуска), создающая водомерный перепад давления, от которого зависит расход воды. Труба-приставка может быть круглого и прямоугольного сечения, а также раструбного в плане
Водомерное устройство — торцовый водослив	Кожух с торцовым треугольным водосливом на конце дрены. Относится к водомерным устройствам для коллекторно-дренажной сети
Водомерное устройство — П-образный насадок	Насадок, образованный из прямого участка трубопровода, вертикального его подъема вверх, горизонтального перехода и вертикального поворота вниз. Все углы прямые. Подъем вверх обеспечивает напорный режим насадка. Расход зависит от пьезометрического напора в сечении перед насадком
Водослив	Водомерное сооружение, представляющее собой перегораживающую русло стенку с вырезом определенной формы
Водослив трапецеидальный Чиполетти	Тонкостенный водослив с трапецеидальной формой выреза, имеющего боковые откосы 1 : 4
Водослив трапецеидальный Иванова	То же, но с боковыми откосами 1 : 1

Продолжение

Термин	Определение
Водослив треугольный Томсона	Тонкостенный водослив с треугольной формой выреза и углом в вершине 90°. Треугольные водосливы могут быть также с углами 120, 60, 45, 20°
Гидрометрическая вертушка	Прибор для измерения скорости течения воды в водотоках и водоемах, отличительной особенностью которого является использование ротора или лопастного винта в качестве чувствительного элемента (ГОСТ 19179—73)
Гидрометрические работы	Комплекс работ, проводимых на водных объектах с целью измерения характеристик гидрологического режима. Основные виды гидрометрических работ: наблюдения за уровнем воды и оборудование соответствующих устройств; измерение расходов воды и наносов, учет стока; градуировка сооружений; наблюдение за температурой воды и толщиной льда (ГОСТ 19179—73)
Гидрометрические устройства	Специальные устройства для улучшения условий проведения гидрометрических работ и повышения точности измерений: гидрометрические переправы — мосты и тросовые люльки, гидрометрические измерительные устройства (сооружения), различное оборудование гидрометрических створов (створные знаки и пр.)
Гидрометрический пост	Участок русла, оборудованный гидрометрическим створом и предназначенный для измерения расхода воды гидрометрическими методами
Гидрометрический створ	Створ через водоток, в котором измеряют расходы воды и проводят другие виды гидрометрических работ (ГОСТ 19179—73)
Градуировочная характеристика средств измерения расхода воды	Зависимость между величинами на выходе (расход) и входе (переменные параметры: уровень, перепад и др.), составленная в виде графика, таблицы, формулы (ГОСТ 16263—70)
Градуировка средств измерения расхода воды	Определение градуировочной характеристики средств измерения расхода воды (ГОСТ 16263—70).

Термин	Определение
Диапазон измерений	Область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений (ГОСТ 16263—70)
Диафрагма расходомерная	Сужающее устройство с отверстием
Измерение	Нахождение физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств (ГОСТ 16263—70)
Измерение прямое	Измерение, при котором искомую величину находят непосредственно из опытных данных (ГОСТ 16263—70)
Измерение косвенное	Измерение, при котором искомую величину находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям (ГОСТ 16263—70)
Коэффициент водомерности	Коэффициент расхода водомерного устройства, имеющий определенное и постоянное значение
Метод измерений	Совокупность приемов использования принципов и средств измерений (ГОСТ 16263—70)
Метод гидрометрический (площадь — скорость)	Метод, при котором расход воды определяют как сумму произведений местных скоростей на соответствующие элементарные площадки
Метод гидрометрический (трех — пятиточечный)	Метод, при котором живое сечение русла разбивается рядом (10...22) промерных и скоростных вертикалей на площадке, где глубины измеряют метроштоком, осредненные (100...120 с) скорости вертушкой в трех-пяти точках каждой скоростной вертикали, и по ним вычисляют расход воды
Метод гидрометрический основной (двухточечный)	То же, но скорости измеряют в двух точках каждой вертикали на 0,2 и 0,8h от поверхности воды
Метод гидрометрический одноточечный	То же, но скорости измеряют в одной точке каждой вертикали на глубине 0,6h
Метод гидрометрический одноточечный упрощенный	Метод, когда расход определяют по скорости в одной точке потока и площади живого сечения

Продолжение

Термин	Определение
Метод гидрометрический интеграционный	Метод, когда скорости интегрируют (осредняют) и измеряют каким-либо прибором по вертикали или по всему живому сечению потока
Метод гидравлический измерения расхода	Метод, обеспечивающий измерение расхода воды водомерными устройствами, сооружениями, у которых известны или установлены гидравлические зависимости расхода воды от переменных величин (напор, перепад)
Метод гидравлико-гидрометрический	Метод, при котором в комплексе используют гидравлические зависимости, свойственные потоку, а также гидрометрические измерения, например: метод «площадь — уклон». Расход определяют по формуле $Q=\omega C\sqrt{Ri}$, а площадь живого сечения и продольный уклон — инструментально
Метод градуированных сооружений	Метод, при котором для сооружения устанавливают градуировочную характеристику расхода воды от соответствующих переменных величин (H, h, a)
Метод смещения, разбавления и «меток»	Метод, основанный на кратковременном или непрерывном пропуске различных солей, растворителей, радиоактивных элементов, красителей, светящихся и других веществ в поперечном сечении русла (трубы) с последующей их регистрацией во времени в другом сечении, которое располагается на определенном расстоянии от первого
Механизация учета воды	Процесс косвенного измерения расхода воды, когда параметры, определяющие его величину, измеряются без участия человека и по ним вычисляют расход воды или снимают с градуировочных графиков или таблиц
Наблюдение при измерении	Экспериментальная операция, выполняемая в процессе измерений, в результате которой получают одно значение из группы величин, подлежащих совместной обработке для получения результата наблюдения (ГОСТ 16263—70)
Напор	Давление воды, выражаемое высотой водяного столба над рассматриваемым уровнем (ГОСТ 18185—73)

Продолжение

Термин	Определение
Напорное движение жидкости	Движение жидкости при отсутствии свободной поверхности
Отклонение результата измерений среднеквадратическое	Параметр функции распределения результатов измерений, характеризующий их рассеивание и равный корню квадратному из дисперсии результата измерения (с положительным знаком). При ограниченном числе измерений можно найти только оценку среднего квадратического отклонения результата измерения, обычно принимаемую равной корню квадратному из оценки дисперсии результата измерения (ГОСТ 16263—70)
Поверка средства измерений	Определение метрологическим органом погрешностей средства измерений и установление его пригодности к применению. В отдельных случаях при проверке вместо определения значений погрешностей проверяют, находятся ли они в допускаемых пределах (ГОСТ 16263—70)
Погрешность метода измерений	Составляющая погрешность измерения, происходящая от несовершенства метода измерений (ГОСТ 16263—70)
Погрешность измерения (ошибка измерения)	Отклонение результата измерения от истинной измеряемой величины (ГОСТ 16263—70)
Погрешность измерения абсолютная	Погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины. Абсолютная погрешность измерения x в принципе определяется формулой $\Delta x = x_{изм} - x$ (где $x_{изм}$ — значение, полученное при измерении; x — истинное значение измеряемой величины). Так как истинное значение измеряемой величины остается неизменным, на практике можно найти лишь приближенную оценку погрешности измерения (ГОСТ 16263—70)
Погрешность измерения вероятная	Погрешность, вычисленная как $^2/_3$ от предельной относительной

Термин	Определение
Погрешность измерения относительная	Отношение абсолютной погрешности измерения к истинной измеряемой величине. Относительная погрешность может быть выражена в процентах (ГОСТ 16263—70)
Подпор	Подъем уровня воды, возникающий вследствие преграждения или стеснения русла водотока или изменения условий стока подземных вод (ГОСТ 18185—73)
Поплавок	1. Плавающий предмет, увлекаемый текущей водой. 2. Чувствительный элемент поплавковых уровнемеров
Поправка	Величина, одноименная с измеряемой, прибавляемая к полученной при измерении величине с целью исключения систематической погрешности (ГОСТ 16263—70)
Предел измерений	Наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений (ГОСТ 16263—70)
Преобразователь	Сборный элемент, трансформирующий сигнал
Преобразователь измерительный	Средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающийся непосредственному восприятию наблюдателем (ГОСТ 16263—70)
Преобразователь измерительный первичный	Измерительный преобразователь, к которому подведена измеряемая величина, то есть первый в измерительной цепи (ГОСТ 16263—70)
Преобразователь измерительный передающий	Измерительный преобразователь, предназначенный для дистанционной передачи сигнала измерительной информации (ГОСТ 16263—70)
Расход воды объемный	Объем воды, протекающий через живое сечение потока в единицу времени (ГОСТ 19179—73)
Расход воды	Количество воды, проходящее через данное сечение канала в единицу времени

Продолжение

Термин	Определение
Расходомер	Измерительный прибор, служащий для измерения расхода, вещества (жидкости, газа, пара) (ГОСТ 15528—70)
Расходомер переменного перепада давления	Расходомер, основанный на зависимости расхода вещества от перепада давления, создаваемого неподвижным устройством, установленным в трубопроводе, или элементом трубопровода (ГОСТ 15528—70)
Расходомер с сужающим устройством	Расходомер переменного перепада давления, основанный на зависимости расхода от перепада давления, образующегося в сужающем устройстве в результате частичного перехода потенциальной энергии потока в кинетическую (ГОСТ 15528—70)
Расходомер с гидравлическим сопротивлением	Расходомер переменного перепада давления, основанный на зависимости расхода от перепада давления, образующегося гидравлическим сопротивлением (ГОСТ 15528—70)
Расходомер меточный	Расходомер, основанный на зависимости расхода времени от перемещения на заданном участке пути «метки», создаваемой в потоке. В зависимости от характера создаваемой «метки» к термину «меточный расходомер» следует добавить «ионизирующий», «ядерно-магнитный», «оптический», «тепловой» и т. п. (ГОСТ 15528—70)
Регулятор	Устройство, стабилизирующее параметры установки или процесса в заданных пределах
Результат наблюдения	Значение величины, получаемое при отдельном наблюдении (ГОСТ 16263—70)
Результат измерения	Значение величины, найденное путем ее измерения (ГОСТ 16263—70)
Средство измерений	Техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства (ГОСТ 16263—70)

Продолжение

Термин	Определение
Сужающее устройство расходомера УкрНИИГиМ для открытых каналов	Водомерное устройство, представляющее собой вертикальную забральную стенку, установленную нормально к оси потока, к нижней части которой присоединена наклонная в сторону нижнего бьефа плита
Сужающее устройство расходомера УкрНИИГиМ для трубопроводов	Водомерное устройство в виде сегментной диафрагмы, к нижней грани которой присоединена под углом в сторону движения потока вставка, обеспечивающая плавный подход
Телеизмерение	Измерения и передача на расстоянии результатов измерений параметров контролируемых объектов при помощи средств телемеханики
Телеконтроль	Контроль состояния объектов, осуществляемый с помощью средств телемеханики
Технологическая схема автоматизированной системы	Условное изображение в виде символов последовательности контроля, измерения или регулирования необходимых параметров
Трубка напорная осредняющая (трубка интегрирующая)	Напорное устройство для измерения осредненной скорости потока, выполненное в виде трубки, располагаемой по одному из диаметров трубопровода, имеющее по длине ряд отверстий или профилированную щель
Урез воды	Линия пересечения уровня воды с берегом
Уровень воды	Высота поверхности воды в водном объекте над условной горизонтальной плоскостью сравнения (ГОСТ 19179—73)
Уровнемеры	Обобщенное название приборов и установок для измерения высоты уровня воды над условным нулем путем визуального отсчета или автоматической записи как функции времени
Установка	Изменение параметра регулирования в процессе настройки регулятора для получения требуемой регулируемой величины
Учетная формула	Формула пропускной способности, в которой учтены заранее известные величины характеристики потока или параметров сооружений

Измерительный прибор, индекс	Основные размеры	Систематически измеряемые величины	Возможные измерительные устройства	Условия применения	Область применения
Устройства и сооружения переменного напора (уровня) воды					
Трапецеидальный водослив Чиполетти, ВЧ	$b=0{,}5...3$ м; $a=0{,}4...0{,}5$; $m_1=1:4$	H или Q	1. Уровнемерная или расходомерная рейка	$Q\leqslant 7$ м³/с; $Q_{max}/Q_{min}=6$;	Открытые каналы на транзитных головных участках вне зоны влияния подпора на головные сооружения
			2. Измерители уровня	$0{,}1b<H\leqslant 0{,}33b$;	
			3. Самописцы	возможность обеспечения напора $=H_{max}$; прямолинейность участка $10...15b$	
Трапецеидальный водослив Иванова, ВИ	$b=0{,}5...3$ м; $m_1=1:1$	То же	То же	То же	То же
Треугольный водослив Томсона, ВТ	$\beta^0=90°$; $a=0{,}25$; 0,40; 0,60; 0,80; 1,0 м	» »	» »	» » $Q\leqslant 1$ м³/с; $H\leqslant 1$ м	» »

Водомерный порог САНИИРИ, ВПС	$b_н$=1,0; 1,25; 2,0; 2,5; 5,0; 6,0 м; $m_к$=0; 0,75; 1,0; $p_п$=0,3; 0,4; 0,5 м, по расчету $\approx 0{,}6\,h_{к\max}$	»	»	»	»	$Q \leqslant 60$ м³/с; $Q_{\max}/Q_{\min} \leqslant 8$; $h_п/H_п \leqslant 0{,}8$; возможность подпора $\leqslant 0{,}2 h_{k\max}$	»
Водомерный порог САНИИРИ с вырезом, ВПС	То же, за исключением: $m_б = m_к$; $p_в$ по расчету $\approx 0{,}8 h_{к\max}$; $p_п = 0{,}5\,p_в$; $b_в = b_к$; $b_в = 0{,}4\,b_п$	»	»	»	»	$Q \leqslant 60$ м³/с $Q_{\max}/Q_{\min} \leqslant 30$; $h_п/H = 0{,}75$; возможность подпора $= 0{,}25 h_{к\max}$; $h_к \leqslant 0{,}35 b_к$; $H_b \leqslant 0{,}35 b$	»
Водомерный поток Паршалла, ВЛП	b =0,25; 0,50; 2,5 м; $B_к$ $=1{,}2b+0{,}5$ м; L_1 $=0{,}5b+1{,}2$ м; $B_{вых}=b+0{,}3$ м; L_1 =0,6 м; Δh=0,23; L_p =0,92; Δh_1=0,08; L_2 =0,68; $H_{ст}$=1 м	»	»	»	»	$Q \leqslant 5$ м³/с $Q_{\max}/Q_{\min}$=6...8; $h_к/H \leqslant 0{,}7$; возможность подпора $=0{,}35 h_{к\max}$; $H \leqslant 0{,}9$ м	
Водомерное устройство трапецеидального сечения, ВТС	b =0,25; 0,50; 0,75; 1 м; m_1 =0,5; 1	»	»	»	»	$Q \leqslant 2$ м³/с; $Q_{\max}/Q_{\min} \leqslant 10$; $h/H \leqslant 0{,}8$; возможность подпора $0{,}25 h_{к\max}$; $H \leqslant 0{,}9$ м	»

Продолжение

Измерительный прибор, индекс	Основные размеры	Систематически измеряемые величины	Возможные измерительные устройства	Условия применения	Область применения
Устройства переменного перепада уровней					
Водомерные сходящиеся насадки, ВНС	Отверстия круглые, прямоугольные, квадратные, основной размер $a(d)$	z или Q	1. Уровнемерные рейки 2. Измерители гидравлического перепада 3. Самописцы	$Q \leqslant 1$ м³/с; режим истечения несвободный; 0,02 м $< z <$ 0,4 м; $Q_{max}/Q_{min} \leqslant 4$	Транзитные, распределительные, внутрихозяйственные и контрольные водомерные посты в открытых каналах
Сужающее устройство расходомера для открытых каналов, СУР	Сечение трапецеидальное, прямоугольное	z или Q	То же	$Q \leqslant 10$ м³/с; 0,02 м $< z \leqslant$ 0,6 м; режим истечения свободный и несвободный	То же
Диафрагмы, ВД	Отверстие круглое, прямоугольное	То же	» »	$Q \leqslant 1$ м³/с; режим истечения несвободный	Внутрихозяйственные и контрольные водомерные посты

Трубчатые сооружения с напорным движением без регулирования затворов на входе, ТСУР		» »	» »	$Q \leqslant 50$ м³/с; режим истечения несвободный	Транзитные, внутрихозяйственные, контрольные и сбросные водомерные посты
		Расходомеры-регуляторы			
Водомерная приставка, ВП-1	$L_{пр} = (1{,}5...3)D$; $\omega = 0{,}785D^2$	z или Q	1. Уровнемерные рейки 2. Измерители перепада	$H_{в.б} \geqslant 1{,}8D\,(a)$; напорный режим истечения;	Точки вододеления на каналах
			3. Самописцы	$Q < 10$ м³/с	
Водомерная приставка, ВП-2	$L_{пр} = (1{,}5...3)a$; вход приставки прямой; живое сечение $\omega = b \times a$; соотношение $b : a = 1 : 2$	То же	То же	$H_{в.б} \geqslant 1{,}7a$; напорный режим истечения; $Q \leqslant 10$ м³/с	То же
Водомерная приставка, ВП-3	$L_{пр} = 1{,}5a$; размеры и выбор по типовому атласу № 820 Средазгипроводхлопок	» »	» »	$H_{в.б} \geqslant 1{,}8D_{г.р}$; $Q \leqslant 10$ м³/с; напорный режим истечения	Точки вододеления на каналах
Водомерная приставка, ВП-4	$L_{пр} = 0{,}25a$; $b : a = 1 : 3$	» »	» »	$H_{в.б} \geqslant 1{,}8a$; $Q \geqslant 10$ м³/с	Перегораживающие сооружения, крупные вододелители

Продолжение

Измерительный прибор, индекс	Основные размеры	Систематически измеряемые величины	Возможные измерительные устройства	Условия применения	Область применения
Водомерная приставка, ВП-5	$L_{пр}=0{,}8a$; $b=2a$; $R=0{,}4a$; $r=0{,}135a$; $l_0=0{,}64R$; a — высота сечения	» »	1. Уровнемерные рейки 2. Измерители перепада 3. Самописцы	$H_{в.б}\geqslant 1{,}5a$; $Q\geqslant 10$ м³/с	Головные и перегораживающие сооружения магистральных каналов и распределителей
Трубчатый расходомер-водовыпуск для внутрихозяйственной сети, ВВТП	$L_{тр}\geqslant 6D$; затвор на выходе, отбор давления на расстоянии от входа $l=0{,}5D$	$z_в$	ДРС-66	$H_{в.б}\geqslant 1{,}7D$; $Q\leqslant 0{,}5$ м³/с	Водовыпуски на участковых и временных оросителях
Расходомер для лотковой сети, ВЛ-74	$L_{пр}=1{,}5a$; затвор устанавливают за расходомером	То же	То же	$H_{в.б}\geqslant 1{,}3a$; $Q\leqslant 0{,}5$ м³/с	Водомерные посты на лотковой сети
Расходомер-регулятор трубчатый с насадком, ВРТ	$L_{тр}\geqslant 6D$	» »	» »	$H_{в.б}\geqslant 1{,}3D$; истечение в НБ затоплено при Q_{min}; $Q\leqslant 30$ м³/с	Хозяйственные водомерные посты
Сужающее устройство для трубчатых сооружений, СУРС	$\beta=16°$	Гидравлический перепад	Дифференциальные приборы	$z\leqslant 0{,}6$ м; $D\leqslant 1000$ мм	Хозяйственные и внутрихозяйственные водомерные посты

Градуированные подпорно-регулирующие сооружения с плоскими и сегментными затворами

Водомерное устройство с регулируемой площадью истечения, ВУРС-ЛВ	По проекту или фактическому замеру	H — в верхнем бьефе, на удалении (3...4) H_{max} от затвора; a — высота открытия затвора	Водомерная рейка, указатель высоты открытия затвора при механизации измерений	Свободное истечение из-под плоских вертикальных затворов; $Q_{max}/Q_{min} \leqslant 10$; $a/H \leqslant 0{,}75$	Измерение расходов воды на головных, транзитных и сбросных водомерных постах
Водомерное устройство с регулируемой площадью истечения, ВУРС-С	То же	То же	То же	Свободное истечение из-под сегментных затворов; $Q_{max}/Q_{min} \leqslant 7$; $a/H \leqslant 0{,}5$; $C/R = 0{,}685...0{,}56$; $a/R = 0{,}34$	То же
Водомерное устройство с регулируемой площадью истечения, ВУРЗ-ПВ	» »	H_0 — в верхнем бьефе, перед затвором; $h_п$ — в подзатворном отверстии; a — высота открытия затвора	» »	$Q_{max}/Q_{min} \leqslant 20$; $a/H = 0{,}9$; $H - h_б \geqslant 0{,}1$ м; затопленное истечение из-под плоских вертикальных затворов	» »

Продолжение

Измерительный прибор, индекс	Основные размеры	Систематически измеряемые величины	Возможные измерительные устройства	Условия применения	Область применения
Водомерное устройство с регулируемой площадью истечения, ВУРЗ-С	» »	То же	» »	Затопленное истечение из-под сегментных затворов $Q_{max}/Q_{min} \leqslant 20$; $a/H \leqslant 0{,}9$; $H - h_б \geqslant 0{,}1$ м; $v_0 \leqslant 3{,}5$ м; $C/R = 0{,}4...0{,}9$; $R/H_{max} \geqslant 1{,}2$	Измерение расходов воды на головных, транзитных и сбросных водомерных постах
Водомерное устройство с регулируемой площадью истечения, ВУР-Г	» »	H — в верхнем бьефе на расстоянии от затвора (3...4) H_{max}; $h_б$ в нижнем бьефе на расстоянии от затвора $\approx 40\ h_б$	» »	Затопленное истечение из-под плоских и сегментных затворов $a/H < 0{,}85$; $a/H < 0{,}9$; обязательна градуировка и применение ЭВМ	То же
Устройства для трубопроводов и насосных станций					
Водомерное устройство на трубопроводе с интегрирующей	Интегрирующая трубка диаметра трубопровода $d_{ит} = F(D_{тр})$;	По перепаду давлений, образованному ско-	Промышленный дифманометр ДМ	Отсутствие наносов в воде	Мелиоративные насосные станции

трубкой и дифманометром ДМ, ВУИТ	$d_0 \leqslant 0{,}3 d_{ит}$		ростным напором		
Водомерное устройство УкрНИИГиМ для трубопроводов, ВУТУ	—	Перепад давления ΔP	Дифманометры перепада давления	$D \leqslant 600$ мм	На напорных трубопроводах
Сооружения и устройства для коллекторно-дренажной сети					
Контрольные (фиксированные) русла асимметричного сечения, КФРа	Полигональное сечение с уклоном дна 1 : 8 в одну сторону; $b_ф$, $m_ф$; высота сечения по расчету	h — уровень (глубина) воды над наименьшей отметкой дна	1. Уровнемерная рейка 2. Самописцы 3. Измерители уровня	Q — без ограничений; отсутствие переменного подпора со стороны нижнего участка; диапазон $h = 0...$ 1 м; $Q_{max}/Q_{min} \leqslant 70$	Открытые коллекторы, сбросы и каналы с малой скоростью течения
Утроенные водомерные насадки, УВН	Круглое сечение — основной размер d, $D = 1{,}92d$; прямоугольное сечение — основной размер — a; $b = 2a$; $A = 1{,}9a$; $B = 2a$; $l = 3a$	Перепад	1. Уровнемерные рейки на стенке в верхнем и нижнем бьефах 2. Расходомерная вилка 3. Измерители перепада (расхода) уровней воды	$Q \leqslant 1$ м^3/с; $Q_{max}/Q_{min} \leqslant 10...$ 15; диапазон $z = 0{,}2...0{,}5$ м	То же, но возможен переменный подпор

Продолжение

Измерительный прибор, индекс	Основные размеры	Систематически измеряемые величины	Возможные измерительные устройства	Условия применения	Область применения
Водомерное устройство — торцовый водослив, ТВ	d в зависимости от $d_{тр}$	H — пьезометрический напор над дном отверстия	Пьезометр, манометр, уровнемер	Q до 0,3 м³/с; Q_{max}/Q_{min}; истечение в атмосферу (свободное); диапазон $H=0...1,5$ м	Устья трубчатых дрен и водовыпусков с возможностью безнапорного режима
Водомерное устройство — П-образный насадок, ПП	D в зависимости от $d_{тр}$ трубы	H — пьезометрический напор над осью трубы	То же	$Q\leqslant 0,5$ м³/с; $H=0...3$ м; истечение в атмосферу	Устья отводных труб скважин вертикального дренажа
Водомерное устройство для открытых дрен и коллекторов, ВУ коллектора	Перемещается полка приставки $L_{пр}=1,3a$; длина углубления дна коллектора $L_{уг}=1,5L_{пр}$	$z_к$	ДРС-66	$H_{в.б}\geqslant 1,3a$	Открытые коллекторы и дрены

Указатель литературы

Бурдун Г. Д., Марков Б. Н. Основы метрологии.— М.: Изд-во стандартов, 1975.

Валентинн К. Л., Талмаза В. Ф. Результаты лабораторных исследований водомерного сопротивления с боковым сжатием потока трапецеидальной формы.— В сб.: Вопросы водного хозяйства, Фрунзе, 1977, № 40.

Валентинн К. Л. Водомерное устройство для лотковых каналов.— Гидротехника и мелиорация, 1975, № 5, 1976, № 10.

Вальков В. М., Вершин В. Е. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Л.: Машиностроение, 1977.

Куротченко В. И. Принципы построения средств централизованного управления процессом водораспределения.— Фрунзе, Илим, 1979.

Киенчук А. Ф., Коваленко П. И. Учет воды на гидромелиоративных системах авторегуляторами уровня секторного типа с горизонтальной осью вращения при использовании ЭЦВМ.— Научные исследования по гидротехнике в 1974 г.,— Л: Энергия, 1976.

Киенчук А. Ф. Метод микроподхода при решении задач водораспределения.— В сб.: Вопросы строительства и эксплуатации мелиоративных систем.— Киев: 1979, вып. 6.

Киенчук А. Ф. Применение уравнения неравномерного движения для определения объемов воды в открытых каналах гидромелиоративных систем.— В сб.: Вопросы строительства и эксплуатации мелиоративных систем. Киев, 1979, вып. 6.

Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам.— М.: Энергия, 1972.

Коваленко П. И., Кожанов И. Б., Киенчук А. Ф., Кощеев Н. Н. Автоматизированная система управления технологическими процессами водораспределения Бортничской оросительной системы.— Киев: Реклама, 1980.

Кощеев Н. Н., Киенчук А. Ф. Методические рекомендации по расчету, строительству и эксплуатации сужающих устройств расходомеров для гидромелиоративных систем.— Киев, УкрНИИГиМ, 1976.

Малярчук В. Ф. Методическое руководство по градуировке подпорно-регулирующих сооружений и измерению расходов воды с применением способа УкрНИИГиМ.— Киев, 1977.

Овчаров Е. Е., Плотников В. М. Автоматизация учета воды на оросительных системах.— М.: Колос, 1972.

Хамадов И. Б., Бутырин М. В. Эксплуатационная гидрометрия в ирригации.— М.: Колос, 1975.

Оглавление

Классификация водомерных устройств и постов 3
Гидравлический расчет водомерных устройств. Основные положения о погрешностях 5
Водомерные устройства переменного напора или глубины для открытых каналов 9
Водомерные устройства переменного перепада уровней . . 40
Расходомеры-регуляторы 54
Градуированные подпорно-регулирующие сооружения . . 76
Водомерные устройства для трубопроводов и насосных станций 88
Водомерные устройства для коллекторно-дренажной и сбросной открытой и закрытой сети 93
Гидрометрические установки 104
Принципы использования водомерных устройств для водораспределения 111
Приложения 125
Указатель литературы 143

Михаил Викторович Бутырин, Александр Федорович Киенчук, Виктор Евгеньевич Краснов, Николай Николаевич Кощеев, Владимир Федорович Малярчук, Валентина Андреевна Мельникова

ВОДОМЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Заведующая редакцией *В. П. Орлова*
Редакторы *Н. М. Щербакова, Г. П. Попова*
Художник *В. А. Миттельман*
Художественный редактор *Б. К. Дормидонтов*
Технический редактор *Н. В. Суржева*
Корректор *А. В. Пригарина*

ИБ № 2946

Сдано в набор 11.02.82. Подписано к печати 21.06.82. Т-12158. Формат 84×108 1/32. Бумага тип. № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 7,56. Усл. кр.-отт. 7,77. Уч.-изд. л. 8,23. Изд. № 172. Тираж 10 000 экз. Заказ № 4095. Цена 35 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Типография им. Смирнова Смоленского облуправления издательств, полиграфии и книжной торговли, г. Смоленск, пр. им. Ю. Гагарина, 2.