

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК

4

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

ЎЗБЕКИСТОН ССР ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
СУВ ПРОБЛЕМАЛАРИ ВА ГИДРОТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

ГИДРОТЕХНИКА МАСАЛАЛАРИ

4-КИТОБ

СУВ УЛЧАШ ИНШООТЛАРИ, ПРИБОРЛАРИ
ВА ГИДРАВЛИК АВТОМАТЛАР

ЎЗБЕКИСТОН ССР ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ НАШРИЁТИ
ТОШКЕНТ — 1962

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОТЕХНИКИ

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК 4

ВОДОМЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ, ПРИБОРЫ
И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ АВТОМАТЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

ТАШКЕНТ — 1962

В статьях приводятся описание, результаты исследований, практические указания по расчету и применению водомерных сооружений на оросительных каналах с расходом до 20 м³/сек, динамического расходоуказателя ДРС для учета воды на водомерах-регуляторах, гидравлических автоматов-регуляторов постоянного расхода и горизонта верхнего бьефа.

Статьи предназначены для проектных, строительных и эксплуатационных организаций водного хозяйства при проектировании и строительстве новых и переустройстве старых ирригационных систем.

Ответственный редактор
кандидат технических наук
З. Х. ХУСАН-ХОДЖАЕВ

ВВЕДЕНИЕ

XXII съезд КПСС выдвинул в числе основных задач комплексную механизацию и автоматизацию производства во всех областях народного хозяйства. Решение этой задачи должно способствовать дальнейшему техническому прогрессу, новому подъему производительности труда и снижению себестоимости продукции.

Высокая урожайность сельскохозяйственных культур и хорошее мелиоративное состояние орошаемых земель достигаются плановым водопользованием на основе точного и автоматизированного учета и регулирования воды. Существующее положение с учетом воды на ирригационных системах еще не обеспечивает необходимой точности и оперативности, не говоря уже об автоматизации. Внутрихозяйственная сеть почти не оборудована какими-либо средствами учета воды. На половине пунктов учета воды имеются речные гидрометрические посты, учет воды на которых не оперативен и дает погрешность до 15—20% из-за неустойчивости участков каналов и переменного режима; водосливы в условиях заиления каналов дают погрешность до 10—15%.

Вода на ирригационных системах должна учитываться, регулироваться и распределяться водомерными сооружениями с водоучитывающими приборами и гидравлическими автоматами на постоянные расходы и горизонты. Необходимо, чтобы эти способы учета воды сочетались между собой и дополнялись электрическими и другими физическими средствами. Телемеханизация водораспределения станет возможной на базе гидравлической автоматизации.

Гидрометрическая лаборатория Института водных проблем и гидротехники АН УзССР занимается разработкой методов и средств гидравлической автоматизации.

Большинство работ лаборатории апробировано и внедрено в производство.

К широкому внедрению рекомендуются водомерные сооружения (водомерные приставки с регуляторами-водопусками, трубчатые регуляторы с сужением на выходе, водомерные пороги и др.), динамический расходоуказатель ДРС, а также гидравлические автоматы.

Настоящий сборник предназначен для использования проектными, строительными и эксплуатационными организациями при проектировании и строительстве как новых, так и реконструируемых ирригационных объектов (систем).

Помимо результатов исследований, мы даем практические рекомендации и указания, позволяющие применять предложения лаборатории непосредственно на ирригационных системах.

В дальнейшем будет продолжена доработка и усовершенствование средств гидравлической автоматизации. Намечены также исследования по разработке средств автоматизации учета и регулирования на напорных и лотковых системах, насосных и поливных агрегатах и в осушительно-дренажной сети.

В. Е. КРАСНОВ

ВОДОМЕРНЫЕ ПРИСТАВКИ КАК СРЕДСТВО АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА РАСХОДОВ ВОДЫ НА ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛАХ

Водомерные сооружения, или водомеры-регуляторы, являются наиболее удобным средством учета воды в условиях эксплуатации оросительных систем.

Такие сооружения обеспечивают оперативность в вододелении при достаточно высокой точности определения расходов и отвечают требованиям автоматизации производственных процессов в орошаемом земледелии.

К водомерам-регуляторам с автоматизированным учетом расходов воды посредством водоучитывающих приборов относятся:

- а) трубчатый водомер-регулятор с насадком в конце трубы (ТВР с насадком);
- б) трубчатый водомер-регулятор с кольцом сужения в трубе (ТВР с кольцом);
- в) парциальный водомер-регулятор Ф. И. Пикалова и В. Я. Поповой;
- г) водомерные приставки с регуляторами различного вида.

Расход воды, проходящей через перечисленные трубчатые водомеры-регуляторы и приставки, есть функция одной переменной, а именно, перепада давления, создаваемого местным сопротивлением. В первых двух водомерах местными сопротивлениями являются насадок или кольцо у выхода из трубы, в парциальном водомере и водомерных приставках — вход в трубу.

ОСНОВНАЯ СХЕМА, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ВОДОМЕРНЫХ ПРИСТАВОК И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Водомерная приставка представляет собой короткую трубу круглого или прямоугольного сечения длиной L_n от полутора до трех диаметров D или высот a сечения входа.

Плоскость входа может иметь с осью приставки прямой или острый угол. Первую мы назвали приставком с прямым входом, вторую — с косым.

Плоский затвор помещается у выходного сечения трубы приставки или относится в специальную шахту.

От водомерных сооружений с насадком и кольцом водомерные приставки отличаются отсутствием дополнительного сопротивления в трубе, незначительной длиной, сравнительно большой пропускной

способностью, отсутствием влияния характера истечения в нижний бьеф на водомерные свойства, конструктивностью, позволяющей использовать приставки для переоборудования существующих трубчатых и открытых сооружений в водомерные.

Принцип действия водомерной приставки следующий.

При прохождении воды через трубу приставки создается разность (перепад) давлений z_k в сечениях верхнего бьефа (большее давление) и за входом (меньшее давление). Эта разность давлений характеризует величину расхода, т. е. $Q = f(z_k)$.

Рассмотрим кинематическую картину движения воды в приставке, находящейся под напором верхнего и нижнего бьефов.

Поток у входа и в трубе приставки претерпевает сосредоточенную деформацию. При этом струйки воды, втекающей в трубу, искривляются под воздействием составляющих скоростей, формирующихся у входа.

На некотором расстоянии за плоскостью входа образуется сжатое сечение потока. За ним струя, расширяясь, заполняет все сечение трубы. В пространстве над сжатым потоком образуется „мертвая“ зона с вихревым движением жидкости.

Обтекание кромки входа с образованием сжатого потока и дальнейшее расширение его определяют основную долю потерь энергии. Незначительная доля невосстанавливаемых потерь обуславливается внутренним трением в жидкости и вращением вихрей в зоне над сжатым потоком. Эти потери определяют перепад давлений двух сечений: перед входом и в трубе приставки.

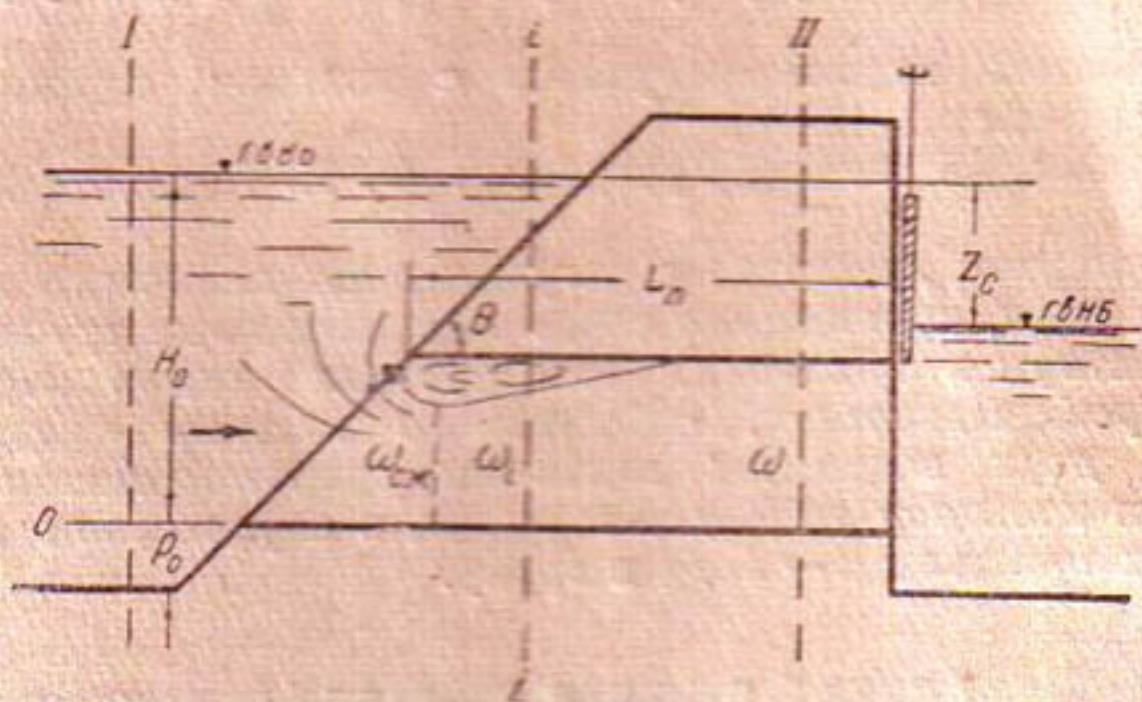


Рис. 1. Схема водомерной приставки с гидравлическими параметрами.

Установим зависимость между расходом воды и перепадом давлений в условиях затопленного истечения.

Принимая горизонтальное основание трубы за плоскость сравнения (рис. 1), напомним уравнение Бернулли, выбрав сечение I—I в верхнем бьефе перед входом и сечение i—i за сжатым сечением потока в трубе приставки, где струя несколько расширяется.

Ввиду того что в сечении i—i живое сечение потока имеет кривизну и средняя скорость наклонена к горизонтали, вместо коэффициента кинетической энергии α принимаем коэффициент α_1 , отражаю-

ший кривизну живого сечения потока и угол наклона средней скорости данного сечения. В указанном сечении линии токов имеют кривизну, следовательно, возникают центробежные силы в потоке, которые вызывают необходимость введения коэффициента потенциальной энергии, или коэффициента негидростатичности β , имеющего значение

$$\beta = 1 + k_{\text{ст}} \frac{v_i^2}{2g},$$

где $k_{\text{ст}}$ — кривизна струек потока.

В уравнение Бернулли для принятых сечений коэффициент α_i вводится как поправка к кинетической энергии и коэффициент негидростатичности β — к потенциальной энергии потока.

Уравнение Бернулли примет вид

$$H_0 = \beta \frac{p_i}{\gamma} + \frac{\alpha_i v_i^2}{2g} + h_{\text{пот}}. \quad (1)$$

Выразив скорость v_i в сечении $i-i$ через v в сечении трубы $II-II$, полностью заполненной потоком, из уравнения неразрывности $v_i \omega_i = v \omega$ получим

$$H_0 = \beta \frac{p_i}{\gamma} + \frac{\alpha_i v^2}{2g} \left(\frac{\omega}{\omega_i} \right)^2 + h_{\text{пот}};$$

здесь ω_i — сечение $i-i$ живого потока;

$\beta \frac{p_i}{\gamma}$ — величина давления в сечении;

$h_{\text{пот}}$ — основные потери напора в приставке.

Основные потери напора при прохождении жидкости через приставку состоят из потерь в отверстии, на расширение струи и трение по длине:

$$h_{\text{пот}} = h_{\text{отв}} + h_{\text{расш}} + h_{\text{дли}}.$$

Потери напора при обтекании кромки входа выражаем через скоростной напор в сечении $II-II$:

$$h_{\text{отв}} = \zeta_{\text{отв}} \frac{v_{\text{сж}}^2}{2g} = \zeta_{\text{отв}} \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{1}{\varepsilon^2}, \quad (2)$$

где $\zeta_{\text{отв}}$ — потери на сопротивление входа;

$v_{\text{сж}}$ — средняя скорость в сжатом сечении потока;

$\varepsilon = \frac{\omega_{\text{сж}}}{\omega}$ — коэффициент сжатия струи потока;

v — средняя скорость в сечении $II-II$ трубы приставки.

Потери напора при внезапном расширении потока от сжатого сечения к сечению $i-i$ равняются скоростному напору потерянной скорости и запишутся в виде

$$h_{\text{расш}} = \frac{(v_{\text{сж}} - v_i)^2}{2g},$$

или

$$h_{\text{расш}} = \left(1 - \frac{\omega_{\text{сж}}}{\omega_i} \right)^2 \frac{v_{\text{сж}}^2}{2g}.$$

Выразив скорость в сжатом сечении $v_{сж}$ через скорость v в сечении $II-II$, из уравнения неразрывности $\omega_{сж} v_{сж} = \omega v$ получим

$$h_{расш} = \left(1 - \frac{\omega_{сж}}{\omega_l}\right)^2 \frac{1}{\epsilon^2} \cdot \frac{v^2}{2g}. \quad (3)$$

Потери на трение по длине участка расширения определяются зависимостью

$$h_{длин} = \lambda \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (4)$$

где λ — коэффициент трения по длине;

l — длина участка расширения;

D — диаметр трубы приставки.

Подставляя полученные значения (2), (3) и (4) в уравнение (1), получим

$$H_0 - \beta \frac{p_l}{\gamma} = \frac{v^2}{2g} \left[\alpha_l \left(\frac{\omega}{\omega_l} \right)^2 + \zeta_{отв} \frac{1}{\epsilon^2} + \left(1 - \frac{\omega_{сж}}{\omega_l} \right)^2 \frac{1}{\epsilon^2} + \lambda \frac{l}{D} \right],$$

или

$$z_{1-l} = \frac{Q^2}{2g\omega^2} \left[\alpha_l \left(\frac{\omega}{\omega_l} \right)^2 + \zeta_{отв} \frac{1}{\epsilon^2} + \left(1 - \frac{\omega_{сж}}{\omega_l} \right)^2 \frac{1}{\epsilon^2} + \lambda \frac{l}{D} \right];$$

откуда

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\alpha_l \left(\frac{\omega}{\omega_l} \right)^2 + \zeta_{отв} \frac{1}{\epsilon^2} + \left(1 - \frac{\omega_{сж}}{\omega_l} \right)^2 \frac{1}{\epsilon^2} + \lambda \frac{l}{D}}} \omega \sqrt{2gz_{1-l}},$$

или

$$Q = k\omega \sqrt{2gz_{1-l}}; \quad (5)$$

здесь

$$k = \frac{1}{\sqrt{\alpha_l \left(\frac{\omega}{\omega_l} \right)^2 + \zeta_{отв} \frac{1}{\epsilon^2} + \left(1 - \frac{\omega_{сж}}{\omega_l} \right)^2 \frac{1}{\epsilon^2} + \lambda \frac{l}{D}}} \quad (6)$$

является коэффициентом расхода водомера приставки.

Из выражения (6) видно, что

$$k = f(\alpha_l, \omega_{сж}, \omega_l, \omega, \zeta_{отв}, \lambda). \quad (7)$$

Определить теоретически α_l , $\omega_{сж}$, $\zeta_{отв}$ для принятых видов приставок не представилось возможным. Величины α_l , $\omega_{сж}$, $\zeta_{отв}$ можно выразить через основные параметры приставки и потока жидкости. Тогда коэффициент k запишем в виде функции

$$k = f_1 \left(\theta^0, \gamma^0, \frac{H_*}{D}, \frac{H_{**}}{D}, \frac{l}{D} \right). \quad (8)$$

Зависимость коэффициента расхода водомера k от указанных основных параметров устанавливается экспериментально.

ВИДЫ ПРИСТАВОК, МЕТОДИКА И ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИИ

Для удобства изложения материалов лабораторных исследований и дальнейшего их использования при проектировании водомерные приставки мы разделили на три вида:

- 1) с косым входом круглого и прямоугольного сечения, имеющие угол наклона плоскости входа к оси трубы $\theta < 90^\circ$;
- 2) с прямым входом круглого и прямоугольного сечения ($\theta = 90^\circ$);
- 3) водомерные приставки с непараллельными боковыми стенками прямоугольного сечения с косым и прямым входом.

Лабораторные исследования проводили на моделях приставок, выполненных в масштабе $\frac{1}{3} \div \frac{1}{6}$ из коротких труб круглого или прямоугольного сечения длиной L_n от 1 до 3 $D(a)$. Здесь D — диаметр, a — высота сечения прямоугольной приставки.

Углы наклона входа изменялись соответственно заложениям откосов $m = 2,0 - 0,5$ в пределах $\theta = 23 \div 63^\circ$; для приставок с прямым входом угол $\theta = 90^\circ$.

Углы γ отклонения стенок от оси трубы у моделей приставок с непараллельными боковыми стенками составляли в одном опыте 12° , в другом — 18° .

Через модель пропускали воду, расход которой изменялся от $\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} = 4,5$ и определялся специальным протарированным мерником, причем погрешность его не превышала $\pm 0,5\%$.

Пьезометрические давления по потолку трубы модели за входом в нижнем и верхнем бьефах отбирали на батарею пьезометров.

Напоры со стороны верхнего бьефа в каждом опыте изменялись от $H_v = 1,3$ до 4 $D(a)$, а со стороны нижнего бьефа — от $H_n = 1,1 D(a)$ и более. Затвор имел четыре положения — 1, 0,75, 0,5 и 0,25 $D(a)$, причем истечение в нижний бьеф при закрытом затворе было как затопленным, так и свободным.

Коэффициент расхода водомера k подсчитывали по формуле (5)

$$k = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gz_k}},$$

где Q — расход воды;

ω — сечение трубы водомерной приставки;

z_k — перепад давлений между верхним бьефом и точкой отбора давления по оси потолка за входом.

Для экспериментального определения зависимости (8) мы провели лабораторные исследования водомерных приставок по ряду вопросов.

ИЗМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСХОДА ВОДОМЕРА k ПРИ $\theta = 45^\circ$ И 90° И РАЗЛИЧНЫХ γ ОТ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН

$$\frac{l}{D(a)}, \frac{H_v}{D(a)}, \frac{H_n}{D(a)}$$

Опыты проводили на моделях приставок перечисленных видов длиной 3 $D(a)$ и затвором, отнесенным в шахту на 0,7 $D(a)$ от выходного сечения.

Приставки с косым входом круглого и прямоугольного сечения, с соотношением сторон $b:a=1,5$ при $\theta=45^\circ$ и $\gamma=0^\circ$. Изменение коэффициентов расхода водомера k показано на рис. 2 а.

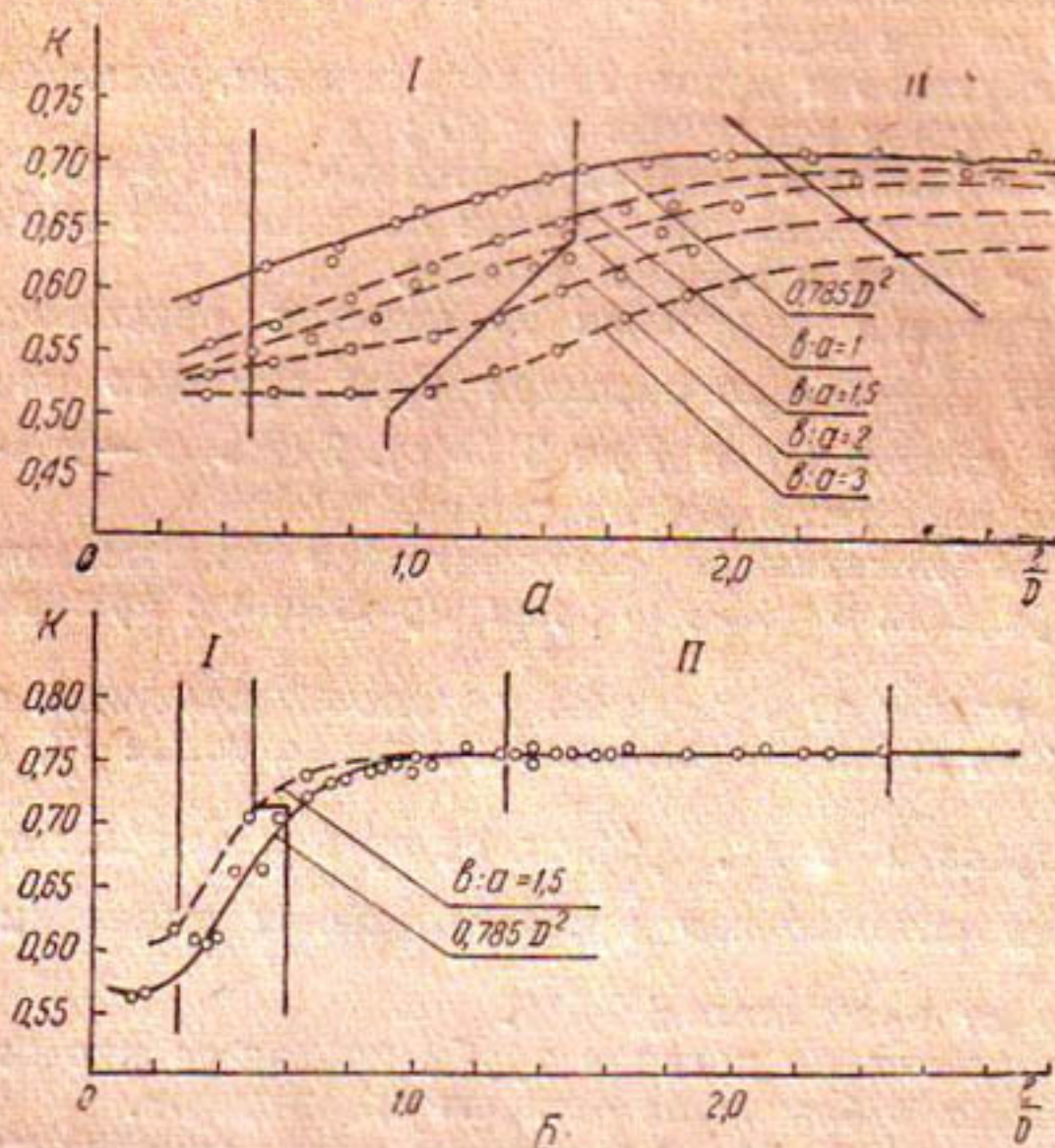


Рис. 2. Графики $K = f_1 \left(\frac{l}{D} \right)$ или $K = f_2 \left(\frac{l}{a} \right)$ для приставок круглого (прямая линия) и прямоугольного (пунктирная линия) сечения:
 $a - \theta = 45^\circ$, $b - \theta = 90^\circ$; I — зона с $K = f_1 \left(\frac{l}{D} \right)$ или $K = f_2 \left(\frac{l}{a} \right)$;
 II — зона с $K = \text{const}$

Для удобства выбора сечения за входом (отбор меньшего давления) график рис. 2 разбит на зоны I и II.

В первой зоне в интервале расстояния l от 0,5 до 1,5 $D(a)$ (отрезок трубы приставки), где происходит расширение сжатой за входом струи и восстановление давления, коэффициент расхода водомера k изменяется пропорционально относительному расстоянию сечения от входа и может быть представлен зависимостью для круглого сечения

$$k = 0,567 + 0,08 \frac{l}{D}, \quad (9)$$

$$\text{прямоугольного } (b:a=1,5) - k = 0,51 + 0,08 \frac{l}{a}. \quad (10)$$

Во второй зоне на расстоянии от острой кромки входа

$$\frac{l}{D} = (2,5 \div 3,0) D \text{ и } \frac{l}{a} = (2,75 \div 3,0)$$

величина коэффициента k постоянна.

Относительные величины $\frac{l}{D}$ и $\frac{l}{a}$ характеризуют расстояния от верхней кромки входа до сечения за входом, где отбирается меньшее давление (l — расстояние по потолку от входа до сечения).

Коэффициенты k , приведенные на рис. 2а, являются средними для определенных сечений при различных относительных величинах $\frac{H_v}{D(a)}$ и $\frac{H_n}{D(a)}$.

Опыты показали, что изменения

$$\frac{H_v}{D(a)} = 1,3 - 4,0 \text{ и}$$

$$\frac{H_n}{D(a)} = 1,1 - 2,0$$

не оказывают влияния на величину k (отклонения от среднего составляют $\pm 0,9\%$).

Приставки с косым входом прямоугольного сечения и соотношением сторон $b:a=1\div 3$ при $\theta=45^\circ$ и $\gamma=0^\circ$. В результате исследований моделей таких приставок нами получен график (рис. 2 а).

В первой зоне при $\frac{l}{a}=0,5$ и более коэффициенты расхода водомера k для приставок трех различных сечений могут быть представлены зависимостью

$$k = 0,51 + B \frac{l}{a}, \quad (11)$$

где B — угловой коэффициент прямой;

$k = f\left(\frac{l}{a}\right)$ зависит от соотношения сторон $b:a$.

Значения его приведены ниже:

$b:a$	1	1,5	2	3
B	0,1	0,08	0,05	0,01

Во второй зоне коэффициент k остается постоянным; он меняется численно (по величине) только в зависимости от соотношения $b:a$.

Из графика (рис. 2 а) видно, что с увеличением ширины отверстия приставки коэффициенты расхода водомера k , отнесенные к сечениям на одинаковом расстоянии от входа при различных $b:a$, уменьшаются. Это объясняется увеличением потерь давления на входе с переходом от квадратного к прямоугольному отверстию.

Приставки длиной $L_n = 2a$ с непараллельными боковыми стенками прямоугольного сечения и соотношением сторон $b:a=1\div 3$, косым входом при $\theta=45^\circ$ и $\gamma=12$ и 18° . Расположение боковых стенок приставки под углом к оси увеличивает пропускную способность.

В результате проведенных опытов установлено, что для углов отклонения $\gamma=12$ и 18° пропускная способность приставок не снижается при изменении соотношений сторон $b:a=1\div 3$. Полученные значения коэффициентов расхода водомера k приведены на графике рис. 3. Коэффициенты k отнесены к выходному сечению приставки.

На графике выделены зоны постоянного значения коэффициентов расхода водомера k . Эти зоны рекомендуется использовать для отбора меньшего давления, чтобы избежать влияния открытия затвора на коэффициент k , так как при $\gamma=12$ и 18° длина приставки должна быть равной $2a$.

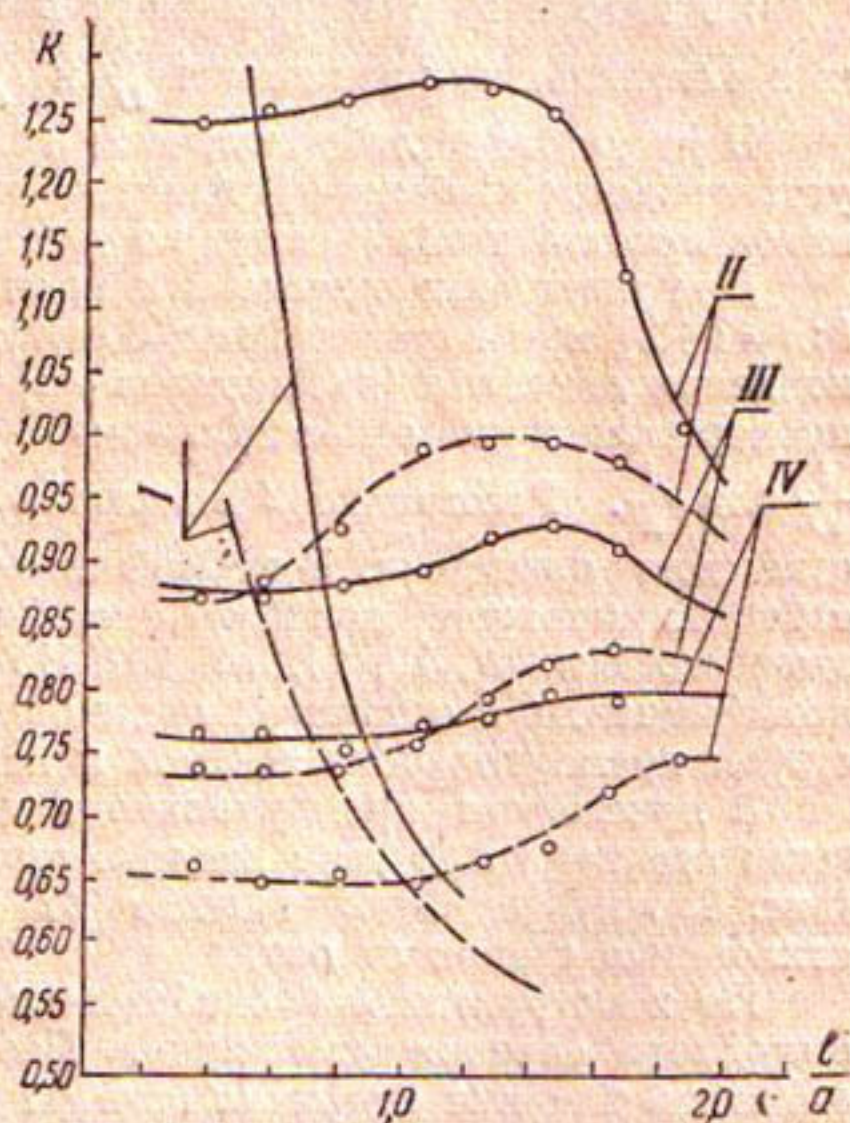


Рис. 3. График $K = f\left(\frac{l}{a}\right)$ для прямоугольных приставок при различных γ° (пунктиром для 12° , прямой линией для 18°) и $\theta = 45^\circ$: I — зоны $K = \text{const}$, II — $b:a=1$; III — $b:a=2$; IV — $b:a=3$.

Приставки с прямым входом ($\Theta = 90^\circ$) круглого и прямоугольного сечения и соотношением сторон $b:a=1,5$. Приставки с прямым входом могут быть круглого, квадратного или прямоугольного сечения.

Мы провели опыты на моделях круглого сечения двух масштабов при длине труб $2,5, 1,5, 1D$ и прямоугольного сечения с соотношением сторон $b:a=1,5$ и длиной трубы $L_n = 2,5a$.

Полученные значения коэффициентов расхода водомера показаны на рис. 2 б.

В первой зоне графика коэффициент расхода водомера изменяется пропорционально отношению $\frac{l}{D}$ или $\frac{l}{a}$ и может быть выражен зависимостью для круглого сечения приставки

$$k = 0,47 + 0,38 \frac{l}{D} \quad (12)$$

и для прямоугольного сечения с соотношением $b:a=1,5$

$$k = 0,52 + 0,38 \frac{l}{a} \quad (13)$$

Во второй зоне коэффициент k остается постоянным при различных относительных величинах $\frac{l}{D}$ и $\frac{l}{a}$ водомерных приставок.

В результате лабораторных исследований по первому вопросу установлено, что коэффициенты расхода водомера k у различных видов приставок изменяются по длине приставки.

Для приставок круглого и прямоугольного сечения (отношение $b:a=1 \div 3$) при параллельных боковых стенках ($\gamma=0^\circ$) в зоне восстановления давления (расширения струи) коэффициенты k изменяются пропорционально относительному расстоянию сечения от входа $\frac{l}{D}$ или $\frac{l}{a}$. Расстояние l масштабируется по диаметру или высоте отверстия приставки. В первой зоне (рис. 2, 3), где рекомендуется отбирать меньшее давление, коэффициенты k можно подсчитать по зависимостям (9, 10, 11, 12, 13). Во второй зоне тех же графиков коэффициенты k остаются постоянными для принятых соотношений сторон прямоугольного сечения и не зависят от диаметра трубы.

В приставках прямоугольного сечения с непараллельными боковыми стенками при угле наклона входа $\Theta = 45^\circ$ в зоне постоянного k (рис. 3) коэффициенты зависят от соотношения сторон и углов γ отклонения стенок от оси.

По конструктивным соображениям затвор можно поместить и у выходного сечения приставки. Поэтому возникает необходимость выяснить влияние открытия затвора на коэффициент k .

ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОТКРЫТИЯ ЗАТВОРА НА ВЕЛИЧИНУ КОЭФФИЦИЕНТА РАСХОДА ВОДОМЕРА k ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ДЛИНАХ ПРИСТАВКИ

Мы провели ряд опытов на четырех моделях приставок из круглых труб разной длины: $L_n = 0,67; 1,65; 2,15$ и $2,65D$ с углом наклона входа $\Theta = 45^\circ$.

Затвор помещали у выходного сечения приставки.

Установлено, что

а) изменение открытия затвора от $h_{\text{ш}} = 1 \div 0,25 D(a)$ оказывает влияние на коэффициенты расхода водомера k в зоне, примыкающей к затвору;

б) увеличение общей длины приставки вызывает удлинение зоны влияния открытия затвора на коэффициент k . Длина этой зоны пропорциональна расстоянию от входа до затвора и определяется примерной зависимостью

$$\frac{\Delta L_n}{D(a)} = 0,15 + 0,32 \frac{L_n}{D(a)} \quad \text{при } \theta = 45^\circ,$$

$$\frac{\Delta L_n}{D(a)} = 0,42 + 0,32 \frac{L_n}{D(a)} \quad \text{при } \theta = 90^\circ,$$

где L_n — длина приставки по потолку.

График изменения характера коэффициентов k в зависимости от длины приставки с косым входом ($\theta = 45^\circ$) и степени открытия затвора приведен в работе [12].

На основании проведенных исследований мы рекомендуем приставки с длиной трубы от 1,5 до 3 $D(a)$. В отдельных случаях длина приставки может быть меньше или больше указанных пределов. Для этих приставок с косым и прямым входом как круглого, так и прямоугольного сечения и соотношением сторон $b:a = 1 \div 3$ зона влияния щита должна приниматься равной диаметру или высоте отверстия.

Таким образом, если затвор располагается у выходного сечения приставки, то сечение за входом с меньшим давлением может находиться в пределах первой зоны (рис. 2,3).

Учитывая изменение коэффициента расхода водомера по длине приставки и влияние на его величину открытия затвора в пределах зоны, равной по длине одному диаметру или высоте прямоугольного отверстия, сечение для отбора меньшего давления за входом следует назначать в таких пределах:

Для приставок с затвором у выходного сечения трубы

$L_n, D(a)$	$l, D(a)$
1,5	$0,3 \div 0,5$
2	$0,5 \div 1,0$
3	$0,5 \div 1,5$

Для приставок с затвором, отнесенным в шахту

$L_n, D(a)$	$l, D(a)$
1,5; 2	$0,5 \div 1,0$
3	$0,5 \div 1,5$
	$2,5 \div 2,75$

В каждом отдельном случае расстояние от входа до сечения с меньшим давлением назначается из конструктивных соображений в границах зон графиков.

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА РАСХОДА ВОДОМЕРА k ОТ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА НАКЛОНА ВХОДА θ

Существующие и проектируемые ирригационные каналы имеют различные заложения откосов. Водомерные приставки с косым входом можно заделывать в откосы таких каналов, поэтому необходимо установить влияние углов наклона входа θ , соответствующих заложениям $m = 0,5 \div 2,0$ на коэффициент k .

Опыты проводили на моделях приставок круглого ($D = 190$ мм) и прямоугольного ($b:a = 1,5$ при $a = 150$ мм) сечений с различным наклоном входа.

Давления за входом отбирали в нескольких точках по потолку, в том числе на расстоянии $l=0,5$ и $1,0 D(a)$ в зоне I расширения струи и $l=2,5 D(a)$ в зоне II, где давление в трубе восстановилось.

Значения k приводим на рис. 4.

Из рис. 4а для приставки круглого сечения видно, что k не изменяется от наклона входа в пределах $\theta=23\div65^\circ$ или заложения откоса $m=2\div0,5$ при $l=0,5$ и $1,0 D$.

У приставок прямоугольного сечения (рис. 4б) коэффициент k несколько изменяется от угла наклона входа. Если принять его неизменным при $m=1\div2$, то ошибка в значении k по углу θ составит $\sigma_{k(\theta)} = \pm 0,6\%$.

В случае отбора давления на расстоянии от входа $l \geq 2,5 D(a)$ для приставок длиной $L_n = 3 D(a)$ коэффициент расхода водомера k изменяется (рис. 4 в).

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА ИСТЕЧЕНИЯ В НИЖНИЙ БЬЕФ НА КОЭФФИЦИЕНТ РАСХОДА ВОДОМЕРА

Необходимым условием нормальной работы водомерной приставки является напорный (затопленный) режим истечения.

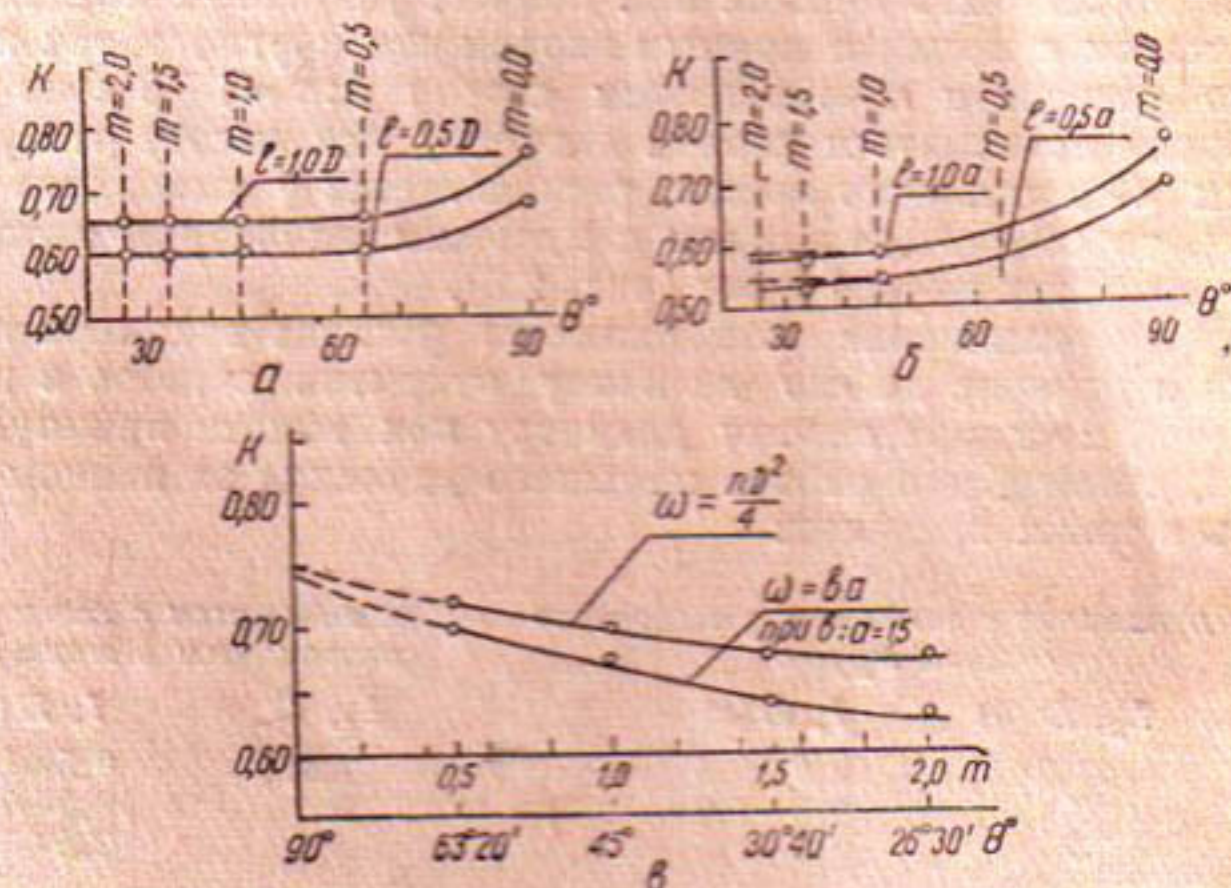


Рис. 4. Графики $K = f(\theta)$ для приставок круглого и прямоугольного сечения.

Исследования показали, что различные сопряжения струи, вытекающей из приставки в нижний бьеф, при затопленном или свободном истечении (из-под щита) не вызывают заметного изменения коэффициента расхода водомера.

Для обеспечения напорного режима в трубе приставки при пропуске максимального расхода достаточно превышение горизонта нижнего бьефа над верхом трубы на величину, равную половине действующего перепада системы. Работа приставки во время пропуска меньшего расхода со свободным истечением обеспечивается прикрытием затвора на четверть высоты отверстия.

Для приставки с затвором, отнесенным в шахту на расстояние $0,5\text{--}0,7 D(a)$, выходное сечение затопляется соответствующим положением затвора или созданием в верхнем бьефе определенного напора.

Выходное сечение трубы приставки в шахте с открытым затвором затопляется при напоре в верхнем бьефе, равном $H_b = (2,2-2,4) D$, что подтверждается литературными данными [4].

ТОЧНОСТЬ УЧЕТА ПРИБОРОМ РАСХОДА ВОДЫ, ПРОХОДЯЩЕЙ ЧЕРЕЗ ВОДОМЕРНУЮ ПРИСТАВКУ

Она зависит от погрешностей в определении составляющих формулы (5)

$$Q = k\omega \sqrt{2gz_k}.$$

Размеры отверстий труб приставок мы устанавливали с точностью $\pm 0,2$ мм, отсчеты давлений по пьезометрам записывали с ошибкой $\pm 0,5$ мм.

На основании данных опытов для определения погрешности коэффициента расхода водомера составлены ведомости, в которых подсчитаны средние значения коэффициентов k , полученные при изменении расходов в диапазоне 3—4 и четырех положениях затвора.

Средняя квадратичная относительная погрешность k определялась по зависимости

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n-1}} \cdot \frac{100}{k_{\text{ср}}} \%,$$

где $k_{\text{ср}}$ — среднее значение коэффициента расхода водомера, равное

$$k_{\text{ср}} = \frac{\sum k_i}{n};$$

Δ — отклонение от среднего значения k в каждом отдельном опыте;

n — число опытов в каждой ведомости.

Средняя квадратичная относительная погрешность в определении коэффициента k для приставок круглого сечения трубы с углом наклона входа $\theta < 90^\circ$ составила $\sigma'_k = (1,4 \div 1,5) \%$ и углом $\theta = 90^\circ$ — $\sigma''_k = (2,1-3,5) \%$; для приставок прямоугольного сечения трубы с углом наклона входа $\theta < 90^\circ$ $\sigma'''_k = (3,3-3,4) \%$ и с углом $\theta = 90^\circ$ $\sigma'''_k = (2,8-3,5) \%$.

Указанные величины погрешностей включают в себя ошибки в определении коэффициента расхода водомера k , вызываемые условиями опыта (отсчеты показаний пьезометров, мерника), а также различным открытием затвора, изменением напоров, наличием или отсутствием порога на входе при $\theta = 90^\circ$.

Если принять погрешность в коэффициенте k максимальной и равной $\sigma_k \pm 3,5\%$, тогда общая погрешность при нахождении величины расхода воды на сооружении с водомерной приставкой будет

$$\sigma_{\text{соор}} = \sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_{k(\omega)}^2 + \sigma_{\text{приб}}^2} = \sqrt{3,5^2 + 1^2 + 2^2} = \pm 4\%.$$

В общую погрешность сооружения входит также погрешность в расходе, вызываемая строительной ошибкой или ошибкой в замере площади сечения трубы приставки ω , равная $\sigma_{k(\omega)} = \pm 1\%$, погрешность в определении расхода водоучитывающим прибором, составляющая для ДРС-60 $\sigma_{\text{приб}} = \pm 2\%$.

Таким образом, ошибка при установлении величины расхода воды приставкой не превышает нормативной погрешности учета оросительной воды на ирригационных системах ($\pm 6\%$).

ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСХОДА СИСТЕМЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПРИСТАВОК

Коэффициент расхода системы зависит от потерь напора при прохождении воды через трубу сооружения или приставки.

Различные формы входа и сечения приставок, а также различие конструктивных схем компоновки приставок с сооружениями являются причинами, определяющими размеры потерь, а следовательно, и коэффициентов расхода системы.

При расчете пропускной способности водомерных сооружений с водомерными приставками по общей формуле расхода воды в трубах с затопленным истечением

$$Q = \mu_c \omega \sqrt{2gz_c}$$

необходимо знать коэффициент μ_c .

Нами экспериментально получены значения коэффициентов расхода системы μ_c для различных видов водомерных приставок в компоновке с открытыми или трубчатыми регуляторами.

Для приставок круглого и прямоугольного сечения при соотношении сторон $b:a=1,5$ коэффициенты представлены на графиках рис. 5 а, б.

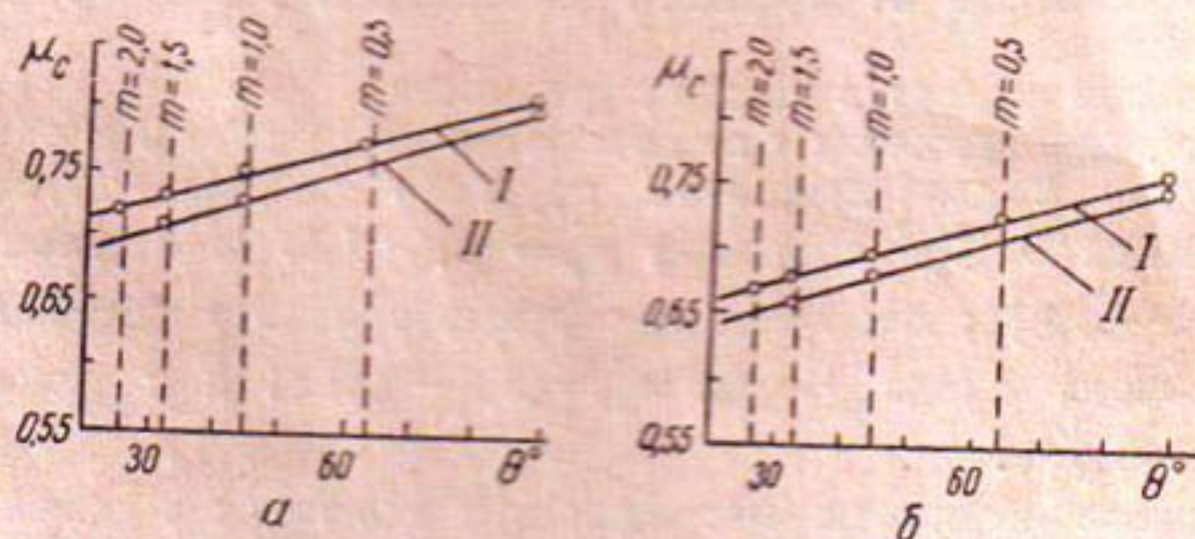


Рис. 5. Графики $\mu_c = f(\theta)$ для приставок круглого и прямоугольного сечения.

а — без щитовой шахты (с открытым регулятором без перепада); б — с щитовой шахтой (с трубчатым регулятором без перепада); I — $\omega = \frac{\pi D^2}{4}$; II — $\omega = b \cdot a$ при $b:a=1,5$.

На графике рис. 5а приведены значения коэффициентов μ_c при различных углах наклона входа θ для конструктивной схемы приставки без шахты, т. е. для приставки с открытым регулятором.

На рис. 5б значения коэффициентов даны при различных θ и в конструктивной схеме приставки с шахтой, т. е. приставки с трубчатым регулятором при длине трубы за шахтой порядка 6—8 D (а).

У приставок с шахтой и трубой регулятора потери возрастают, что приводит к некоторому снижению μ_c (5—6%).

Указанными графиками можно пользоваться при нахождении коэффициентов расхода системы приставок как самостоятельных

сооружений типа открытых регуляторов, так и приставок в различных конструктивных схемах с другими сооружениями (переездами, сопрягающими сопряжениями и др.).

Для приставок прямоугольного сечения с соотношением сторон $b:a = 1:3$, параллельными и непараллельными боковыми стенками ($\gamma = 12-18^\circ$) и углах наклона входа $\theta = 45^\circ$ значения коэффициентов расхода системы приведены на рис. 6 а, б.

Рис. 6 а отражает изменение коэффициента μ_c при различных $b:a$, γ для приставок без шахты, и на рис. 6 б — для приставок с шахтой и трубой регулятора длиной $6-8 D(a)$.

Если сечение трубы приставки в $1,4-1,6$ раз меньше сечения трубы регулятора за шахтой (ширина $0,5-0,7$ м), коэффициент расхода системы несколько увеличен в отличие от коэффициента расхода системы для одинакового сечения трубы приставки и регулятора.

При таком сочетании приставки и трубы регулятора потери в шахте очень малы, так как поток, несколько расширившись, проходит ее и попадает в трубу большего сечения.

В расчетах увеличение μ_c можно не учитывать.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ВОДОМЕРНЫХ ПРИСТАВОК С ВОДОУЧИТЫВАЮЩИМ ПРИБОРОМ

По разработанным институтом „Узгипроводхоз“ конструкциям трубчатых перепадов с водомерной приставкой (рис. 7) в совхозе „Фархад“ в Голодной степи на машинном канале построено 15 сооружений в головах напорных трубчатых распределителей.

Перед шахтой с затвором установлен водомерный колодец, соединенный отверстием в дне с приставкой в выбранном сечении отбора меньшего давления за входом на расстоянии l и трубой $d = 140$ мм с верхним бьефом.

На всех водомерах-регуляторах канала М-2 меньшее давление отбирается во второй зоне, поэтому коэффициент расхода водомера k (рис. 2) равен $0,685$ для $\theta = 33^\circ$.

При известном коэффициенте k и диаметре трубы по учетной формуле (5)

$$Q = k\omega \sqrt{2gz_k}$$

составлена расходная шкала циферблата для динамического расходоуказателя (ДРС-60).

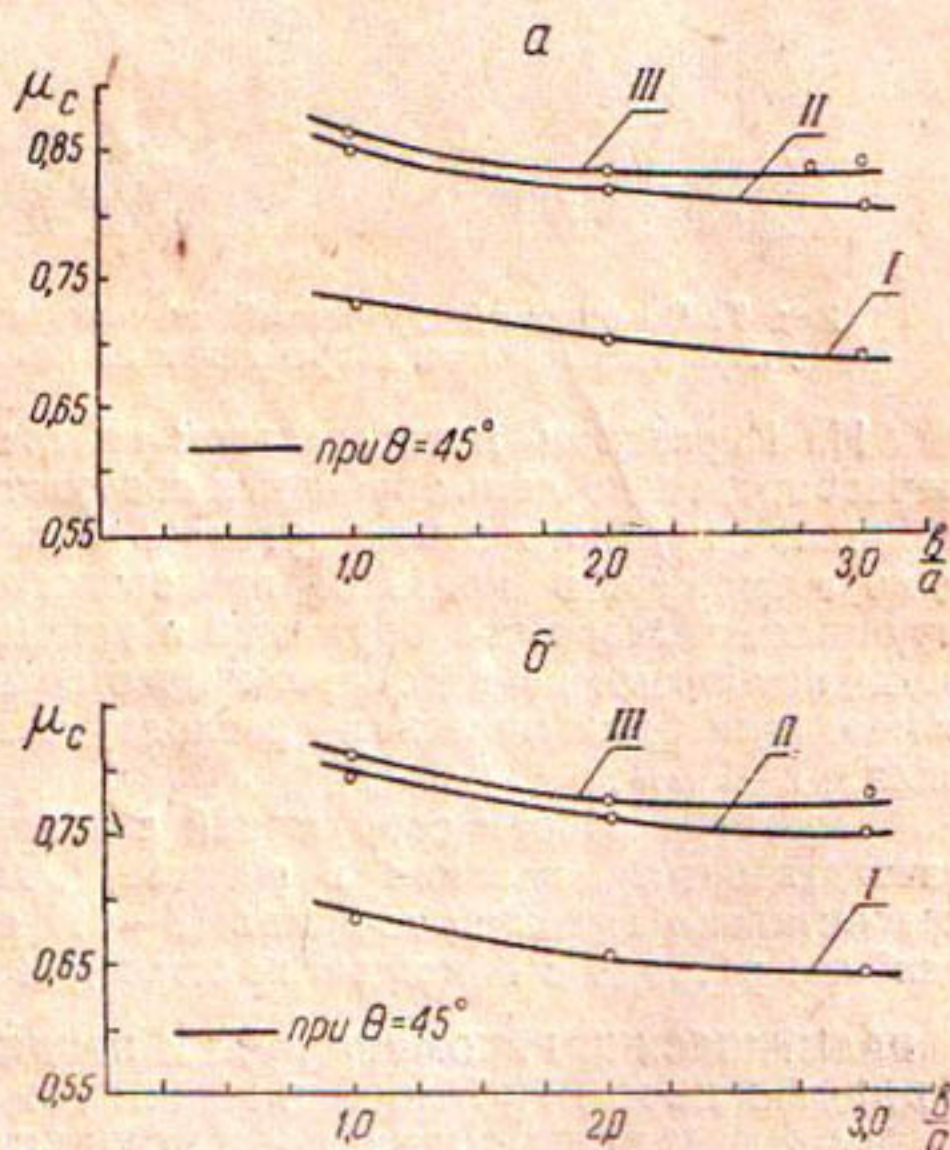


Рис. 6. Графики $\mu = f_0 \left(\frac{b}{a} \right)$ для приставок прямоугольного сечения при различных γ° и $\theta = 45^\circ$.

а — без шахты (с открытым регулятором без перепада); б — с шахтой (с трубчатым регулятором без перепада); I — $\gamma = 0^\circ$; II — $\gamma = 12^\circ$; III — $\gamma = 18^\circ$.

Расходы воды, подаваемой в напорные распределители, устанавливали прибором и проверяли контрольными замерами трехкратной повторности вертушкой системы Бахирева или Жестовского.

Общая погрешность в определении расходов воды приборами, установленными на описанных отводах, не превышает $\pm 3-4\%$.

Автоматизированный учет расходов по отводам канала М-2 позволил в 1960 г. провести балансовые замеры по всему каналу с целью определения потерь и коэффициента полезного действия участка канала, облицованного железобетонными плитами (9 км), и канала, проходящего в земляном русле (9 км).

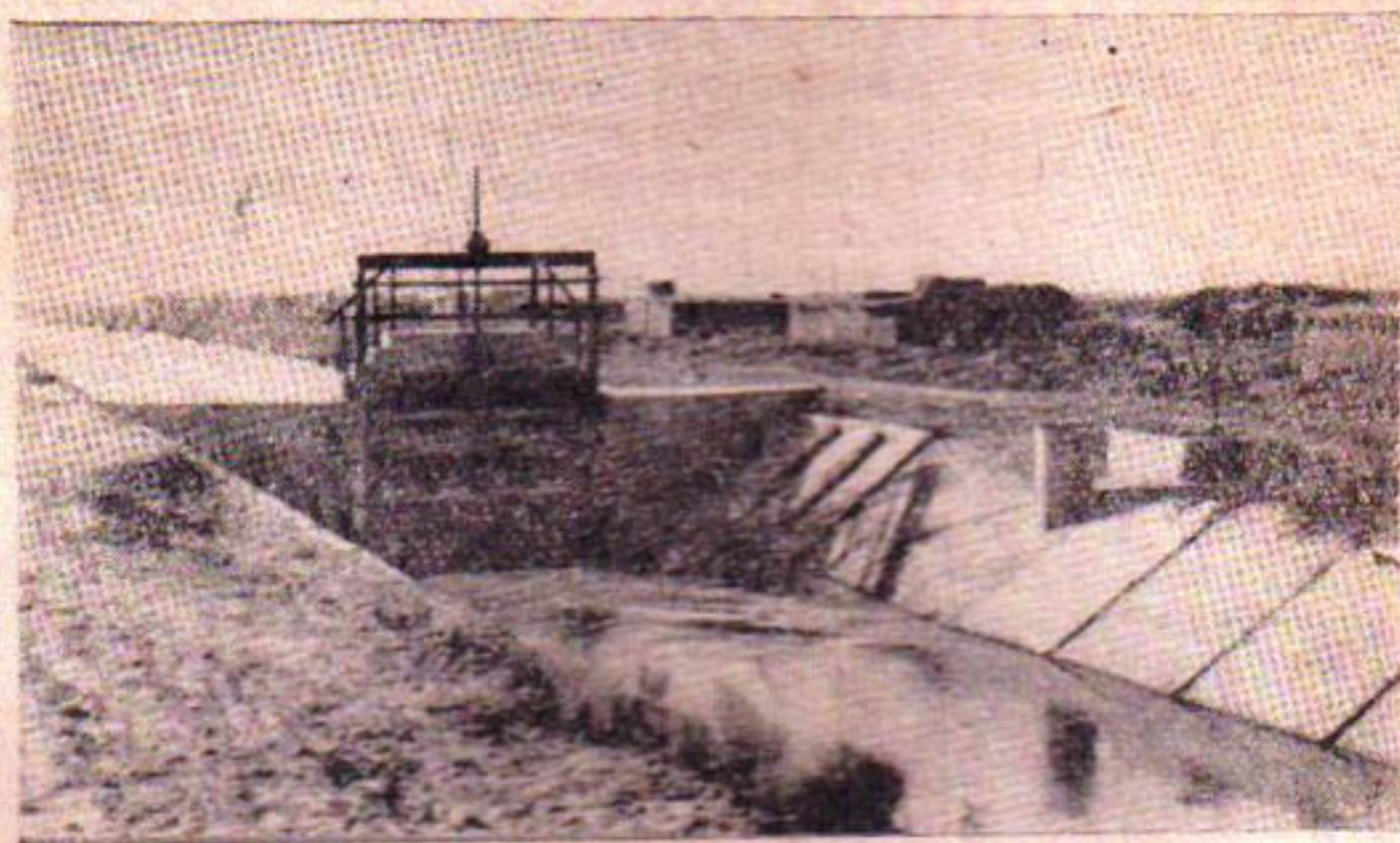


Рис. 7. Водомерный трубчатый водовыпуск в напорный трубопровод с перегораживающим сооружением на канале М-2 совхоза Фархад.

На Кировском магистральном канале в Голодной степи в 1960 г. переоборудовано семь трубчатых сооружений в водомерные с помощью приставок круглого и прямоугольного сечения с прямым входом. Это дало возможность провести производственные исследования работы крупных водомерных сооружений и установить точность учета расхода воды приборами на водомерных приставках. Расхождения в расходах, замеренных динамическим расходоуказателем и вертушкой, составили $\pm 2-2,5\%$.

Проверка работы сооружений с водомерными приставками в производственных условиях в совхозе „Фархад“ и на КМК показала сравнительно высокую точность (3—4% от истинного расхода) в определении расхода с помощью приставок и приборов.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ВОДОМЕРНЫХ ПРИСТАВОК С РЕГУЛЯТОРАМИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВЫХ И ПЕРЕОБОРУДОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ В ВОДОМЕРНЫЕ

Приставки различных видов круглого или прямоугольного сечения могут быть использованы как для проектирования новых сооружений (водомеров-регуляторов), так и для переоборудования существующих открытых и трубчатых регуляторов в водомерные на расходы воды от 0,5 до 3,0 м³/сек.

Приставка с водоучитывающим прибором в колодце представляет собой водомерный узел при входе открытого или трубчатого сооружения, обеспечивающий автоматизированный учет расхода воды.

Ниже приводятся описания отдельных конструктивных схем водомерных приставок с открытыми и трубчатыми сооружениями и данные, необходимые для их расчета.

Водомерная приставка круглого или прямоугольного сечения с открытыми регуляторами (ВПОР). Сооружения этой группы состоят из короткой трубы приставки длиной от 1,5 до 3 $D(a)$, щитового устройства и водобоя или перепада. Длина трубы прямоугольной приставки с непараллельными боковыми стенками равна $2a$, наклон входа $\theta < 90^\circ$ или $\theta = 90^\circ$.

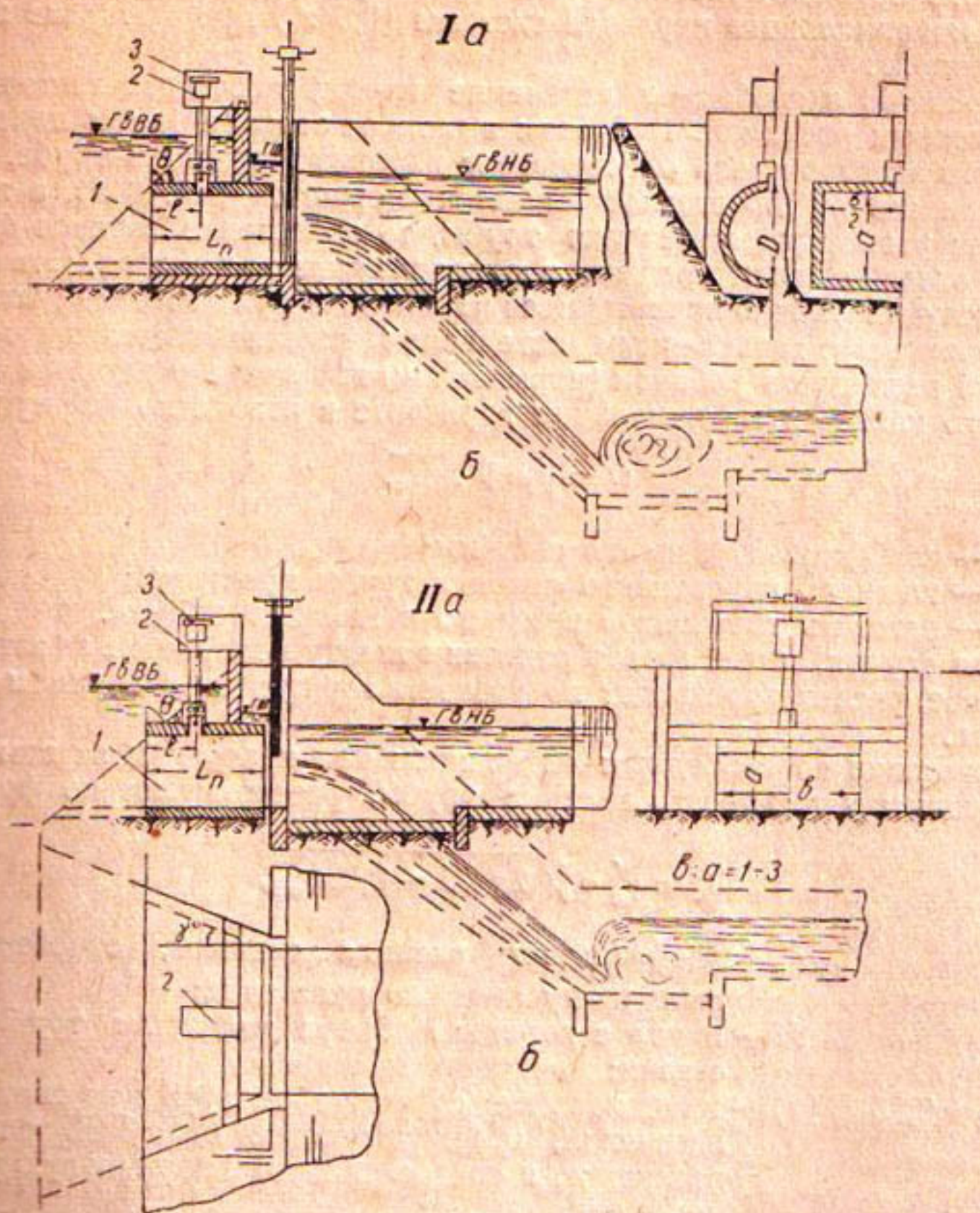


Рис. 8. Водомерные приставки с открытыми регуляторами:

I, IIa — без перепада; I, IIб — с перепадом; 1 — приставка; 2 — устройство для установки прибора; 3 — водоучитывающий прибор.

Затвор примыкает к выходному сечению трубы приставки или от него на расстояние 20—30 см и более по каким-либо кон-

структивным соображениям (ригеля плоского затвора с напорной стороны и др.).

Меньшее давление в трубе приставки за входом отбирается в первой зоне (рис. 2,3).

Разность давлений в верхнем бьефе и трубе за входом воспринимается прибором и преобразуется на шкале циферблата в расход воды.

Водомерная приставка может работать как с затопленным, так и со свободным истечением при прикрытом затворе.

Для нормальной работы водомерной приставки (рис. 8 а) без перепада необходимо, чтобы верхняя кромка входа была затоплена расчетным горизонтом верхнего бьефа на 20—25 см, а верхняя кромка выходного сечения приставки — на величину, равную половине принятого максимального перепада системы ($0,5 z_c$) при пропуске заданного расхода.

Возможно и свободное истечение из-под плоскости затвора при уменьшенных расходах. При этом выходное сечение трубы приставки прикрыто затвором, что обеспечивает напорный режим в трубе.

Если же за приставкой имеется перепад (рис. 8 б), а затвор помещен у выходного сечения трубы, то положение затвора фиксируется ограничителем подъема в определенном положении. Отверстие в этом случае должно прикрываться на 20—30% при расчетном расходе.

Приставка с затопленным истечением рассчитывается на максимальный расход при рабочем (нормальном) горизонте в верхнем бьефе старшего канала и максимальном горизонте в отводе по формуле

$$Q = \mu_c \omega \sqrt{2gz_c}, \quad (14)$$

где μ_c — коэффициент расхода системы;

ω — площадь внутреннего сечения трубы приставки;

z_c — разность горизонтов верхнего и нижнего бьефов.

Для случая, когда затвор отнесен в шахту и истечение за затвором свободное, расчет производят по разности горизонтов в верхнем бьефе и шахте.

Приставки со свободным истечением или перепадом за затвором, помещенным у выходного сечения трубы, рассчитывают по формуле

$$Q = \mu'_c \omega \sqrt{2g(H - 0,63h_{ш})}, \quad (15)$$

где

μ'_c — коэффициент расхода системы, отнесенный к выходному сечению приставки;

H — напор с верхнего бьефа над дном трубы приставки;

$h_{ш} = 0,75 D(a)$ — максимальное открытие затвора при свободном истечении, обеспечивающее напорный режим в приставке, а следовательно, и нормальную работу водомера.

Расход воды, проходящей через приставку и сооружение, учитывается по зависимости (5)

$$Q = k\omega \sqrt{2gz_k};$$

здесь k — коэффициент расхода водомера, отнесенный к выходному сечению трубы приставки;

Водомерные приставки круглого и прямоугольного сечения с открытыми регуляторами (ВПОР)

Сечение приставки	Угол наклона входа θ	Угол отклонения стенок от оси γ^0	Сопряжение с отводом	Расчетная формула	Расчетное отверстие $h_{ш}$	Коэффициент расхода системы для расчета сечения		Коэффициент расхода водомера*** k , приведенный на рисунке
						по графикам, μ_c	расчетный, μ'_c	
Круглое*	<90	—	Без перепада	14	D	$5a$	—	$2a$
	<90	—	С перепадом	15	$0,75 D$	—	$0,47$ при $\theta=45^\circ$	$2a$
	90	—	Без перепада	14	D	$5a$	—	$2b$
	90	—	С перепадом	15	$0,75 D$	—	$0,50$	$2b$
Прямоугольное* $b:a=1,5$	<90	0	Без перепада	14	a	$5a$	—	$2a$
	<90	0	С перепадом	15	$0,75 a$	—	$0,45$ при $\theta=45^\circ$	$2a$
	90	0	Без перепада	14	a	$5a$	—	$2b$
	90	0	С перепадом	15	$0,75 a$	—	$0,47$	$2b$
Прямоугольное* $b:a=1\div 3$	45	0	Без перепада	14	a	$6a$	—	$2a$
	45	0	С перепадом	15	$0,75 a$	—	$0,45\text{--}0,43$	$2a$
	45	$12\text{--}18$	Без перепада	14	a	$6a$	—	3
	45	$12\text{--}18$	С перепадом	15	$0,75 a$	—	$0,55\text{--}0,53$	3

Примечания.

* Схема сооружения приведена на рис. 8, Ia, б.

** Схема сооружения приведена на рис. 8, IIa, б.

*** Расходная формула водомера — (5).

z_c — водомерный перепад между верхним бьефом и сечением трубы в месте отбора меньшего давления.

Для удобства выбора и расчета приставок применительно к заданным условиям сопряжения их с открытыми сооружениями мы предлагаем табл. 1.

Водомерные приставки круглого или прямоугольного сечения с трубчатыми регуляторами (ВПТР). Приставку можно поместить перед затвором трубчатого регулятора. Доступ к затвору при ремонте или осмотре обеспечивается оставленным между приставкой и затвором пространством, превращающимся в шахту прямоугольного сечения. В эту шахту помещается затвор.

Форма входа, сечения и размеры приставок остаются теми же, какие приняты в компоновке с открытыми регуляторами.

Если затвор помещается в отдалении от выходного сечения трубы приставки (в шахте), то давление можно отбирать как в первой, так и во второй зоне (рис. 2—3). Выбор места отбора давления в этом случае зависит от конструктивных соображений.

Затвор может быть помещен у выходного сечения приставки, и тогда меньшее давление отбирается лишь в зоне I.

Разность давлений в верхнем бьефе и сечении приставки за входом воспринимается прибором, преобразующим ее в расход воды. На рис. 9 приведена схема сооружения, где приставка через шахту объединена с трубчатым выпуском (переездом) без перепада (а) или с перепадом любой конструкции (б).

Учет расхода воды на сооружении с приставкой и горизонтальной трубой обеспечивается при затопленном истечении в шахту.

В случае свободного истечения при наличии перепада напорный режим приставки обеспечивается прикрытием затвора или созданием соответствующего, порядка $2,5 D$ (а), напора H в верхнем бьефе.

Приставка рассчитывается на максимальный расход при рабочем (нормальном) горизонте в верхнем бьефе и максимальном горизонте в отводе при затопленном истечении в нижний бьеф.

В случае свободного истечения или истечения с перепадом расчет производится по горизонту воды в верхнем бьефе и шахте.

В расчетной формуле (14) при затопленном истечении z_c определяется как разность горизонтов верхнего и нижнего бьефов и при наличии перепада как разность горизонтов в верхнем бьефе и шахте.

Если затвор в шахте помещен у выходного сечения приставки, то пользуются формулой расхода (15) и затопление приставки при свободном истечении обеспечивается прикрытием затвора.

Расход воды, проходящей через приставку и сооружение, учитывается по формуле (5), в которой коэффициент k устанавливается по графикам в соответствии с видом приставки.

Форма и сечение приставки для трубчатого регулятора задаются в зависимости от конструктивных особенностей сооружения и условий сопряжения с отводом.

В табл. 2 приведены данные о расчетных формулах и коэффициентах расхода системы и водомера приставок различного вида. На основании этих данных подбираются и рассчитываются приставки с трубчатым регулятором. Численные значения коэффициентов устанавливаются по графикам.

Водомерная приставка для мелких сооружений с расходом 50—200 л/сек. Водовыпуски групповых и картовых оросителей на расходы 50—200 л/сек составляют наибольший процент водомерных сооружений на ирригационной сети.

Эти сооружения просты по конструкции и должны обеспечивать автоматический учет расходов воды.

Наличие водомеров на оросителях позволит подавать оросительную воду установленной нормой и контролировать ее использование, а также установить КПД оросителей на основе баланса поданной воды.

Для оснащения внутрихозяйственной сети предлагаем две схемы водомерных водовыпусков.

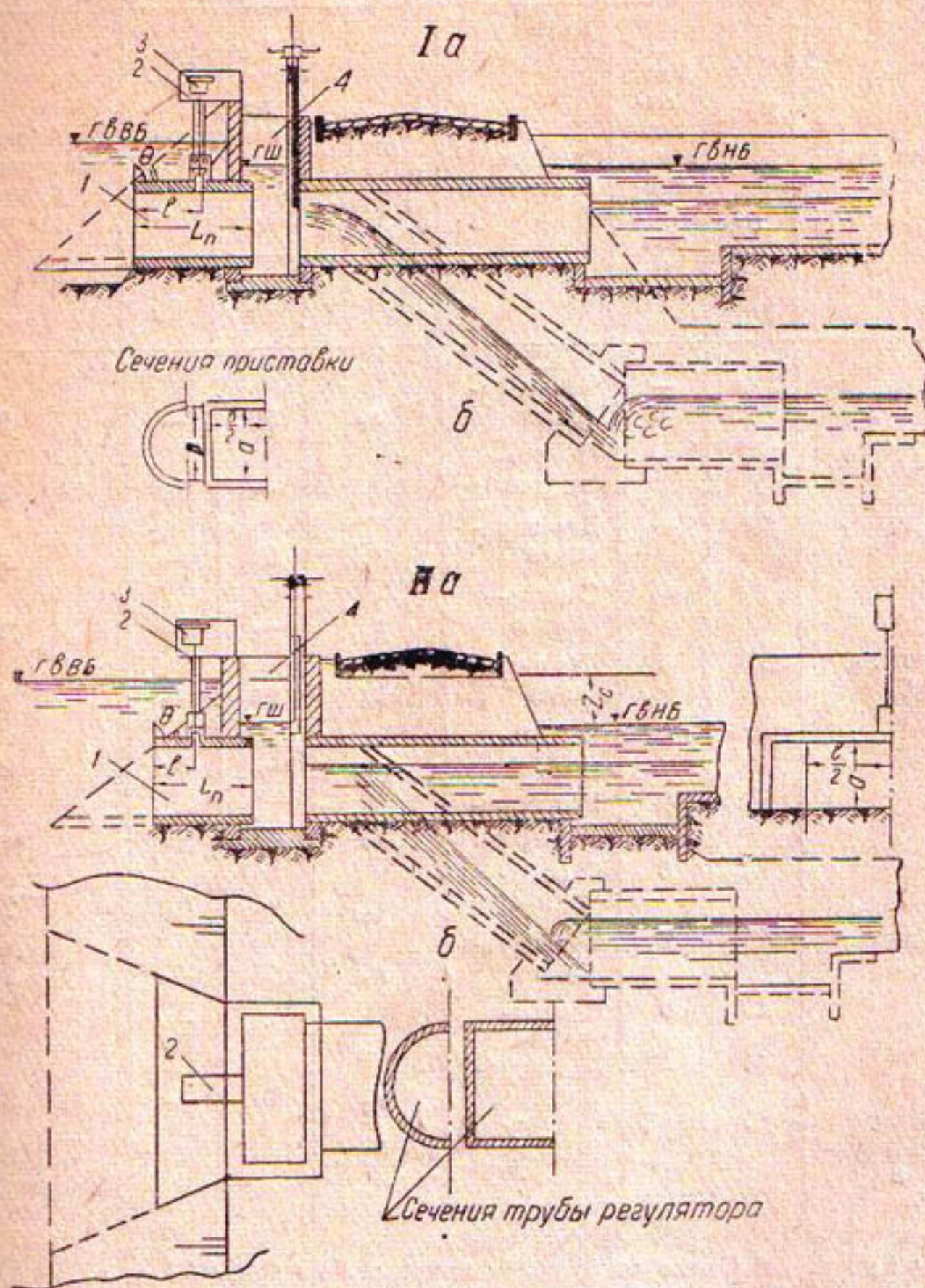


Рис. 9. Водомерные приставки с трубчатыми регуляторами:

I, IIa— без перепада; I, IIб— с перепадом; 1— приставка; 2— устройство для установки прибора; 3— водоучитывающий прибор; 4— шахта для затвора.

1. Водовыпуск с укороченной трубой, являющийся водомерным регулируемым цилиндрическим насадком; схема его приведена на рис. 9.

Такой водовыпуск состоит из вертикальной стенки и отрезка трубы круглого или прямоугольного сечения длиной полтора диаметра или полторы высоты отверстия с клапанным или клиновидным плоским затвором (водомерная приставка с прямым входом). Пропускную спо-

Таблица 2

Водомерные приставки круглого и прямоугольного сечения с трубчатыми регуляторами (ВПТР)

Сечение приставки	Угол наклона входа θ°	Угол отклонения стенки от оси γ°	Сопряжение с отводом	Расчетный перепад в формуле (14)	Коэффициент расхода системы по графикам для расчета сооружения		Коэффициент расхода водомера*** k , приведенный на рисунке
					μ_c	μ_m	
Круглое*	< 90	—	Без перепада	z_c	5б	—	2а
	< 90	—	С перепадом	z_m	—	5а	2а
	90	—	Без перепада	z_c	5б	—	2б
	90	—	С перепадом	z_m	—	5а	2б
	90	—	С перепадом	z_m	—	5а	2б
Прямоугольное* $b:a=1,5$	< 90	0	Без перепада	z_c	5б	—	2а
	< 90	0	С перепадом	z_m	—	5а	2а
	90	0	Без перепада	z_c	5б	—	2б
	90	0	С перепадом	z_m	—	5а	2б
	90	0	С перепадом	z_m	—	5а	2б
Прямоугольное* $b:a=1 \div 3$	45	0	Без перепада	z_c	6б	—	2а
	45	0	С перепадом	z_m	—	6а	2а
	45	12—18	Без перепада	z_c	6б	—	3
Прямоугольное $b:a=1 \div 3$ рас- трубом в плане**	45	12—18	С перепадом	z_m	—	6а	3

Примечания. * Схема сооружения приведена на рис. 9, I а, б.
 ** Схема сооружения приведена на рис. 9, II а, б.
 *** Расходная формула водомера — (5).

способность его рассчитываем по формуле (14), где коэффициент расхода системы $\mu_c = 0,75—0,80$.

Необходимым условием нормальной работы водомерного выпуска является затопление выходного сечения трубы на $0,5 z_c$ при полностью открытом затворе и максимальном расходе.

При меньших расходах затопление трубы обеспечивается прикры-

тием затвора и истечение в нижний бьеф из-под затвора может быть свободным.

Расход воды учитывается прибором *a*, расходная шкала которого разбивается по формуле (5), причем коэффициент расхода водомера α в указанной формуле принимается по графику рис. 2 б.

Меньшее давление на прибор отбирается в сечении на расстоянии $0,4 D(a)$ от входа в приставку.

Прибор-расходоуказатель может быть стационарным и переносным. При отсутствии прибора перепад давлений замеряется с помощью водомерной вилки (рис. 10 б) и расход определяется по таблицам, составленным специально для каждого стандарта трубы выпуска по формуле (5).

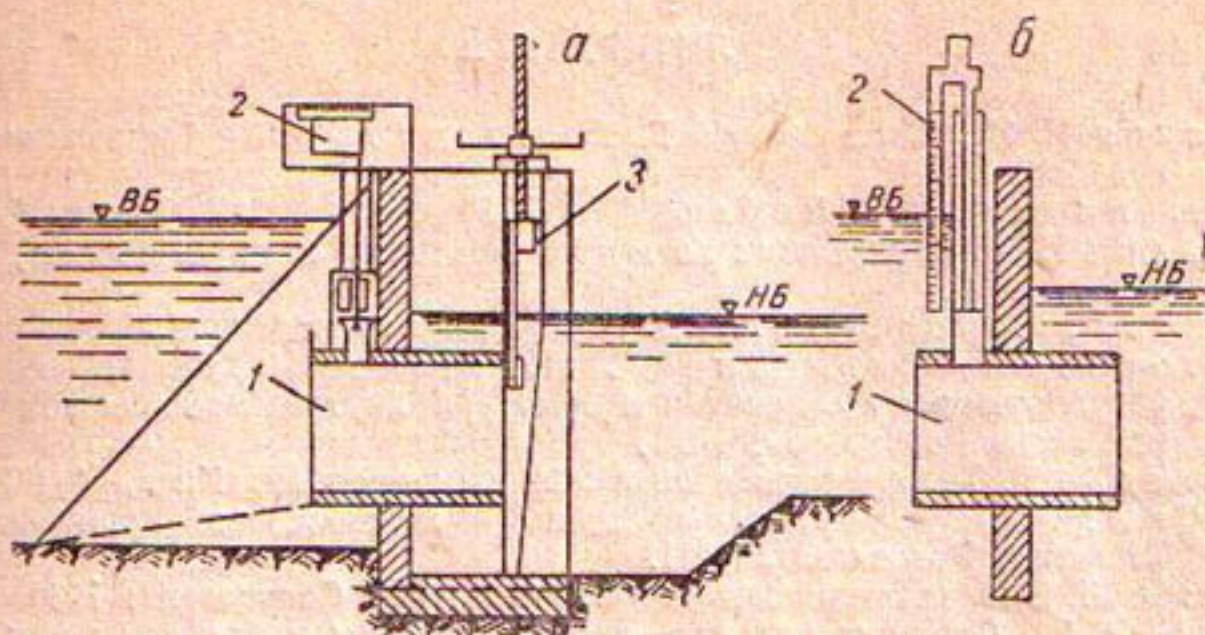


Рис. 10. Водовыпуск с укороченной трубой:

1—приставка; 2—водоучитывающий прибор; 3—затвор с клиновидными направляющими (а); 1—приставка; 2—водомерная вилка (б).

Водовыпуск в ороситель из звена трубы $L_n = 2-3$ м. В некоторых случаях для водовыпуска целесообразно использовать звено трубы круглого или прямоугольного сечения, которое укладывается под дамбой старшего оросителя (распределителя). Схема такого водовыпуска представлена на рис. 10.

Особенность конструкции составляет помещение затвора со стороны нижнего бьефа. Это очень удобно при эксплуатации сооружений с

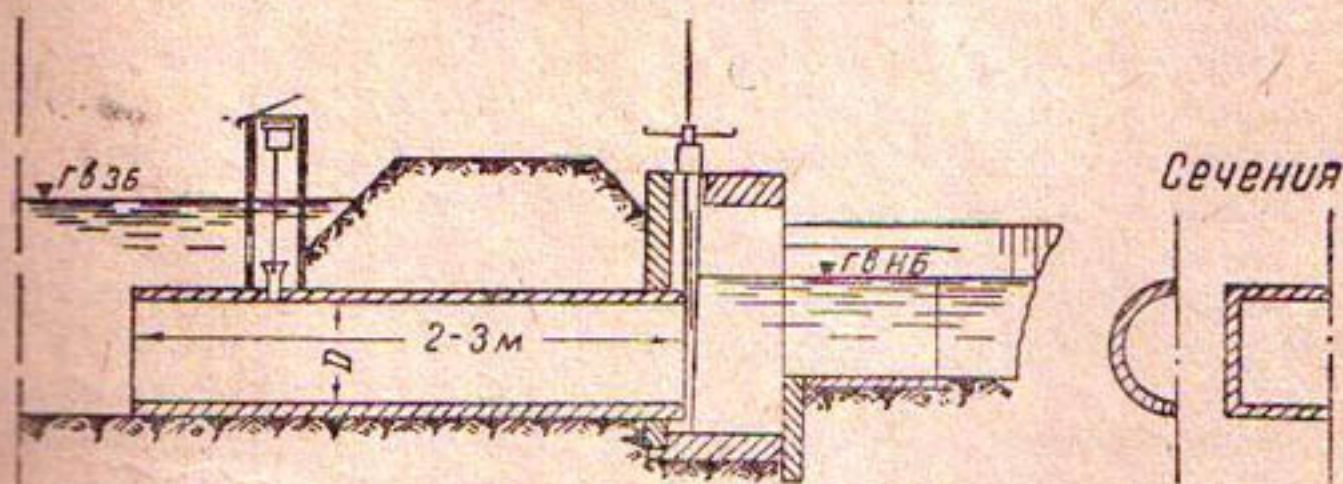


Рис. 11. Водовыпуск в ороситель типа водомерной приставки.

периодическим действием. Затвор доступен для осмотра и дает возможность устранять причины, вызывающие утечку (фильтрацию) в закрытом состоянии.

Пропускная способность водовыпуска рассчитывается по формуле (14), где коэффициент расхода системы $\mu_c = 0,73$ при полностью открытом затворе.

Водовыпуск работает как с затопленным истечением, так и со свободным при частично прикрытом щите (рис. 11).

Расход учитывается прибором автоматически.

Минусовое давление рекомендуем отбирать на расстоянии $l=0,5 D$ или $l=1,0 D$; значения коэффициентов расхода водомера для указанных точек представлены на рис. 2 а, б.

При отсутствии прибора расходы определяются с помощью водомерной вилки и таблиц, составленных для определенных стандартов труб по формуле (5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроскин И. И., Дмитриев Г. Т., Пикалов Ф. И. Гидравлика, Госэнергоиздат, 1954.
2. Латышенков А. М. и Лобачев В. Г. Гидравлика, М., Госстройиздат, 1956.
3. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям, Госэнергоиздат, 1960.
4. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам, Госэнергоиздат, 1950.
5. Пикалов Ф. И., Фолькович А. Я., Шаповалова О. В. Водомерно-регулирующие сооружения и арматура внутрихозяйственной оросительной сети, Сельхозгиз, 1951.
6. Смыслов В. В. Теория водослива с широким порогом, Киев, АН УССР, 1956.
7. Бутырин М. В. Водомеры для колхозной и межколхозной ирригационной сети, Ташкент, Узгосиздат, 1941.
8. Ярцев В. Н. Эксплуатационная гидрометрия, М., Сельхозгиз, 1951.
9. Попова В. Я. Сооружения для распределения и учета воды при орошении, М., Сельхозгиз, 1954.
10. Хамадов И. Б. Обтекание потоком обшивки затвора с различными очертаниями нижней части, В Сб. „Некоторые вопросы гидравлики, ирригации, горного дела и электроники“, Ташкент, АН УзССР, 1961.
11. Хамадов И. Б. „Изв. АН УзССР“, сер. техн. наук, 1961, № 2.
12. Краснов В. Е. Водомеры-регуляторы для внутрихозяйственной сети, Труды САНИИРИ, вып. 94, Ташкент, 1958.

В. Е. СТАРКОВСКАЯ

ТРУБЧАТЫЕ ВОДОМЕРЫ-РЕГУЛЯТОРЫ С СУЖЕНИЕМ (СОПРОТИВЛЕНИЕМ) В ВЫХОДНОЙ ЧАСТИ

Хорошая мелиорация орошаемых земель, получение высоких, устойчивых урожаев хлопчатника зависят в основном от планового водопользования, требующего подачи воды на орошение в нужном количестве и в указанные сроки. Таким образом, возникает необходимость учета воды, который должен быть оперативным и достаточно точным; важным условием быстрой подачи воды и ее распределения является наличие на каналах оросительной системы сети соответствующих сооружений, способных регулировать и учитывать расход воды. Сооружения подобного назначения — водомеры-регуляторы (водомерные выпуски), созданные в гидрометрической лаборатории Института водных проблем и гидротехники АН УзССР и рекомендуемые производству, проверены в эксплуатационных условиях.

В настоящей статье мы излагаем материал, обобщающий результаты исследований трех типов трубчатых водомеров-регуляторов с различными конструкциями водомерных устройств, вмонтированных в трубу в выходной части:

- 1) трубчатый водомер-регулятор с кольцом — ТВР с кольцом (рис. 1, I);
- 2) трубчатый водомер-регулятор с сужением типа Вентури (рис. 1, II);
- 3) трубчатый водомер-регулятор с потолочным сопротивлением в виде полуцилиндра — ТВР с полуцилиндром (рис. 2, размеры даны в см).

Трубчатые водомеры ТВР с кольцом и цилиндрикоконическим сужением типа Вентури исследованы в лаборатории и получили практическое распространение (на БФК, в Дальверзинской оросительной системе, на Кировском магистральном канале, на канале Джун и др.). Водомер ТВР с полуцилиндром по сравнению с ранее исследованными видами трубчатых водомеров является новым сооружением, так как имеет значительно больший коэффициент расхода системы, объясняемый обтекаемой формой сопротивления (меньший коэффициент гидравлического сопротивления).

Потолочное расположение цилиндра способствует свободному пропуску донных наносов, так как в месте установки сопротивления скорости принимают значительные величины. Все эти показатели определяют практическую ценность этого типа сооружения и позволяют рассчитывать на его широкое практическое применение.

В указанных трубчатых водомерах-регуляторах расход жидкости, протекающей через трубу, измеряется методом учета переменного

перепада давления воды. Поток в трубе, обтекая препятствие (сужение), вызывает переход части потенциальной энергии в кинетическую; при этом средняя скорость потока в суженном сечении повышается, и следовательно, давление в сечении становится меньше, чем перед сопротивлением. Разность этих давлений служит мерой расхода. Зависимость между расходом и перепадом давления можно получить, составив уравнение Бернулли для двух сечений — до сопротивления и в сопротивлении.

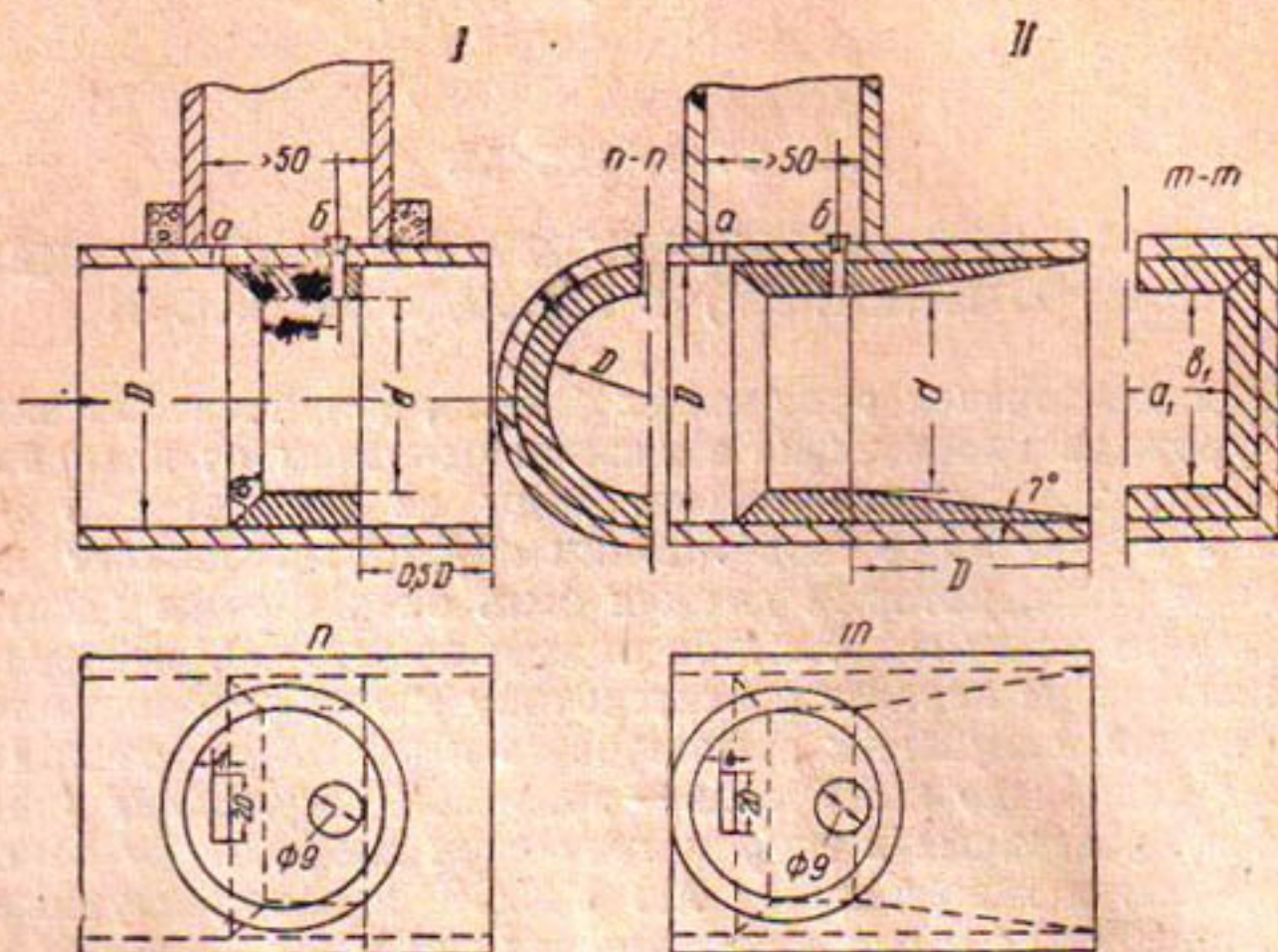


Рис. 1. Водомерное устройство на выходе трубчатого регулятора:
I — цилиндрическое кольцо; II — тип Вентури.

В результате преобразования получаем формулу для учета расхода воды

$$Q = k \omega \sqrt{2gz_k}, \quad (1)$$

где k — коэффициент расхода водомера;
 ω — площадь отверстия суженного устройства (сопротивления);
 z_k — перепад давления воды.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ

Трубчатый водомер-регулятор (любой из трех типов) состоит (рис. 2) из трубы выпуска δ длиной $L \geq 6-10 D$, оголовка со щитовым устройством δ , конструкция которого может быть любой; водомерного звена 4 , устанавливаемого в конце выпуска одновременно со строительством трубы или присоединяемого к существующему выпуску (на расстоянии $6-8 D$ от щитового устройства).

Водомер-регулятор ТВР с кольцом. Водомерное звено этого типа сооружения состоит из цилиндрического кольца, отверстий для отбора давлений и водомерного колодца, в котором устанавливается прибор, учитывающий расход. Кольцо является суживающим элементом, создающим перепад давления z_k в сечении a до

кольца и в сечении b в кольце. Кольцо состоит из цилиндрической части длиной $0,4d + 15$ см и входной конической части, образованной скосом в 45° . Рекомендуем размер кольца — $d = 0,67; 0,75$ и $0,81D$, где D — диаметр трубы выпуска.

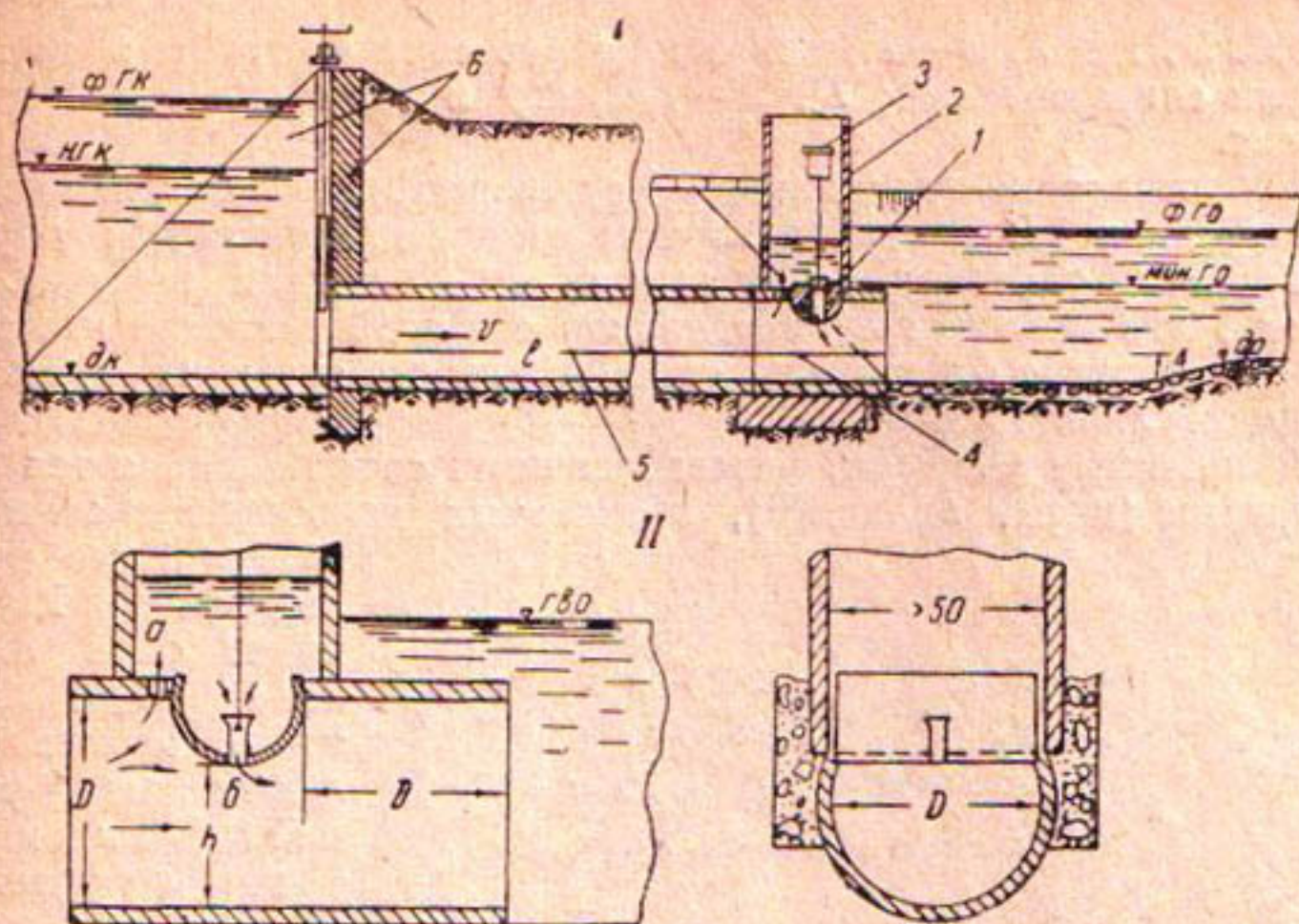


Рис. 2. Трубчатый водомер-регулятор с полуцилиндром: I — продольный разрез по оси сооружения; II — деталь водомерного устройства.

Кольцо должно находиться на расстоянии не менее $1D$ от выходной части трубы. Отверстие для отбора верхнего давления a оформляется в виде прямоугольной щели 20×4 см и располагается у начала конической части кольца.

Диаметр отверстия для отбора нижнего давления b принимаем равным 9 см из условия установки взаимозаменяемых приборов динамического расходоуказателя ДРС или счетчика-водомера СВН. Отверстие b находится на расстоянии $0,4d$ от начала цилиндрической части кольца. Диаметр кольца — d .

Водомер-регулятор ТВР с сужением типа Вентури. Водомерное звено этого типа сооружения в трубе квадратного сечения имеет сужение, отверстия для отбора давлений и водомерный колодец. Сужение состоит из входной части, образованной скосом в 45° , призматической средней части и выходной части в виде расходящегося насадка с углом 14° . Сужение образует перепад давления в сечениях до него и в призматической части (горловине). Степень сужения $m = \frac{\omega}{\Omega} = 0,5$.

Водомерное устройство заканчивается непосредственно на выходе из трубы.

Отверстие (щель 20×4 см) для отбора верхнего давления находится у начала сужения, для отбора нижнего давления $d = 9$ см — на расстоянии $0,4d$ от начала призматической части. Расход воды учитывается, как и в предыдущем случае.

Водомер-регулятор ТВР с полуцилиндром. Водомерное звено состоит из потолочного сопротивления в виде полуцилин-

дра 1, отверстий для отбора верхнего давления a и нижнего давления b водомерного колодца 2. Сопротивление-получилиндр образуется цилиндром диаметром d , врезанным на половину своего сечения в трубу выпуска D . Рекомендуемая величина сужения $m = \frac{\omega}{\Omega} = 0,7$, или $h = 0,63 D$, где h , ω — высота и площадь сечения трубы в месте установки сопротивления; D , Ω — диаметр и площадь сечения трубы выпуска.

Сопротивление-получилиндр — суживающий элемент, находящийся на расстоянии $1 D$ от выхода. Места отбора давлений для определения перепада определили опытным путем на модели выпуска. Установлено, что давление по продольной оси сопротивления распределяется симметрично относительно диаметрального сечения получилилиндра, перпендикулярного к v .

Различными учеными, исследовавшими сопротивление тел округлой формы (шара, цилиндра), обтекаемых движущейся жидкостью, найдено, что при малых числах Re происходит срыв ламинарного слоя, причем точка отрыва потока лежит на расстоянии 80° от передней точки сопротивления. Однако при возрастании Re точка срыва перемещается назад, достигая расстояния $110—120^\circ$ от передней точки сопротивления.

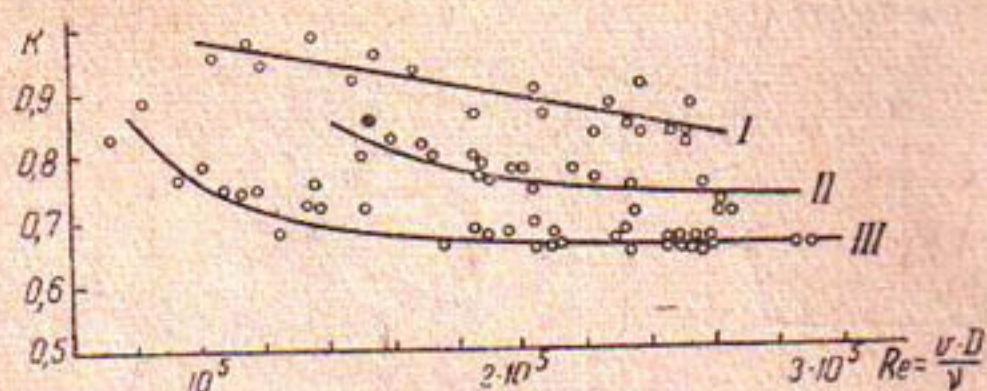


Рис. 3. Кривые зависимости коэффициента K от чисел Рейнольдса:

$I—m=0,96$; $II—m=0,85$; $III—m=0,70$.

Рекомендуемый тип сопротивления исследовался в довольно узкой области чисел Рейнольдса (в пределах квадратичной зоны). Минимальные значения $Re \approx 80\,000$, максимальные $\approx 300\,000$, что вполне охватывает рабочую зону перепадов давлений от $z_{\min} = 1$ см до $z_{\max} = 60—70$ см. Коэффициент водомера k для $m = 0,70$ постоянен (рис. 3) при $Re = 1,8 \cdot 10^5$, что соответствует перепаду $z_c = 4 \div 5$ см (в натуре).

Таким образом, нижнее давление отбирается в центре сопротивления, что удобно по конструктивным соображениям при монтаже и установке патрубка прибора. Необходимым условием для правильной работы водомера служит затопление с нижнего бьефа не менее $h = 2 \frac{v^2}{2g} + 0,15$ м над верхом трубы при минимальном расходе отвода и $h = 3 \frac{v^2}{2g} + 0,15$ м при максимальном расходе, где $\frac{v^2}{2g}$ — скоростной напор в трубе выпуска.

Расчет и установка сооружений. Основные размеры сооружения определяем по формуле пропускной способности

$$Q = \mu_c \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gz_c},$$

где μ_c — коэффициент расхода системы сооружения;

z_c — расчетный перепад в системе, равный разности отметок нормального горизонта воды в канале и форсированного горизонта воды в отводе;

$\frac{\pi D^2}{4}$ — площадь внутреннего сечения трубы.

Имея заданный расход ($m^3/сек$), z_c (m) и μ , находим требуемый диаметр трубы выпуска.

На графике $\mu = f(m)$ (рис. 4) приведены коэффициенты расхода системы для различных видов сопротивлений при соответствующих $m = \frac{\omega}{\Omega}$. Не исключена возможность использования описанных водомерных устройств с другим оголовком или другой длиной выпуска.

Зная величины потерь на вход, коэффициент трения по длине¹ и потери на сопротивление с учетом выхода из трубы (кривая $\zeta = f(m)$, рис. 5), определяем коэффициент расхода системы по формуле

$$\mu_c = \frac{1}{\sqrt{\zeta_{вх} + \lambda \frac{l}{d} + \zeta_{сопр}}},$$

где $\zeta_{вх}$ — потери на вход;

λ — коэффициент трения по длине;

l — длина трубы выпуска;

D — диаметр трубы;

ζ — потери на сопротивление плюс потери на выход.

Проходящую через сооружение воду учитываем по дифприборам 3, устанавливаемым в водомерном колодце. Рекомендуем расходоуказатель ДРС и счетчик стока СВН, выпускаемые заводом ирригационного приборостроения МВХ УзССР. При отсутствии приборов воду можно учитывать по разности уровней в отсеках колодца, который для этого разделяется временной водонепроницаемой перегородкой. Разность горизонтов в отсеках — перепад z_k .

Расход определяется по формуле

$$Q = k\omega \sqrt{2gz_k};$$

здесь k — коэффициент расхода водомера берется по кривой зависимости $k = f(m)$ (рис. 6);

$m = \frac{\omega}{\Omega}$ — степень сужения;

ω — площадь внутреннего суженного сечения трубы выпуска;

z_k — перепад давлений в сечениях a и b .

График на рис. 6 составлен на основании лабораторных исследований указанных водомерных устройств.

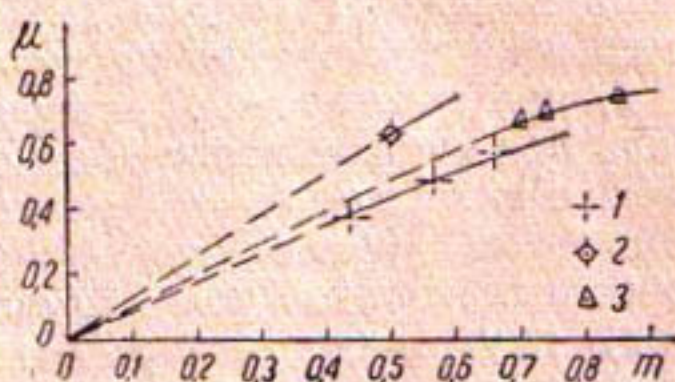


Рис. 4. Кривые зависимости коэффициента расхода $\mu = f(m)$ системы от m : 1 — ТВР с кольцом; 2 — сужение типа Вентури; 3 — получилиндр.

¹ П. Г. Киселев. Справочник по гидравлическим расчетам, М., 1950.

Трубчатые водомеры-регуляторы с сужающим устройством на выходе в виде кольца ТВР, типа Вентури и полуцилиндра выполняются по схемам рис. 1, 2.

При проектировании и устройстве трубчатых водомеров-регуляторов следует соблюдать следующие технические условия:

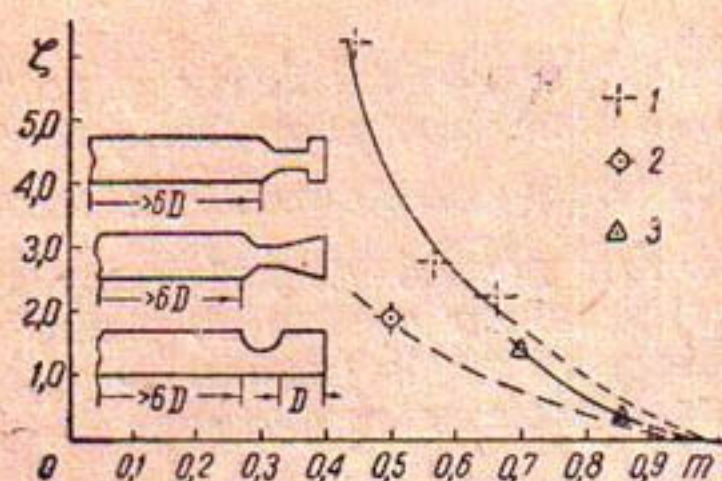


Рис. 5. Кривые зависимости коэффициента потерь $\zeta = f(m)$ от m (условные обозначения те же, что на рис. 4).

1) водомерное звено должно быть сделано из бетона или асбоцемента;

2) водомерный колодец изготавливается из асбоцементной или бетонной трубы с поперечным сечением, охватывающим оба отверстия; колодец должен быть водонепроницаемым.

Если приборы отсутствуют, то учет воды ведется по разности горизонтов в отсеках колодца, образующихся временной перегородкой;

3) конструкция оголовка и щитового устройства может быть любой;

4) необходимо, чтобы

а) величина прямолинейного участка трубы от щита до водомерного устройства (сопротивления) или перегиба трубы была не менее $6D$ в первом случае и $4D$ во втором;

б) длина участка трубы от сопротивления до выходного отверстия составляла $1D$ (для ТВР типа Вентури сопротивление заканчивается непосредственно на выходе из трубы);

в) при эксплуатации сооружения водомерное звено затоплялось с нижнего бьефа на величину не менее двух-трех скоростных напоров плюс 15 см ;

г) внутренняя поверхность водомерного устройства была гладкая, без выступов и раковин;

д) погрешность основных размеров d , h и D водомерного звена не превышала $0,01D$;

е) соблюдалась соосность в диаметрах труб и водомерного звена (расхождение не превышало $0,02D$);

ж) верхнее давление отбиралось через щель $20 \times 4\text{ см}$, расположенную непосредственно у конической части сопротивления или у начала полуцилиндра;

з) нижнее давление отбиралось через отверстие ($d = 90\text{ мм}$).

Отверстие располагается на расстоянии $0,4d$ от начала цилиндрической части кольца или в центре полуцилиндра.

Приводим пример расчета ТВР с полуцилиндром. Дано $Q_{\text{макс}} = 0,60\text{ м}^3/\text{сек}$, $Q_{\text{мин}} = 0,20\text{ м}^3/\text{сек}$; отметки в канале: фгк = 75, 10;

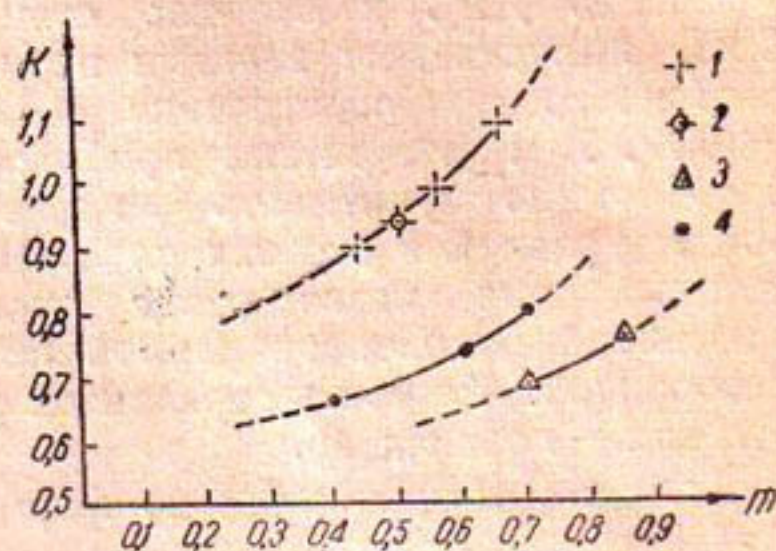


Рис. 6. Кривые зависимости коэффициента расхода водомера от m :

1—ТВР с кольцом; 2—сужение типа Вентури; 3—полуцилиндр; 4—диафрагма.

$z_{\text{гк}} = 74,70$; $z_{\text{дк}} = 73,0$; отметки в отводе: $z_{\text{фго}} = 74,35$; $z_{\text{мго}} = 73,9$; $z_{\text{до}} = 73,20$. Необходимый диаметр трубы выпуска находим из формулы

$$Q = \mu_c \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gz_c},$$

где μ — коэффициент расхода системы (рис. 4) при степени сужения $m = 0,70$, равной 0,68;

$$z_c = 74,70 - 74,35 = 0,35;$$

$$Q = Q_{\text{макс}} = 0,60 \text{ м}^3/\text{сек}; \text{ отсюда } D = 0,659 \text{ м.}$$

Принимаем стандартную асбоцементную трубу с внутренним диаметром $D = 0,672$ и площадью сечения $\Omega = 0,353 \text{ м}^2$. Для образования степени сужения $m = \frac{\omega}{\Omega} = 0,70$ подбираем в качестве сопротивления отрезок асбоцементной трубы и заделываем его перпендикулярно оси трубы выпуска (рис. 2) так, чтобы площадь суженной части стала $\omega = 0,7 \Omega$.

После определения основных размеров водомера-регулятора проверяем максимальный и минимальный водомерные перепады по формуле

$$Q = k \omega \sqrt{2gz_k}.$$

Принимая k — коэффициент водомера (рис. 6) при $m = 0,70$ равным 0,69; ω — площадь внутреннего сечения трубы в суженной части $= 0,247 \text{ м}^2$, получаем

$$z_{k \text{ макс}} = \left(\frac{0,60}{0,69 \cdot 0,247 \cdot 4,43} \right)^2 = 0,60 \text{ м};$$

$$z_{k \text{ мин}} = \left(\frac{0,20}{0,69 \cdot 0,247 \cdot 4,43} \right)^2 = 0,07 \text{ м.}$$

Эти значения z_k находятся в допустимых пределах нормальной работы водомера с прибором ДРС ($2 \div 60 \text{ см}$).

Отметка дна трубы выпуска назначается из условия затопления минимальным горизонтом отвода верха трубы.

По полученным данным в соответствии с конструктивной схемой рис. 2 составляются рабочие чертежи ТВР с полуцилиндром, строительство которого осуществляется с соблюдением указанных технических условий.

М. В. БУТЫРИН

ВОДОМЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ НА РАСХОД ОТ 2 ДО 20 м³/сек

Гидрометрическая лаборатория Института водных проблем и гидротехники АН УзССР в течение многих лет разрабатывает рациональные методы и средства учета и регулирования воды и к настоящему времени имеет законченные и апробированные предложения — водомерные сооружения и водоучитывающие приборы, комплексно механизмирующие учет воды и отвечающие требованиям дальнейшей их автоматизации вплоть до телемеханизации.

Указанные сооружения в основном предназначены для мелкой оросительной сети с расходами от 0,100 до 2,0 м³/сек. Вода в относительно крупных каналах (2—20 м³/сек) учитывается русловым способом, т. е. на гидрометрических постах с периодическими замерами расхода воды гидрометрической вертушкой и ежедневным учетом расходов воды по кривым зависимостям $Q = f(H)$. Этим методом можно пользоваться лишь на участках каналов с устойчивым (не изменяемым во времени) руслом вне влияния переменного подпора или спада уровня воды. В других случаях русловый метод учета воды допускает значительные погрешности (до 20—30%) или становится крайне трудоемким и неоперативным (ввиду введения поправок частыми замерами).

Разработка новых методов учета воды на каналах с расходами до 20 м³/сек, которые удовлетворяли бы требованиям автоматизации и телемеханизации учета и регулирования воды, является одной из первоочередных задач.

В данной статье мы приводим результаты исследований водомерных сооружений для оросительных каналов с расходом от 2 до 20 м³/сек.

К новой технике по учету и регулированию оросительной воды предъявляются определенные требования. Необходимо, чтобы

а) учет воды был механизирован, т. е. расход должен устанавливаться на месте с возможностью передачи на диспетчерский пункт (телеизмерение, телезадание). Для этого важно, чтобы водомерные сооружения и устройства (как первичная основа) учитывали воду в зависимости от одной переменной — напора H или перепада z ;

б) погрешность учета воды не превышала $\pm 6\%$;

в) сооружения и устройства работали как водомеры с малыми потерями напора, не вызывали больших подпоров воды в каналах, свободно пропускали наносы;

г) водомерные устройства работали достаточно точно при изменении расходов от $Q_{\min}$ до $Q_{\max}$ не менее, чем в 4—5 раз;

д) конструкции сооружений были экономичны, безотказны в работе и защищены от повреждений.

На каналах с расходами от 2 до 20 м³/сек возможны три метода учета воды.

I. Русловый метод.

II. Использование и приспособление (тарировка) построенных гидротехнических сооружений.

III. Специальные водомерные сооружения и устройства.

Русловый метод учета воды заключается в периодических замерах расхода воды гидрометрической вертушкой на гидрометрических постах (постоянном створе), составлении кривой зависимости $Q = f(H)$, по которой ведется учет воды по ежедневным или непрерывным (самописцы) регистрациям высоты уровня H .

Оборудование и устройство гидрометрических постов весьма просты и экономичны; поэтому они получили очень широкое применение не только на источниках (реках), где они наиболее приемлемы, но и на каналах ирригационных систем.

Учет воды на гидрометрических постах легко механизировать вплоть до телеизмерения, так как промышленностью выпускаются приборы, регистрирующие (лимниграфы, расходографы) и передающие (дальнопередатчики, дистанционные сигнализаторы ДСУ и др.) высоту уровня H , от которой и зависит расход воды.

Однако для ирригационных каналов, как это указывалось выше, подобный метод можно рекомендовать только для участков каналов с устойчивым руслом и вне влияния переменных во времени подпоров или спадов уровня воды.

На ирригационных каналах практически трудно подобрать нужные для гидрометрических постов участки, так как в большинстве они заиляются, размываются или же находятся в зоне переменного режима от нижерасположенных перегораживающих сооружений, подпруд и т. п. Поэтому русловый метод должен иметь ограниченное распространение и применяться в редких случаях.

Русловый метод можно улучшить созданием фиксированного (контрольного) русла.

Для этого участок русла по периметру закрепляется бетоном, камнем или другим подходящим материалом (иногда дно его приподнимается на 10—20 см).

Так обеспечивается устойчивость сечения участка от размыва или заиления, но не гарантируется сохранение зависимости $Q = f(H)$ от влияния переменного режима, возникающего от работы нижерасположенных сооружений, от зарастания или заиления канала. Следовательно, фиксированные русла необходимо применять при отсутствии переменного режима.

Примером фиксированного русла может служить водомерный пост с бетонным поясом для отмощенных каналов предгорных оросительных систем.

Пост (рис. 1) состоит из:

а) закрепленного булыжным камнем участка канала с приподнятым на 10—20 см дном длиной, равной девятикратной ширине по дну;

б) бетонного пояса 1 по периметру канала в виде трапецеидального зуба шириной сверху 0,75 м, снизу 0,15 м и высотой 0,40 м. На одном из откосов бетонного пояса находится прорезь, которая заделывается уголковым или полосовым железом, где остается только узкая щель 3 (0,5—1 см);

в) ковша с установленной на стойке уровнемерной рейкой или будки-колодца для прибора;

г) гидрометрического мостика 2, расположенного над поясом. Участок крепления обеспечивает постоянство условий подхода и слива потока на рабочем створе. Приподнятое дно способствует прохождению наносов через створ.

Благодаря бетонному поясу на рабочем створе получаем фиксированное сечение. Узкая щель в прорезе, через которую поток сооб-

щается с ковшом или будкой, поддерживает в последнем спокойный уровень воды даже при бурном режиме в канале.

Несколько примеров конструктивного оформления фиксированных (контрольных) русел дано в работе В. И. Чеботарева и А. З. Скуе.

Таким образом, русловый метод рекомендуется применять на транзитных (балансовых) пунктах и головных участках каналов, если невозможно использовать сооружения-регуляторы для учета воды.

Метод учета воды тарировкой существующих гидротехнических сооружений экономичен, так как не требует затрат на строительство сооружений, удовлетворяет многим из указанных требований. Разработаны в лаборатории и прове-

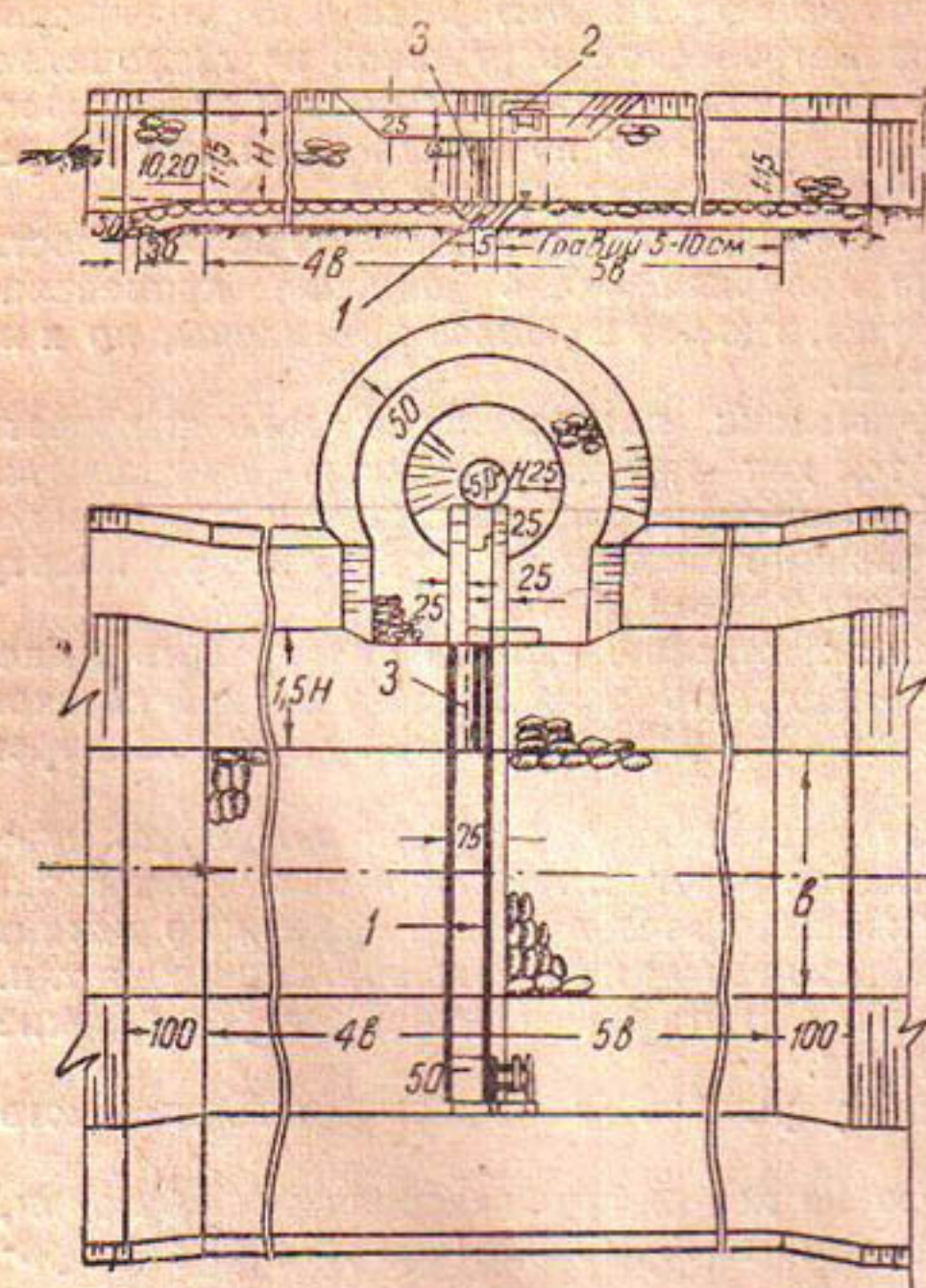


Рис. 1. Водомерный пост с бетонным пояском.

рены в производственных условиях способы тарировки мелких и сравнительно крупных гидротехнических сооружений.

Однако практически они не всегда применимы, так как учитывать воду протарированным сооружением сложно. Это затрудняет автоматизацию и телемеханизацию учета из-за необходимости определения расхода по нескольким переменным. Часто одно и то же сооружение работает в различных условиях истечения или подхода потока и др.

Таким методом следует пользоваться для учета воды, тарируя в первую очередь нерегулируемые сооружения со свободным истечением — перепады, быстротоки, консоли и т. п., в которых расход зависит от одной переменной, напора или глубины воды в верхнем бьефе H ; во вторую очередь — регулируемые сооружения со свободным истечением (шлюзы-регуляторы), перегораживающие сооружения, в которых расход воды зависит только от двух переменных — напора $H_в$ и высоты открытия затвора $h_{зп}$.

На регулируемых сооружениях с затопленным истечением, в которых расход $Q = f(H_n, H_n, h_{ш})$, а также на сооружениях, работающих в различных условиях истечения, автоматизация учета значительно затруднена, и пока нет рациональных приборов, решающих эту задачу. Телеизмерение трех величин также сложно и едва ли целесообразно.

Таким образом, необходимо было разработать технические средства более рационального метода учета воды водомерными сооружениями и устройствами.

Специальные водомерные сооружения и устройства можно подразделять по назначению на две группы.

I. Водомерные сооружения, находящиеся в пунктах, где не ведется регулировка расхода воды.

II. Водомеры-регуляторы или регуляторы с водомерными устройствами по учету и регулированию воды, используемые в местах, требующих объединения этих функций.

К первой группе водомерных сооружений относятся хорошо известные водосливы (Чипполетти, пропорциональные, Иванова) и лотки (Паршаля, Ярцева), однако применение их ограничивается по следующим причинам:

а) водосливы и лотки при работе со свободным истечением удовлетворяют требованию механизации и автоматизации учета воды, так как расход зависит только от одной переменной — напора H .

Но при этом водосливы создают в каналах большие подпоры воды, вызывающие выпадение наносов. Это снижает точность учета воды;

б) при затопленном истечении, когда подпор сравнительно невелик, на водосливах и лотках затруднена механизация учета воды; здесь расход зависит от нескольких переменных;

в) ввиду большого объема работ и материалов, сложности в конструктивном оформлении лотки для крупных каналов обходятся дорого.

Для каналов с расходами от 1,5 до 20—30 $\text{м}^3/\text{сек}$ мы предлагаем новое водомерное сооружение — водомерный порог.

Это сооружение рекомендуется в производство в результате многочисленных исследований в лабораторных условиях и апробации на производстве. К настоящему времени на ирригационных системах построено около 30 таких сооружений.

ВПС обладают свойствами, удовлетворяющими поставленным требованиям. Основное преимущество заключается в том, что расход воды в них зависит от одной переменной — напора H_n над порогом при значительном относительном подтоплении с нижнего бьефа $\frac{h_n}{H_n} = 0,80—0,82$.

До этого предела ВПС работает, как со свободным истечением, и режим нижнего бьефа не влияет на истечение через порог. Учет воды автоматизируется и телемеханизируется установкой лимниграфов, расходографов, теледатчиков и других приборов, регистрирующих или передающих расход, зависящий от напора H .

Подпор (перепад), создаваемый порогом при пропуске максимального расхода, незначителен и составляет всего 10—12% от соответствующей бытовой глубины воды в канале. Порог свободно пропускает наносы и остается чистым, а частичное выпадение наносов в верхнем бьефе и выполаживание напорного откоса не отражается на зависимости $Q = f(H_n)$.

ВПС по объему работ и стоимости мало отличается от водосливов. Объем бетона составляет примерно 1,8—2,0 м^3 на 1 $\text{м}^3/\text{сек}$ расхода

Разрез 1-2-3-4

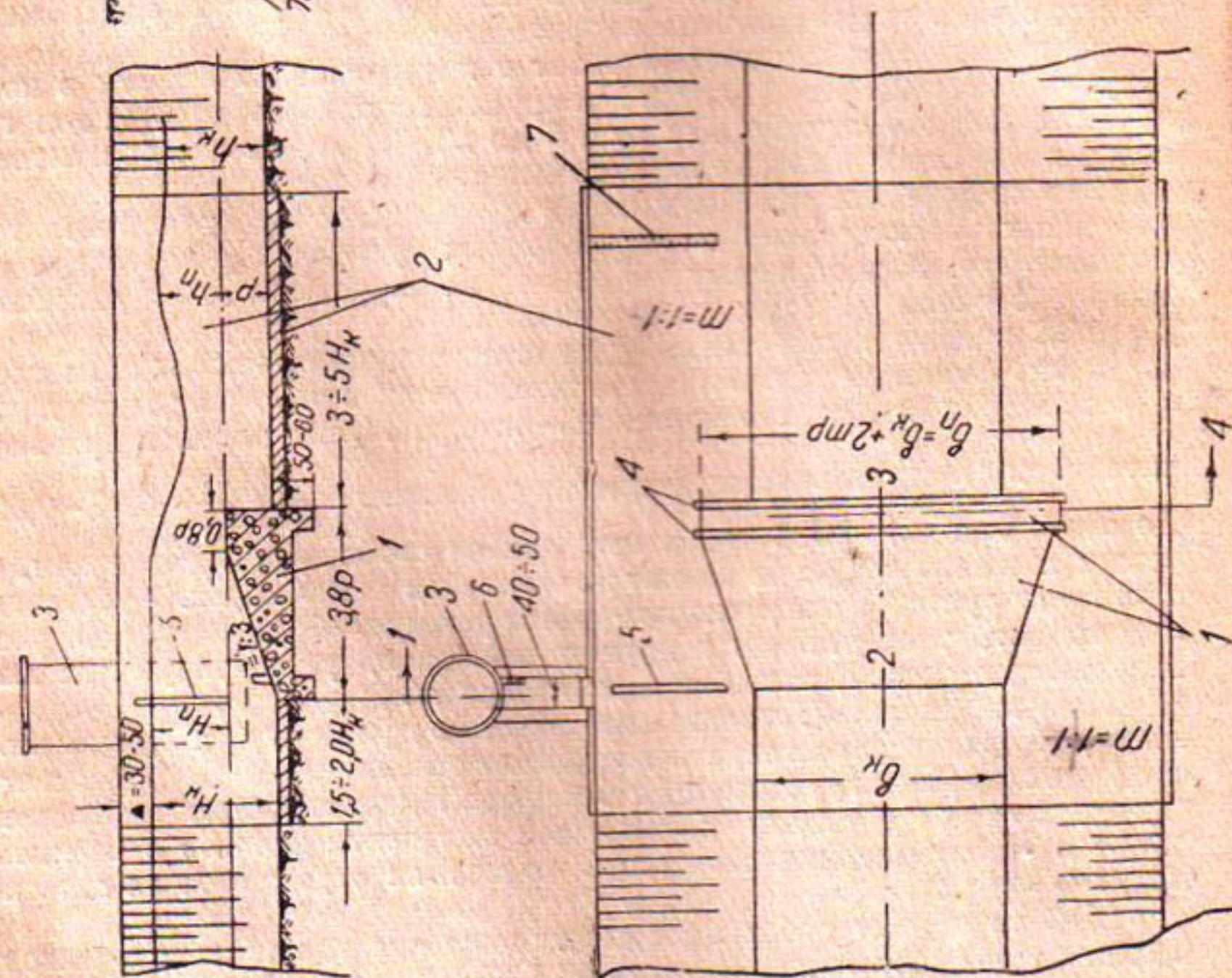
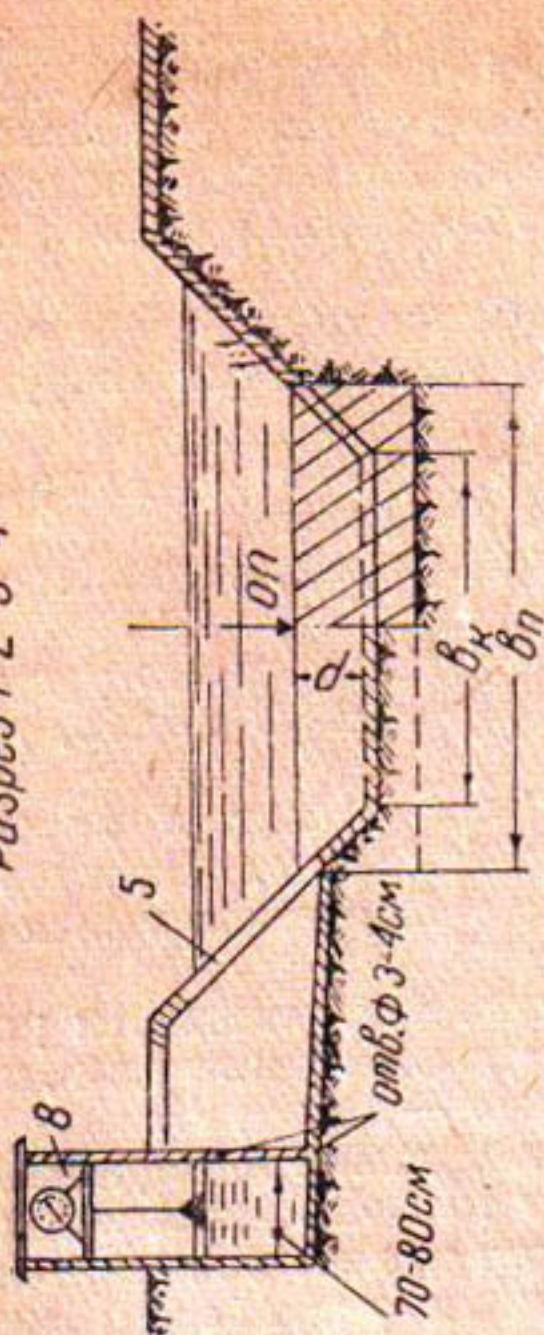


Рис. 2. Водомерный порог САНИИРИ.

воды канала. Точность учета воды обеспечивается с погрешностью до $\pm 4-5\%$.

ВПС состоит (рис. 2) из порога-водослива пологого практического профиля 1, бетонированного участка канала 2 и будки-колодца 3. Порог-водослив с напорной стороны имеет наклонную грань с откосом $m=1:3$ (или $1:4$), горизонтальную часть длиной $0,8 p$ и вертикальную грань с низовой стороны. Размеры порога устанавливаются в зависимости от высоты порога p . Порог-водослив выполняется из монолитного бетона с включением крупных заполнителей (бутобетон).

Для предохранения от изнашивания наносами горизонтальная площадка фиксируется по краям 4 уголовым или полосовым железом. Участок канала в пределах ВПС делается трапецеидального сечения с откосами $m=1,0$ или $1,5$ (в зависимости от бытового сечения канала). Длина участка складывается из понурой части $1,5 \div 2,0 H_k$, порога $3,8 p$ и сливной части $3 \div 5 H_k$. Участок облицовывается бетонными плитами или бетоном на месте.

Будка-колодец для прибора 8 изготавливается из бетонных звеньев — труб диаметром $70-80$ см с сообщением с верхним бьефом через бетонированную траншею шириной $40-50$ см и узкую ($3-5$ см) щель 5 в откосе канала. Такое устройство стабилизирует (демпфирует) горизонт воды в колодце. В траншее на стенке колодца прикрепляется водомерная рейка 6 с целью контроля и определения расхода при отсутствии прибора; нуль рейки должен точно (по нивелиру) совпадать с отметкой порога.

Для контроля затопления (оно не должно превышать относительной величины $\frac{h_n}{H_n} = 0,82$) в конце сливной части следует устанавливать рейку в нижнем бьефе; нуль этой рейки также совмещается с порогом водослива.

При гидравлическом расчете ВПС необходимо иметь
а) продольный и поперечный профили участка канала;
б) соответствующую $Q_{\max}$ (с учетом возможного подпора от заиления, зарастания или нижерасположенного сооружения), бытовую (без порога) глубину воды в канале $h_{к.м.}$.

Расчет производится подбором по формуле

$$Q = \left(0,37 + 0,04 \frac{H_n}{p} \right) (b_n + m H_n) H_n \sqrt{2g H_n}, \quad (1)$$

где $0,37 + 0,04 \frac{H_n}{p}$ — коэффициент расхода водослива;

H_n — глубина воды над порогом в верхнем бьефе;

p — высота порога над дном канала;

b_n — ширина порога, равная $b_k + 2mp$;

b_k — ширина канала по дну;

m — коэффициент откоса канала;

$H_k = H_n + p$ — глубина воды в канале перед водосливом;

$h_n = h_k - p$ — глубина воды над порогом в нижнем бьефе.

Приняв ширину b_k для поперечного профиля канала и коэффициент откоса m , подбираем по формуле (1) такую высоту порога p , чтобы при максимальной бытовой глубине $h_{к.м.}$ относительное затопление

$\frac{h_n}{H_n}$ было не более $0,82$.

В указанных пределах ВПС работает со свободным истечением, т. е. режим нижнего бьефа практически не влияет на верхний и для учета воды справедлива формула (1). В первом приближении высоту порога p принимаем равной $0,5 h_{к.м}$.

Например, $Q = 8,0 \text{ м}^3/\text{сек}$, $h_{к.м} = 1,40 \text{ м}$ (с учетом заиления), $b_k = 4,0 \text{ м}$, $m = 1$. Для первого приближения $p = 0,5 h_{к.м} = 0,70 \text{ м}$.

Тогда $h_n = h_{к.м} - p = 0,70 \text{ м}$;

$$b_n = b_k + 2mp = 5,40 \text{ м}.$$

Подбор по формуле (1) показывает, что для пропуска $Q = 8,0 \text{ м}^3/\text{сек}$ необходим напор $H_n = 0,79 \text{ м}$. Действительно,

$$Q = \left(0,37 + 0,04 \frac{0,79}{0,70}\right) \times (5,4 + 0,79) \times 0,79 \times 4,43 \times \sqrt{0,79} = 8,0 \text{ м}^3/\text{сек},$$

но мы получили

$$\frac{h_n}{H_n} = \frac{0,70}{0,79} = 0,89,$$

т. е. больше допустимой величины 0,82.

Поэтому принимаем $p = 0,75 \text{ м}$; $h_n = 1,40 - 0,75 = 0,65$; $b_n = 4,0 + 2 \times 1 \times 0,75 = 5,5$. В таком случае $H_n = 0,79$ и относительное затопление $\frac{h_n}{H_n} = \frac{0,65}{0,79} = 0,82$, что вполне допустимо.

Таким образом, получаем следующие размеры и величины ВПС: $b_k = 4,0 \text{ м}$; $b_n = 5,5$; $p = 0,75$; $\delta = 0,8$ $p = 0,60$, длина водослива $l_s = 3,8$ $p = 2,9 \text{ м}$, $H_{п.м} = 0,79$; $h_{к.м} = 0,65$; $H_{к.м} = 1,54$; $h_{г.м} = 1,4 \text{ м}$ и т. д. (рис. 2).

Подпор устройства ВПС при $Q_{\text{макс}}$ равняется $z = 0,14 \text{ м}$, т. е. 10% от бытовой глубины $h_{к.м} = 1,40 \text{ м}$.

По данным гидравлического расчета составляется рабочий проект ВПС, подобно изображенному на рис. 2. На выбранном прямолинейном (не менее $5 \div 8 b_k$) участке канала нивелируется, разбивается и строится ВПС.

Затем производится исполнительная съемка ВПС, участок закрепляется постоянным репером и составляется паспорт.

Особенно важно точно измерить b_n , m , p и среднюю отметку порога $O П$. Нули водомерной рейки в колодце и контрольной в нижнем бьефе по нивелиру совмещаются со средней отметкой $O П$. Вода в процессе эксплуатации учитывается по кривой зависимости или таблицам $Q = f(H_n)$, составленным по формуле (1), т. е.

$$Q = \left(0,37 + 0,04 \frac{H_n}{p}\right) (H_n + mH_n) H_n \sqrt{2gH_n}$$

или по прибору, фиксирующему или передающему эту зависимость. Рекомендуем в целях проверки формулы и уточнения кривой сделать четыре-пять контрольных замеров гидрометрической вертушкой. Если данные замеров будут отличаться от расчетных по формуле (1) более чем на 6%, то следует составить новую кривую зависимости $Q = f(H_n)$.

При эксплуатации ВПС следует периодически проверять нивелировкой нули реек и установку прибора, очищать траншею и щель от наносов, следить по нижней рейке, не превышает ли относительное затопление 0,82.

Ко второй группе водомерных сооружений относятся регуляторы с водомерными устройствами.

Из них наиболее эффективны для использования в сравнительно крупных ($2-10 \text{ м}^3/\text{сек}$) гидротехнических сооружениях-регуляторах водомерные приставки на входе. Можно также использовать водомерные устройства с сужением (кольцо, сопло Вентури, полуцилиндр) на выходе. Ниже приводим рекомендации в виде конструктивных схем с необходимыми пояснительными данными для расчета и эксплуатации водомеров-регуляторов.

В гидрометрической лаборатории Института водных проблем и гидротехники АН УзССР исследованы модели однопролетных и многопролетных регуляторов (открытых и трубчатых) с различными водомерными устройствами (М. В. Бутырин, В. Е. Краснов, В. Е. Старковская) и апробированы на системах Кировского магистрального канала, БФК и др.

Регулятор с водомерной приставкой РВП-1. На рис. 3 приведена конструктивная схема регулятора с водомерной приставкой на входе (разработана на основании исследований В. Е. Краснова).

Водомерная часть сооружения — приставка устраивается в каждом пролете перед щитом и состоит из следующих частей:

а) трубчатого участка, прямоугольного сечения $a_n \times b_n$ длиной сверху $1,3-1,5 a_n$; впереди труба имеет срез по откосу ныряющих стенок. Практически трубчатый участок получается устройством горизонтальной полки (перегородки) 2 между ныряющими стенками. В полке на расстоянии $0,5 a_n$ от передней кромки предусматривается отверстие 3 для заделки в нем патрубка 4 прибора ДРС. Диаметр отверстия 9 см;

б) колодца 5 из асбоцементной трубы с диаметром не менее 546 мм, который устанавливается и замоноличивается над полкой и отверстием 3. Верх колодца должен быть выше форсированного горизонта верхнего бьефа на 40 см. Колодец сообщается с верхним бьефом отверстием (трубкой) 6 сечением ϕ не ≤ 70 см. Колодец сверху должен иметь крышку с запором, к нему подводится мостик 3а;

в) шахты 7, т. е. пространства шириной 60—70 см со свободной поверхностью воды, образующейся между вертикальной перегородкой над концом трубы (перегородка отделяет верхний бьеф, и весь поток идет через трубу) и щитом с забральной стенкой. Шахта перекрывается разборным мостиком. В случае открытого регулятора шахту можно не делать (рис. 4);

г) прибора 8 — динамического расходоуказателя ДРС. Корпус прибора устанавливается на кронштейне, прикрепленном к стенке колодца на высоте не менее 20 см над форсированным горизонтом верхнего бьефа.

Остальная часть регулятора состоит из щитовой конструкции с забральной стенкой 9 и подъемниками (при телемеханизации необходим электропривод), водобойной и сливной части. РВП-1 могут иметь другие варианты — с мостом 10 для проезжей части и трубчатый 11 (изображены пунктиром на рис. 3).

В многопролетных регуляторах с водомерными устройствами не только данного типа, но и других, когда можно обусловить подъем всех щитов одновременно или попарно на одинаковую высоту, колодцы с приборами сокращаются до одного или по одному на пару щитов. В этом случае горизонтальная полка, образующая трубу, и вертикальная перегородка над ней, отделяющая верхний бьеф, сохраняются во всех пролетах. Сокращение колодцев с приборами приводит к эко-

момин, но при этом уменьшается диапазон учитываемых расходов от $Q_{\max}$ до $Q_{\min}$.

Принцип действия водомерной приставки заключается в том, что разность давлений воды верхнего бьефа (отверстие б) и в сечении трубы (отверстие з) воспринимается и преобразуется в расход прибором ДРС. Зависимость расхода воды Q от упомянутой разности давлений z_k имеет вид

$$Q = k a_n b_n \sqrt{2gz_k}, \quad (2)$$

где a_n , b_n — высота и ширина внутреннего сечения приставки;

k — коэффициент водомера, практически являющийся постоянным и не зависящим не только от Q , но и от открытия щитов. В данном типе водомерной приставки $k = 0,55$.

Для гидравлического расчета РВП-1 необходимо иметь следующие данные: форсированный (максимальный) расход регулятора $Q_{\max}$, минимальный расход регулятора $Q_{\min}$, отметки дна канала в верхнем бьефе, форсированного горизонта в верхнем бьефе, нормального горизонта воды в верхнем бьефе, дна канала в нижнем бьефе, форсированного горизонта в нижнем бьефе. Основные размеры регулятора устанавливаются по формуле пропускной способности

$$Q_{\max} = m \Omega \sqrt{2gz_p}; \quad (3)$$

здесь m — коэффициент расхода системы, который (по результатам лабораторных исследований) при поднятых щитах равен 0,68—0,70;

Ω — суммарная площадь внутреннего сечения водомерной приставки $= n a_n b_n$ (n — число пролетов);

z_p — расчетный перепад, равный разности между расчетными отметками горизонтов верхнего и нижнего бьефов.

Определив из формулы (3) необходимую площадь Ω , назначают количество пролетов, ширину пролета b_n и высоту приставки a_n , причем последняя должна быть на 40—50 см меньше, чем высота нормального горизонта верхнего бьефа.

Отметка порога находится из упомянутого условия затопления высоты приставки a_n с верхнего бьефа и ее затопления на 20—30 см со стороны нижнего бьефа при форсированном расходе. Во время расчета рекомендуем проверять величины максимального и минимального водомерного перепада z_k .

Из формулы (2) имеем

$$\left. \begin{aligned} z_{k.\max} &= \left(\frac{Q_{\max}}{k \Omega \sqrt{2g}} \right)^2 \\ z_{k.\min} &= \left(\frac{Q_{\min}}{k \Omega \sqrt{2g}} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Для нормальной работы водомера допускаются

$$z_{k.\min} = 0,02 \text{ м}, \quad z_{k.\max} = 0,60 \text{ м}.$$

Остальные размеры определяются в зависимости от полученных величин и имеющихся данных. Гидротехнический и статический расчеты производятся известными методами.

Для примера рассчитаем РВП-1 как боковой водовыпуск открытого типа при $Q_{\text{макс}} = 6,0 \text{ м}^3/\text{сек}$, $Q_{\text{мин}} = 1,0 \text{ м}^3/\text{сек}$, отметке дна верхнего бьефа $= 4,35$, форсированного горизонта верхнего бьефа $= 6,40$, нормального горизонта верхнего бьефа $= 6,0$, дна нижнего бьефа $= 4,50$, форсированного горизонта нижнего бьефа $= 5,70 \text{ м}$; расчетном перепаде $z_p = 6,0 - 5,70 = 0,30 \text{ м}$.

Найдем

$$\Omega = \frac{6,0}{0,70 \times 4,43 \sqrt{0,30}} = 3,55 \text{ м}^2.$$

Принимая два отверстия с сечением $b_n = 1,5$, $a_n = 1,2$, получаем $\Omega = 2 \times 1,5 \times 1,20 = 3,60 \text{ м}^2$.

Назначая отметку порога $O \Pi$ на уровне дна канала верхнего бьефа $= 4,50$, проверим условия затопления. С верхнего бьефа затопление $6,0 - (4,35 + 1,20) = 0,45 \text{ м}$, с нижнего бьефа $-5,70 - (4,35 + 1,20) = -0,15 \text{ м}$, что допустимо. Далее определим $Q_{\text{макс}}$, $Q_{\text{мин}}$ по формулам (4):

$$z_{\text{к. макс}} = \left[\frac{6,0}{0,55 \times 3,6 \times 4,43} \right]^2 = 0,46 \text{ м},$$

$$z_{\text{к. мин}} = \left[\frac{1,0}{0,55 \times 1,8 \times 4,43} \right]^2 = 0,012 \text{ м}.$$

Так как $z_{\text{к. мин}}$ меньше допустимого $0,02$, следует установить два колодца с приборами и минимальные расходы пропускать только через один пролет.

Тогда

$$z_{\text{к. мин}} = \left[\frac{1,0}{0,55 \times 1,8 \times 4,43} \right]^2 = 0,053 \text{ м}.$$

Если ограничиться одним колодцем при условии подъема щитов на одинаковую высоту, то минимально учитываемый расход

$$Q_{\text{мин}} = 0,55 \times 3,6 \times 4,43 \sqrt{0,02} = 1,25 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Открытый регулятор с водомерной приставкой ОРВП-1. На рис. 4 приведена схема открытого регулятора с водомерной приставкой (типа I с наклонным входом), отличающегося от РВП-1 лишь отсутствием шахты. Горизонтальная полка длиной не менее $1,5 a_n$ примыкает (с небольшим зазором $10-15 \text{ см}$) к щитовой стенке.

Принцип действия и порядок расчета ОРВП-1 такой же, как для РВП-1.

В формуле водомера $Q = k a_n b_n \sqrt{2gz_k}$ коэффициент k остается равным $0,55$. Коэффициент расхода системы m в формуле пропускной способности

$$Q = m \Omega \sqrt{2gz_p}$$

составляет $0,68$.

Трубчатый регулятор с водомерной приставкой ТРВП-3. На рис. 5 приведен трубчатый вариант регулятора с короткой приставкой с прямым входом (разработан и исследован нами). Возможен и открытый вариант этого регулятора (рис. 6).

Трубчатый регулятор с водомерной приставкой состоит из водомерной приставки 3 в понурной перед щитовой стенкой части и собственно трубчатого регулятора из одной или нескольких труб.

Водомерную приставку в каждом пролете составляют:
а) — короткий трубчатый участок 3 с прямоугольным внутренним сечением a_n, b_n длиной $0,8a_n$. В полке, образующей потолок трубы, предусматривается отверстие 2 для заделки патрубка от прибора ДРС;

б) колодец 4 из железобетонной трубы, устанавливаемый над отверстием 2. На рис. 5 дан вариант колодца малого диаметра ($\Phi 272-368$), прикрепленного двумя зажимными хомутами 6 к вертикальной перегородке, в которой для крепления хомутов имеются болты с нарезкой в сторону колодца.

Внизу у труб-колодцев делаются прорези-отверстия 1 ($\omega \geq 70 \text{ см}^2$), сообщающиеся с верхним бьефом. Этот вариант колодца ввиду его способности допускает заделку патрубка в отверстие 2 и монтаж прибора.

Возможен также вариант колодца (рис. 6), который заделывается в вертикальную перегородку. Тогда его диаметр должен быть не менее 30 см для удобства монтажа прибора, очистки, ремонта и т. п.;

в) прибор 5 — динамический расходоуказатель ДРС.

Собственно регулятор состоит из щитовой стенки с щитами, рамами и подъемниками, трубчатой части из одной или нескольких труб прямоугольного сечения (вообще трубы могут быть и круглого сечения) и сливной части. Конструкции этих деталей могут быть обычными,

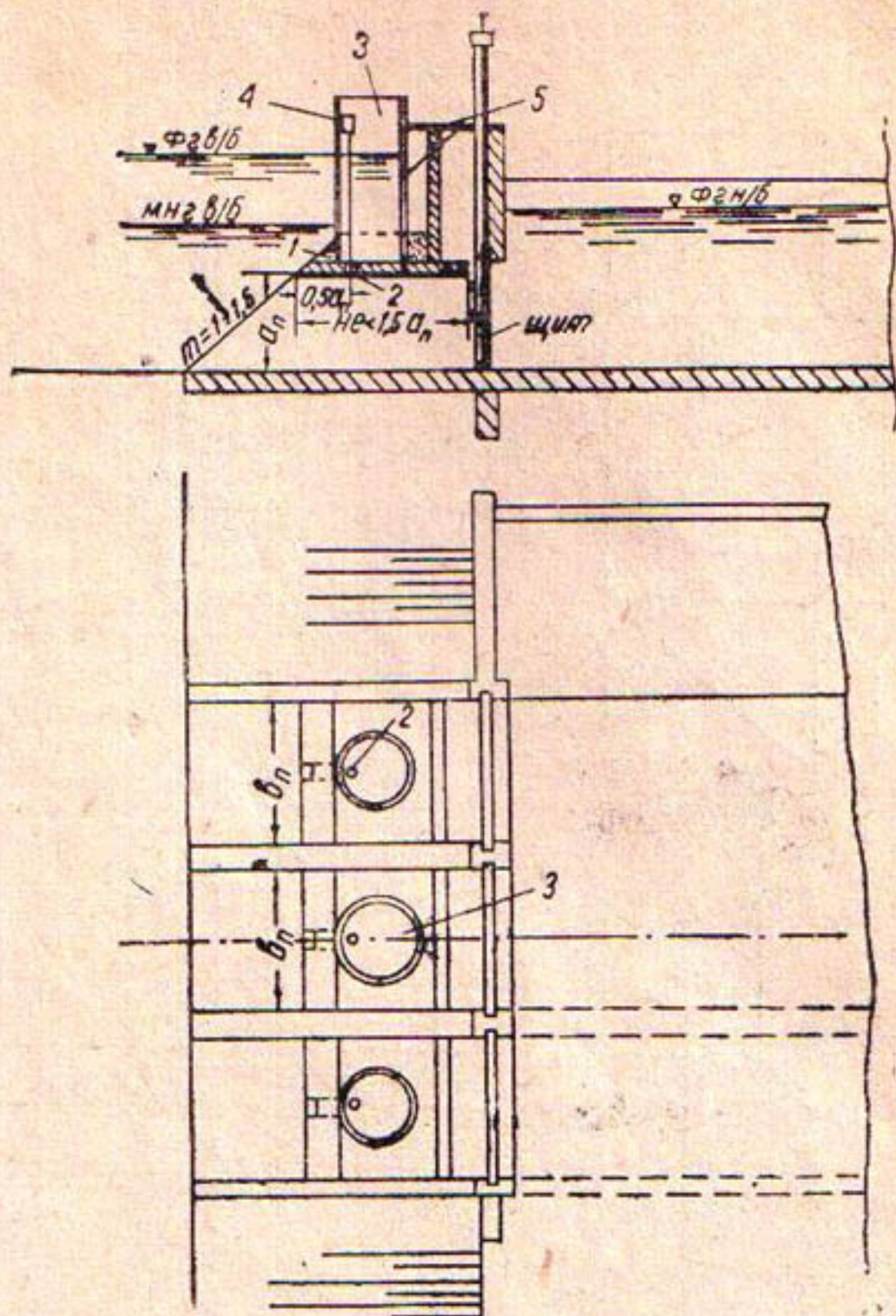


Рис.4. Открытый регулятор с водомерной приставкой ОРВП-1:

1—отверстие, сообщающееся с верхним бьефом; 2—отверстие для патрубка; 3—колодец; 4—прибор; 5—разборный мостик. I—Разрез А-А; II—план; III—фасад; IV—деталь водомерной приставки.

типовыми, применяемыми на практике. В случае применения телемеханизации необходима электрификация привода. Регулятор с водомерной приставкой типа 3 с шахтой может быть и открытым. Как и в РВП-1, в многопролетных регуляторах РВП-3 можно предусмотреть подъем всех щитов или попарно на одинаковую высоту. Тогда колодцы с приборами соответственно сокращаются до одного или по числу пар объединенных щитов. Горизонтальная полка и вертикальная перегородка сохраняются во всех пролетах.

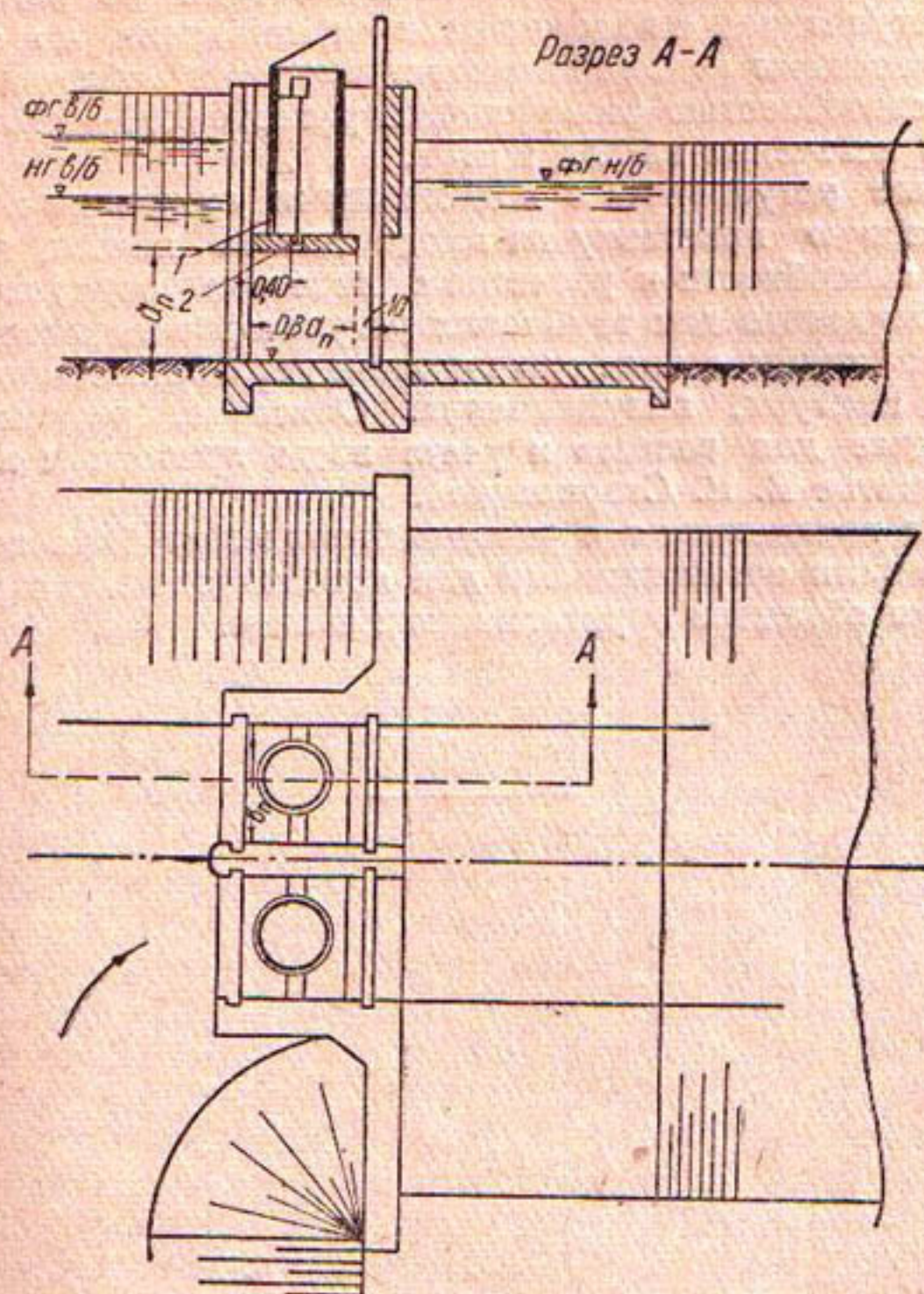


Рис. 6. Открытый регулятор с водомерной приставкой ОРВП-3.

Гидравлический расчет ТРВП-3 производится, как и в предыдущих РВП. При этом m — коэффициент расхода системы, который по данным лабораторных исследований берется $0,75 \div 0,78$ для трубчатых регуляторов и $0,68$ для открытых; коэффициент водомера $k=0,625$.

Открытый регулятор с водомерной приставкой типа 3, ОРВП-3. На рис. 6 приведена схема варианта регулятора с короткой водомерной приставкой с прямым входом. Он отличается от регулятора ТРВП-3 (рис. 5) отсутствием шахты, т. е. зазоры между концом горизонтальной полки и линией щитов сведены до минимума — 10 см .

Колодцы с приборами заделываются в вертикальную перегородку, диаметр колодца — не менее 50 см . При гидравлическом расчете $m=0,68$, $k=0,625$.

В заключение отметим, что мы привели несколько вариантов регуляторов с водомерными приставками, имея в виду применение того или иного типа при реконструкции существующих на системах сооружений в зависимости от конструкции последних.

На крупных каналах возможно применение приставок, разработанных В. Е. Красновым.

Для нового строительства рекомендуем регуляторы-водомеры ТРВП-3 (для трубчатых) и ОРВП-3 (для открытых) как наиболее экономичные по объему материала и простые по устройству. Все варианты регуляторов с водомерными приставками по сравнению с другими известными водомерными устройствами обладают высокой пропускной способностью (коэффициент расхода 0,68—0,75), не зависят от характера истечения из-под щитов.

Трубчатые регуляторы с водомерными сужениями на выходе. Когда водомерную приставку на входе делать нельзя, при запасе в пропускной способности и расчетном перепаде порядка $35\frac{1}{2}$ —60 см можно рекомендовать для трубчатых регуляторов водомерное устройство на выходе трубы в виде суживающих устройств: цилиндрического кольца, типа Вентури, полуцилиндра. Описание, результаты исследований, данные для расчета и учета воды приведены в настоящем сборнике в статье В. Е. Старковской.

Все наши предложения и рекомендации могут быть использованы соответствующими организациями для проектирования, строительства, реконструкции объектов ирригационных систем.

В. Е. КРАСНОВ

ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСХОДОУКАЗАТЕЛЬ ДЛЯ ВОДОМЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Трубчатые водомеры-регуляторы с насадком или кольцом сужения в трубе, а также водомерные приставки в различной компоновке с трубчатыми или открытыми регуляторами позволяют определять расход воды по перепаду давления.

Автоматизацию учета воды на указанных сооружениях можно осуществлять водоизмерительными приборами: счетчиками — СВН (пружинный), ВДГ (поплавковый) и расходоуказателями — ВПГ-54 (поплавокный), ДРС-М, ДРС-60 (динамический).

Схему динамического расходоуказателя предложил Д. П. Колодницкий; в дальнейшем она была исследована и усовершенствована нами.

Динамический расходоуказатель ДРС-60 является окончательно опытной конструкцией по данным лабораторных и производственных испытаний. Производство его освоено Законом ирригационного приборостроения Министерства водного хозяйства УзССР.

Прибор ДРС-60 имеет ряд преимуществ экономического и эксплуатационного характера перед поплавковым расходоуказателем ВПГ-54: а) малую металлоемкость (вес 1 кг); б) небольшую стоимость (45 руб.) против стоимости ВПГ-54 (180 руб.); в) простоту проверки правильности показаний расхода и регулирования установки прибора в рабочее положение без прекращения водоподачи через сооружение; г) возможность использования прибора как постоянного указателя расхода или включения его в работу только на период регулирования расхода; д) более высокую точность в учете расхода, которая обеспечивается использованием расходной шкалы, размещенной на внешней окружности циферблата для каждого заданного перепада давления $\Delta p = 10, 20, 30, 60$ см.

Малозабитный дешевый прибор может быть установлен как на крупных сооружениях, так и на мелких с расходом от 100—200 л/сек до 5 м³/сек; его применение не внесет существенных изменений в общую стоимость затрат на оснащение сети водомерными сооружениями.

Динамический расходоуказатель может служить первичным датчиком расхода для телеуправления и телемеханизации ирригационных машин и в сочетании с часовым недельным механизмом (МЧН) — прибором, фиксирующим расход по времени.

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБОРА

Динамический расходоуказатель ДРС-60 предназначен для измерения разности давлений (перепада давлений), создаваемой местным сужением потока в трубчатых сооружениях.

Прибор по перепаду давлений дает возможность определять расход воды на водомерных сооружениях различных конструкций, в частности на сооружениях, предложенных САНИИРИ, на парциальном водомере-водовыпуске Ф. И. Пикалова, В. Я. Поповой и др.

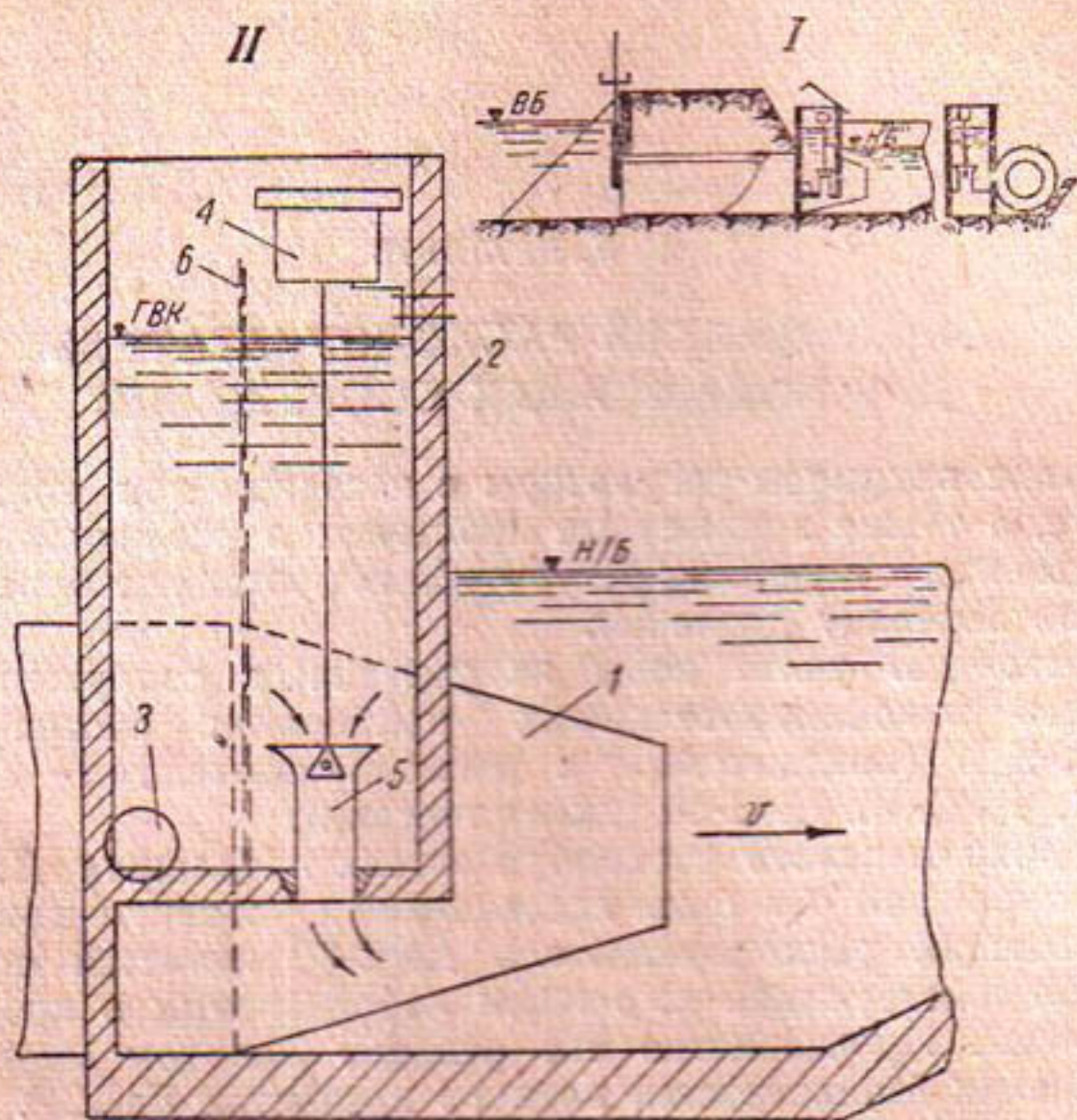


Рис. 1. Схема монтажа ДРС-60 на трубчатом водомере-регуляторе с насадком:

1—схема сооружения; II—водомерный узел; 1—насадок; 2—водомерный колодец; 3—отверстие в трубе выпуска перед насадком; 4—прибор; 5—патрубок с поршнем; 6—сетка.

Ниже приведены схемы монтажа прибора ДРС-60 в водомерном колодце на трубчатом водомерном сооружении с коническим насадком — ТВР с насадком (рис. 1); на водомере-регуляторе с водомерной приставкой круглого и прямоугольного сечения (рис. 2).

Прибор на парциальном водомере Ф. И. Пикалова и В. Я. Поповой устанавливается по схеме, изображенной на рис. 2.

Прибор ДРС-60 состоит из механизма, цепочки с поршнем, и патрубка (рис. 3). Три узла механизма смонтированы на вертикальном плато 3, которое помещается в цилиндрическом корпусе и представляет собой плоскость — стойку с основанием для крепления на дне корпуса 1 прибора:

а) первый узел механизма состоит из П-образного кронштейна, сектора 4 с рычагом и кремальерной рейкой. К рычагу сектора с одной стороны прикреплен пружина 7 с масляным демпфером, с другой — подвес с металлической цепочкой 8 и поршнем 9;

б) второй узел состоит из стойки, оси 5 с передаточной шестерней и стрелкой. Ось передаточной шестерни нижним концом опирается на подпятник, а верхний конец помещен в подшипнике;

в) третий узел состоит из винта регулятора 6 с пружинодержателем и гайкой, служащей для установки стрелки прибора в нулевое положение на расходной шкале циферблата.

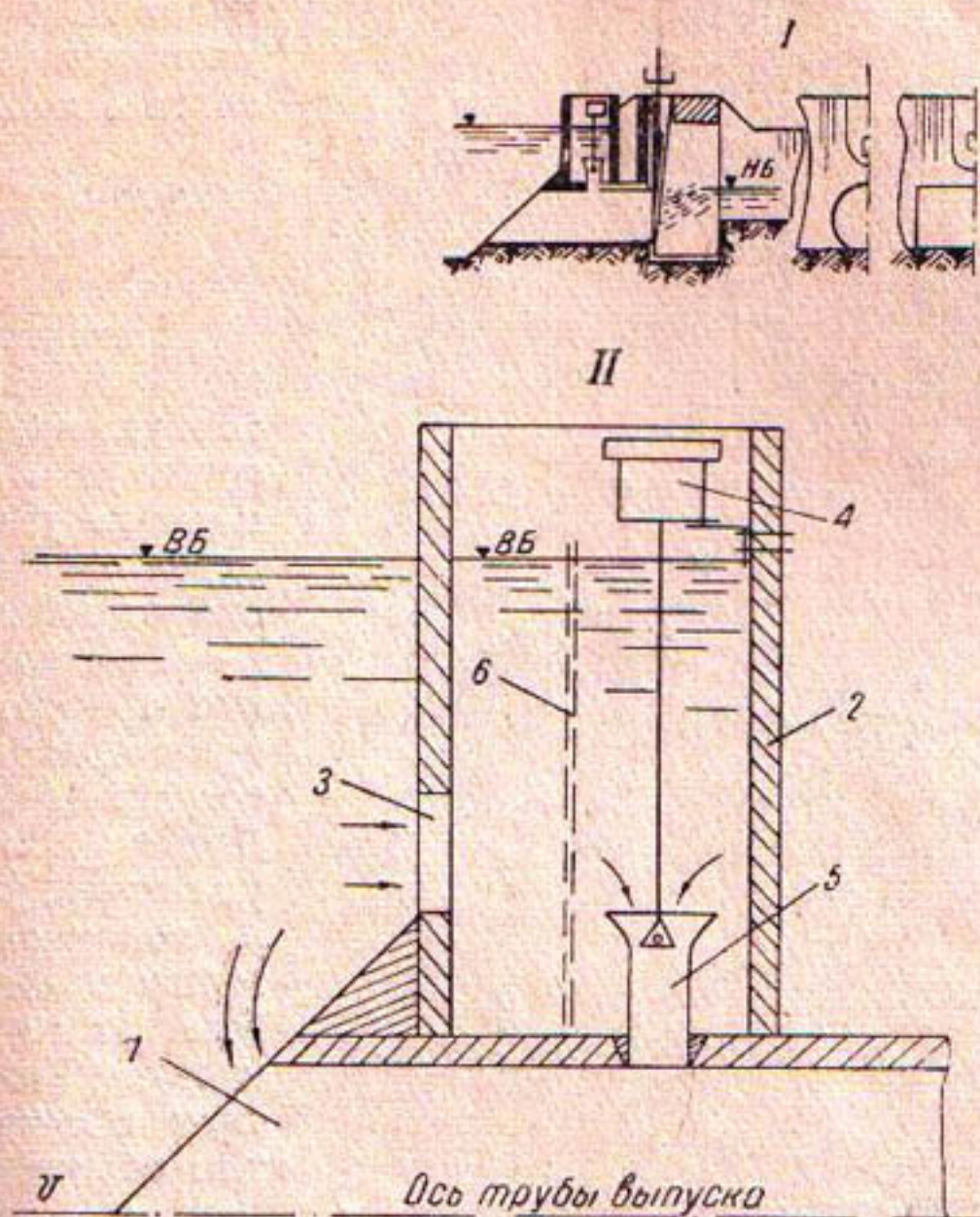


Рис. 2. Схема монтажа ДРС-60 на водомерной приставке с открытым регулятором:

I — схема сооружения; II — водомерный узел;
1 — приставка; 2 — водомерный колодец; 3 — отверстие, соединяющее колодец с верхним бьефом; 4 — прибор; 5 — патрубок с поршнем;
6 — сетка.

Поршень 9 является основным элементом прибора, воспринимающим перепад давлений и представляет собой конус высотой 25 мм, на образующей поверхности которого имеется четыре отверстия, сходящиеся в основании в одно. Диаметр основания равен 50 мм.

Центральное отверстие обеспечивает устойчивое положение поршня в трубке (самоцентрирование) при прохождении через него парциального расхода воды.

Центровка с поршнем устанавливается с помощью подвеса 8 в одном из положений на рычаге, которое зависит от величины перепада, действующего на прибор и определяющего максимальный расход воды через сооружение.

Патрубок прибора 10 представляет собой полый цилиндр с внутренним диаметром 55 мм и служит для помещения в нем поршня. Входя в патрубок плавный с радиусом закругления 20 мм. Поршень в трубке находится в свободном состоянии (не касается стенок).

Прибор крепится на кронштейне в водомерном колодце винтом 2. Кронштейн с планкой дает возможность регулировать положение прибора с поршнем относительно патрубка.

Прибор собирается в заводских условиях, тарируется и с паспортом и инструкцией после установки в транспортное положение винтом 1 упаковывается в специальный ящик.

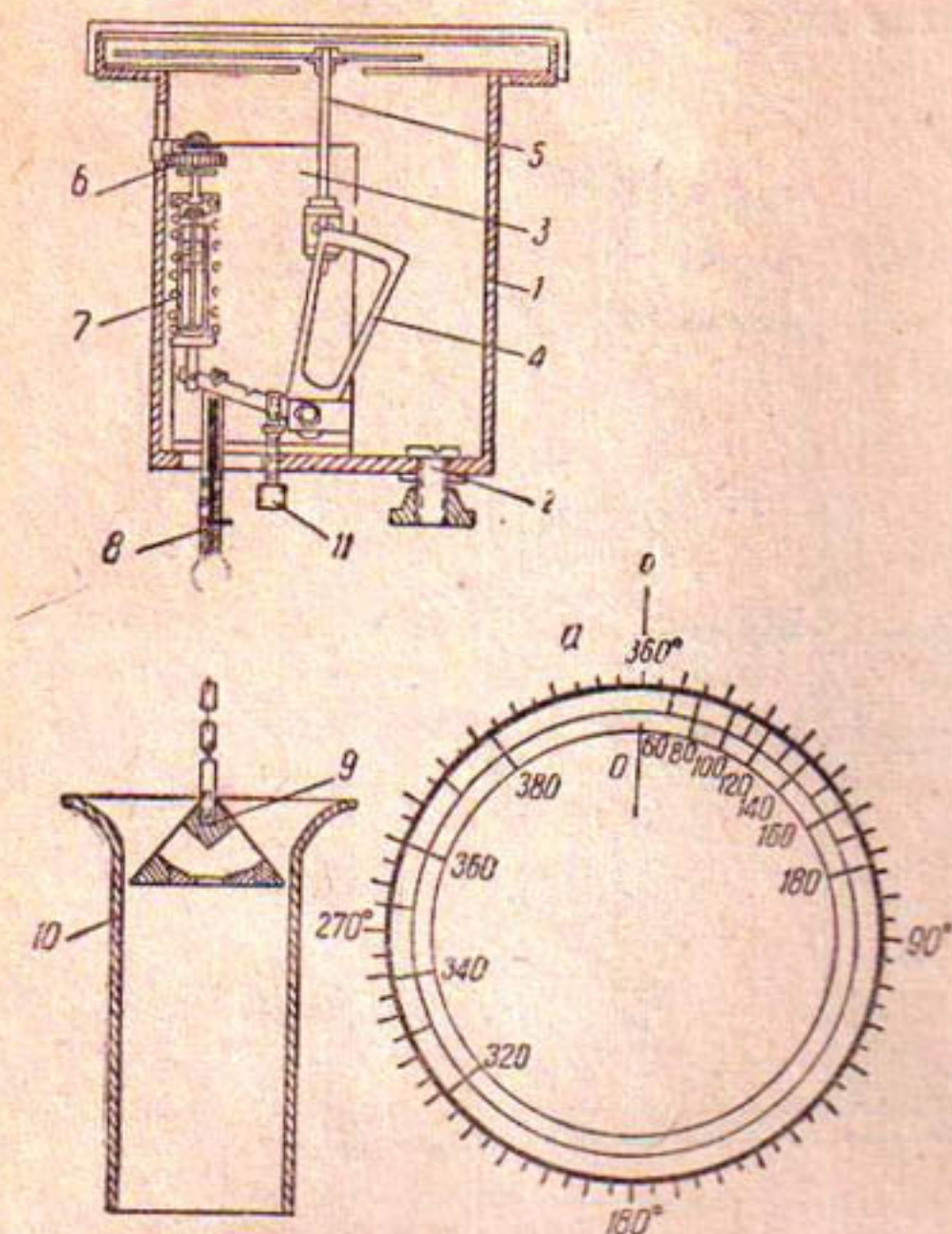


Рис. 3. Схема динамического расходоуказателя ДРС-60 с патрубком и поршнем:
а — циферблат прибора с расходной шкалой.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРИБОРА

Насадок, кольцо сужения или вход в трубу сооружения являются составными частями водомерного узла и рассматриваются как местные сопротивления.

Местное сопротивление трубчатого выпуска при прохождении воды создает перепад давлений. Динамический расходоуказатель, установленный в водомерном колодце, воспринимает перепад. Для этого водомерный колодец одним отверстием соединяется с местом отбора давлений перед сопротивлением, а другим — с трубой или точкой отбора давления за сопротивлением.

Перепад (разность) давлений z_d характеризует расход воды, проходящей через водомерное сооружение.

На рис. 1, 2 приведены схемы монтажа прибора, где элементами водомерного узла являются сопротивление, водомерный колодец и прибор ДРС-60.

Поршень прибора, помещенный в патрубок, через который проходит парциальный ток воды, испытывает давление, определяемое перепадом, и перемещается в вертикальном направлении. При этом растягивается пружина и поворачивается рычаг сектора с кремальерной рейкой. С поворотом сектора кремальерная рейка приводит во вращение шестеренку и стрелку прибора (рис. 3).

Таким образом, вертикальное перемещение поршня под разностью давлений преобразуется в угол поворота стрелки, показывающей расход воды на циферблате прибора.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИБОРА

Опытный образец прибора исследовали в лаборатории с целью выявления погрешностей прибора в определении расхода, вызываемых

погрешности причинами: а) величиной допусков при изготовлении прибора; б) погрешностью определения глубины первоначального погружения прибора в патрубок; в) ошибкой в визуальном отсчете величины расхода на шкале прибора.

Через камеру стенда пропускали воду, парциальный ток ее проходил через патрубок из камеры А в камеру В под разностью давлений z_k . Разность давлений воспринималась поршнем, и в зависимости от ее величины изменялся угол отклонения стрелки прибора φ .

Перепад давлений z_k измеряли пьезометром, а угол отклонения стрелки φ отсчитывали по циферблату прибора.

В результате получили зависимость $\varphi = f(z_k)$, которая для данного типа прибора является линейной.

Возможная ошибка или отклонение от принятых размеров элементов прибора влекут за собой изменение величины углового коэффициента $\frac{\varphi}{z_k}$ этой зависимости.

Погрешность в угловом коэффициенте $\sigma_{\frac{\varphi}{z_k}}$ связана с погрешностью прибора в определении расхода $\sigma_{Q\left(\frac{\varphi}{z_k}\right)}$ следующим образом.

Величину расхода через водомерный перепад и показание прибора выразим как

$$Q = M_1 \sqrt{z_k} = M_2 \sqrt{\varphi}$$

или

$$Q = M_2 \sqrt{\frac{\varphi}{z_k}} \sqrt{z_k}. \quad (1)$$

Относительную ошибку расхода $\sigma_{Q\left(\frac{\varphi}{z_k}\right)}$ от изменений углового коэффициента

$\frac{\varphi}{z_k}$ можно получить таким образом:

$$Q + \Delta Q = M_2 \sqrt{\left(\frac{\varphi}{z_k}\right) + \Delta\left(\frac{\varphi}{z_k}\right)} \sqrt{z_k}$$

или

$$\Delta Q = M_2 \left[\sqrt{\left(\frac{\varphi}{z_k}\right) + \Delta\left(\frac{\varphi}{z_k}\right)} - \sqrt{\frac{\varphi}{z_k}} \right] \sqrt{z_k}.$$

Получим

$$\sigma_{Q\left(\frac{\varphi}{z_k}\right)} = 100 \frac{\Delta Q}{Q} = 100 \frac{1}{\sqrt{\frac{\varphi}{z_k}}} \left[\sqrt{\left(\frac{\varphi}{z_k}\right) + \Delta\left(\frac{\varphi}{z_k}\right)} - \sqrt{\frac{\varphi}{z_k}} \right]. \quad (2)$$

Взяв квадратный корень

$$\sqrt{\left(\frac{\varphi}{z_k}\right) + \Delta\left(\frac{\varphi}{z_k}\right)}$$

по формуле Ньютона и подставив первые два члена в выражение (2)

для относительной ошибки расхода, получим

$$\sigma_Q\left(\frac{\varphi}{z_k}\right) = \pm 100 \frac{\Delta Q}{Q} = \pm 100 \frac{\frac{1}{2} \Delta\left(\frac{\varphi}{z_k}\right)}{\sqrt{\frac{\varphi}{z_k}} \sqrt{\frac{\varphi}{z_k}}} = \pm \frac{1}{2} \sigma_{\frac{\varphi}{z_k}}. \quad (3)$$

Погрешность прибора в расходе равна половине относительной погрешности в угловом коэффициенте линейной зависимости $\varphi = f(z_k)$.

Ниже приводим краткое изложение результатов лабораторного исследования расходоуказателя.

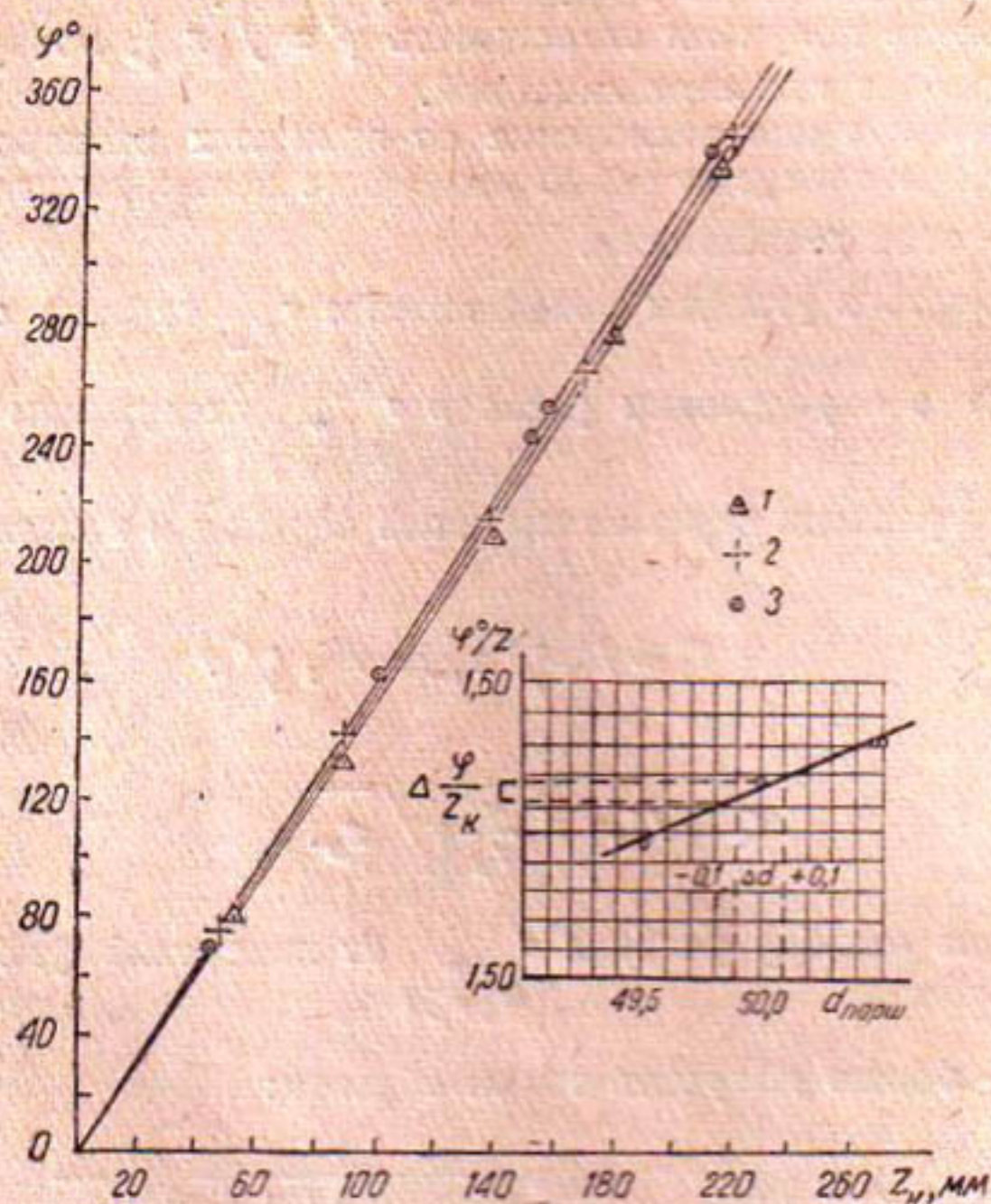


Рис. 4. График $\varphi^\circ = f(z_k)$ при допусках в диаметре поршня $\Delta d = \pm 0,5$ мм:

1— $d=49,5$ мм; 2— $d=50,0$ мм; 3— $d=50,5$ мм.

Погрешность прибора в определении расхода в зависимости от допуска в размере диаметра поршня. В камере А рабочего стенда устанавливали патрубок прибора принятого размера диаметром $D_n = 55$ мм. Диаметры поршней меняли от нормального $d = 50$ мм до $\Delta d = \pm 0,5$ мм. Для каждого из трех поршней сняли показания прибора в градусах φ при различных перепадах z_k от минимума до максимума и построили график $\varphi = f(z_k)$, приведенный на рис. 4.

По данным графика находили угловые коэффициенты $\frac{\varphi}{z_k}$ и характер их изменения в зависимости от размера поршней. На основании анализа полученных значений угловых коэффициентов приняли

допуск в диаметре при изготовлении поршня, равный $\Delta d = 0,1$ мм. При этом погрешность в угловом коэффициенте $\frac{\varphi}{z_k}$ составила

$$\sigma \frac{\varphi}{z_k} (\Delta d) = \pm 0,45\%.$$

Тогда погрешность прибора при определении расхода по зависимости (3)

$$\sigma_{Q(\Delta d)} = \frac{1}{2} \sigma \frac{\varphi}{z_k} (\Delta d) = \pm 0,22\%.$$

Погрешность прибора в определении расхода в зависимости от допуска в размере диаметра патрубка. В камере А стенда поочередно устанавливали нормальный патрубок — $D_n = 55$ мм и с допусками — $\Delta D = \pm (0,3 - 0,5)$ мм. Поршень имел один диаметр — $d = 50$ мм.

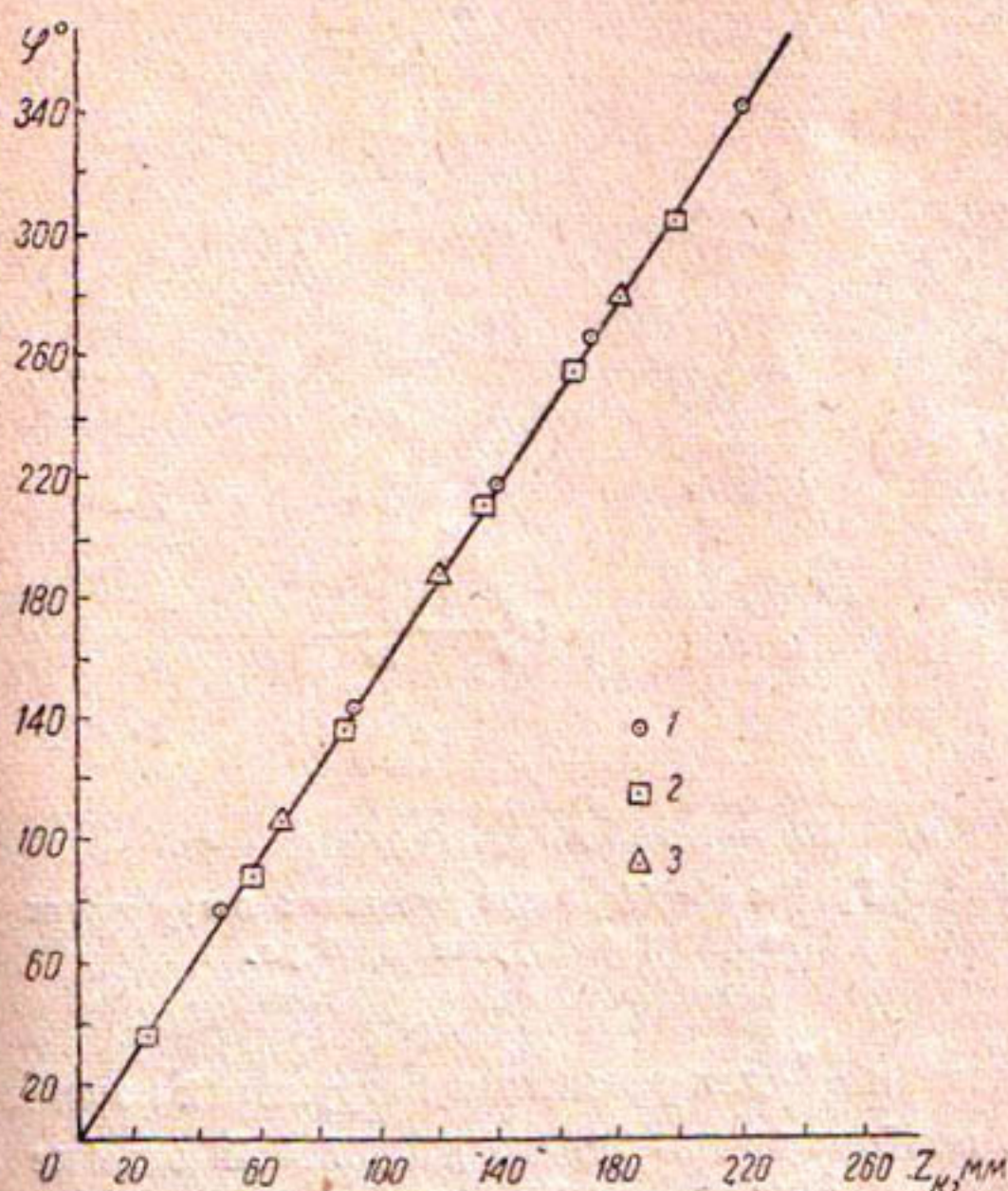


Рис. 5. График $\varphi^\circ = f(z_k)$ при допусках в диаметре патрубка $\Delta D = \pm 0,5$ мм и постоянном диаметре поршня:

1 — $D = 55,0$ мм; 2 — $D = 55,5$ мм; 3 — $D = 54,7$ мм.

На основании опытных данных построили график (рис. 5) зависимости $\varphi = f(z_k)$, из которого видно, что с изменением диаметра патрубка на величину $\Delta D = \pm 0,5$ мм угловой коэффициент приведенной зависимости остается без изменений. Таким образом, погрешность прибора в определении расхода практически отсутствует.

Погрешность прибора в определении расхода в зависимости от величины погружения поршня патрубка. Замечено, что с погружением поршня в патрубок уменьшается сила воздействия потока на поршень при обтекании, следовательно, изменяется угловой коэффи-

ент $\frac{\varphi}{z_h}$. Поэтому во время установки прибора на сооружении нулевое (начальное) положение в патрубке должно строго фиксироваться. Необходимо было определить точность в установке поршня и выявить погрешности прибора. Полученные данные приведены на рис. 6.

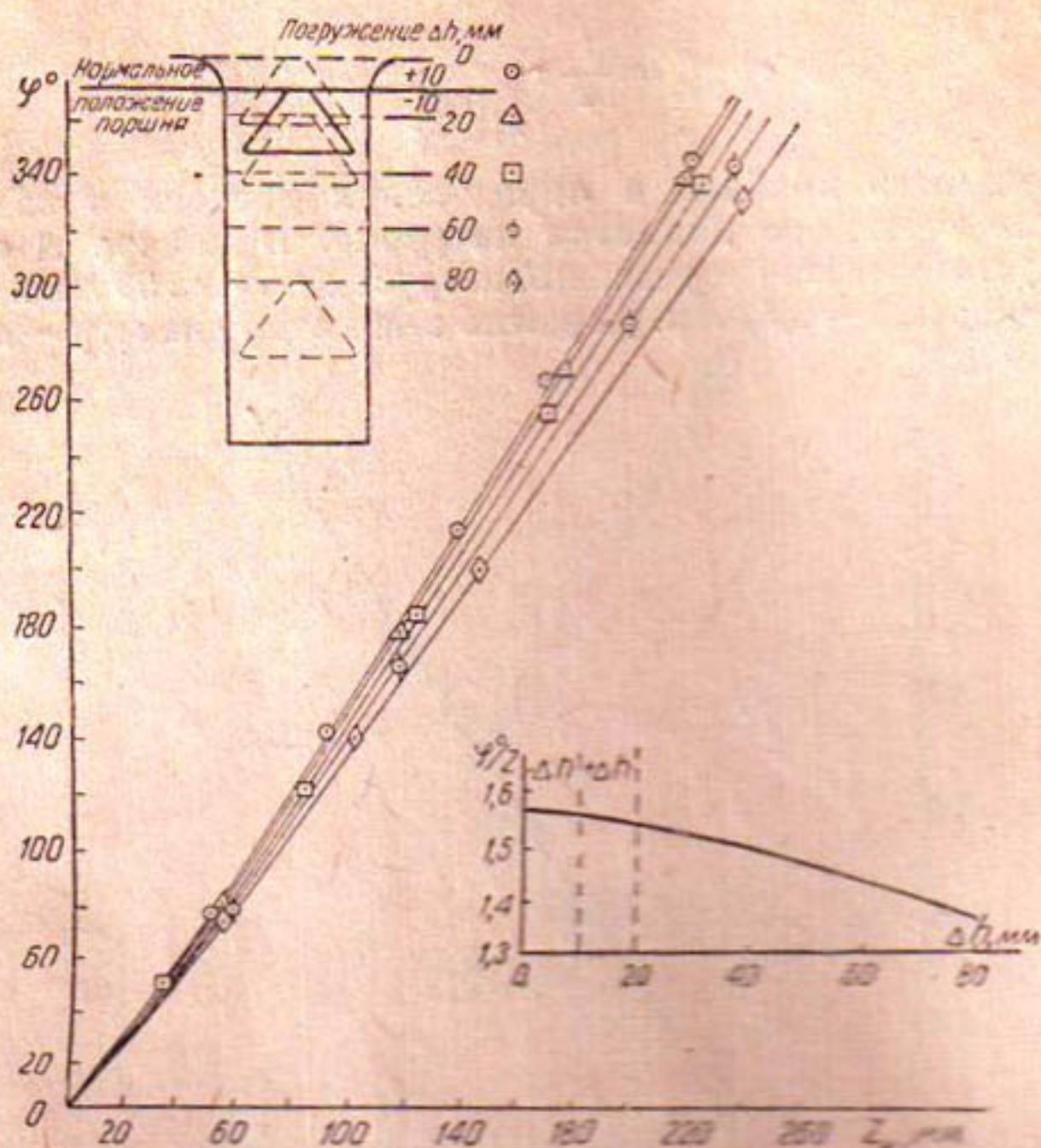


Рис. 6. График $\varphi^\circ = f(z_h)$ при различных погружениях поршня в патрубок прибора.

По значениям $\frac{\varphi}{z_h}$ для различных погружений поршня определили погрешность прибора при возможно допустимой ошибке в установке поршня по высоте $\Delta h = \pm 10$ мм

$$\frac{\sigma_{\varphi}}{z_h(\Delta h)} = \pm 1,35\%.$$

Погрешность прибора по расходу воды в зависимости от изменения углового коэффициента установленной точности погружения удваивается, вследствие того что поршень при работе прибора погружается на $h = 15$ мм от первоначального положения. Это погружение является рабочим ходом поршня при изменении перепада от нуля до максимума.

Таким образом, погрешность прибора по расходу при установке поршня в патрубок с отклонением от нормального положения на

$\Delta h = \pm 10$ мм согласно равенству (3) составляет

$$\sigma_{Q(\Delta h)} = 2^{-\frac{1}{2}} \sigma_{\frac{\varphi}{z_k}(\Delta h)} = \pm 1,35\%.$$

Погрешность прибора в определении расхода от ошибки в визуальном отсчете угла φ . При лабораторном исследовании стрелка прибора не колебалась. В производственных условиях колебания стрелки при максимальном перепаде составляли $\Delta\varphi = \pm 10^\circ$.

Если при проведении опыта максимальный перепад $z_k = 300$ мм ($\varphi = 350^\circ$), то ошибка в водомерном перепаде получится $\Delta z_k = \pm 8,63$ мм (погрешность в визуальном отсчете угла $\Delta\varphi = \pm 10^\circ$). Погрешность в определении расхода устанавливается из

$$\sigma_{Q(\Delta\varphi)} = \pm 100 \frac{\sqrt{z_{k, \text{ макс}} - \Delta z_k} - \sqrt{z_{k, \text{ макс}}}}{\sqrt{z_{k, \text{ макс}}}}$$

$$\sigma_{Q(\Delta\varphi)} = \pm 1,47\%.$$

В результате проведенных опытов выявлены ошибки прибора в определении расхода воды при допустимых отклонениях в размерах элементов, их взаимном положении и отсчетах угла колебания стрелки.

Общая погрешность прибора устанавливается как средняя квадратическая из приведенных выше погрешностей

$$\sigma_{\text{приб}} = \sqrt{\sigma_{Q(\Delta d)}^2 + \sigma_{Q(\Delta h)}^2 + \sigma_{Q(\Delta\varphi)}^2} = \pm 2\%. \quad (4)$$

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИБОРА ДРС-60

На машинном канале М-2 совхоза „Фархад“ в Голодной степи водовыпусков в напорные трубопроводы представляют собой водо-

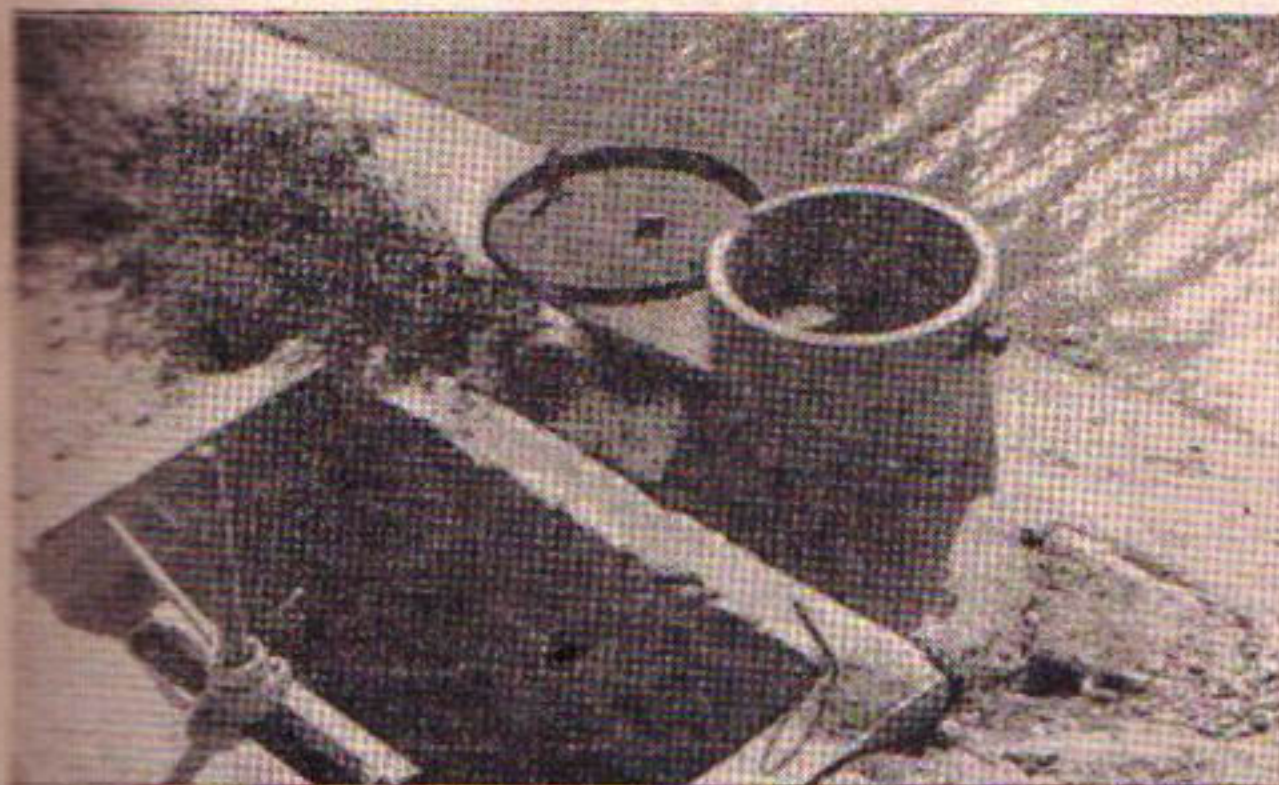


Рис. 7. Водомерный колодец с прибором на сооружении.

мерные сооружения, оборудованные приборами ДРС-60. На рис. 7 изображен водомерный колодец одного из сооружений типа водомерной приставки с трубчатым регулятором (ВПТР) и динамическим расходоуказателем.

Точность работы приборов и водомерных сооружений на канале М-2 исследовали в вегетационный период 1960 г.

Расходную шкалу циферблата разбивали по коэффициенту расхода водомера для принятой конструкции. Расход воды, проходящей через сооружение, измеряли три раза вертушкой в бетонном русле канала; одновременно записывали показания прибора.

Подобную работу провели на Кировском магистральном канале в Голодной степи на семи крупных сооружениях, переоборудованных в водомерные с помощью приставок.

Полученные результаты замера расходов воды приборами и гидрометрической вертушкой приведены в табл. 1, из которой видно, что ошибки в определении расхода приборами, установленными на водомерных сооружениях различной конструкции, по сравнению с вертушечными замерами не превышают $\sigma_Q = \pm 2-3\%$.

Таблица 1

Сооружение	Номер замера	Расход воды		
		замеренный вертушкой, л/сек	по прибору ДРС-50, л/сек	расхождение, %

По каналу М-2

М-2-6	1	122	125	+2,46
	1	259	252	-2,7
М-2-9	2	277	270	-2,6
	3	224	220	-1,79
М-2-8а	1	230	235	+2,17
	2	255	250	-1,96
	3	272	275	+1,1
	4	255	250	-1,96

По Кировскому магистральному каналу

К-10	1	1570	1550	-1,3
	2	1840	1800	-2,18
	3	2170	2130	-1,85
К-1	1	2080	2050	-1,4
	2	2490	2500	+0,4
К-10а	1	235	230	-2,12
	2	180	180	0,00
	3	205	200	-2,3
В-202/340	1	2630	2600	-1,1
	2	1050	1070	+1,8
К-4	1	810	775	-4,3
	2	1080	1050	-2,8

УСТАНОВКА ПРИБОРА НА СООРУЖЕНИИ

Патрубок прибора устанавливается вертикально в отверстие, находящееся на дне водомерного колодца и соединяющее водомерный колодец с трубой водовыпуска. Заделывается патрубок в отверстии цементным раствором или битумом так, чтобы торец патрубка не выступал за внутреннюю поверхность стенки трубы.

Корпус прибора помещается на кронштейне в водомерном колодце; при этом вертикальные оси поршня и патрубка должны совпадать.

Смещение осей допустимо в пределах $2-3^\circ$ при длине цепочки не менее 1 м.

Кронштейн прикрепляется к стенке водомерного колодца выше максимального горизонта воды. Подвес с цепочкой и поршнем можно закрепить на рычаге сектора в одном из двух положений в зависимости от величины действующего водомерного перепада z_k , приведенной в паспорте прибора и меняющейся в зависимости от конструкции водомерного сооружения.

Например, для водомерных приставок перепад $z_k = (1,2 \div 1,5) z_c$ и для трубчатых водомерных сооружений с насадком или кольцом при сужении $0,75 D$ $z_k = 0,65 z_c$.

Перепад системы z_c равен разности горизонтов верхнего и нижнего бьефов сооружения при максимальном расходе.

Поршень в патрубке должен находиться в определенном положении по высоте, поэтому длина цепочки устанавливается в водомерном колодце сооружения во время монтажа прибора. При этом расстояние от подвеса поршня измеряется до верха патрубка. Затем полученная величина расстояния откладывается от вершины поршня до конца цепочки. Если цепочка длиннее нужного размера, ее укорачивают перестановкой верхнего колечка. Определив длину цепочки, подвешивают поршень к прибору. Когда вода в водомерном колодце присутствует, вершина конуса поршня должна находиться на уровне верха патрубка или погружаться не более 10—15 мм.

После установки прибора необходимо проградуировать циферблат на максимальному расходу сооружения и соответствующему водомерному перепаду z_k .

ГРАДУИРОВКА ЦИФЕРБЛАТА ДРС-60

Расход воды, проходящей через трубчатые водомерные сооружения или водомерную приставку с затопленным истечением, определяется по формуле

$$Q = k\omega \sqrt{2gz_k}, \quad (5)$$

где Q — расход воды ($\text{м}^3/\text{сек}$);

ω — сечение в свету трубы выпуска или приставки (м^2);

k — коэффициент расхода водомера, отнесенный к месту установки патрубка прибора;

z_k — водомерный перепад давлений в колодце, где установлен прибор (м).

Прибор воспринимает перепад давлений и преобразует его в показание расхода. Ввиду того, что прибор может быть установлен на различных водомерных сооружениях с нестандартными размерами труб, циферблат необходимо градуировать отдельно для каждого сооружения.

На практике возможны два варианта градуировки циферблата: по формуле (5), когда коэффициент k известен, и по пропускной способности трубчатого водомерного сооружения, когда коэффициент k не известен.

Исходными данными для градуировки циферблата при известном коэффициенте расхода водомера k являются площадь внутреннего сечения трубы выпуска или водомерной приставки $\omega = \frac{\pi d^2}{4}$, или $\omega = b \cdot a$ и коэффициент расхода водомера k .

По принятой величине деления расходной шкалы для каждого значения расхода подсчитывают перепады z_k

$$z_{kl} = \left[\frac{Q_l}{k_w \sqrt{2g}} \right]^2$$

и заносят в таблицу.

Для каждого деления расхода и соответствующего перепада z_{kl} устанавливают угол отклонения стрелки прибора по соотношению

$$\varphi_l = z_{kl} \cdot \varphi',$$

где φ' — цена деления 1 см перепада давления в градусах, соответствующая перепаду в сооружении и приборе (по паспорту).

Форма таблицы подсчета расходной шкалы циферблата приведена ниже.

$Q_l, \text{ л/сек}$	$z_{kl} = \left[\frac{Q_l}{k_w \sqrt{2g}} \right]^2$	$\varphi_l = \varphi' \cdot z_{kl}$
----------------------	---	-------------------------------------

По полученным значениям Q_l и φ_l наносится шкала циферблата.

Исходными данными для градуировки циферблата при неизвестном коэффициенте расхода k являются размеры сооружения, перепад системы z_c , замеренный расход Q_0 в отводе за сооружением и угол φ_0 отклонения стрелки прибора.

Для того чтобы определить, в каком положении закрепить подвес с поршнем и цепочкой, по размерам сооружения D или $b \cdot a$ и величине перепада системы z_c подсчитывают возможный максимальный расход воды, пропускаемой сооружением, и соответствующий этому расходу водомерный перепад.

Установив прибор в водомерном колодце, пропускают через сооружение любой постоянный расход воды Q_0 . По шкале циферблата находят угол отклонения стрелки прибора в градусах, а расход измеряют каким-либо устройством (водосливом, вертушкой) с точностью до 3%.

Затем, учитывая величины расхода воды через установленный интервал (как и в первом варианте градуировки), определяют соответственные углы отклонения стрелки прибора φ_l по соотношению

$$\varphi_l = \varphi_0 \left(\frac{Q_l}{Q_0} \right)^2, \quad (6)$$

где Q_0 — замеренный расход воды, пропускаемой через сооружение;
 φ_0 — угол отклонения стрелки прибора при Q_0 ;

Q_l — заданная величина расхода воды через установленный интервал.

По полученным величинам углов Q_l и φ_l наносится расходная шкала на циферблат прибора.

Рассмотрим пример градуировки циферблата по второму варианту.

Допустим, что для водомерной приставки с трубчатым регулятором установлен расход 400 л/сек при максимальном перепаде системы $z_c = 40$ см. Водомерный перепад $z_k = 1,2 z_c = 48$ см при отборе давления на расстоянии $l = 0,5D$ от входа.

Согласно величине действующего на прибор перепада $z_k > 30$ см поршень прикрепляем во втором положении пружиной 2.

Установив прибор в водомерном колодце, через сооружение пропускаем расход Q_0 и замеряем его величину в канале. При этом угол отклонения стрелки φ_0 составляет 97° , а $Q_0 = 208$ л/сек.

Далее, учитывая величины расхода воды Q_i через интервал 20 л/сек, находим φ_i по соотношению (6).

Q_i , л/сек	$\left(\frac{Q_i}{Q_0}\right)^2$	φ_i^0
60	0,083	8,5
80	0,148	14,35
100	0,232	22,5
120	0,333	32,3
140	0,452	43,8
160	0,59	57,2
180	0,75	72,7
.....		
320	2,36	229
340	2,67	259
360	2,98	290
380	3,33	323
400	3,70	360

По данным Q_i и φ_i наносим шкалу расходов на циферблат (рис. 3а).

В инструкции к прибору прикладываются бланки циферблатов с градусной шкалой по окружности. Градусная шкала дана для разбивки циферблата.

Расходную шкалу, полученную по одному из описанных вариантов градуировки, необходимо наклеить на металлический циферблат.

Система или Управление канала, получив несколько приборов, распределяют их по сооружениям, проводят градуировку, а затем заказывают поставщику приборов металлические циферблаты со шкалами расходов для каждого сооружения по образцам циферблатов, выполненных на восковке.

Для стандартных размеров типовых сооружений циферблаты могут изготавливаться заводом на определенные расходы и перепады.

ВКЛЮЧЕНИЕ ПРИБОРА В РАБОТУ

Прибор считается включенным в работу, если он установлен в водомерном колодце сооружения и через патрубок с поршнем проходит вода.

Однако сначала необходимо проверить прибор в положении вне работы, когда поршень не погружен в воду.

Положение прибора вне работы характеризуется тем, что стрелка прибора не совмещена с нулем шкалы циферблата, а отстоит от него на соответствующее число градусов (по часовой стрелке), которое определяется номером пружины, местом подвеса поршня и длиной цепочки.

Значение углов отклонения стрелки от нуля шкалы при различных подвесах поршня приводим в табл. 2.

Таблица 2

Подвес первый		Подвес второй		Длина часо- вой цепочки с поршнем, см
пружина				
1	2	1	2	
15	8	7,5	4	100
16	9	8	4,5	150
17	10	8,5	5,0	200
18	11	9	5,5	250
19	12	9,5	6,0	300

Для того чтобы стрелка пришла в указанное положение, следует вывести пружину из состояния покоя, ибо силы трения в приборе могут исказить показание стрелки на 3—5%.

Указанные в табл. 2 углы отклонения стрелки прибора вне работы (без воды) обеспечивают совмещение стрелки с нулем шкалы при погружении поршня с цепочкой в воду, что соответствует рабочему состоянию прибора.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИБОРА

Перед установкой прибора на сооружении необходимо проверить состояние демпфера прибора, представляющего собой цилиндр, заполненный машинным маслом, в котором перемещается поршень.

Если масла в цилиндре недостаточно, то при равномерном натяжении цепочки с поршнем стрелка не будет равномерно передвигаться по циферблату. В таком случае нужно добавить масло в цилиндр пипеткой, приложенной к прибору. Механизм прибора вынимается из корпуса и после наполнения цилиндра маслом ставится на место и прикрепляется винтами ко дну корпуса в вертикальном положении.

Во время эксплуатации прибора может оказаться, что условия работы сооружения не вызывают резких колебаний стрелки, а ее положение с увеличением или уменьшением расхода изменяется очень медленно. Тогда машинное масло в демпфере можно заменить веретенным, менее вязким. Если же при наличии машинного масла в демпфере стрелка прибора колеблется в большом диапазоне (20—30°), то следует заменить его маслом с большей вязкостью (генераторное масло, автол и т. п.).

Периодически проверяется засоренность решетки и водомерного колодца плавающим мусором, и время от времени они очищаются.

У трубчатого сооружения с кольцом сужения проверяется засоренность трубы перед кольцом.

Один раз в пять-десять дней необходимо уточнять нулевое положение стрелки на циферблате в положении прибора вне работы. Для этого поршень с цепочкой подвешивают на крючке выше горизонта воды в колодце и проверяют угол отклонения.

По другому способу поршень прибора вынимается из патрубка и оставляется в колодце с водой в приподнятом положении на 20—30 см (вне работы). Так как в этом положении на поршень не действует перепад давлений, то стрелка прибора должна устанавливаться на нуле шкалы, что также соответствует положению прибора вне работы, но с поршнем, погруженным в воду. Такая проверка более точна, она учитывает действительную глубину погружения цепочки с поршнем в воду.

После проверки и соответствующей регулировки следует осторожно опустить поршень в патрубок.

Нормальное состояние водомерного узла и сооружения в целом, а также соблюдение условий эксплуатации обеспечивают определение расхода воды с погрешностью до 4—5% (погрешность в коэффициенте расхода водомера, ошибка прибора и строительные погрешности в размерах сечения трубы выпуска).

В заключение необходимо отметить, что динамический расходоуказатель ДРС-60 можно использовать как первичный датчик расхода в системе телеизмерения и датчик к авторегулятору расхода на сооружении.

Авторегуляторы электрического действия ДРС-60 разрабатываются в лаборатории автоматики и телемеханики Института водных проблем и гидротехники АН УзССР.

Сооружение, оборудованное прибором с авторегулятором, становится автоматом расхода, поддерживающим заданный расход при различных напорах с верхнего и нижнего бьефов.

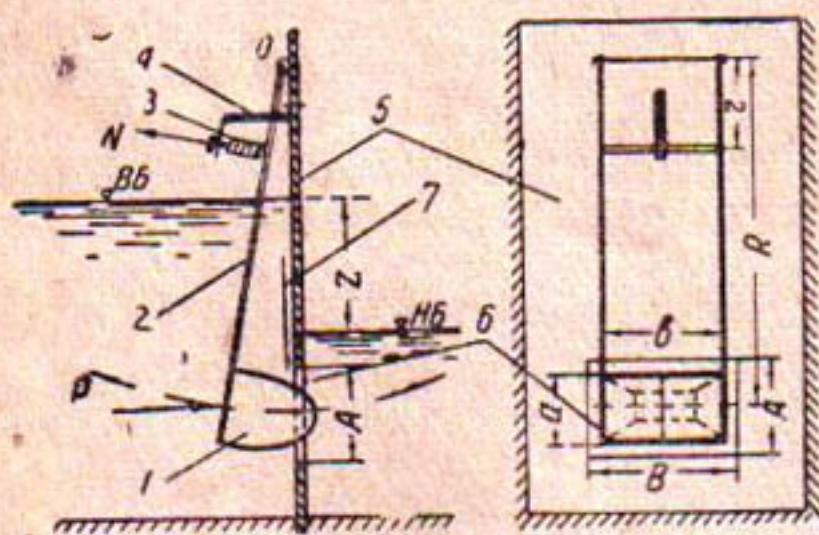
В отдельных случаях желательно знать изменение расхода на сооружении по времени, т. е. иметь прибор с самописцем расхода.

Такое усовершенствование прибора возможно. В настоящее время разрабатывается ДРС с самописцем на основе часового механизма с недельным (МЧН) или суточным (МЧС) заводом, выпускаемым Рижским заводом гидрометприборов.

Самописец может устанавливаться для постоянной работы с ДРС-60 или временного контроля за использованием воды на данном отводе.

ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПРУЖИННЫЙ АВТОМАТ ПОСТОЯННОГО РАСХОДА ВОДЫ ПАР

В 1960 г. мы исследовали и разработали конструкцию автомата, предлагаемую для участковых распределителей и временных оросителей с расходом до 300 л/сек.



Автомат устанавливается в голове оросителя с расчетом затопленного истечения через отверстие 6. При увеличении (уменьшении)

66

перепада (разности) z (уровней верхнего и нижнего бьефов) тело регулятора перемещается в отверстии и тем самым уменьшает (увеличивает) площадь истечения ω , что объясняется пропорциональностью изменения z равнодействующей давления воды P . Эта равнодействующая уравнивается силой растяжения пружины N . Таким образом, чем больше z , тем больше растянется пружина и тело регулятора войдет в плоскость отверстия, образуя необходимую площадь истечения.

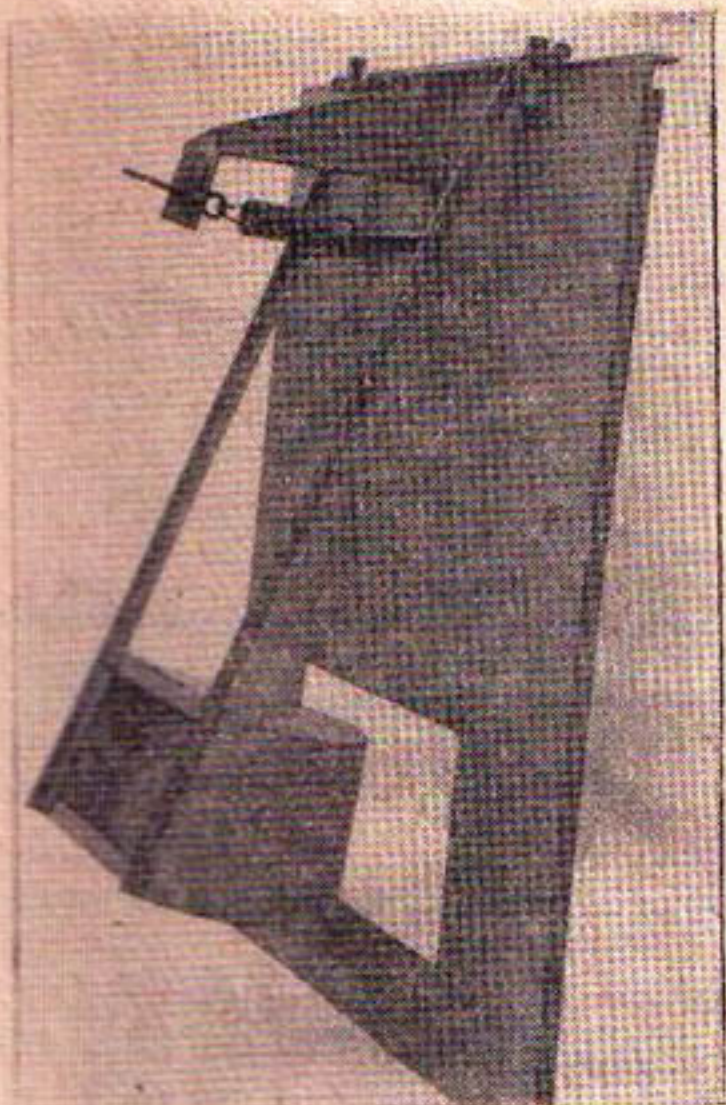


Рис. 2. Модель автомата.

Для постоянства расхода необходимо, чтобы площадь истечения изменялась обратно пропорционально $\sqrt{z}$. Действительно, если $\omega = \frac{c}{\sqrt{z}}$ и $M = \text{const}$, то $Q = \mu \omega \sqrt{2gz} = M \omega \sqrt{z} = Mc = \text{const}$.

При $M \neq \text{const}$ следует учесть и изменение $\mu = f(z)$.

Здесь μ — коэффициент расхода, отнесенный к площади истечения ω ; $M = \mu \sqrt{2g}$; c — постоянный параметр. Подобным образом можно рассчитать сечение отверстия, форму поверхности тела, пружину и т. д.

Для исследования запроектировали и изготовили почти натурную (масштаб 1:1,5) модель автомата-регулятора ПАР (рис. 2) на расчетный (нормальный) расход 30 л/сек с отверстием в стенке 35×24 см. Модель установили в прямоугольной лотке большого стенда лаборатории.

Мы определяли: а) точность поддержания $Q = \text{const}$ в диапазоне изменения z от 0 до 20 см при различных уровнях в верхнем и нижнем бьефах; б) коэффициент расхода, отнесенный к площади истечения; в) действительное давление воды на тело регулятора; г) возможность изменения расхода воды регулированием высоты отверстия в стенке (теоретически для точного регулирования нужно было бы менять форму тела регулятора); а также проверяли и уточняли способ расчета автоматов ПАР.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИИ

Расходы воды определяли точным (протарированным) мерником; уровни воды отмечали по батарее пьезометров; растяжение пружины, фактические площади истечения измеряли непосредственно.

Всего мы провели три серии опытов по 18—20 в каждой, которые отличались заданными расходами, изменяющимися уменьшением или увеличением высоты отверстия в стенке. В результате установлено, что расчетный (нормальный) расход $Q_{ср.р} = 27,3 \text{ л/сек}$ обеспечивается со среднеквадратичной ошибкой $\delta = \pm 2,4\%$ (рис. 3); при

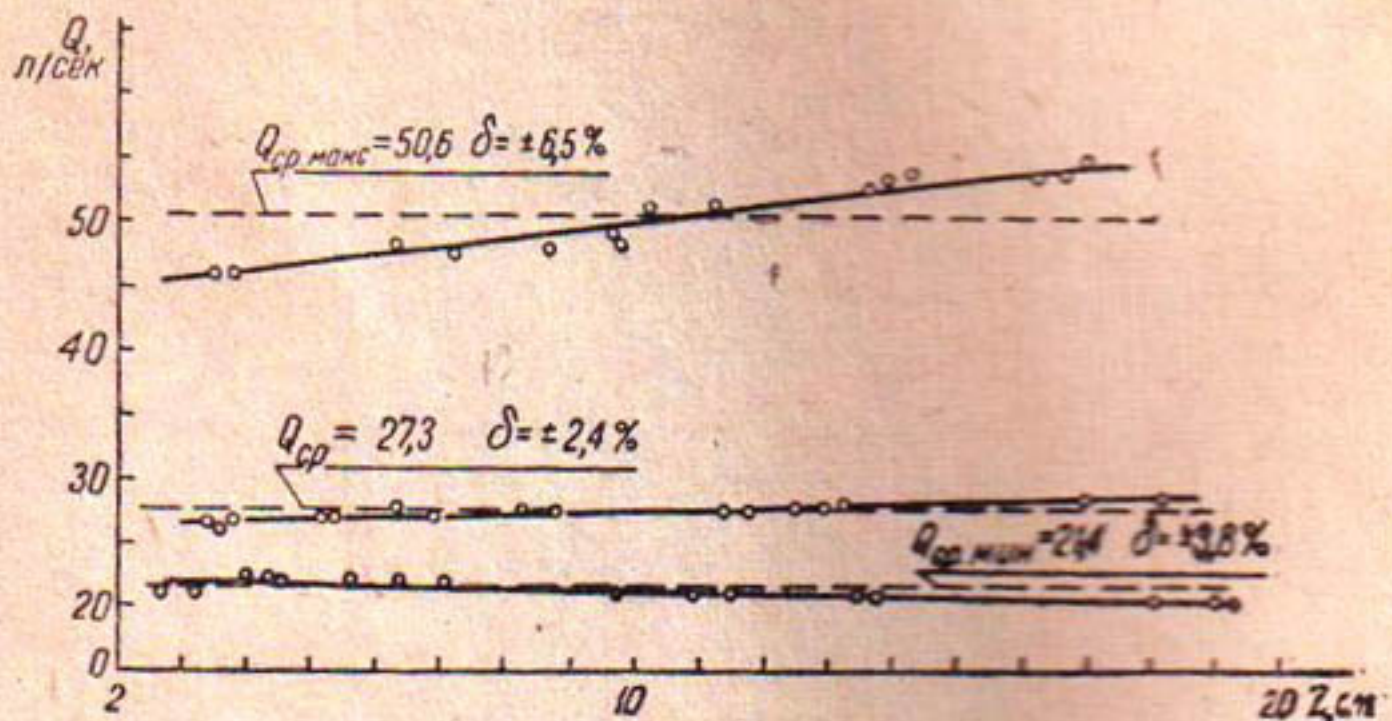


Рис. 3. График точности поддержания постоянного расхода.

уменьшении расхода до $Q_{ср. мин} = 21,4 \text{ л/сек}$ $\delta = \pm 3,8\%$, с увеличением расхода до $Q_{ср. макс} = 50,6 \text{ л/сек}$ ошибка оказалась $\delta = \pm 6,5\%$. Отсюда диапазон изменения заданного расхода при допустимой погрешности $\pm 6\%$ можно принять $Q_{мин} = 0,7 Q_p$, $Q_{макс} = 1,6 \div 1,7 Q_p$, т. е. диапазон от максимума к минимуму равен 2,3, среднее значение коэффициента расхода μ при Q_p и $Q_{мин}$ равно 0,56, а при $Q_{макс}$ $\mu = 0,65$; для малых перепадов $z = 5 \text{ см}$ значение μ снижается до 0,45 и 0,60.

Действительное давление воды P на тело регулятора совпадает с гидростатическим ($P_{ст} = \gamma f_y z$) при $z > 7 \text{ см}$. Если $z < 7 \text{ см}$, то $P_{ст}$ следует уменьшить в $1,3 \div 1,4$ раза.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА АВТОМАТА

Для расчета сечений отверстия в стенке, тела регулятора и площадей истечения устанавливаем Q_p — расчетный, нормальный расход воды; $z_{макс}$ — максимальный перепад между уровнями в верхнем и нижнем бьефах; H , h — глубины воды в канале и отводе.

Исходя из

$$Q = \omega + f \tag{1}$$

и

$$\omega = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gz}}, \tag{2}$$

определяем площадь сечения в стенке при Q_p и $z_{макс}$.

Приняв $f_{\text{макс}} = 0,66 \Omega$, имеем

$$\Omega = \omega + 0,66 \Omega = 2,95 \omega = \frac{2,95 Q_p}{\mu \sqrt{2gz_{\text{макс}}}}, \quad (3)$$

где Ω — площадь сечения в стенке;

ω — площадь истечения, необходимая для поддержания $Q_p = \text{const}$;

f — площадь сечения тела регулятора в плоскости отверстия;

μ — коэффициент расхода.

Сечения отверстия и тела регулятора прямоугольные, причем при $z_{\text{макс}}$ соотношение ширины к высоте составляет 1,5.

Далее, задаваясь значением z от максимума до минимума через каждые 4—5 см, определяем площади сечений тела регулятора $f = \Omega - \omega$; где Ω в данном случае величина постоянная, а ω вычисляем по уравнению (2). Так как сечения тела прямоугольные, то, считая высоту a постоянной, получаем переменную от z ширину b ; расчет удобнее вести в табличной форме.

Для расчета пружины принимаем длину (радиус) R рычага такой, чтобы пружина 3 была выше максимального уровня в верхнем бьефе на 20—25 см, плечо (расстояние от оси 0—0 до места зацепа пружины с рамой) $r = \frac{1}{4}R$. Предположим также, что ход (перемещение тела регулятора по дуге радиуса R) $l = 1,2 \div 1,3 z$.

Равнодействующая давлений воды на тело регулятора (затопленное истечение) следующая:

$$p = \gamma f_y z, \quad (4)$$

где γ — объемный вес воды;

f_y — проекция тела регулятора на вертикальную плоскость.

Формула (3) действительна при уравнивании вертикальной составляющей давления воды на тело регулятора полый частью (водонепроницаемой); она должна быть равнозначна весу подвижной части автомата (рама + тело регулятора), т. е.

$$g_p = \gamma w_n;$$

здесь g_p — вес подвижной части;

w_n — объем полый части.

Тогда максимальная нагрузка на пружину

$$N = 4p = 4 \gamma f_y z_{\text{макс}};$$

максимальное растяжение пружины

$$\Delta l_{\text{пр}} = \frac{1,2 \div 1,3 z_{\text{макс}}}{4}; \quad (5)$$

$$\text{диаметр пружины } D = \frac{16d^3}{N}; \quad (6)$$

$$\text{число витков пружины } n = \frac{1000 d^4 h}{D^3}, \quad (7)$$

где h — относительное растяжение, равное $\frac{\Delta l_{\text{пр}}}{N}$;

d — диаметр проволоки (условие — $\frac{D}{d}$ не менее 4).

В этом случае D и d измеряются в миллиметрах, N — в килограммах.

Установление окончательной формы тела регулятора. После изготовления пружину рекомендуем протарировать весовым способом и составить характеристику $\Delta l_{\text{пр}} = f(N)$.

По характеристике пружины, чертежу автомата и формулам

$$\omega = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gz}}, \quad f = \Omega - \omega, \quad p = \gamma f, \quad z, \quad N = 4p$$

окончательно устанавливаем форму тела регулятора, т. е. расположение сечений тела регулятора по дуге радиуса R .

Определение необходимой высоты отверстия в стенке при $Q_{\text{макс}}$ и $Q_{\text{мин}}$.

Если $Q_{\text{макс}} = 1,6 \div 1,7 Q_p$, то

$$\Omega = A \cdot B = \frac{Q_{\text{макс}}}{\mu \sqrt{2gz_{\text{макс}}}} + f_{\text{макс}}; \quad A_{\text{макс}} = \frac{\Omega}{B};$$

здесь $f_{\text{макс}}$ и B остаются неизменными, $\mu = 0,65$ (опытные данные).

При $Q_{\text{мин}} = 0,7 Q_p$ и $\mu = 0,56$ имеем

$$\Omega = \frac{Q_{\text{мин}}}{\mu \sqrt{2gz_{\text{макс}}}} + f_{\text{макс}}; \quad A_{\text{мин}} = \frac{\Omega}{B}.$$

Приводим пример расчета автомата для временных оросителей на расходы 30—70 л/сек (рис. 4).

Дано: $Q_p = 40$ л/сек, $Q_{\text{макс}} = 70$ л/сек, $Q_{\text{мин}} = 30$ л/сек, $z_{\text{макс}} = 25$ см, $z_{\text{мин}} = 4$ см, наибольшая глубина воды в старшем канале 70 см.

1. Определяем необходимые данные для пропуска $Q_p = 0,04$ м³/сек при $z_{\text{макс}} = 0,25$ м.

Площадь истечения по формуле (2) —

$$\omega = \frac{Q_p}{\mu \sqrt{2gz_{\text{макс}}}} = \frac{0,04}{0,56 \cdot 4,43 \sqrt{0,25}} = 0,033 \text{ м}^2;$$

площадь в стенке из зависимостей (3) —

$$\Omega = 2,95 \omega = 0,097 \text{ м}^2;$$

площадь сечения тела регулятора по формуле (1) —

$$f = \Omega - \omega = 0,097 - 0,033 = 0,064 \text{ м}^2.$$

Высота и ширина сечения регулятора при $b = 1,5 a$ будет

$$a = \sqrt{\frac{f}{1,5}} = \sqrt{\frac{0,064}{1,5}} = 0,20 \text{ м}; \quad b = 0,32 \text{ м}.$$

Высота и ширина отверстия в стенке составляют

$$A = \sqrt{\frac{\Omega}{1,5}} = \sqrt{\frac{0,097}{1,5}} = 0,26 \text{ м}; B = 0,37 \text{ м}.$$

2. Задаваясь значением z от максимума $= 25 \text{ см}$ до минимума $= 4 \text{ см}$, определяем необходимые для $Q_p = 0,04 \text{ м}^3/\text{сек} = \text{const}$ величины ω , f , a , b (таблица).

Принимая радиус рамы $R = 80 \text{ см}$ и радиус до пружины $r = 1/4 R = 20 \text{ см}$, получим форму тела регулятора (рис. 4) начиная с вертикального положения рамы-рычага при $z_{\text{макс}} = 25 \text{ см}$. При этом сечение тела регулятора в плоскости отверстия в стенке должно составлять $20 \times 32 \text{ см}$. Если ход тела регулятора по дуге радиуса R , l считать равным $1,2 z$, то можно определить положение сечений при $z = 20, 15, 10, 6, 4$.

Расчетные величины	Перепад уравнений z , см					
	25	20	15	10	6	4
Ω , см ²	$26 \times 37 = 970$					
ω , см ²	330	360	412	500	676	910
f , см ²	640	610	558	470	294	60
a , см	20	20	20	20	20	20
b , см	32	30	28	23,5	14,7	3

3. Расчет пружины. Давление воды на регулятор при $z_{\text{макс}} = 25 \text{ см}$; $p = \gamma f_y z_{\text{макс}} = 1 \times 800 \times 25 = 20000 = 20 \text{ кг}$. Здесь $f_y = 25 \times 32 = 800 \text{ см}^2$ — площадь проекции тела регулятора на вертикальную плоскость (рис. 4). Сила растяжения пружины $N_{\text{макс}} = 4p = 4 \times 20 = 80 \text{ кг}$.

Максимальное растяжение (удлинение) пружины

$$\Delta l_{\text{пр}} = \frac{1,2 z_{\text{макс}}}{4} = \frac{1,2 \times 25}{4} = 75 \text{ мм};$$

относительное удлинение пружины на 1 кг

$$h = \frac{\Delta l_{\text{пр}}}{N} = \frac{75}{80} = 0,94;$$

диаметр пружины при диаметре проволоки $d = 5,5 \text{ мм}$

$$D = \frac{16 d^3}{N} = \frac{16 \times 5,5^3}{80} = 33 \text{ мм};$$

число витков пружины

$$n = \frac{1000 d^4 h}{D^3} = \frac{1000 \times 5,5^4 \times 0,94}{33^3} = 26.$$

После изготовления пружины, ее необходимо протарировать весовым способом для получения фактической характеристики $\Delta l_{\text{пр}} = f(N)$ и уточнить форму тела регулятора (расположение сечений по дуге радиуса R).

4. Определение необходимой высоты отверстия A в стенке при $Q_{\text{макс}}$ и $Q_{\text{мин}}$. Если $Q_{\text{макс}} = 1,7 Q_p = 70 \text{ л/сек}$, то

$$\Omega = A \times B = \frac{Q_{\text{макс}}}{\mu \sqrt{2g z_{\text{макс}}}} + f_{\text{макс}} = \frac{0,070}{0,65 \times 4,43 \sqrt{0,25}} + 0,064 = 0,1125 \text{ м}^2,$$

$$A_{\text{макс}} = \frac{Q}{B} = \frac{0,1125}{0,37} = 0,30 \text{ м.}$$

Следовательно, высота отверстия в стенке автомата должна быть 30 см, ширина B остается неизменной, т. е. 37 см.

При $Q_{\text{мин}} = 0,7 \cdot Q_p = 28 \text{ л/сек}$

$$Q = \frac{0,028}{0,56 \times 4,43 \sqrt{0,25}} + 0,064 = 0,087 \text{ м}^2,$$

$A_{\text{мин}} = \frac{0,087}{0,37} = 0,23 \text{ м} = 23 \text{ см}$, т. е. щиток надо опустить на 3 см против расчетного.

5. Определение полой (водонепроницаемой) части тела регулятора. Вес воды, вытесненной полой частью, должен быть равен весу рамы с телом регулятора $\gamma w_n = g_p$.

По чертежу (рис. 4) вес рамы, оси и тела регулятора составляет 7,2 кг. Тогда расстояние между водонепроницаемыми перегородками будет 12 см.

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ АВТОМАТОВ И ТЕХНИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ ИХ

Для внутрихозяйственных оросителей запроектированы два стандарта (размера) автоматов. Первый — для временных оросителей с нормальным (расчетным) расходом 40 л/сек, $z_{\text{макс}} = 25 \text{ см}$ и возможностью зарядки 30–70 л/сек; второй — для участковых оросителей с нормальным расходом 130 л/сек, $z_{\text{макс}} = 30 \text{ см}$ и диапазоном от 90 до 200 л/сек. Эти два стандарта автоматов являются наиболее ходовыми и массовыми.

После производственного апробирования автоматов рекомендуется централизованное (серийное) изготовление их на заводах или в мастерских. В случае необходимости можно запроектировать автоматы на большие расходы, но не более 400 л/сек, так как в противном случае конструкция получится громоздкой.

Автомат постоянного расхода ПАР состоит (см. рис. 4) из

а) рамы-рычага из стоек 2 ($\perp$ 2), поперечины 3 ($\perp$ 2), рамки 4 ($\perp$ 2), к которой шурупами привинчивается тело регулятора, и оси 1 ($\varnothing$ 15 мм). В середине поперечины 3 делается отверстие $\varnothing$ 7 мм для зацепа пружины;

б) тела-регулятора 5 с двумя водонепроницаемыми перегородками из оцинкованного кровельного железа. В нижней части, за второй перегородкой делаются 4–5 отверстий $\varnothing$ 10 мм.

в) цилиндрической пружины 6 ($D = 33$; $d = 5,5 \text{ мм}$, число рабочих витков $n = 26$) с болтом $\varnothing$ 8 и гайкой 7 (головка болта в виде проушины $\varnothing$ 7–8 мм);

г) П-образного кронштейна 8 ($\perp$ 3), к которому привариваются пластинка 10 ($150 \times 50 \times 5$) с прорезью (25×10) для болта 7, уголки 9 с отверстиями для болтов $\varnothing$ 10; последними весь кронштейн прикрепляется к стенке (щиту) автомата;

д) щита (стенки) автомата 11 из котельного железа толщиной 3–4 мм с отверстием $300 \times 370 \text{ мм}$. К стенке с лицевой стороны привариваются или приклепываются (впотай) прокладки 13 (35×10) и

ригели 12 (L 5) для образования пазов для щитка 16 и жесткости стенки. При этом левый ригель обрывается и выше делается передвижной уголок 19 с продольными прорезями (30×12) для болтов Ø 10 (см. деталь узла А на рис. 4), что объясняется необходимостью ввода оси 1 рамы регулятора в соответствующие отверстия (Ø 16) уголков-ригелей и регулирования горизонтальности.

Ось 1 фиксируется муфтами 20 с упорными винтами. Сверху к стенке с низовой стороны на четырех болтах Ø 10 прикрепляется верхний ригель 14 (L 6,5) с прорезью (70×7) в горизонтальной полке для тяги щитка;

е) щитка 16 (405×350×4) с тягой 17 (60×5) с целью ручной регулировки расхода воды и полного закрытия автомата. В тяге делаются отверстия Ø 6 через 1 см для чеки (запора).

Экспликация к автомату постоянного расхода ПАР-30/70 (рис. 4)

	Количество	Металл
Ось Ø 15, $l = 550$ мм	1	Сталь
Стойка рамы-рычага, $l = 900$	2	L 2
Поперечный уголок для пружины, $l = 320$	1	L 2
Уголки для крепления тела	4	L 4
Тело регулятора	1	Оцинкованное железо
Пружина $d=55$, $D=33$, число витков $n=26$	1	Пружинная сталь
Болт с гайкой для пружины	1	M-8×100
Уголок кронштейна, $l=325$	2	L 3
Уголок с болтами M-10	2	L 3
Пластина 150×50×5	1	Сталь
Щит-автомат 1100×700×4	1	.
Ригель щита правый, $l=1100$	1	L 5
Ригель щита левый, $l=950$	1	L 5
Прокладка для паза 1100×35×10	2	Сталь
Верхний ригель, $l=700$	1	L 65
Болты с гайками M-10×50	6	M-10
Щиток 405×350×4	1	Сталь
Тяга щитка 750×60×5	1	.
Ручка Ø 15, $l=300$	1	.
Передвижной уголок, $l=105$	1	L 5
Муфта с упорным винтом 16	2	Сталь
Шурупы Ø 5	10	

Автомат постоянного расхода ПАР-90/200 конструктивно подобен первому за исключением того, что ручной подъем заменен винтовым с подъемником П-1.

В обеих конструкциях стенка, рама, кронштейн, тело регулятора, щиток окрашиваются краской против коррозии; пружина, винт подъемника, болты смазываются маслом при эксплуатации.

Перед установкой автоматов на местах их применения должны быть подготовлены бетонные (блочные или монолитные) водовыпуски. Для автоматов ПАР-30/70 в головах временных оросителей рекомендуется устраивать выпуски, подобно изображенному на рис. 5а. Объем бетона при монолитном варианте составляет 0,54 м³, при блочном—0,34 м³. Один автомат ПАР-30/70 возможно использовать на нескольких водовыпусках (его вес около 45 кг). Для этого автомат заделывается в пазах 1 временной замазкой (пастой), чтобы его можно было перенести в другой водовыпуск.

Для автоматов ПАР-90/200 и более рекомендуется водовыпуск-
лоток (рис. 5б). Автомат устанавливается стационарно: защитить его
можно решеткой 2 и крышкой 3. Кроме этого, решетка предохраняет

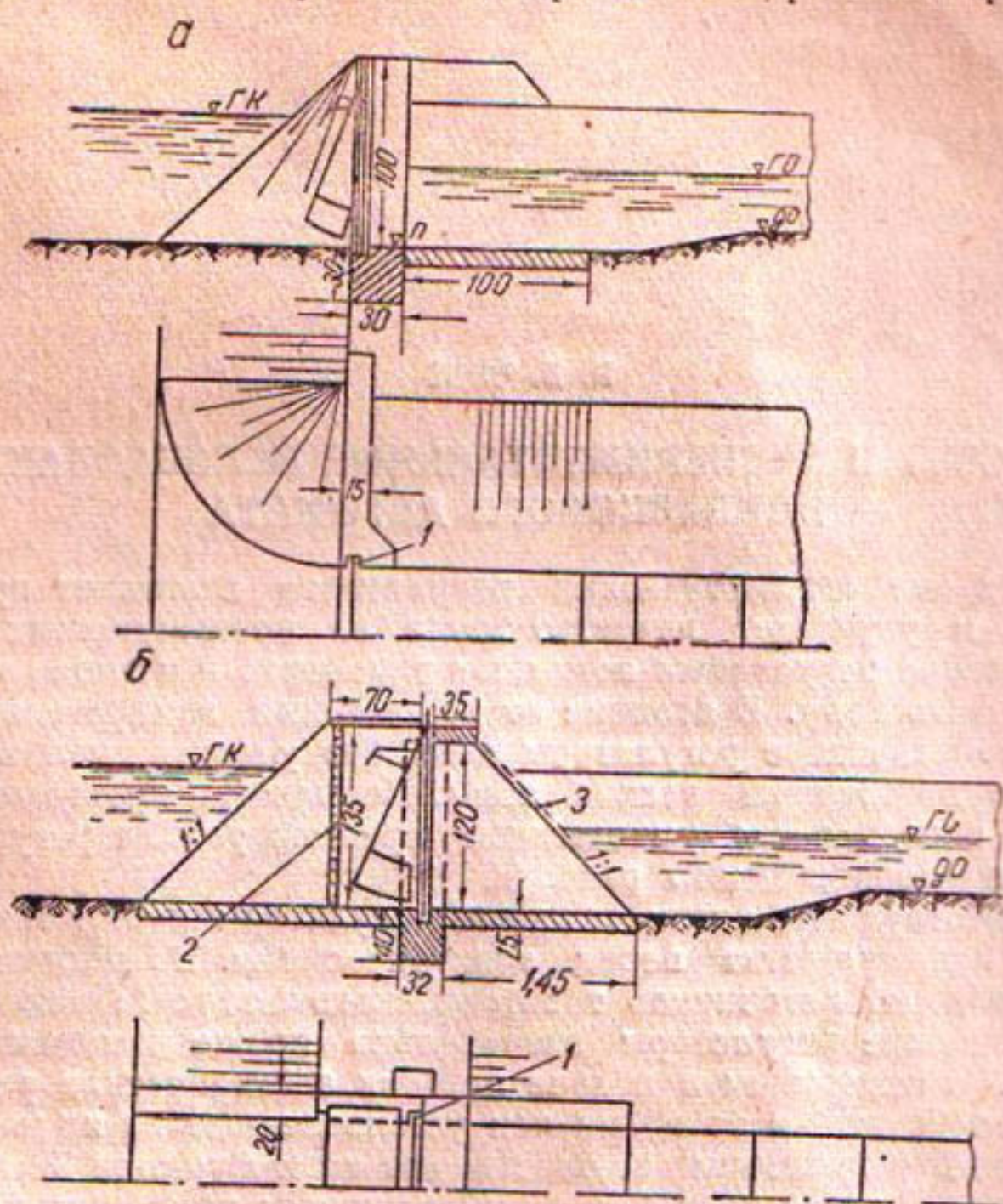


Рис. 5. Водовыпуски для автоматов:
а—ПАР-30/70; б—ПАР-90/200 и более.

автомат от крупного мусора. Объем бетона при монолитном варианте
равен $2,4 \text{ м}^3$, при блочном — $1,4 \text{ м}^3$. Опытная партия автоматов ПАР
изготавливается на Заводе ирригационного приборостроения МВХ
УзССР.

И. Б. ЧИЖ

РАСЧЕТ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПЛАВКОВОГО АВТОМАТА

Применение автоматических регуляторов повышает производительность и улучшает качество труда на ирригационных каналах. Автоматические регуляторы помогают учитывать и планомерно расходовать воду. В отличие от водомерных измерительных устройств автоматические регуляторы сами, без участия человека поддерживают постоянный расход воды. Количество прошедшей через них воды определяется умножением времени работы регулятора на величину поддерживаемого расхода.

Вододействующие автоматические регуляторы имеют также определенные преимущества перед электрическими. Во многих случаях вдоль канала нет источников электрического питания. По конструкции вододействующие регуляторы значительно проще и надежнее электрических. С перерывом в подаче питания электрические регуляторы перестают работать, в то время как установленные на их месте вододействующие регуляторы осуществляют свои функции непрерывно.

Однако всем известным вододействующим автоматическим регуляторам свойствен общий недостаток — большая погрешность в регулировании расхода воды. В связи с переходом к телемеханическому управлению ирригационными каналами необходимо пересмотреть требования, предъявляемые к точности работы регуляторов. Суммарная погрешность настройки регулятора и погрешность работы самого регулятора не должны превышать 3—5%¹. Следовательно, нужно всемерно добиваться уменьшения погрешности регуляторов и телемеханических устройств. По-видимому, в настоящее время от новых конструкций автоматических регуляторов расходов нужно требовать погрешность не выше 3%.

Другими недостатками автоматических регуляторов являются узкий диапазон работы, сложность настройки на новое задание, отсутствие полного автоматизма, сложность и ненадежность конструкции и др.

Медленное внедрение автоматических регуляторов в производство отчасти объясняется тем, что большинство из них не поддается расчету без данных о гидродинамических силах, действующих на затворы. Эти сведения могут быть получены только приблизительно лишь на основе трудоемких гидродинамических расчетов или экспериментально.

¹ „Временные правила технической эксплуатации оросительных систем“ предусматривают погрешность до 5—6%.

В настоящей статье мы приводим результаты исследования нового вододействующего автоматического регулятора постоянного расхода — поплавкового автомата¹.

Автомат предназначен для поддержания постоянного расхода воды, забираемой в отводящий канал. Величину расхода можно изменять настройкой автомата.

Область применения данной конструкции ограничена условием незатопленного истечения².

При разработке конструкции поплавкового автомата необходимо было получить высокую точность регулирования, простую настройку

на новое задание, широкий рабочий диапазон, простую и надежную конструкцию, большую пропускную способность сооружения. Для расчета автомата не требовались сведения о гидродинамических силах.

Кинематическая схема поплавкового автомата приведена на рис. 1. Автомат устанавливается в начале отводящего канала выпуклой стороной сегментного щита к старшему каналу.

При изменении уровня верхнего бьефа меняет свое положение поплавок 1, а связанные с поплавком тросом 2 барабан 4, вал 5 и кулачок 6 поворачиваются на определенный угол. Кулачок 6, наматывая или разматывая (в зависимости от того поднялся или опустился поплавок) трос 7, действует на „ноги“ 9 и перемещает сегментный затвор в такое положение, при котором расход воды из-под щита

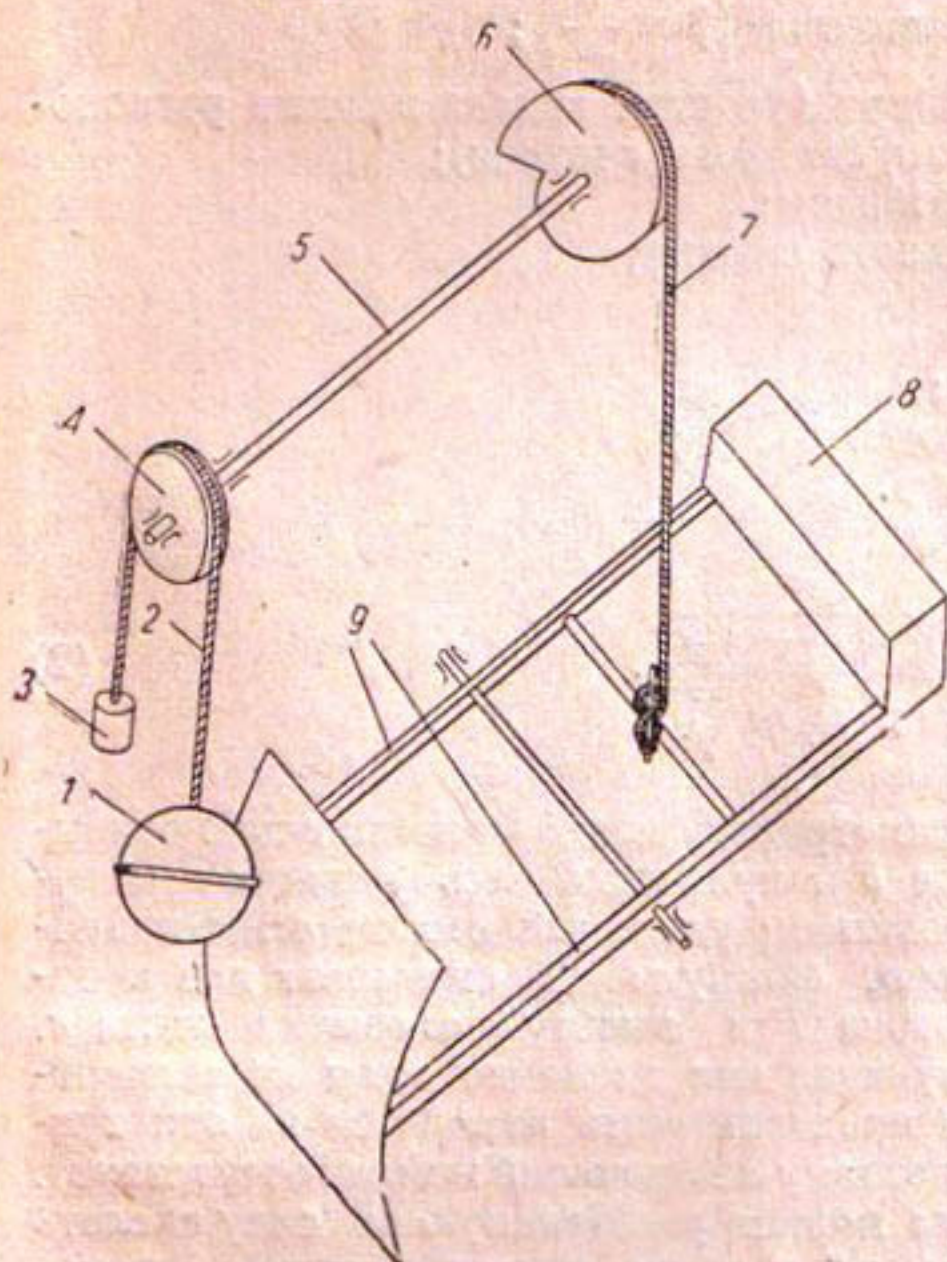


Рис. 1. Кинематическая схема поплавкового автомата.

остается постоянным. Груз 3 служит противовесом поплавку; силовое замыкание кулачка осуществляется грузом 8. Автомат настраивается на новое задание изменением длины троса 7.

Для того, чтобы течение не сносило поплавок, необходимо поместить его в колодец, который можно использовать и для гашения волн.

Схема автомата показывает, что он сравнительно прост и надежен (рис. 1).

Применение профилированного кулачка позволяет учесть скорость подхода, изменение коэффициента расхода и другие факторы, влияющие на точность регулирования.

¹ Авторское свидетельство № 120926 от 29 января 1958 г. на имя И. Б. Чижа.

² В конце статьи в виде приложения приводим конструкцию автоматического регулятора, применимого при затопленном истечении, и ее вариант с телемеханической настройкой на новое задание.

Профиль кулачка рассчитывается с помощью формулы удельного расхода воды, учитывающей скорость подхода [1]

$$q = \frac{\mu \tau_e T^{3/2} \sqrt{2g(1-\epsilon' \tau_e)}}{\sqrt{1 - \alpha' \mu^2 \beta^2 \tau_e^2}}, \quad (1)$$

где q — удельный расход, т. е. расход, приходящийся на единицу ширины отверстия под щитом;

α' — первый корректив скорости;

μ — коэффициент расхода;

β — коэффициент бокового сжатия $\left(\beta = \frac{b}{B}\right)$;

B — ширина канала до сужения (участок канала в месте расположения регулятора прямоугольного сечения);

b — ширина отверстия под щитом;

ϵ' — коэффициент вертикального сжатия;

$$\tau_e = \frac{e}{T};$$

e — высота открытия щита;

T — глубина потока в верхнем бьефе;

g — ускорение силы тяжести.

Представим формулу (1) в виде

$$q = \frac{\mu e \sqrt{2g(T - \epsilon' e)}}{\sqrt{1 - \alpha' \mu^2 \beta^2 \frac{e^2}{T^2}}}. \quad (2)$$

Коэффициенты μ и ϵ' можно рассматривать как функции только открытия затвора; угол поворота вала 5 и кулачка 6 есть функции T ; коэффициент α' будем считать постоянным; удельный расход q мы принимаем постоянным. Следовательно, формула (2) связывает две переменные величины — глубину потока T и высоту открытия щита e .

Как известно, равнодействующая сил давления воды на сегментные затворы, у которых центр кривизны щита находится на оси вращения, проходит через ось и поэтому вращающий момент отсутствует. Увеличив размеры поплавка, мы можем развиваемую им силу сделать значительно больше силы „подсоса“ и пренебречь последней. Это позволяет рассчитывать автомат без экспериментальных данных о гидродинамических силах. Опытное испытание устройства после его изготовления будет носить характер технического контроля. Исправление может коснуться только одного кулачка.

Учет скорости подхода обуславливает широкий рабочий диапазон поплавкового автомата. Без учета скорости подхода при больших открытиях затвора погрешность регулирования делается недопустимо большой, вследствие чего рабочий диапазон у многих регуляторов недостаточен.

Поплавковый автомат, как и две другие конструкции (рис. 9 и 10), не укладывается в существовавшую до последнего времени классификацию известных вододействующих автоматических регуляторов. Эта классификация содержит три группы устройств, в каждой из которых один или два параметра, характеризующие работу регулятора, постоянны, а остальные изменяются так, что расход воды остается постоянным. В предложенных нами конструкциях учитывается изменение всех параметров. Поэтому в классификацию автоматических регуляторов постоянного расхода мы ввели новую, четвертую группу [2].

Размеры щита, рамы, высота оси затвора над дном канала выбираются исходя из условий, в которых будет работать автомат.

Так как кулачок не может делать больше одного оборота, то максимальный угол поворота барабана 4 (рис. 1) не должен превышать 360° , что следует учитывать во время выбора диаметра барабана. Противовес 3 при максимальном уровне верхнего бьефа не должен погружаться в воду. Поэтому вал 5 располагать на достаточной высоте, или для противовеса выбирать сухой колодец, или, наконец, делать для вала отдельный барабан меньшего диаметра.

После того как будут найдены основные размеры конструкции, можно рассчитать профиль кулачка¹. Затем необходимо провести силовой расчет, в который входит, в частности, выбор материала для изготовления автомата, определение необходимой подъемной силы поплавка, определение нагрузок, проверка конструкции на прочность. Методы силового расчета изложены в литературе [3—5]. По особенностям конструирования самих сегментных затворов имеется работа [6]. Следует отметить, что подробный силовой расчет требуется только при проектировании автоматов массового производства. В остальных случаях можно пользоваться упрощенным расчетом.

Рассчитанную конструкцию полезно проверить на колебательные свойства. Если рассматривать только малые колебания, то поведение поплавкового автомата в динамическом режиме можно описать следующим дифференциальным уравнением:

$$I_n \ddot{\Omega} + p_n \dot{\Omega} + C_n \Delta\Omega = \frac{C_n}{k_p} \Delta h, \quad (3)$$

где I_n — приведенный момент инерции;

p_n — приведенный коэффициент сопротивления воды движению системы;

C_n — приведенный коэффициент упругости системы;

$\Delta\Omega$ — угол отклонения системы от положения равновесия;

$$k = \left. \frac{d\Omega}{d\varphi} \right|_{\Omega=\Omega_1},$$

т. е. производная угла поворота затвора по углу поворота кулачка в положении, характеризуемом углом открытия щита $\Omega = \Omega_1$ (положение равновесия);

Δh — приращение уровня воды в месте расположения поплавка;

ρ — радиус барабана.

Коэффициенты, фигурирующие в уравнении (3), выражаются через параметры автомата таким образом:

$$I_n = I + \frac{kl}{W} (I_1 + \rho^2 m) \cos \Omega_1; \quad (4)$$

здесь I — момент инерции сегментного затвора;

I_1 — момент инерции вала 5 (рис. 1) с барабаном и кулачком;

l — расстояние от места крепления троса „на ногах“ до оси вращения затвора;

W — радиус кулачка (при малых колебаниях профиль кулачка принимаем за окружность);

m — сумма масс поплавка и его противовеса.

¹ Расчет профиля кулачка дан ниже (стр 83—85).

Другие величины, входящие в формулу (3), имеют вид

$$p_{\Pi} = p + \frac{kl\rho^2 r}{W} \cos \Omega_1, \quad (5)$$

$$C_{\Pi} = \frac{kl\rho^2}{W} \gamma s \cos \Omega_1, \quad (6)$$

где p — коэффициент сопротивления воды движению поплавка;

γ — объемный вес воды;

s — площадь ватерлинии поплавка.

Формулы (4, 5, 6) позволяют судить о влиянии тех или других параметров на динамические свойства регулятора. Необходимо избегать такого выбора параметров, при котором может наступить резонанс. Для предупреждения этого явления необходимо, чтобы собственная частота колебаний f_0 автомата была значительно больше возможной частоты колебаний f_m уровня воды, т. е.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{\Pi}}{I_{\Pi}}} \gg f_m. \quad (7)$$

Уравнение (3) позволяет приближенно оценить динамическую точность работы автомата при различных возмущающих воздействиях. Предположим, что

$$\Delta h = h_m \sin \omega t, \quad (8)$$

где h_m — амплитуда колебаний воды около положения равновесия;

ω — угловая частота колебаний воды;

t — время.

Приводим решение уравнения (3), соответствующее установившемуся движению:

$$\Delta \Omega = \Omega_m \sin (\omega t - \delta); \quad (9)$$

здесь

$$\Omega_m = \frac{E_m}{\sqrt{(C_{\Pi} - I_{\Pi} \omega^2)^2 + p_{\Pi}^2 \omega^2}}, \quad (10)$$

$$\delta = \arctg \frac{p_{\Pi} \omega}{C_{\Pi} - I_{\Pi} \omega^2}. \quad (11)$$

Применим для удельного расхода воды из-под щита формулу

$$q = M(e_1 + \Delta e) \sqrt{T + \Delta T}, \quad (12)$$

где M — коэффициент;

e_1 — открытие щита, при котором производится линеаризация;

Δe — приращение открытия щита;

T — глубина потока в верхнем бьефе над порогом;

ΔT — приращение глубины потока в верхнем бьефе.

Предположим, что

$$\Delta T = T_m \sin (\omega t + \lambda); \quad (13)$$

здесь T_m — амплитуда колебаний приращения глубины потока в верхнем бьефе;

λ — угол сдвига фаз колебаний уровня воды перед щитом по отношению к фазе колебаний уровня воды в месте нахождения поплавка.

После линеаризации

$$e = h_{\text{ш}} - R \sin (\Omega + \zeta), \quad (14)$$

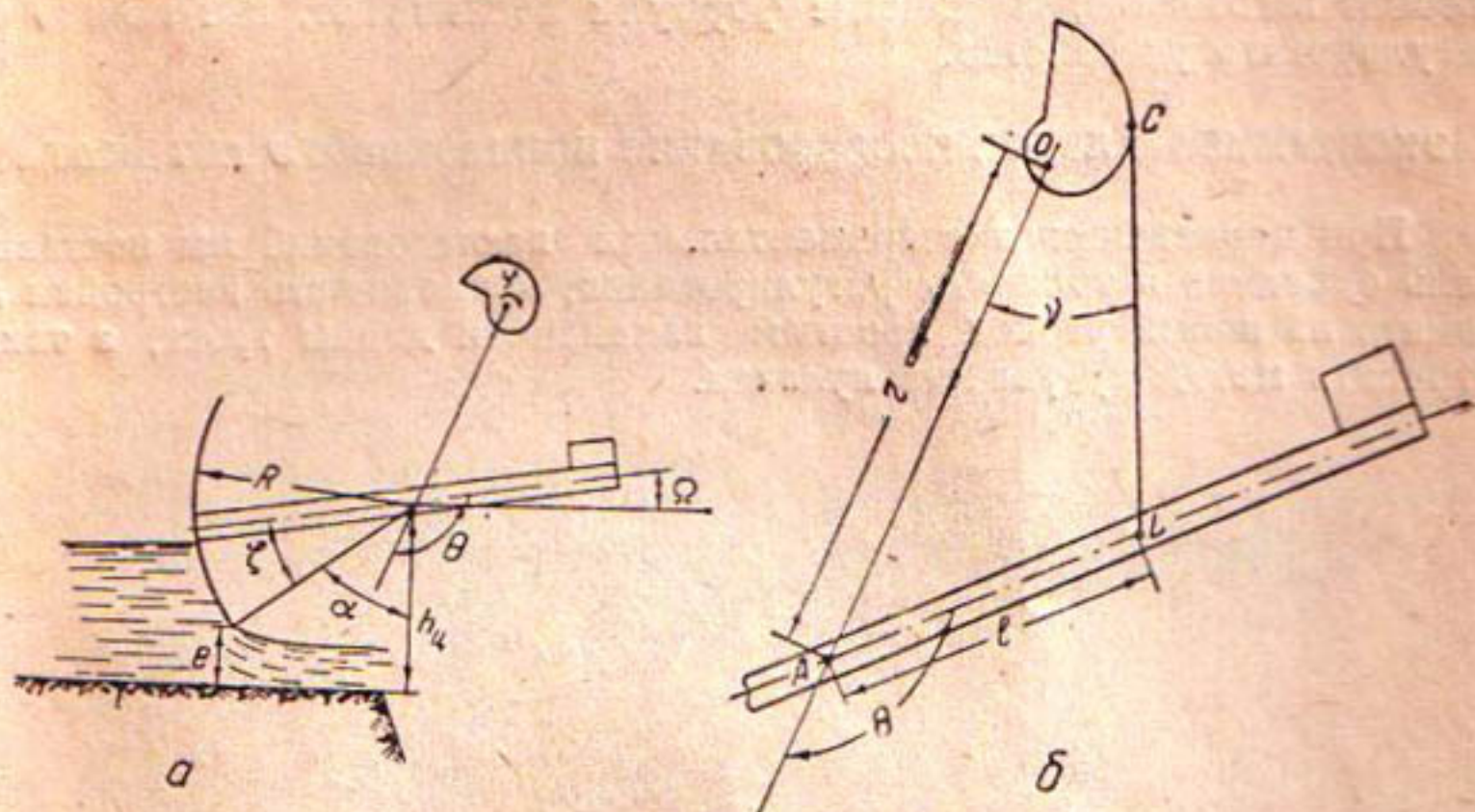


Рис. 2. Положение основных элементов автомата.

где $h_{\text{ш}}$ — высота оси затвора над порогом;

R — радиус щита;

ζ — угол (рис. 2),

получим

$$\Delta e = -A_m \sin (\omega t - \delta), \quad (15)$$

причем

$$A_m = R \Omega_m \cos (\Omega_1 + \zeta).$$

Используя выражение (12, 13, 15), находим приближенное выражение для средней абсолютной погрешности автомата:

$$\Delta q_{\text{ср}} \cong -\frac{q_0}{4} \left[\frac{A_m T_m}{e_1 T} \cos (\lambda + \delta) + \frac{T_m^2}{4 T^2} \right], \quad (16)$$

где q_0 — удельный расход при отсутствии колебаний, равный $Me_1 \sqrt{T}$. Средняя относительная погрешность автомата

$$\Delta q_{\text{отн}} \% = -\frac{1}{4} \left[\frac{A_m T_m}{e_1 T} \cos (\lambda + \delta) + \frac{T_m^2}{4 T^2} \right] 100 \%. \quad (17)$$

Из формул (16 и 17) видно, что уменьшение амплитуды колебаний щита позволит существенно увеличить точность автомата. Поэтому поплавки хорошо помещать в успокоительный колодец. Зная наиболее вероятные частоты колебаний воды и параметры автомата, можно определить примерные значения угла δ . Угол λ сдвига фаз колебаний поверхности воды в канале и колодце зависит от частоты ко-

лебаний воды в канале и геометрических размеров колодца. Очевидно, можно так подобрать значения углов δ и λ , чтобы значение $\cos(\lambda + \delta)$, входящее в уравнение (17), было малым. Этим повысится точность работы автомата.

Разумеется, проверять конструкцию на колебательные свойства можно не только расчетом, но и экспериментально, после того как автомат изготовлен. Найденные формулы показывают, как можно отрегулировать устройство.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЛАВКОВОГО АВТОМАТА

При проведении экспериментальных исследований мы поставили цель определить точность регулирования, возможность настройки автомата на новый расход простым изменением длины троса, а также уточнить методику расчета кулачка.

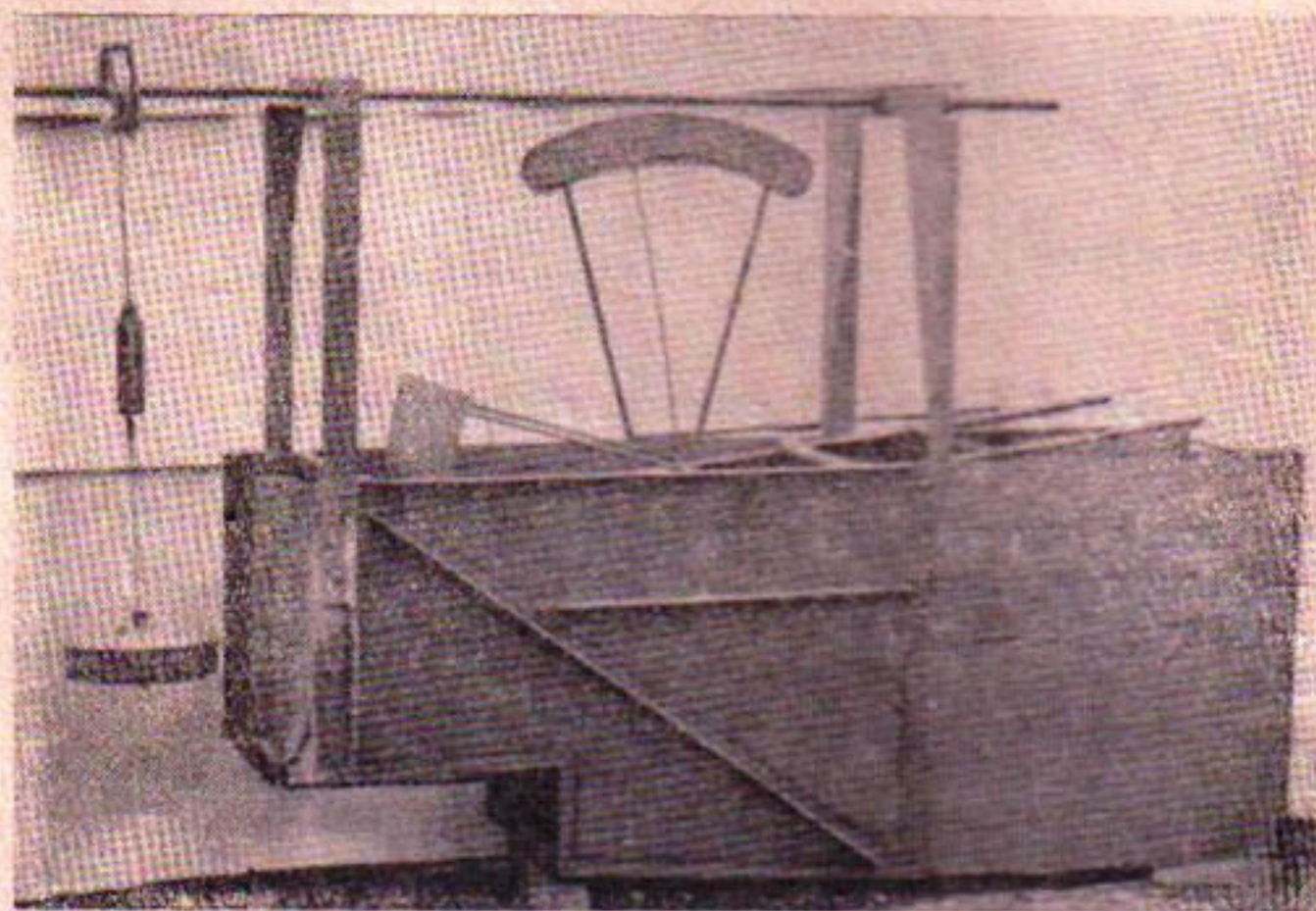


Рис. 3. Модель поплавкового автомата.

Модель изготовили в экспериментальных мастерских Института водных проблем и гидротехники АН УзССР (рис. 3). Лоток был сделан из листовой стали и обшит уголковым железом. Вал затвора установили на центрах, а вал, на котором находились кулачок и барабан, — на шариковых подшипниках. Кулачок и барабан имели с валом шпоночное соединение. Противовес щита и перекладина, где закрепляли трос, передвижные; их положение фиксировалось винтами.

Для отсчета угла открытия затвора укрепили шкалу на лотке, а на затворе — стрелку¹. Общая длина модели составила 2 м, ширина лотка — 40 см, ширина отверстия под щитом — 20 см. Радиус сегментного затвора равнялся 54 см, высота оси над порогом — 44,3 см. Вал с кулачком и барабан находились на высоте 113 см над порогом, длина которого 80,5 см; уступ за порогом — 18,5 см, рабочий диаметр

¹ Во время экспериментов этим приспособлением не пользовались, но при эксплуатации автомата оно необходимо.

барабана — 14 см, вес затвора с противовесом и перекладиной — 15 кг 800 г; диаметр ватерлинии поплавка — 25 см.

Кулачок рассчитывали после того, как вся остальная часть модели была изготовлена. Таким образом, были известны уточненные размеры устройства.

Положив в знаменателе формулы (2) $T = T_{\text{макс}}$ (максимальный уровень воды в верхнем бьефе)¹ и обозначив

$$m = \frac{\mu}{\sqrt{1 - \alpha' \mu^2 \beta^2 \frac{e^2}{T_{\text{макс}}^2}}},$$

получили

$$q = me \sqrt{2g(T - \varepsilon' e)}. \quad (18)$$

При определении профиля кулачка мы воспользовались зависимостями коэффициента расхода и коэффициента вертикального сжатия от угла открытия сегментного затвора [7].

За расчетный мы приняли минимальный удельный расход $q = 800 \text{ см}^2/\text{сек}$. Из формулы (18) подстановкой $T = r\varphi$ получаем

$$\varphi = \frac{q^2}{2gm^2e^2} + \frac{\varepsilon' e}{r}, \quad (19)$$

где φ — угол поворота кулачка, отсчитываемый от положения, при котором плоскость плавания поплавка совпадает с горизонтальной плоскостью порога.

Величина открытия щита e связана с углом открытия щита α (рис. 2а) зависимостью

$$e = h_{\text{ш}} - R \cos \alpha. \quad (20)$$

Формулы (19, 20) позволяют построить функцию $\alpha = \alpha(\varphi)$. Необходимые для построения графика $\alpha = \alpha(\varphi)$ расчеты приведены ниже ($q = 800 \text{ см}^2/\text{сек}$, $r = 7 \text{ см}$, $h_{\text{ш}} = 44,3 \text{ см}$, $R = 54 \text{ см}$, $g = 980 \text{ см}/\text{сек}^2$):

$e, \text{ см}$	$\cos \alpha = \frac{h_{\text{ш}} - e}{R}$	m	ε'	$\varphi = \frac{q^2}{2gm^2e^2} + \frac{\varepsilon' e}{r}$	α°	φ°
5	0,728	0,72	0,78	4,2	43	238
6	0,709	0,71	0,76	3,2	45	185
7	0,691	0,69	0,75	2,8	46	158
8	0,673	0,68	0,73	2,4	48	138
9	0,654	0,66	0,72	2,3	49	129
10	0,636	0,65	0,71	2,1	51	122

В промежуточных расчетах сохраняли одну (последнюю) ненадежную цифру. Величины углов округляли до целых градусов.

Минимальное открытие e щита определяется максимально допустимым значением T . В условиях нашего стенда $T_{\text{макс}} = 30 \text{ см}$ (при $T = 34 \text{ см}$ возможен перелив воды через стенки резервуара).

Максимальное значение e ограничено условием $e < \frac{2}{3} r\varphi$, т. е. щит не должен полностью выходить из воды.

¹ Такая замена равносильна приближенному учету скорости подхода.

По вышеприведенным данным был построен график $\alpha = \alpha(\varphi)$. Для удобства последующего дифференцирования, которое производилось графически, ординаты кривой были увеличены в 10 раз.

Далее нужно было определить θ_0 и α_0 (значения углов θ и α при закрытом затворе). При закрытом затворе измерили стороны треугольника, имеющего вершины в точках сечения вертикальной плоскостью оси затвора (точка A), перекладкины (точка L) и центра вращения кулачка (точка O). Решив треугольник, мы нашли угол OAL , а затем $\theta_0 = 180^\circ - \angle OAL$; α_0 определили, как $\alpha_0 = \arccos \frac{h_a - e}{R}$ при $e = 0$.

Были получены следующие значения: $\overline{AO} = 97,3$, $\overline{OL} = 35,8$, $\overline{AL} = 75,1$ см, $\theta_0 = 161^\circ$, $\alpha_0 = 35^\circ$.

Используя известный способ [8] построения профилей кулачков, работающих с гибкой связью, мы получили формулу (см. рис. 26)

$$\nu = \arctg \frac{\left(\frac{da}{d\varphi} + 1\right) \sin(\theta_0 + \alpha_0 - \alpha)}{\left(\frac{da}{d\varphi} + 1\right) \cos(\theta_0 + \alpha_0 - \alpha) + \frac{r}{l}}; \quad (21)$$

здесь $r = \overline{AO}$,
 $l = \overline{AL}$.

Дальнейшие расчеты ($\theta_0 = 161^\circ$, $\alpha_0 = 35^\circ$, $r = 97,3$ см, $l = 75,1$ см) приведены ниже:

φ°	α°	$\frac{da}{d\varphi}$	$\theta = \theta_0 + \alpha_0 - \alpha$	$\sin \theta$	$\cos \theta$	$\operatorname{tg} \nu$	ν°	$x^\circ = \theta - \nu$
122	51	-0,16	145	0,574	-0,819	0,77	38	107
129	49	-0,13	147	0,545	-0,839	0,81	39	108
138	48	-0,11	148	0,53	-0,848	0,84	40	108
158	46	-0,064	150	0,5	-0,866	0,93	43	107
185	45	-0,037	151	0,485	-0,875	1,0	45	106
238	43	-0,013	153	0,454	-0,891	1,1	47	106

Из полученных данных видно, что $\left|\frac{da}{d\varphi}\right| \ll 1$, поэтому профиль кулачка можно приблизительно определить по следующей формуле:

$$\nu = \operatorname{arctg} \frac{\sin(\theta_0 + \alpha_0 - \alpha)}{\cos(\theta_0 + \alpha_0 - \alpha) + \frac{r}{l}}. \quad (21')$$

При этом упрощается расчет кулачка: не нужно находить производную $\frac{da}{d\varphi}$.

Найденных данных достаточно для построения профиля кулачка (рис. 4). Мы отложили (в масштабе 1:10) отрезок $\overline{AO} = r = 97,3$ см; затем под углом $\theta = 245^\circ$ к его продолжению провели отрезок $\overline{AL} = l = 75,1$ см и из точки L под углом $\angle ALO = x_0 = 106^\circ$ провели первую касательную LC к будущему профилю кулачка.

Для удобства дальнейших построений из центра O описали часть окружности AA_1 радиусом r . Под углом $\Delta\varphi_1 = 53^\circ$ к прямой OA провели отрезок прямой $\overline{OA_1} = r$. Из точки A_1 под углом $\theta_1 = 151^\circ$ к продолжению отрезка $\overline{OA}$ провели отрезок прямой $\overline{A_1L_1} = l$. Затем из точки L_1 под углом $x_1 = 106^\circ$ провели вторую касательную к искомому профилю кулачка.

Далее последовательно откладывали углы $\Delta\varphi_2 = 27^\circ$, $\Delta\varphi_3 = 20^\circ$, $\Delta\varphi_4 = 9^\circ$, $\Delta\varphi_5 = 7^\circ$ и аналогично предыдущему проводили касательные. Эти касательные позволили построить профиль рабочей части кулачка; оставшая часть кулачка, изображенная на рис. 4 пунктиром, была дополнена произвольно. Профиль кулачка, примененный в эксперименте, изображен на рис. 5.

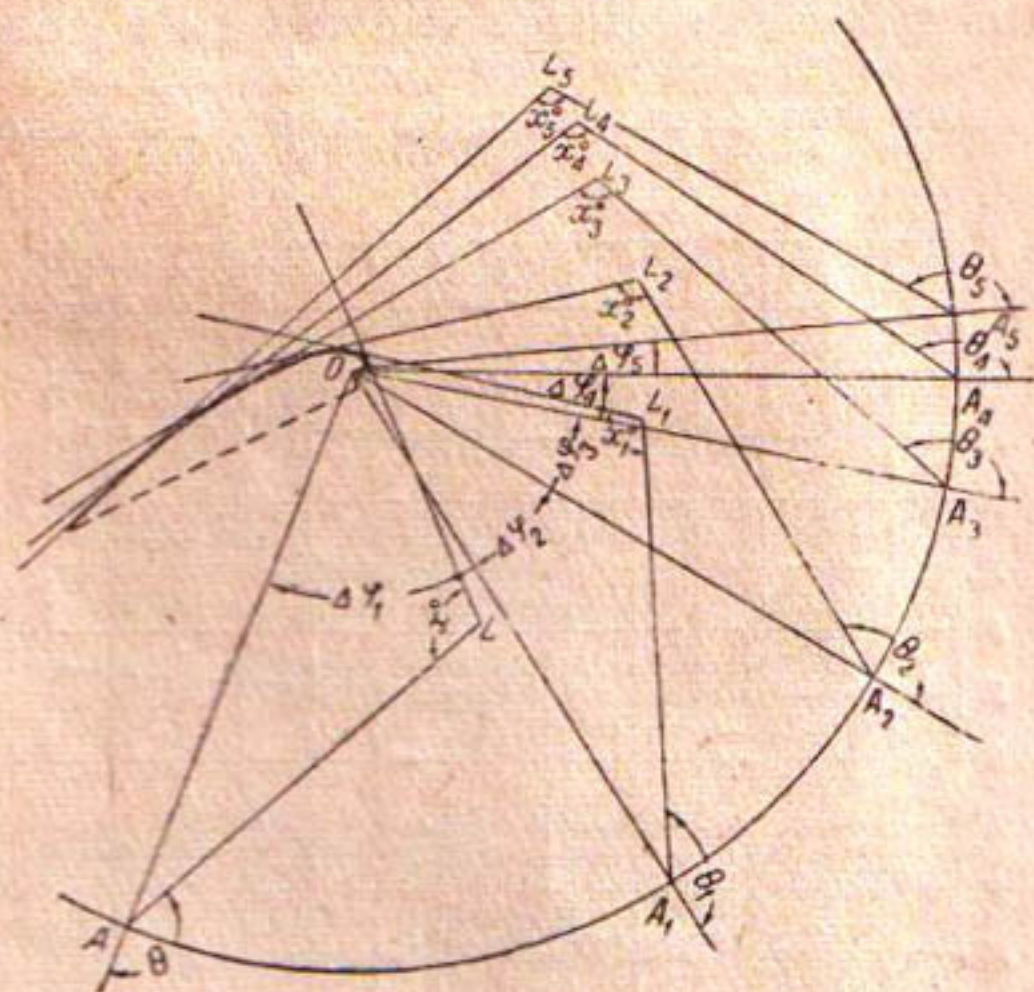


Рис. 4. Построение профиля кулачка.

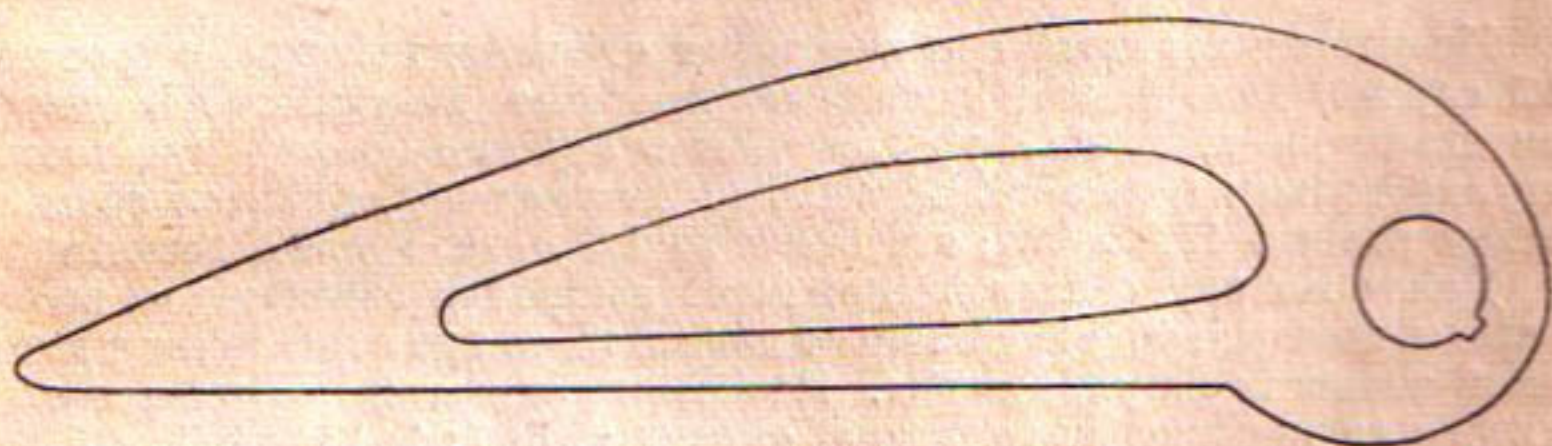


Рис. 5. Профиль кулачка (масштаб 1:2)

К испытаниям¹ поплавковый автомат подготавливали следующим образом. На деревянном бруске делали зарубку на расстоянии от края, равном необходимому начальному открытию щита; при помощи такого бруска можно было легко и точно устанавливать нужные открытия щита. Для этого брусок ставили на порог, щит — на зарубку, фиксировали положение затвора и брусок вынимали. Затем в резервуар напускали воду до отметки 30 см над порогом; к барабану подвешивали поплавок с противовесом. Одновременно на вал насаживали кулачок и закрепляли шпонкой. Регулируя длину троса, на котором висел поплавок, добивались такого поворота вала, при котором кула-

¹ В испытаниях устройства принимал участие ст. лаб. Г. И. Боровинский.

чок приходил в положение, соответствующее уровню воды $T_{\text{макс}} = 30 \text{ см}$ и начальному открытию щита $e_n = 5 \text{ см}$. Исходное положение кулачка определяли ориентировочно по рис. 4.

Таким образом, в начале эксперимента ватерлиния поплавка находилась на высоте 30 см над порогом, щиту было придано необходимое открытие, а трос максимально выбран кулачком. Затем уровень воды в резервуаре понижали и записывали показания пьезометра мерника и соответствующие отметки уровня воды в резервуаре. Минимальный горизонт верхнего бьефа определялся положением, при котором до выхода нижней кромки щита из воды оставалось 2–5 см.

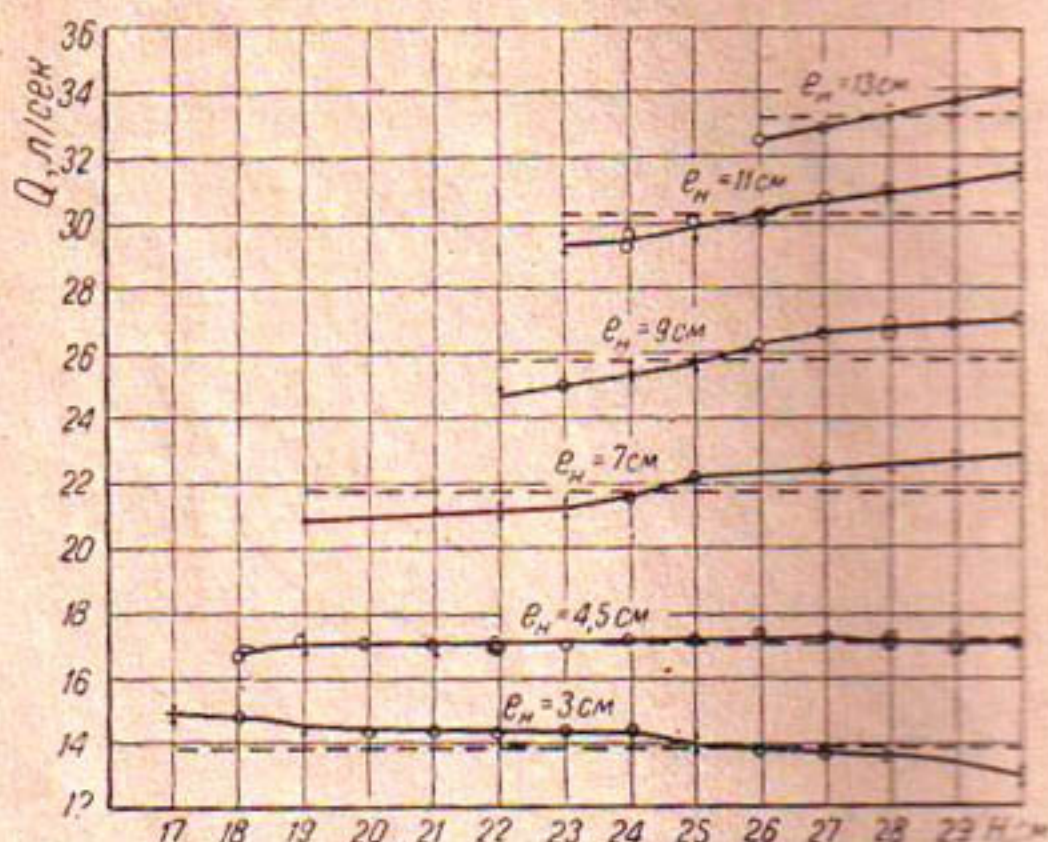


Рис. 6. Работа автомата при различных открытиях затвора.

Испытания автомата при начальном открытии щита 5 см (расчетный случай) дали вполне удовлетворительные результаты. В широком диапазоне изменения уровня воды в верхнем бьефе погрешность регулирования не превосходила 2,3%. Автомат поддерживал средний расход равным 17,5 л/сек; это всего на 1,5 л/сек больше расчетного.

Далее мы определяли возможность настройки автомата на новые расходы изменением одной только длины троса при сохранении приемлемой точности регулирования. Начальные открытия щита были следующие (в порядке выполнения опытов): 5; 7; 9; 11; 13; 3; 4,5 см.

Для каждого начального открытия щита проводили серию опытов. На рис. 6 приведены кривые, показывающие работу автомата при различных начальных открытиях затвора. Сведения о работе устройства при открытии затвора $e_n = 5 \text{ см}$ имеются на отдельном чертеже (рис. 7). Для наглядного представления регулирующих свойств автомата на рис. 7 приведена кривая в, снятая при заклиненном затворе с постоянным открытием щита $e = 5 \text{ см}$. Анализ кривых (рис. 6, 7) показывает, что настройку автомата на новые расходы можно осуществлять без смены кулачка только одним изменением длины троса. При этом для расходов от 14 до 33 л/сек и изменения уровня воды в верхнем бьефе в широких пределах погрешность остается меньше 3%. Если же рассматривать расходы от минимального расчетного 16 л/сек и выше (до 33 л/сек), то погрешность при изменении уровня воды

от максимальной величины, определяемой высотой стенки резервуара, до минимальной, определяемой выходом нижней кромки щита из воды, не превышает 5%.

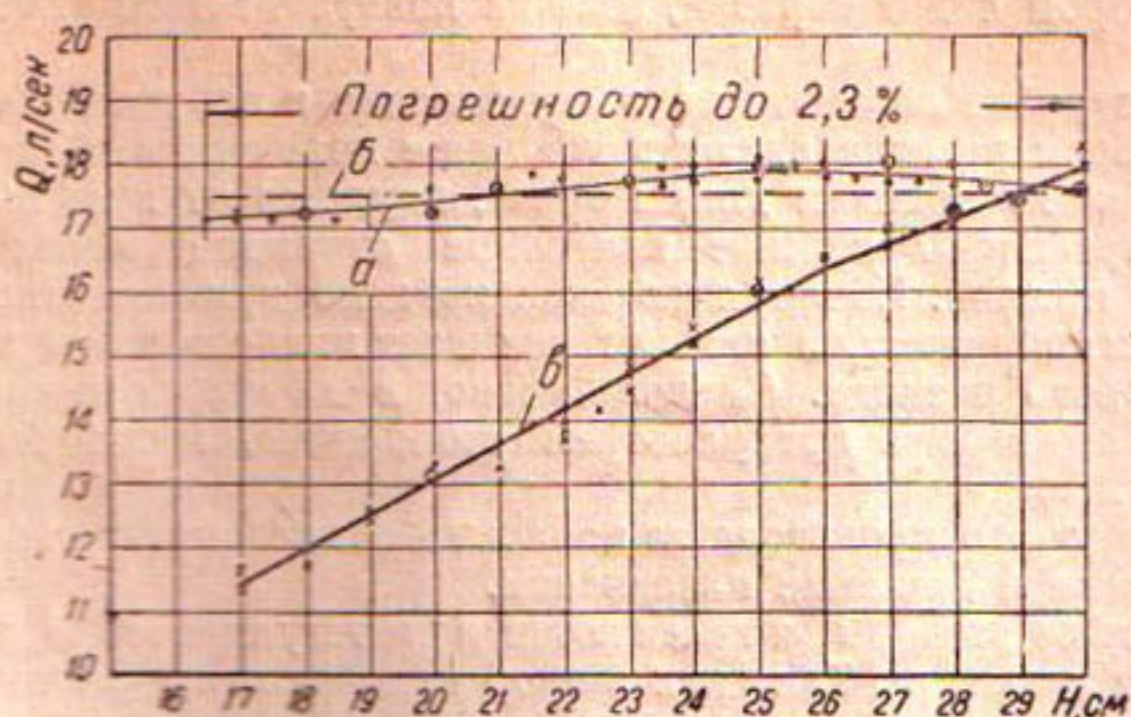


Рис. 7. Работа автомата при начальном открытии щита $e_n = 5$ см:

a — в режиме поддержания постоянного расхода; b — среднее значение расхода; c — при постоянном открытии щита.

Можно следующим образом объяснить хорошую точность работы автомата при расходах, отличающихся от расчетного. Из рис. 6, 7 видно, что при начальном открытии щита больше 4,5 см абсолютная погрешность увеличивается; однако по-



Рис. 8. Фильтрация воды при закрытом затворе.

вышается и поддерживаемый автоматом средний расход, а также сужается диапазон работы устройства.¹ В результате при увеличении начального открытия щита относительная погрешность остается небольшой. Предвидя это свойство, мы и рассчитывали кулачок на минимальный расход.

Наибольшая точность автомата получилась при начальном открытии щита, равном 4,5 см, т. е. несколько меньшем расчетного. Погрешность в этом случае не превышает 1,2%. Следовательно, минимальная погрешность получилась при начальном открытии щита, близком к расчетному.

Зависимости, приведенные на рис. 6 и 7, позволяют построить регулировочную характеристику.

При расчете кулачка не учитывалась фильтрация между щитом и стенками стенда. Из графика (рис. 8), полученного экспериментально при закрытом затворе, видно, что фильтрация воды была не более 0,5 и не менее 3 л/сек. Полученная высокая точность регулирования доказывает, что фильтрация также может быть учтена приданием кулачку определенной формы. Ориентировочные расчеты показали, что температурная погрешность автомата невелика.

Конструкция производственного образца автомата может несколько отличаться от рассмотренной модели. Желательно, чтобы он был

¹ Сужение диапазона работы автомата объясняется тем, что в случае больших начальных открытий щита при снижении уровня щит из воды выходит раньше.

закрыт от солнца и ветра кожухом, но внутренняя часть автомата должна оставаться доступной для осмотра и наладки.

Колодец для поплавка удобно делать в дамбе канала, поэтому вал, на котором сидит барабан, должен поворачиваться влево и вправо на 90° .

При настройке автомата на новое задание в производственных условиях кулачок устанавливают в исходное положение и застопоривают вал; затем изменением длины троса, идущего от кулачка к перекладке, определяют нужное начальное открытие щита; при этом пользуются шкалой. После того как найдено нужное открытие щита, вал расстопоривают, и автомат начинает поддерживать постоянное значение нового расхода. Следовательно, в промышленном образце автомата должен быть предусмотрен стопорящий механизм и шкала со стрелкой.

Для массового производства поплавкового автомата можно использовать прочные и дешевые пластмассы.

Сегментные затворы применяются для регулирования различных по величине расходов. Так как затвор поплавкового автомата почти уравновешен, то даже при значительных размерах поплавков не получается большим.

Заметим, что при проектировании автомата на всевозможные расходы нет необходимости производить каждый раз кинематический расчет. От рассчитанного одного устройства легко перейти к другому. В расчете профиля кулачка участвует удельный расход, поэтому результат вычислений пригоден для автоматов с любой шириной щита, т. е. с различными расходами. Следовательно, изменяя ширину щита при неизменных остальных размерах, можно получать конструкции автомата на различные номинальные расходы.

Другой способ перехода от известной конструкции к конструкциям, предназначенным для других расходов, основывается на теории подобия. Гидротехнические сооружения моделируются по критерию Фруда. Расходы и линейные размеры связаны соотношением

$$\frac{Q}{Q_m} = \left(\frac{l}{l_m} \right)^{5/2},$$

где Q и l — расход и линейный размер натуре;

Q_m и l_m — расход и линейный размер модели.

Если рассчитана и исследована какая-либо модель поплавкового автомата на номинальный расход Q_m , то для получения конструкции с аналогичными свойствами (в отношении точности, возможности настройки на новые задания без смены кулачка и др.), но на номинальный расход Q линейные размеры нового устройства должны быть изменены в $\left(\frac{Q}{Q_m} \right)^{0,4}$ раза. Например, мы рассчитали и исследовали модель на $Q_m = 16$ л/сек; при определении конструктивных параметров автомата для номинального расхода $Q = 160$ л/сек все размеры модели нужно увеличить в $\left(\frac{Q}{Q_m} \right)^{0,4} = \left(\frac{160}{16} \right)^{0,4} \cong 2,5$ раза.

Можно также сочетать оба способа перехода от рассчитанной конструкции к новой: сначала изменить ширину щита, а затем, пользуясь следствием из критерия Фруда, дополнительно изменить все размеры.

При переходе от одного устройства к другому может потребоваться некоторая корректировка профиля кулачка.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика расчета автомата проста и достаточно точна.
2. Рабочий диапазон автомата ограничивается только высотой стенда (дамбы канала) и обеспеченностью верхнего бьефа водой.
3. При расходе воды, близком к расчетному, погрешность автомата меньше 3%.
4. Настройка автомата на новый расход может производиться изменением длины троса, без смены кулачка. Погрешность при этом в широком диапазоне работы автомата остается меньше 3%.

Приложение

Нами разработаны также другие конструкции автоматических регуляторов постоянного расхода воды в каналах.

Автоматический регулятор расхода воды в открытых каналах.¹ При затопленном истечении можно применять устройство, схематично изображенное на рис. 9; оно отличается от поплавкового автомата наличием дифференциала и еще одного поплавка. Это устройство поддерживает постоянный расход воды в отводящем канале при всевозможных колебаниях уровней верхнего и нижнего бьефов.

Регулятор работает следующим образом. Когда изменяется уровень верхнего бьефа, поплавок 1 тросом 4 поворачивает барабан 5, вал 6 и солнечное колесо 7 дифференциала на некоторый угол φ_6 . При изменении уровня нижнего бьефа меняет свое положение поплавок 20 и тросом 15 поворачивает барабан 11, трубчатый вал 10 и солнечное колесо 9 дифференциала на угол φ_{10} . Вследствие поворота сателлитного колеса 8 вал 12 поворачивается на угол

$$\varphi_{12} = \frac{\varphi_6 - \varphi_{10}}{2}.$$

Вместе с валом 12 меняет положение неподвижно сидящий на нем кулачок 13. Кулачок 13, наматывая или разматывая трос 14, воз-

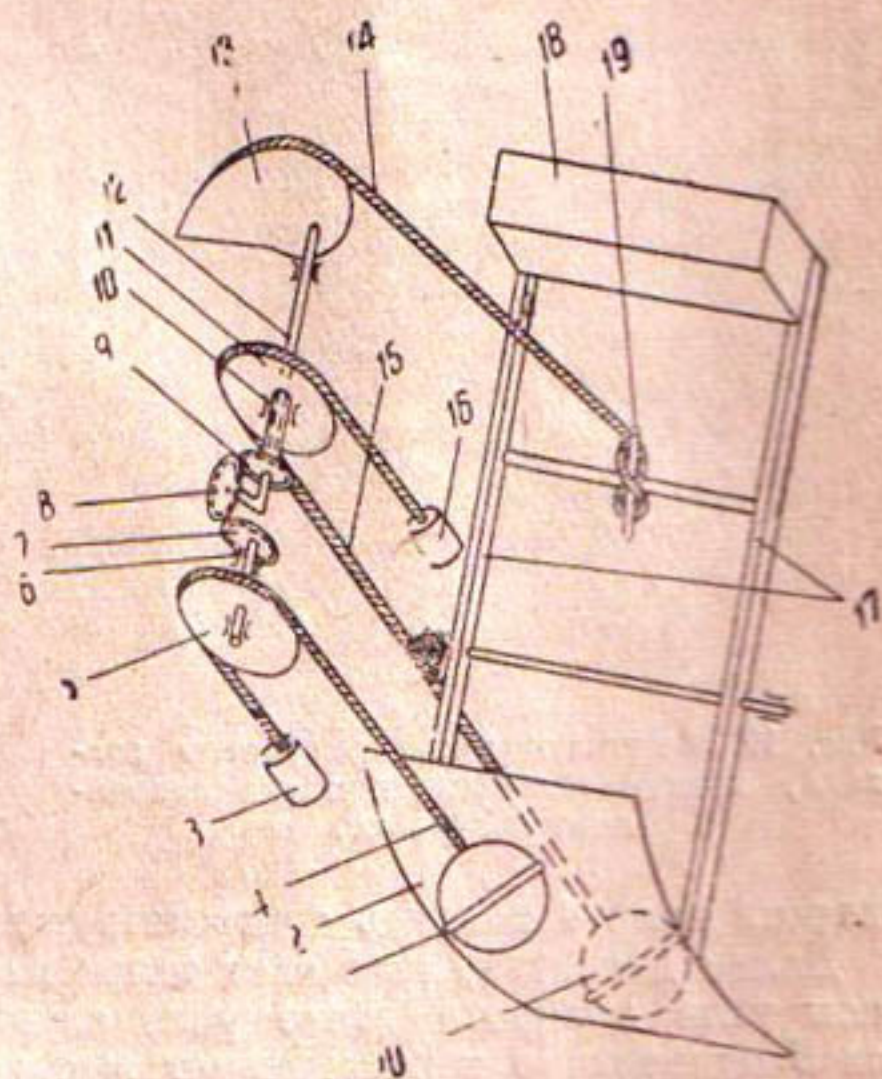


Рис. 9. Автоматический регулятор расхода для затопленного истечения.

¹ Авторское свидетельство № 125054 от 24 января 1958 г., на имя И. Б. Чижа.

действует на „ноги“ 17 и перемещает сегментный щит 2 в такое положение, при котором расход воды остается постоянным. Силовое замыкание кулачка осуществляется грузом 18, настройка на новый расход производится изменением длины троса 14.

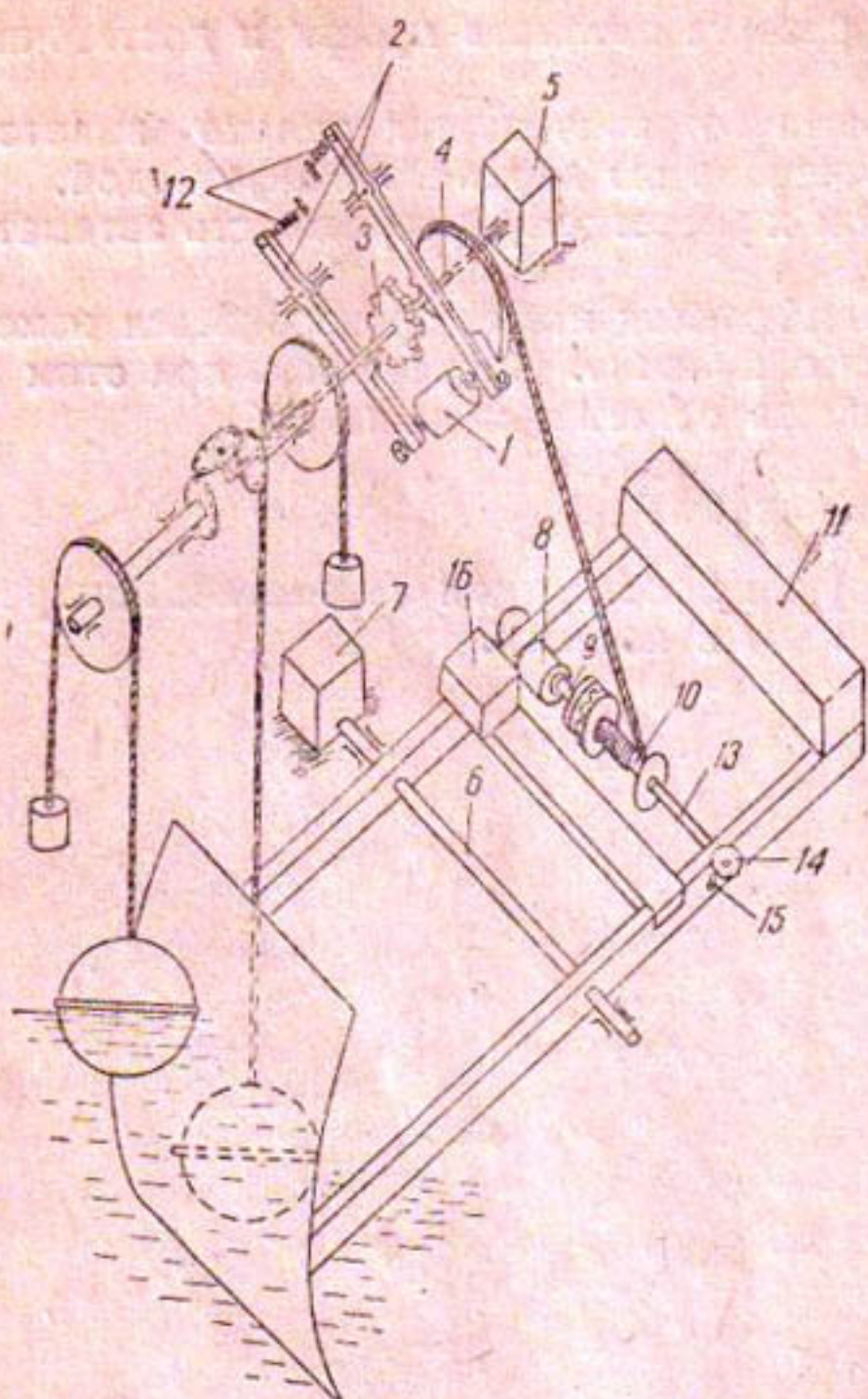


Рис. 10. Автоматический регулятор расхода, приспособленный к телемеханической настройке.

Автоматический регулятор расхода, приспособленный к телемеханической настройке. На рис. 10 изображен вариант регулятора расхода, настраиваемый телемеханически.

При выдаче регулятору нового задания диспетчер посредством системы телемеханики замыкает цепь питания электромагнита 1. Рычаги 2, притягиваясь, застопоривают колесо 3 и с ним вал 4; процесс поддержания старого расхода прекращается. Затем диспетчер вызывает телеизмерение угла поворота вала 4, осуществляемое при участии датчика 5.

По углу поворота 4 диспетчер может определить напор. Зная напор и расход, который нужно установить, он по формулам, таблице или графику находит необходимую высоту открытия щита. То, что вал 4 застопорен и угол его поворота уже не отражает фактического напора в момент измерения, не имеет значения, так как диспетчеру важно какому-либо определенному углу

поворота вала 4 придать соответствующее положение щита.

Далее диспетчер вызывает телеизмерение положения вала 6; датчиком угла поворота этого вала служит устройство 7. Положение вала 6 однозначно характеризует высоту отверстия под щитом. Если величина отверстия окажется меньше необходимой, то диспетчер посредством устройства телемеханики замыкает цепь электромагнита 8, который, втянув сердечник 9, освобождает шпульку 10. Освободившись от сцепления с сердечником, шпулька под действием груза 11 разматывает трос; щит при этом поднимается вверх. Когда щит придет в нужное положение, диспетчер разрывает цепь электромагнита 8. Под действием возвратной пружины сердечник 9 входит в сцепление со шпулькой 10. Так как сердечник 9 имеет шпоночное (или шлицевое) соединение с валом 13 и этот вал не может вращаться в направлении, при котором шпулька раскручивается, из-за храповика 14 и собачки 15, то движение щита прекращается.

Если бы отверстие под щитом оказалось больше расчетного, то диспетчер вместо замыкания цепи электромагнита 8 должен был включить привод 16. Вращение вала привода через редуктор передается

на вал 13; вращению вала в данном направлении собачка 15 не мешает. Вместе с валом 13 вращается сердечник 9, передающий вращение шпульке 10, шпулька наматывает трос, щит поднимается, диспетчер непрерывно наблюдает за вращением вала 6 и в нужный момент посылает сигнал на отключение привода 16.

После придания щиту необходимого открытия диспетчер размыкает цепь электромагнита 1. Рычаги 2 под действием возвратных пружин 12 приходят в исходное положение, колесо 3, а с ним и вал 4, расстопориваются, и с этого момента начинается процесс автоматического поддержания постоянного расхода.

Электроэнергия нужна только для настройки регулятора на новое задание; в остальном же устройство работает как вододействующее. Если применить пружинный привод 16, то потребуются лишь небольшая энергия для управления этим приводом и электромагнитами, которую можно передавать по линии телемеханики. Применению пружинного привода благоприятствует уравновешенность затвора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чертоусов М. Д. Гидравлика, спецкурс, ГЭИ, 1957.
2. Чиж И. Б. Некоторые особенности автоматического регулирования в ирригации, Труды САНИИРИ, вып. 107, 1960.
3. Артоблевский И. И. Теория механизмов и машин, ГАЛ, 1951.
4. Кожевников С. Н. Теория механизмов и машин, Укр. отделение Машгиза, 1949.
5. Машиностроение, Справочник, 1951.
6. Залькиндсон Е. И., Нефедов Е. Е. Стальные затворы гидротехнических сооружений, ГЭИ, 1958.
7. Бутырин М. В. Гидротехника и мелиорация, 1958, № 7.
8. Тихменев С. С. Об одном способе построения профилированных кулачков, В сб. „Расчеты деталей механизмов точных приборов“, Машгиз, 1950.

А. А. ГАРТУНГ

СЕГМЕНТНЫЙ ЗАТВОР-АВТОМАТ ВЕРХНЕГО БЬЕФА С ПОПЛАВКОМ В ОТДЕЛЬНОМ КОЛОДЦЕ

При эксплуатации оросительных систем необходимо использовать новейшую технику учета и распределения воды. Разработка вопросов автоматизации, внедрение ее в практику повседневной работы оросительных систем приобретают все большее значение. В связи с этим тщательного изучения заслуживает опыт работы в Алжире и Марокко ирригационных систем, построенных из бетонных лотков и оснащенных автоматическими устройствами фирмы „Нейрпик“, регулирующими горизонты и расходы воды в каналах. К сожалению, о методах расчета, качестве, совершенстве и точности работы этих автоматов мы имеем скудные сведения, главным образом рекламного характера. Поэтому мы исследовали действующие модели автоматов верхнего бьефа типа „Нейрпик“ с параболическим и прямоугольным очертаниями лотка.

Мы стремились определить не только погрешности, устойчивость работы автоматов и т. д., но и динамические и статические выталкивающие моменты, полученные в результате аналитического расчета (рис. 1).

Сравнивая значения выталкивающих моментов, установленных экспериментально и статическим расчетом, мы нашли, что динамические выталкивающие моменты значительно меньше статических. Разница между ними достигает максимума на средних углах открытия α порядка 8—9°.

Таким образом, силы подсоса, действующие на нижнюю плоскость поплавка и частично на кромку щита, значительны и без их учета один статический метод расчета не может привести к успеху.

Для затвора-автомата, у которого координаты контр-груза найдены статическим расчетом, требуется дополнительная балансировка грузами после его установки, иначе большие погрешности в поддержании горизонта неизбежны.

Затворы-автоматы верхнего бьефа типа „Нейрпик“, обладая рядом положительных качеств (простота, небольшая стоимость, пропуск насосов и т. д.), имеют и отрицательные стороны:

1) возникают значительные силы подсоса, искажающие характер изменения выталкивающих моментов поплавка, в связи с тем, что элемент, управляющий движением щита (поплавок и его нижняя плоскость), находится в зоне динамического воздействия потока воды, неравномерно изменяющегося по величине;

2) силы подсоса не остаются постоянными в процессе работы и зависят от горизонтов верхнего бьефа, углов открытия щита и пропускаемых расходов, вследствие чего при больших пропускаемых расходах и углах открытия работа щита не носит спокойного характера, и поэтому величина угла максимального открытия не достигает теоретической;

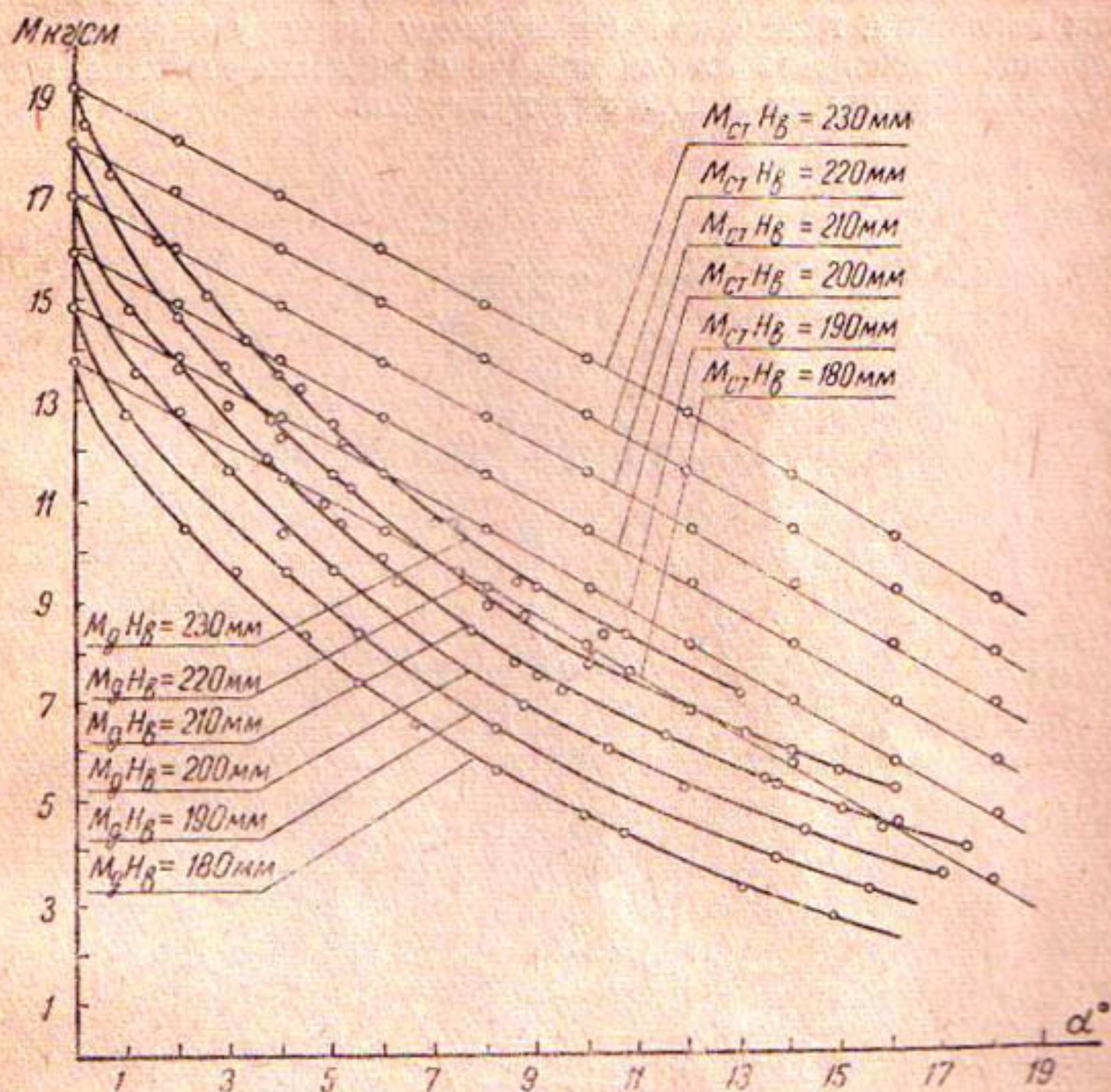


Рис. 1. График динамических и статических выталкивающих моментов поплавок автомата „Нейрпик“

3) наличие поплавок на лобовой стенке щита и невозможность совмещения его нижней плоскости с кромкой щита приводят к тому, что подщитовое отверстие может быть открыто примерно на половину высоты щита. Это уменьшает пропускную способность сооружения и увеличивает его размеры.

В связи с имеющимися погрешностями в поддержании заданного горизонта верхнего бьефа затворы-автоматы „Нейрпик“ эксплуатируются, как правило, в комплексе с гидравлическими автоматами расхода, установленными на отводах и обеспечивающими забор постоянного количества воды при сравнительно широком диапазоне колебаний горизонта.

Колебания горизонта вызваны тем, что поплавок, управляющий движением щита, находится в зоне неравномерного динамического воздействия потока воды. Чтобы устранить вредное влияние динами-

ки потока на работу затвора, мы предложили изменить схему автомата за счет выноса поплавка в отдельный колодец, сообщающийся с верхним бьефом.

По конструкции сегментный затвор-автомат с поплавком в отдельном колодце представляет собой (рис. 2) сегментный щит 2, вес которого частично уравнивается противовесом 3. В отдельном колодце 5, сообщающемся с верхним бьефом отверстием или щелью 6, помещен поплавок 4. Движение поплавка, возникающее при изменениях горизонта, передается сегментному затвору благодаря жесткой связи. Поверхность стенки затвора и поплавок выполнены по радиусу, очерченному из центра оси вращения.

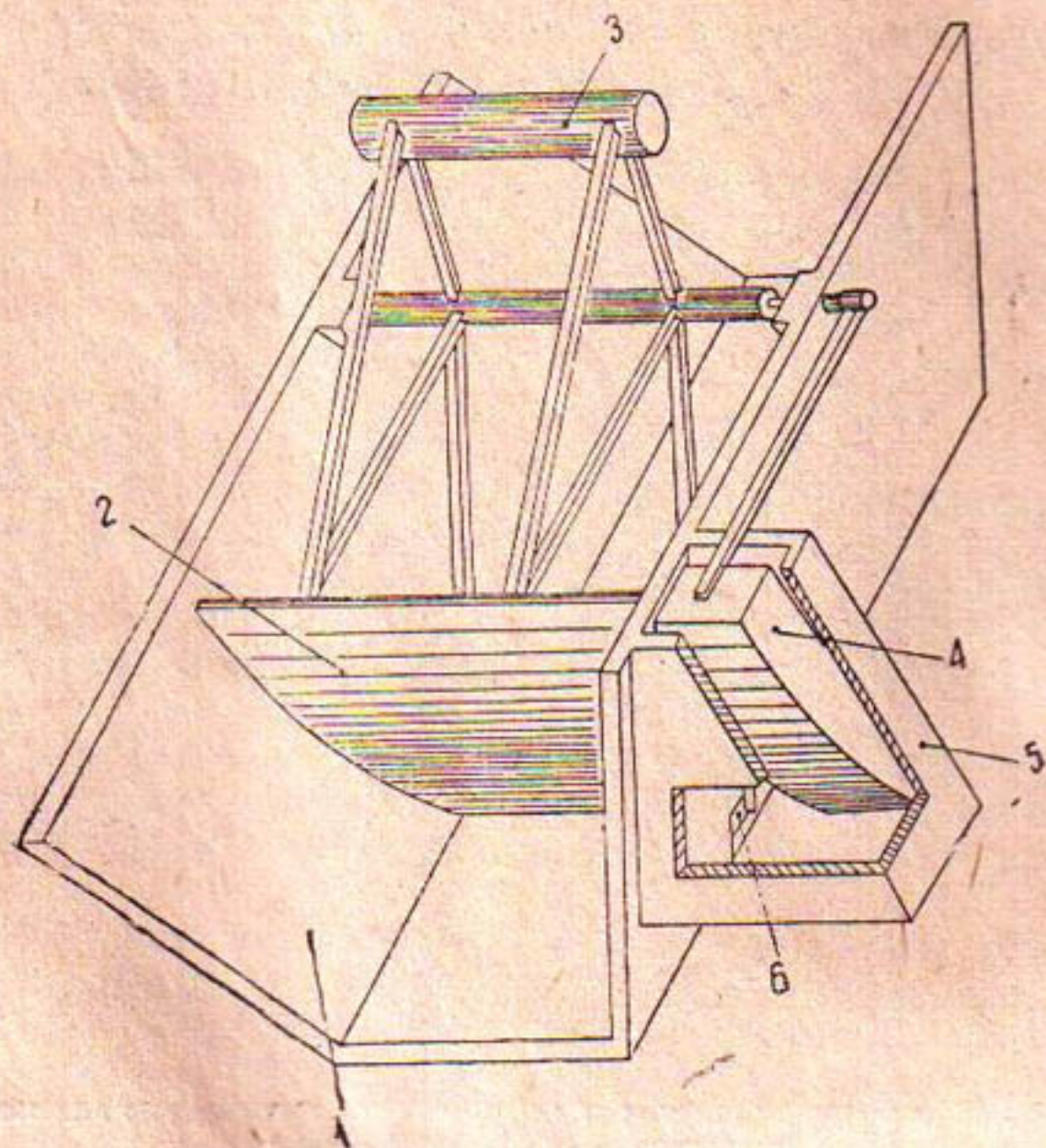


Рис. 2. Схема затвора-автомата с поплавком в отдельном колодце.

Заданный горизонт в верхнем бьефе сооружения поддерживается уравниванием выталкивающих моментов от действия поплавка при колебаниях горизонта моментами от груза противовеса на коромысле.

Равенство моментов поплавка и противовеса должно сохраняться только при одном заданном значении горизонта верхнего бьефа. С изменением горизонта равенство моментов нарушается и затвор перемещается до тех пор, пока не восстановится равновесие.

Величина угла открытия, естественно, зависит от изменения расхода воды, проходящей через подщитовое отверстие. При перемеще-

ниях затвора за счет изменения площади отверстия, а следовательно, и пропускаемого расхода, регулируемый горизонт восстанавливает свою первоначальную отметку.

Выталкивающие моменты, создаваемые поплавком, уравниваются двумя способами.

1. Вес затвора и металлоконструкций полностью уравнивается противовесом, укрепленным на противоположных концах ног, а на оси вращения на определенном расстоянии от центра вращения устанавливается дополнительный груз, вес и угол наклона которого помогают уравновесить выталкивающий момент поплавка при заданном значении горизонта верхнего бьефа (рис. 3).

2. Размеры противовеса, его плечо и угол наклона подбираются так, чтобы общий центр тяжести системы затвор — противовес находился над осью вращения, а его величина и координаты удовлетворяли условию уравнивания моментов от поплавка.

Первый вариант с дополнительным грузом на отдельном плече, на наш взгляд, более удобен, так как дает возможность получить простое конструктивное решение устройства для перерегулировки автомата на другие горизонты верхнего бьефа. Осуществлять такую регулировку, как показали опыты, можно в широких пределах. Подобная конструктивная схема в значительной степени упрощает первоначальную настройку автомата.

Результаты опытов над действующими моделями затвора-автомата с поплавком в отдельном колодце по определению динамических выталкивающих моментов (рис. 4) показывают, что моменты изменяются по линейному закону, следовательно, применение статического метода расчета подобных автоматов возможно; это значительно облегчает и упрощает их проектирование и конструирование.

Затвор-автомат с поплавком в отдельном колодце рассчитывается с помощью определения статических выталкивающих моментов поплавка (обозначения см. на рис. 3).

Берем следующие величины: R — наружный радиус поплавка; r — внутренний радиус поплавка; $\rho = \frac{R+r}{2}$ — средний радиус, равный радиусу обшивки сегментного щита; b — ширина поплавка; $\delta = R - r$ — толщина кольца (поплавка); φ — начальный угол, т. е. угол между нижней плоскостью поплавка и расчетным горизонтом при закрытом положении затвора; α — угол поворота нижней плоскости поплавка при подъеме затвора.

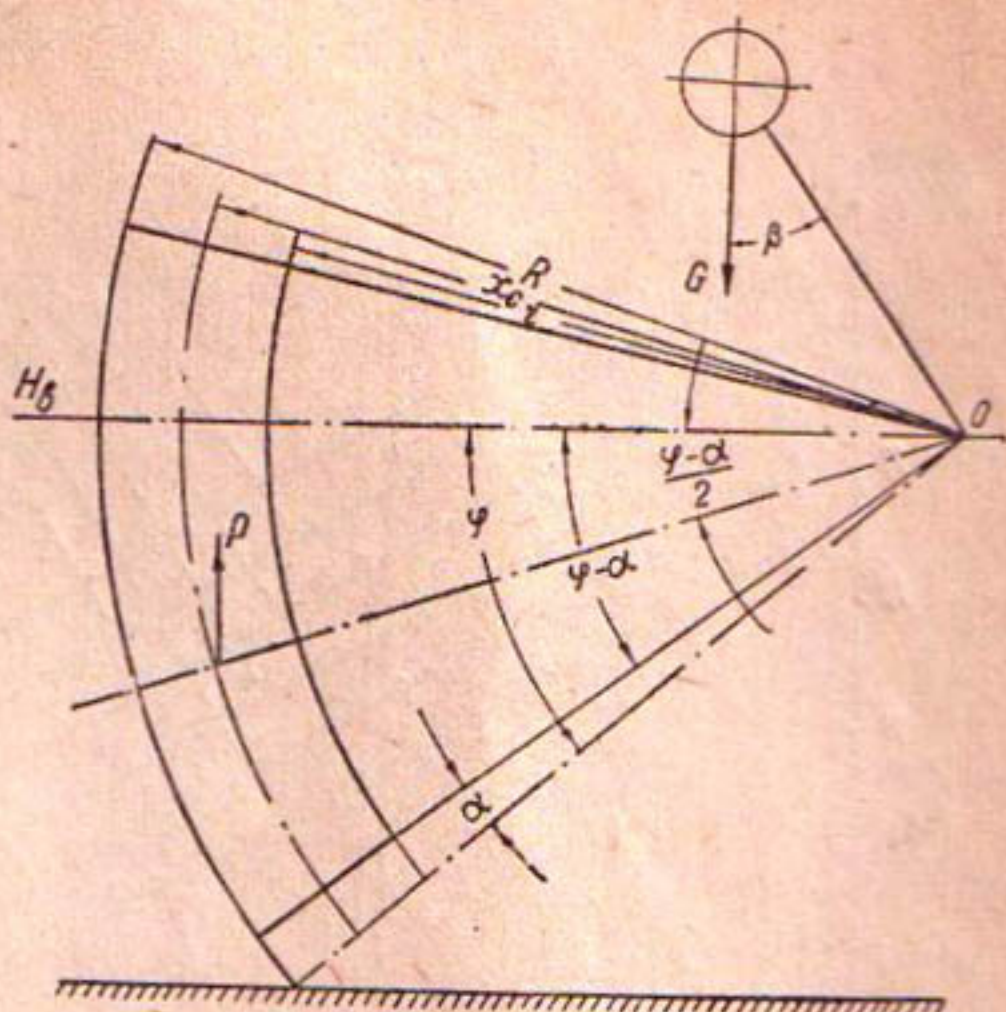


Рис. 3. Расчетная схема затвора-автомата с поплавком в отдельном колодце.

Тогда координаты центра тяжести площади поплавок запишем в виде формулы.

$$x_c = \frac{2}{3} \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\varphi - \alpha}{2}\right)}{\frac{\varphi - \alpha}{2}}, \quad (1)$$

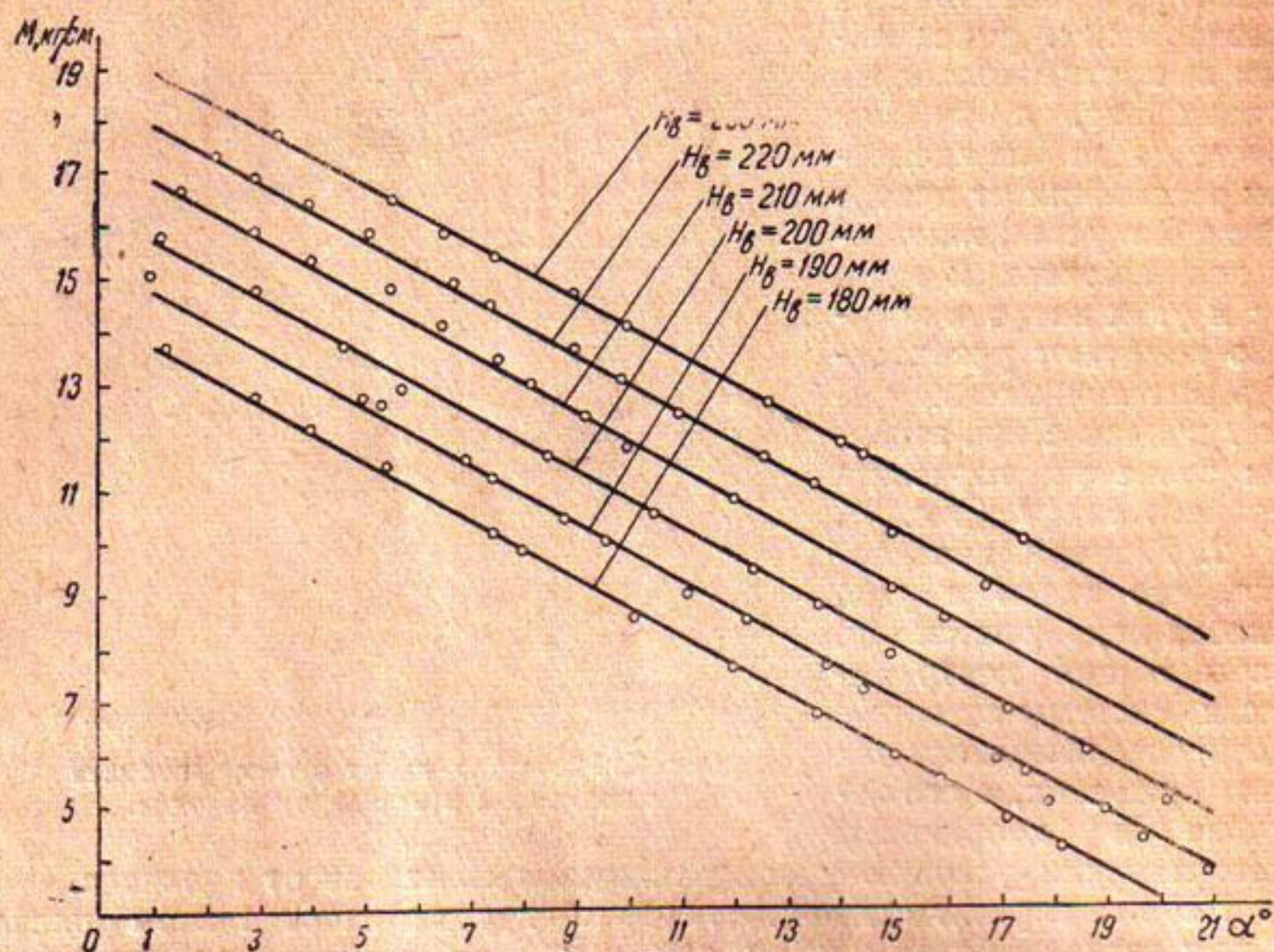


Рис. 4. График изменения выталкивающих моментов для автомата с поплавком в отдельном колодце.

где $\frac{\varphi - \alpha}{2}$ — в радианах;

$$s = \frac{(\varphi - \alpha) \pi}{180} \cdot r \cdot \delta — \text{площадь поплавок}; \quad (2)$$

$$v = b \cdot s — \text{объем поплавок}; \quad (3)$$

$$p = v \cdot \gamma — \text{выталкивающая сила}; \quad (4)$$

γ — удельный вес воды;

$$M_{\text{ст}} = x_c \cdot v \cdot \gamma \cos \frac{(\varphi - \alpha)}{2} — \text{статический выталкивающий момент}. \quad (5)$$

В связи с тем, что величины статических моментов поплавок изменяются при подъеме затвора по прямой (рис. 4), достаточно найти по уравнению (5) значение моментов M_1 , M_2 для двух углов открытия затвора при расчетном горизонте.

За расчетные углы открытия принимаем начальный угол $\alpha = 0$, когда затвор закрыт, и α_1 , когда затвор открыт на угол 20—25° (поплавок почти полностью выходит из воды при расчетном горизонте).

Угол наклона плеча коромысла найдем, решив уравнение

$$\frac{\sin (\beta-\alpha)}{\sin (\beta-\alpha_1)}=\frac{M_1}{M_2}, \quad (6)$$

или

$$\frac{\sin \beta \cdot \cos \alpha-\cos \beta \cdot \sin \alpha}{\sin \beta \cdot \cos \alpha_1-\cos \beta \cdot \sin \alpha_1}=\frac{M_1}{M_2}. \quad (7)$$

Подставив в уравнение тригонометрические величины углов α и α_1 и решив его относительно угла β , мы определим угол наклона плеча контргруза, уравновешивающего моменты.

Расстояние l , на котором должен находиться контргруз от центра оси вращения, задаваясь весом контргруза, установим из уравнения

$$M_1=G \cdot l \cdot \sin (\beta-\alpha), \quad (8)$$

где G — вес контргруза.
Тогда

$$l=\frac{M_1}{G \cdot \sin (\beta-\alpha)}. \quad (9)$$

Если начальный угол открытия затвора при расчете равен 0° , то

$$l=\frac{M_1}{G \cdot \sin \beta}. \quad (10)$$

Рекомендуем сделать проверку по второму принятому углу открытия

$$l=\frac{M_2}{G \cdot \sin (\beta-\alpha_1)}. \quad (11)$$

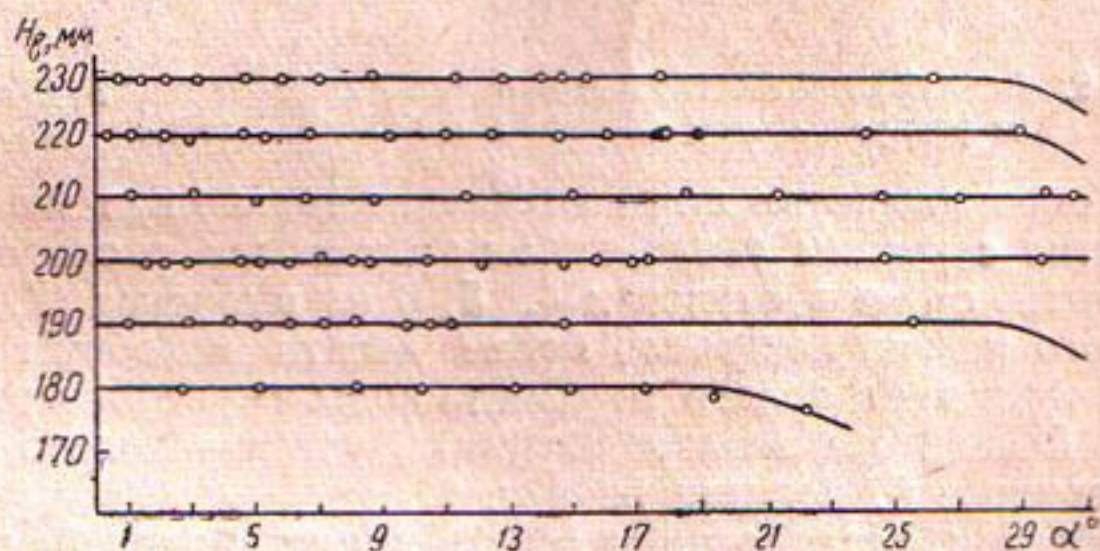


Рис. 5. График поддержания горизонта верхнего бьефа для автомата с поплавком в отдельном колодце.

В результате подбора приемлемых размеров плеча и веса контргруза находим рациональное конструктивное оформление автомата.

Опыты, проведенные в гидрометрической лаборатории над действующими моделями затворов-автоматов с параболическим и прямоугольным очертаниями щитовых лотков, показали, что автомат верхнего бьефа с поплавком в отдельном колодце при правильной установке и подборе веса контргруза работает весьма точно. Это возможно благодаря изоляции поплавка, управляющего движением затвора, от динамического воздействия потока воды, проходящей через сооружение.

Точная работа автомата (рис. 5) начинается от закрытого положения сегментного затвора, когда угол поворота $\alpha = 0$, до расчетного, когда щитовое отверстие почти полностью открыто. Конструкция подобного автомата позволяет добиться полного открытия щитового отверстия при заглублении нижней кромки поплавка в колодец ниже порога сооружения, причем щит полностью выходит из воды, прекращая регулирование верхнего бьефа и пропуская аварийные расходы. В исследованных автоматах вынос поплавка в отдельный колодец приводит к увеличению угла открытия щита (в исследованных автоматах) в 2—2,5 раза по сравнению с автоматами типа „Нейрпик“. Повышается устойчивость работы автомата.



Рис. 6. Затвор-автомат верхнего бьефа с поплавками в колодце на распределителе совхоза 5 в Голодной степи.

Случаи опрокидывания щита возможны только при максимальных углах открытия с резким увеличением транзитных расходов.

В Голодной степи в совхозах 4, 5, 6 на выпусках Южного голодностепского канала построено более десяти подобных автоматов для поддержания постоянного горизонта воды на расходы от 500 л/сек до 5 м³/сек. Общий вид затвора-автомата, установленного на распределителе в совхозе 6, показан на рис. 6.

Таким образом, исследования действующих моделей сегментных затворов-автоматов показали, что

- 1) конструкция их проста ввиду отсутствия лекал, улиток, шкивов, различного рода дифференциальных механизмов и других деталей, усложняющих большинство предложенных гидравлических автоматов, имеющих более теоретический, чем практический интерес;

- 2) поддержание заданного горизонта воды весьма точное;

- 3) процесс перерегулировки на поддержание других горизонтов изменением веса контргруза или противовеса несложен, причем каждый отдельный груз может иметь маркировку для определенной отметки горизонта верхнего бьефа. Изменением количества подобных грузов достигается регулирование ряда отметок верхнего бьефа;

- 4) статический расчет подобных сооружений прост и дает точные результаты;

5) максимальный угол подъема щита позволяет полностью открыть щитовое отверстие, что достигается заглублением дна колодца и кромки поплавок ниже порога сооружения при закрытом положении затвора. В этом случае запас подъемной силы поплавок, преодолев закрывающий момент контргруза, поднимает щит выше горизонта воды при максимальных расходах;

6) работа автомата устойчива благодаря выносу поплавок в отдельный колодец и ликвидации динамического воздействия потока воды на нижнюю плоскость поплавок;

7) диапазон пропускаемых расходов меняется от нулевых при закрытом затворе до максимальных;

8) металлоконструкции автоматов могут изготавливаться в заводских условиях большими партиями;

9) конструкция автомата универсальна и позволяет применить ее в качестве автомата горизонта нижнего бьефа путем переноса поплавок, управляющего движением щита, в колодец, который сообщается с нижним бьефом сооружения. Это особенно важно в условиях заводского изготовления автоматов.

В целях получения меньших амплитуд колебаний затвора при изменениях транзитного расхода рекомендуем размеры колодца назначать такими, чтобы получить небольшие зазоры между поплавком и стенками колодца. В таком случае поплавок работает как плунжер, эффективно гася вынужденные колебания затвора.

При лотковой системе каналов с установкой их на опорах колодец для поплавок необходимо делать в виде подвесного металлического резервуара с отверстием в дне для очистки от наносов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пеплов Э. Э. „Гидротехника и мелиорация“, 1958, № 9.
 2. Никитина Ф. А. Расчет щитов-автоматов горизонта верхнего бьефа системы Финке, Труды САНИИРИ, вып. 106, Ташкент, 1960, стр. 78—79.
 3. Хамадов И. Б. „Изв. АН УзССР“, сер. техн. наук, 1961, № 2.
 4. Гартунг А. А. Вопросы гидротехники, АН УзССР, 1961 г., № 3.
-

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
В. Е. Краснов. Водомерные приставки как средство автоматизации учета расходов воды на ирригационных каналах	7
В. Е. Старковская. Трубчатые водомеры-регуляторы с сужением (сопротивлением) в выходной части	29
М. В. Бутырин. Водомерные сооружения для оросительных каналов на расход от 2 до 20 м ³ /сек	36
В. Е. Краснов. Динамический расходоуказатель для водомерных сооружений	51
М. В. Бутырин. Внутрихозяйственный пружинный автомат постоянного расхода воды ПАР	66
И. Б. Чи ж. Расчет и экспериментальные исследования поплавкового автомата	76
А. А. Гартунг. Сегментный затвор-автомат верхнего бьефа с поплавком в отдельном колодце	92

Редактор А. А. Макарова
Технический редактор З. П. Горьковая
Корректор Н. Таиров

Р03558. Сдано в набор 3/II-1962 г. Подписано к печати 30/III—62 г.
Бумага 70×180-1/16 3,125 бум. л. Печ. л. 8,56. Учет. изд. л. 7,8 Тираж 650 Цена 66 к.

Типография Издательства АН УзССР, Ташкент, Хорезмская, 9. Заказ 93

Адрес Издательства: ул. Куйбышева, 15.