ТРУДЫ
РЕДНЕАЗИАТСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ИРРИГАЦИИ
Выпуск 60

М. В. БУТЫРИН

ВОДОМЕРЫ ДЛЯ КОЛХОЗНОЙ И МЕЖКОЛХОЗНОЙ ИРРИГАЦИОННОЙ СЕТИ

УЗГОСИЗДАТ
Ташкент — 1941

ТРУДЫ
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ИРРИГАЦИИ
Выпуск 60

М. В. БУТЫРИН
Кандидат технич. наук

ВОДОМЕРЫ ДЛЯ КОЛХОЗНОЙ И МЕЖКОЛХОЗНОЙ ИРРИГАЦИОННОЙ СЕТИ

Узбекское государственное издательство
Ташкент — 1941

ОТ АВТОРА.

Предлагаемая работа „Водомеры для колхозной и межколхозной ирригационной сети"— результат моей диссертации по вопросам разработки водомеров, имеющим большое практическое значение в деле рациональной постановки учета воды на ирригационных системах.

Работа выходит в несколько сокращенном виде, главным образом за счет сжатого изложения произведенных опытов.

Считаю долгом выразить свою благодарность доктору технических наук проф Н. А. Янишевскому, являвшемуся моим ученым руководителем, а также моим коллегам по работе в Саниири научным сотрудникам Н. С. Шикину, Д. П. Колодкевичу, А. М. Каграманову, В. Н. Ярцеву и М. С. Бызго.

„Социализм — это прежде всего учет".
Ленин.

ВВЕДЕНИЕ.

I. ЗНАЧЕНИЕ УЧЕТА ВОДЫ В СОЦИАЛИСТИЧЕСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ.

План и учет — основа социалистического хозяйства.

Вода в районах орошения — источник жизни. Водные ресурсы многих засушливых районов ограничены и при современных методах орошения их недостаточно для обеспечения орошения всего земельного фонда.

Поэтому воду необходимо беречь и рационально ее использовать, а это возможно при условии планового водопользования и хорошо организованного контроля его проведения (учета).

Вода есть средство производства и, являясь социалистической собственностью, должна точно учитываться в источниках орошения на всех этапах распределения и пунктах подачи ее хозяйствам и при организации правильного использования ее внутри хозяйства.

Поставленная партией и правительством задача введения севооборотов требует освоения большого количества перелогов.

Орошение вновь освоенных перелогов возможно за счет экономии воды, получаемой при правильно организованной эксплоатации ирригационных систем (переустройство, армирование, рациональная техника поливов, борьба с потерями и др.).

Одним из самых важных в этом комплексе мероприятий является армирование всех точек выдела воды хозяйствам (колхозам) удобными, простыми, точными и дешевыми водомерами.

Ирригационные системы в настоящее время не обладают достаточными средствами (конструкциями, методами) для учета воды. Вследствие этого использование воды на орошение и работа ирригационных систем характеризуются низкими коэфициентами полезного действия. Потери воды достигают особенно больших размеров в мелкой и мельчайшей ирригационной сети. Одним из способов борьбы с этими потерями является рационально организованный учет воды, возможный при употреблении простых и дешевых водомеров.

Новые формы рациональной эксплоатации, отвечающие современному уровню развития и требованиям социалистического хозяйства (диспетчеризация, хозрасчет и пр.), также требуют применения простых, дешевых и вместе с тем достаточно точных методов и способов учета и распределения воды.

Правильное распределение и использование воды на основе учета воды — необходимые условия высокой урожайности культур.

Известно, что на урожае одинаково вредно отражаются как недополив, так и переполив; последний, кроме того, вызывает общее ухудшение орошаемых земель — их заболачивание и засоление.

Все это указывает на большое значение учета воды в орошаемом земледелии: учет воды является одним из важнейших компонентов борьбы за высокий стахановский урожай.

II. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И СПОСОБЫ УЧЕТА ВОДЫ.

В настоящее время учет воды на ирригационных системах Средней Азии производится следующими основными способами:

1) регулярными наблюдениями горизонтов (H) и периодическими замерами расходов воды (Q) вертушками на гидрометрических постах,

2) теми же мероприятиями на существующих гидротехнических сооружениях, с помощью их предварительной тарировки,

3) специальными водомерными установками (водосливы Чиполетти, лотки Вентури-Поршала, контрольные русла).

При этом для записи горизонтов (H) применяются иногда лимниграфы.

Наиболее распространенный способ учета воды в настоящее время — это вертушечные замеры на гидрометрических постах.

Водосливы, лотки и особенно тарировка гидросооружений, как средства учета воды, имеют еще незначительное распространение.

1. Метод вертушечных замеров на гидропостах перешел в эксплоатацию из практики речной гидрометрии и в основном заключается в следующем*.

Живое сечение потока на створе гидрометрического поста разбивается вертикалями на ряд площадок (число их зависит от ширины и формы русла); затем вертушкой измеряют среднюю скорость для каждой площадки (на вертикали), и расход (Q) в створе поста определяется как сумма расходов элементарных площадок или сумма произведений живых сечений площадок и средних скоростей этих площадок по формуле

$$Q = \sum_{m-1}^{m-n} v_m \cdot h_m \frac{b_{m-1} + b_m}{2}$$

где v_m — средняя скорость m-ой вертикали,

h_m — глубина вертикали,

b — ширина между соответствующими вертикалями.

Определение расходов (тарировка гидропоста) производится периодически; по данным измерения расходов строят кривую зависимости $Q = f(H)$, вычисляют поправки к ней и пользуются ими для повседневного учета.

---

* Подробное описание не входит в нашу задачу, а поэтому отсылаем интересующихся к соответствующей литературе.

Точность учета воды, при непосредственном измерении расхода воды вертушками, вполне удовлетворительная (3—4%). Однако при повседневном учете воды, точность в сильной степени зависит от устойчивости живого сечения участка и режима потока.

Гидрометрические участки (посты) в естественных руслах и каналах бывают: а) устойчивые (неразмываемые и незаиляемые) и не подверженные влиянию переменного режима потока (подпор, спад), б) неустойчивые или находящиеся в сфере влияния переменного режима.

Первая группа характеризуется тем, что известное выражение расхода воды $Q=f(J, C, H)$ превращается в простую зависимость $Q=f(H)$, тогда как на участках второй группы выражение расхода по этой простой зависимости может быть в лучшем случае принято только за определенный (небольшой) отрезок времени, а иногда и совсем невозможно.

Точность и объем работы по определению расходов воды вертушками на устойчивых участках гидропостов вполне приемлемы. В этом случае после тарировки поста и построения кривой зависимости $Q=f(H)$ требуется производить контрольные измерения расходов 3—4 раза за сезон (в крайнем случае — один раз в месяц), и точность учета при этом будет соответствовать точности непосредственного определения расхода вертушками (3—4%).

При измерении расходов воды с помощью вертушки на участках второй группы объем работ значительно возрастает (1—3 раза в 10 дней), а точность измерений значительно снижается (в зависимости от степени неустойчивости русла и неравномерности режима потока); иногда даже становится невозможным производить учет воды этим способом.

Практически данный способ учета воды может применяться на устойчивых участках естественных русел (источников) и сравнительно крупных каналах (межрайонного и районного значения) и не может быть рекомендован на каналах межколхозного и колхозного значения.

В последнем случае, наоборот, надо стремиться к скорейшей замене его другими, более удобными и простыми методами учета воды.

2. С 1935 г. стал применяться учет воды на гидротехнических сооружениях с предварительной тарировкой сооружений, а в некоторых случаях — и приспособлением их для учета.

Тарировка заключается в установлении коэфициентов зависимости в известной общей формуле расхода через сооружение:

$$Q = m \cdot \omega \sqrt{2gZ}$$

где Q — расход воды ($м^3$/сек.),
ω — площадь рабочего отверстия в сооружении, через которое протекает поток ($м^2$),
g — ускорение силы тяжести = 9,81 (м/сек.).
Z — действующий напор, определяемый в зависимости от условий истечения потока,
m — искомый коэфициент расхода.

Все элементы, входящие в эту формулу, за исключением величин Q и m, для каждого сооружения могут быть легко определены простыми наблюдениями на месте.

Более сложным является назначение величины m, которая учитывает сопротивления при движении потока через сооружение, так как значение коэфициента расхода различно не только для отдельных сооружений, но и для одного и того же сооружения при различных расходах, напорах и условиях подхода потока к сооружению. Опытное определение коэфициента расхода m и является конечной целью тарировки.

Объем работ при тарировке определяется составом вышеприведенной формулы и зависит от сложности возможных условий работы сооружения, и тем самым — от устойчивости коэфициента расхода m.

Установленные опытным путем коэфициенты расхода позволяют в последующем составить ряд тарировочных уравнений, а по ним — соответствующие таблицы или графики, которыми и пользуются в практической работе по учету расхода воды.

Не вдаваясь в подробности описания этого способа учета воды, отметим его положительные и отрицательные стороны. К положительным относятся:

1) возможность использования для учета воды существующих гидротехнических сооружений,

2) объединение функций по учету и регулированию расходов воды.

К отрицательным свойствам этого способа учета можно отнести сложность и трудность тарировки некоторых сооружений (узловые многопролетные сооружения трудно поддаются тарировке).

3. Из специальных водомерных сооружений и конструкций в ирригации Средней Азии в настоящее время применяются и распространены водосливы Чиполетти и лотки Вентури-Поршала.

Водослив Чиполетти представляет собой трапециедальный вырез в тонкой стенке с наклоном боковых граней, равным $^1/_4$ (истечение через водослив свободной струей).

Расход определяется по формуле:

$$Q = 1{,}86 \cdot b\ H^{\,3/2},$$

где b — ширина порога водослива,

H — напор воды над порогом водослива.

Расход воды определяется с помощью вычисленных по формуле таблиц и наблюдением горизонтов воды или непосредственным отсчитыванием по расходным шкалам, прикрепленным к водосливу.

Более широкое распространение водосливов ограничено невозможностью применения их на каналах с малыми уклонами.

Кроме того, водосливы, создавая относительно большой подпор, вызывают заиление канала вследствие уменьшения бытовых скоростей. Заиление дна отражается на точности учета расходов воды, т. к. водослив с тонкой стенкой в этом случае превращается в водослив с широким порогом.

К положительным сторонам водослива относятся простота, дешевизна измерительного приспособления и способность его пропускать плавающие предметы.

Лотки Вентури, усовершенствованные Поршалом, исследованные и апробированные Санири, в сравнительно короткое время получили распространение в Средней Азии.

Конструкция лотков Поршала в основном напоминает конструкцию трубы Вентури, состоит из входной сходящейся части, узкой горловины и выходной расходящейся части. Истечение через лоток подобно истечению через широкий порог в условиях критического режима.

Учет расхода воды производится по таблицам $Q = f(H)$, где H берется по рейке, находящейся в конце первой трети длины входной части.

При затопленном истечении $\left(\frac{H_н}{H_в} > 0{,}7\right)$ вводится соответствующая поправка, которая также берется по таблице.

К достоинствам учета воды лотками Поршала относятся: 1) сравнительно малые потери напора, 2) свободный пропуск наносов. К недостаткам относятся: 1) сравнительная сложность конструкции, 2) раздельность функций учета и регулирования расходов воды.

Другие водомерные конструкции (сооружения), известные из заграничной практики и литературы (Grant-Michell, Great Western, Hill — водомеры, автоматы и другие), пока в ирригационной практике Средней Азии не применяются.

Из регистрирующих приборов у нас пока употребляются лишь лимниграфы, и то только на постах балансовой гидрометрии.

Таким образом, существующий учет воды характеризуется:

а) слабым армированием пунктов межколхозного и особенно колхозного водораспределения средствами учета,

б) преобладающим измерением расходов вертушками на гидрометрических постах, вообще говоря, целесообразным в пунктах с расходами больше 10 м³/сек.,

в) малым использованием гидротехнических сооружений для целей учета воды,

г) почти полным отсутствием автоматических приспособлений для учета расхода и стока воды.

III. ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ УЧЕТА ВОДЫ.

Существующие средства, методы и состояние учета воды не отвечают современным требованиям нашего социалистического хозяйства. Значительная часть каналов, точек водораспределения и отдачи воды (как уже указывалось в разделе II) не оборудованы средствами учета, особенно слабо оборудованы пункты межхозяйственного и хозяйственного водораспределения.

В настоящее время необходимо выработать и внедрить в производство новые, более совершенные средства и методы учета воды, позволяющие учитывать не только расход воды, но и сток (ко-

личество) воды; при этом наиболее приемлемыми оказываются автоматические способы учета воды.

Одновременно следует широко пользоваться в подходящих условиях известными уже (старыми) конструкциями учета воды. В первую очередь следует приспособить для учета водораспределения гидротехнические сооружения; если понадобится,—с небольшими переделками для этой цели. Все точки системного, районного водораспределения, хозяйственные выделы, где невозможно использовать существующие гидросооружения для учета воды, должны быть оборудованы специальными учетными приспособлениями—автоматическими и, по возможности, однотипными.

Хозяйственные выделы и пункты внутрихозяйственного водораспределения должны быть армированы наиболее простыми и дешевыми водомерами.

Гидрометрические посты — главные, узлов водораспределения и контрольные — необходимо снабдить передатчиками на расстояние уровней или расходов воды. Существующие водомерные устройства для колхозной и межколхозной сети мало пригодны для этой цели.

Исследование и разработка таких водомеров на основании имеющихся материалов и новых предложений и составляет нашу непосредственную задачу. В первой части нашей работы рассмотрены существующие (применяемые) и предложенные (но не применяемые) типы водомеров; во второй части изложены наши исследования и предложения в области выработки новых водомеров.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ.

ВОДОМЕРЫ СУЩЕСТВУЮЩИЕ И ПРЕДЛОЖЕННЫЕ.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ.

Под водомерами следует подразумевать такие сооружения, конструкции или приборы, которые обладают способностью непрерывно регистрировать (графически или механически) расход или количество (сток) воды.

Водомерные устройства (гидрометрические посты, водосливы, лотки и другие) без дополнительных регистрирующих приборов позволяют определять расход воды лишь в момент наблюдения без учета изменения расхода воды в промежутках между наблюдениями.

Такие водомерные устройства можно было бы назвать расходомерами. Если же к ним присоединить регистрирующие приборы (лимнографы, счетчики), то их также можно отнести к водомерам.

Таким образом, понятия водомеры и расходомеры взаимно связаны, т. к. последние могут быть легко (при условии наличия соответствующих приборов) переделаны в водомеры.

Этим обстоятельством, возможно, и объясняется, что, сейчас не проводится грани между указанными выше определениями и под водомерами подразумеваются вообще все водоизмерительные устройства.

Нам представляется, что принцип непрерывности учета воды является определяющим при отнесении той или иной водоизмерительной установки к категории водомеров.

Следовательно, водоизмерительные устройства (установки) могут быть разбиты на две категории: 1) водомеры, 2) расходомеры.

Эти основные группы в свою очередь могут иметь свои подразделения. Рассмотрение расходомеров не входит в нашу задачу; что же касается водомеров, то все существующие (известные) конструкции по принципу их действия могут быть подразделены следующим образом:

Классификация водомеров.

I класс. Водомеры-счетчики (регистраторы).

1 *группа* — специальные устройства.
Тип А — основанные на принципе вертушки (скоростные):

V или $Q = f(n) = cn$ где V — объем (количество) воды, Q — расход воды, n — число оборотов в сек., c — цена одного деления.	1. Great Western 2. Grant-Michell 3. Hill 4. Reliance 5. Водомер Кальницкого 6. Непрерывно действующие вертушки фирмы Отта
Тип Б—основанные на принципе суммирования элементарных объемов (объемные): $V = \Sigma v = nv$ где v — элементарный объем воды за одно перемещение n — число перемещений (элементарных объемов)	1. Milne meter 2. Dethridge 3. Водомер Барановского
2 *группа* — комбинированные водомеры. Дополнительные регистрирующие приспособления (лимниграфы, счетчики), устанавливаемые на расходомерах: водосливах, лотках и др.	1. Лимниграфы разных систем 2. Расходографы 3. Счетчики стока

II класс. Водомеры-автоматы (регуляторы) постоянного выдела воды.

1 *группа* — водомеры, основанные на принципе $H = Const$	1. Водомер Фута 2. Линдлея 3. Сифонный автомат Костякова 4. Сифонный автомат Курносова
2 *группа* — водомеры, основанные на принципе изменения рабочего отверстия обратно пропорционально $\sqrt{H}$.	1. Водомер Бредиса (с поплавком) 2. Конусообразный поплавок 3. Качающийся поплавок 4. Водомер Huber und Lutz
3 *группа* — водомеры, основанные на принципе изменения величины сопротивлений прямо пропорционально $\sqrt{H}$.	1. Джибба 2. Журина 3. Гладких 4. Бредиса 5. Лубны-Герцика

Общие принципы и теоретические соображения, по приведенным в классификации типам водомеров, вкратце заключаются в следующем:

I—1—А—водомеры-счетчики (скоростные).

Расположение основных элементов и принцип действия водомеров этого типа характеризуются схемой, представленной на рис. 1.

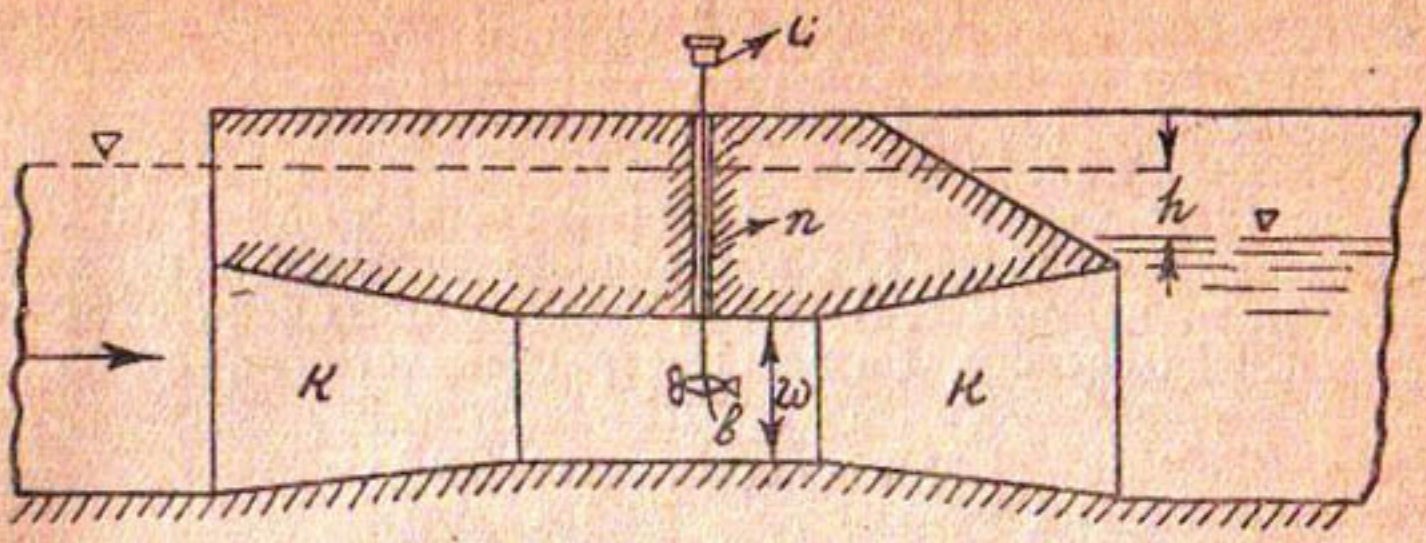


Рис. 1.

Вертушка b помещается (вертикально или горизонтально) в специальном колодце или камере K (той или иной конструкции), чаще всего стандартного типа, установленной на канале, причем через канал проходит или весь, или определенная часть расхода воды канала. Вертушка, находясь в определенном сечении ω, вращается с той или иной скоростью в зависимости от скорости течения воды в этом сечении. Поэтому подобные водомеры и называются иногда скоростными (водопровод).

Скорость вращения (число оборотов) вертушки особой передачей n передается счетчику C, который фиксирует число оборотов вертушки (чаще всего счетчик проградуирован в объемных мерах).

Различные конструкции водомеров этого типа (более подробно описанные в следующей главе) отличаются друг от друга конструкциями камер, вертушек, передач, счетчиков. Действие водомеров основано на следующих положениях.

Известно, что если поместить вертушку в определенное сечение, то средняя скорость течения воды в этом сечении v может быть выражена в зависимости от числа оборотов вертушки в единицу времени n, т. е.

$$v = f(n).$$

f (n) обычно выражается уравнением кривой зависимости, которая получается в результате тарировки вертушки.

Эта функция в большинстве случаев (как это было впервые предложено изобретателем вертушки Вольтманом) представляется в виде уравнения прямой линии:

$$v = f(n) = v_o + kn \qquad (1)$$

Ряд авторов (Лямэйр, Шмидт и др.) выражали зависимость $v = f(n)$ более точно—в виде уравнений кривых второго порядка.

Не вдаваясь в теоретическое рассмотрение вопроса работы вертушек и различных выражений f (n) в зависимости от условий работы и сделанных допущений, заметим, что в настоящее время общепринято допускать замену кривых второго порядка

(гиперболы) двумя пересекающимися прямыми: одной — для меньших, другой — для больших чисел оборотов, причем у некоторых типов вертушек они сливаются, и уравнение вертушки принимает вид уравнения 1.

Как было выше указано, кривая зависимости $v = f(n)$ обычно определяется тарировкой, а вычисленные значения n не должны выходить за пределы значений n, установленных тарировкой. Так как площадь сечения ω в нашем случае постоянная, имеем:

$$Q = \omega \cdot f(n) = \eta(kn + v_o) \cdot \omega \qquad (2)$$

где η — коэфициент перехода к средней скорости, которая равна единице, если вертушка дает непосредственно среднюю скорость в сечении ω.

Суммарный объем (сток), прошедшей через водомер воды, можно выразить уравнением

$$V = Q \cdot t = \eta\ (kn + v_o)\ \omega \cdot t.$$

С другой стороны $V = t \,.\, n \,.\, C = N \,.\, C \qquad (3)$

где t — время работы водомера в секундах, соответствующее данному расходу,

n — число оборотов вертушки в секунду,

N — число оборотов за время t,

C — цена одного деления водомера, устанавливаемая тарировкой.

Цена деления C или, что то же самое, расход воды за один (несколько) оборотов вертушки $\triangle$ v, соответствующий одному делению счетчика своим постоянным значением, характеризует нормальную работу водомера.

Действительно расход за один оборот вертушки

$$\triangle V = \frac{V}{N} \qquad (4)$$

но $$V = (v_o + kn)\ \omega \,.\, t, \text{ а } N = n \,.\, t$$

Тогда, подставляя это значение в уравнение 4, имеем:

$$\triangle V = \frac{(v_o + kn)\,\omega \,.\, t}{n \,.\, t} = \left(\frac{v_o}{n} + k\right)\ \omega.$$

Из полученного выражения видно, что $\triangle V = C$ будет постоянным, если можно пренебречь величиной $\frac{v_o}{n}$, но это возможно тогда, когда n (а следовательно и v) достаточно велико, а v_o (начальная скорость) — соответственно мала.

Этим обстоятельством и объясняется, что подобные водомеры имеют предел (v_{min}), ниже которого они дают преуменьшенные показания. Этот предел и $\triangle V = C$ устанавливаются тарировкой.

По формуле 3 определяется количество протекающей воды; при этом счетчик может быть проградуирован на сток воды в кубометрах или других мерах.

Расход определяется по разности отсчетов по счетчику и времени t между этими отсчетами, т. е.

$$Q = \frac{V}{t} \qquad (5)$$

Водомеры данного типа требуют индивидуальной и периодической тарировки каждого из них.

I—1 — Б. Водомеры-счетчики (объемные).

Эти водомеры основаны на принципе суммирования элементарных объемов воды, отсекаемых отдельными перемещениями рабочих частей водомера. Число этих перемещений учитывается счетчиком.

Принцип действия этого типа водомеров может быть представлен следующими схемами (рис. 2 и 3)

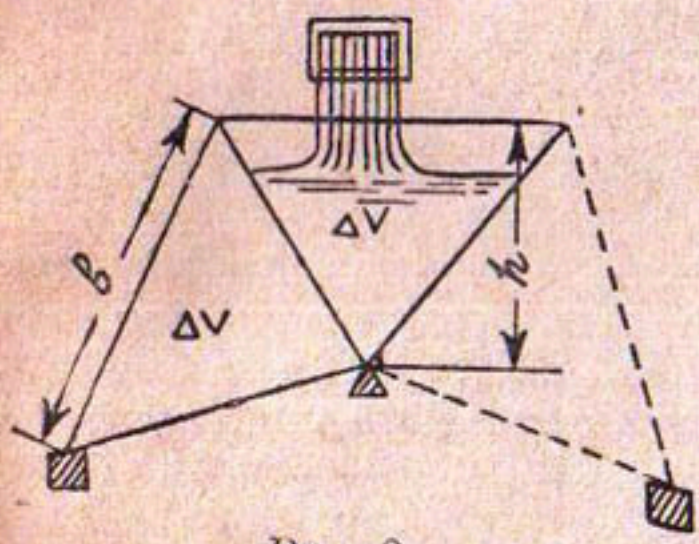


Рис. 2.

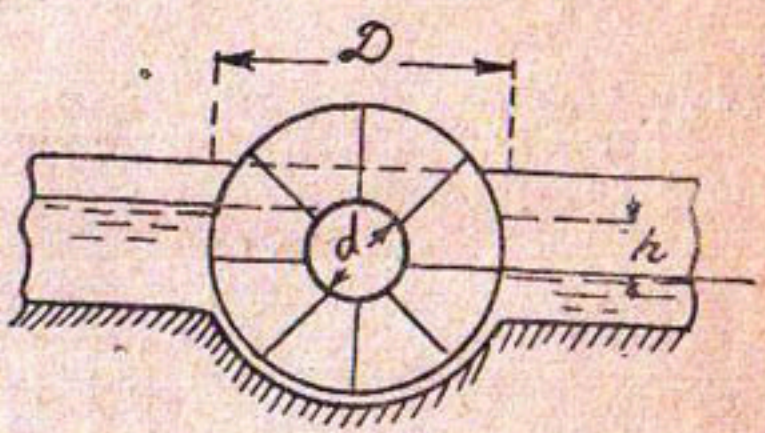


Рис. 3.

В данном случае общее количество воды, прошедшее через водомер, определяется простым суммированием количеств воды, заполнявших элементарные объемы рабочих элементов водомера за одно перемещение (качание, оборот), т. е.

$$V = \Sigma \triangle v = K \cdot \triangle V \cdot n \qquad (6)$$

где $\triangle V$ — элементарный объем воды за одно перемещение,
n — число перемещений,
K — коэфициент, учитывающий потери на наполнение (фильтрации).

Элементарный объем воды за одно перемещение зависит от конструкции и размеров водомера. Так, например:

в первом случае (рис. 2) $\triangle V = \frac{b \cdot h}{2} \cdot l$

во втором случае (рис. 3) $\triangle V = \frac{\pi}{4}(D^2 - d)\, l - p$

где l — длина водомера (барабан),

p — объем, вытесняемый лопастями.

Остальные обозначения приведены на рисунках.

Если принцип действия и расчет подобных водомеров очень прост и легок, то конструкции их довольно сложны и громоздки.

1—2. Комбинированные водомеры-счетчики.

В эту группу входят многочисленные водоизмерительные приспособления (водосливы, лотки и другие), снабженные приборами, автоматически фиксирующими горизонты воды или учитывающими сток (лимниграфы, счетчики).

Как известно, расход (истечение) через подобные сооружения в общем виде может быть представлен формулой

$$Q = m \cdot \omega \sqrt{2gh} \qquad (7)$$

где Q — расход воды,

ω — площадь рабочего отверстия,

h — действующий напор,

m — коэфициент расхода, учитывающий сопротивления,

или в виде эмпирической зависимости

$$Q = K \cdot h^n \qquad (8)$$

где h — действующий напор,

K, n — параметры, имеющие различные значения для отдельных типов сооружения.

Расход воды у всех этих измерительных приспособлений есть функция от h, и поэтому различные конструкции приборов для учета воды, которыми они снабжаются, стремятся или записать все изменения горизонтов (лимниграфы), или дать сток (в суммарном выражении), опять-таки в зависимости от изменения горизонтов.

Лимниграфы обычной конструкции состоят из поплавков, передачи, пишущего пера, барабана с бумагой и часового механизма (подробное описание конструкции изложено в следующей главе).

В зависимости от колебаний горизонта воды в канале лимниграфы на особой бумаге, прикрепленной к барабану, вычерчивают кривую изменения глубины h. Так как лимниграфы учитывают непосредственно лишь изменение напора h по времени, то расход воды определяется дополнительными вычислениями по зависимости формулы 8 — $Q = K \cdot h^n$, а объем (количество) воды за определенное время находится путем суммирования произведений расхода на соответствующий этому расходу отрезок времени, т. е.

$$V = \Sigma Q_i \cdot t = Q_1 \cdot t_1 + Q_2 \cdot t_2 + \ldots \qquad (9)$$

или, что то же самое, — путем планиметрирования площади между кривой расхода и осью абсцисс.

Имеются также лимниграфы, которые непосредственно регистрируют изменения расхода воды по времени (расходографы); в этом случае упраздняется операция по вычислению расходов воды, но количество прошедшей воды находится по той же формуле 9 или планиметрированием.

В отличие от лимниграфов, к расходографам обычно присоединяются специальные кулачные передачи (улитки), очерченные по кривым зависимости $Q = Kh^n$. Кулачные передачи, таким образом, преобразуют линейное изменение уровня в соответствующее линейное же изменение расхода, которое и регистрируется по времени на бумаге барабана.

Счетчики стока, непосредственно учитывающие количество воды, основаны на непрерывном механическом суммировании объемов воды в зависимости от расхода и времени.

II. Водомеры-автоматы (регуляторы).

К этому классу относятся конструкции (сооружения), которые, вне зависимости от колебания расхода (напора) в старшем канале, всегда пропускают в младший канал (отвод) установленный постоянный расход воды; поэтому применение таких сооружений в качестве водовыпусков (регуляторов) желательно и целесообразно. В общем виде расход рабочего сечения водовыпуска может быть представлен формулой:

$$Q = m \cdot \omega \sqrt{2g} \sqrt{h} = M \omega \sqrt{h} = f(m, \omega, h) \qquad (10)$$

Постоянства расхода, следовательно, можно добиться поддержанием постоянного напора, изменением рабочего отверстия обратно пропорционально $\sqrt{h}$ и изменением сопротивлений прямо пропорционально $\sqrt{h}$.

В зависимости от этого водомеры-автоматы подразделяются на группы, согласно вышеприведенной классификации.

II—1. Водомеры, основанные на принципе $h = Const$, должны быть сконструированы таким образом, чтобы при неизменных m и ω действующий напор оставался также постоянным, т. е. при всех изменениях расхода в старшем канале m, ω, h на водомере-водовыпуске должны оставаться постоянными и, следовательно, расход воды будет также постоянным:

$$Q = M \omega \sqrt{h} = C_1 = Const \qquad (11)$$

В данном случае все дело сводится к определенной конструкции водомера, обеспечивающей постоянство m, ω, h, и соответствующей установке (зарядке) водомера на тот или иной необходимый расход; к этой группе относятся конструкции Фута, Линдлея, сифонные автоматы Костякова, Курносова и другие.

II—2. Водомеры, основанные на принципе изменения рабочего отверстия.

Постоянство расхода при изменяющемся действующем напоре может быть достигнуто такой конструкцией водомера, в которой рабочее отверстие автоматически изменяется обратно пропорционально $\sqrt{h}$, что легко видеть из уравнения (10), если допустить, что m не изменяется (что практически часто является возможным).

Действительно, если $\omega = \frac{C_2}{\sqrt{h}}$ или $\omega \sqrt{h} = C_2 = \text{Const}$

тогда и

$$Q = M \cdot \omega \sqrt{h} = M . C_2 = \text{Const} \qquad (12)$$

Если проанализировать функцию

$$\omega = \frac{C_2}{\sqrt{h}} = C_2 h^{-1/2} \qquad (13)$$

то можно заметить, что она представляет собой функцию гиперболического порядка ($y = \alpha x^{-n}$).

Примечание. Частный случай этой функции при $n = 1$, выражает закон обратной пропорциональности между функцией и независимой переменной.

Из анализа зависимости (формула 13) видно, что

при $h = 0$ $\omega \to \infty$

при $h = \infty$ $\omega \to 0$

Таким образом, для обеспечения $Q = \text{Const}$ необходимо, чтобы площадь рабочего отверстия ω изменялась обратно пропорционально $\sqrt{h}$; при этом для небольших значений h ω растет очень быстро, а затем по мере увеличения h темп увеличения ω замедляется (как известно, это свойственно гиперболическим функциям, выражающим обратно пропорциональный закон изменения функции).

П—3. Водомеры, основанные на принципе изменения величины сопротивлений.

Если в основном уравнении 10 ω принять постоянным, тогда для соблюдения условия $Q = \text{Const}$ необходимо, чтобы произведение M на $\sqrt{h}$ всегда равнялось постоянной величине, т. е.

$$M \cdot \sqrt{h} = C_3 = \text{Const}$$

тогда и

$$Q = M \cdot \omega \sqrt{h} = \omega \cdot C_3 = \text{Const} \qquad (14)$$

Функция $M \cdot \sqrt{h} = C_3$ также выражает гиперболический (обратно пропорциональный) закон изменения M в зависимости от h; следовательно, и в этом случае условия $Q = \text{Const}$ особенно трудно добиться при малых значениях h.

Коэфициент расхода $m = \frac{M}{\sqrt{2g}}$, вообще говоря, учитывает все сопротивления при проходе жидкости через сооружение и может быть выражен в виде:

$$m = \sqrt{\frac{1}{\xi^c}} \qquad (15)$$

Подставляя значение m в уравнение $M \cdot \sqrt{h}$, получим:

$$\sqrt{\frac{2g}{\xi^c}} \cdot \sqrt{h} = C_3$$

Решая это уравнение относительно ξ_c, имеем:

$$\frac{2g}{\xi_c} h = C_3^2 \text{ или } \frac{h}{\xi_c} = \frac{C_3^2}{2g} = K = \text{Const};$$

тогда окончательно

$$\xi_c = \frac{1}{K} \cdot h = K_1 \cdot h \qquad (16)$$

Полученное выражение есть уравнение прямой линии, проходящей через начало координат с угловым коэфициентом К.

Таким образом, постоянство расхода будет обеспечиваться, если создать такие условия движения жидкости, при которых коэфициент сопротивления системы (или сумма коэфициентов местных сопротивлений) увеличивалась бы прямо пропорционально действующему напору h.

В силу того, что вопрос изучения величины сопротивления теоретически мало разработан, за исключением некоторых частных случаев (внезапное расширение — теорема Борда), — решить его в общем случае не представляется возможным.

Существующие расчеты по отдельным типам данной группы водомеров, как например Джибба, Журина, Бредиса, имеют частный характер и целиком зависят от конструкции и индивидуальных свойств водомеров (см. следующую главу).

II. ОПИСАНИЕ ВОДОМЕРОВ.

I класс. Водомеры-счетчики (регистраторы)

Группа 1, тип А — водомеры-счетчики (скоростные).

1. Grant-Michell meter. Этот водомер носит имя двух австралийских инженеров, которые предложили его к применению в Австралии, где он и получил значительное распространение.

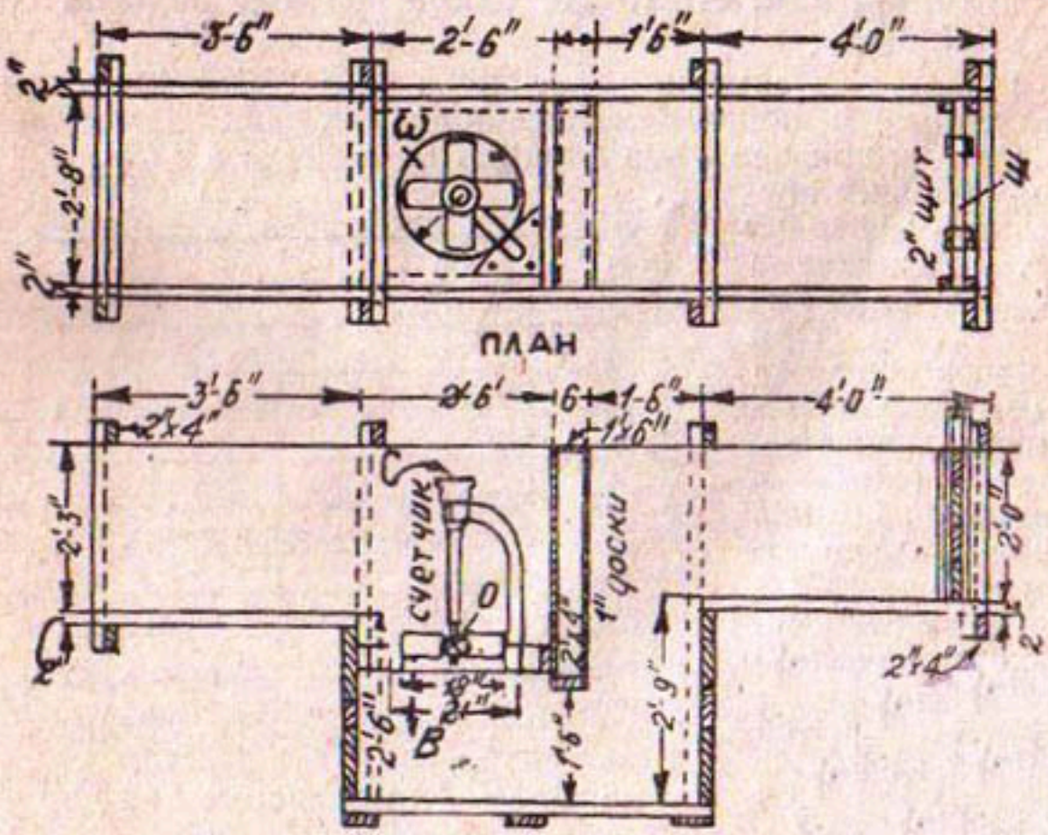


Рис. 4.

Водомер в основном состоит из четырехлопастного колеса (вертушки B), вращающегося на вертикальной оси O, соединенного с ними счетчика C и специального сооружения.

Колесо вертушки, состоящее из четырех плоских лопастей, установлено в горизонтальной плоскости круглого отверстия ω пола в специальной камере, устроенной немного ниже дна канала, через которое проходит весь расход воды. Ось вертушки соединена со счетчиком, учитывающим число оборотов.

Таким образом счетчик показывает число оборотов вертушки, но также может быть градуирован в объемных мерах (после тарировки).

Сооружение (камера) делается из дерева, как показано на рис. 4, или же из бетона.

Вода из верхнего бьефа, пройдя регулировочный щит $щ$ и небольшой горизонтальный участок, падает сначала вниз, затем под напором проходит через отверстие, в котором помещена вертушка, приводит ее в движение и далее попадает в нижний бьеф канала.

Эти водомеры обычно изготовляются (в Австралии и США) пяти стандартных размеров: 12″ (0,30 м), 18″ (0,45 м), 21″ (0,53 м), 39″ (0,98 м) с пропускной способностью соответственно 1,6 ф³/сек. (0,050 м³/сек.), 3,75 ф³/сек. (0,106 м³/сек.), 5,83 ф³/сек. (0,165 м³/сек.), 16,66 ф³/сек. (0,47 м³/сек.) и 50 ф³/сек. (1,42 м³/сек.). Стандарт водомера определяется по размеру диаметра отверстия.

Стоимость водомеров Grant-Michell сравнительно с другими подобными водомерами довольно высока и колеблется в пределах от 52 до 170 долларов*.

Водомеры этого типа, как и вообще все вертушки, перед употреблением в дело должны быть протарированы в индивидуальном порядке.

Тарировкой устанавливается зависимотсь между скоростью течения воды и числом оборотов в секунду и определяется цена деления С счетчика, или, что то же самое, расход воды за один (или несколько) оборотов.

Примечание. Испытания водомера Grant-Michell с отверстием в 21″, произведенные в полевой лаборатории Agricultural Experiment Station, Berkely — California, показали, что начиная от расхода в 2 ф³/сек. (60 л/сек.) через водомер за один оборот вертушки проходит 6,1 футов³. Отклонения от средних значений не превосходят 2,3%. При пропуске через водомер расходов меньше указанного размера, водомер (счетчик) делает ошибку в сторону преуменьшения, что, повидимому, объясняется трением в подвижных частях и соображениями, изложенными в предыдущей главе.

Результаты опытов приведены на графике рис. 5.

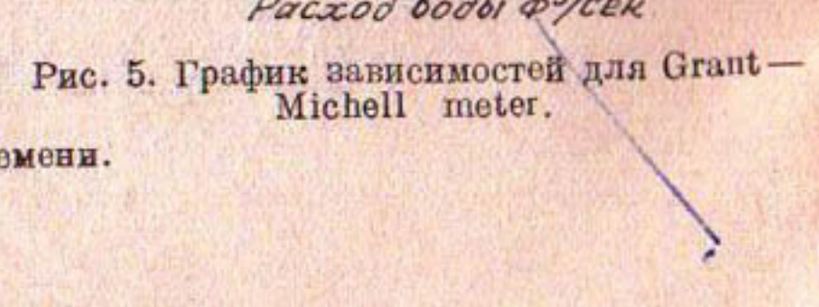


Рис. 5. График зависимостей для Grant—Michell meter.

* Данные довоенного времени.

Учет воды производится путем непосредственных наблюдений по счетчику с соответствующими записями показаний счетчика и времени наблюдения.

Так например, если показание счетчика в начале наблюдения N_1, и в конце N_2, то, зная цену одного деления или объем за один оборот ($\triangle$ V), легко найти сток:

$$V = (N_2 - N_1) \triangle V = N \cdot \triangle V$$

и средний расход

$$Q = \frac{(N_2 - N_1) \triangle V}{t} = \frac{N \cdot \triangle V}{t} = \frac{V}{t}$$

где t — промежуток времени, при котором Q = Const.

Примечание. Чаще всего счетчик водомера заранее градуируется в объемных мерах.

2. **Hill meter.** По устройству и работе сходен с водомером Grant-Michell, отличаясь от последнего конструкцией сооружения (камеры) и учитывающего механизма (вертушки).

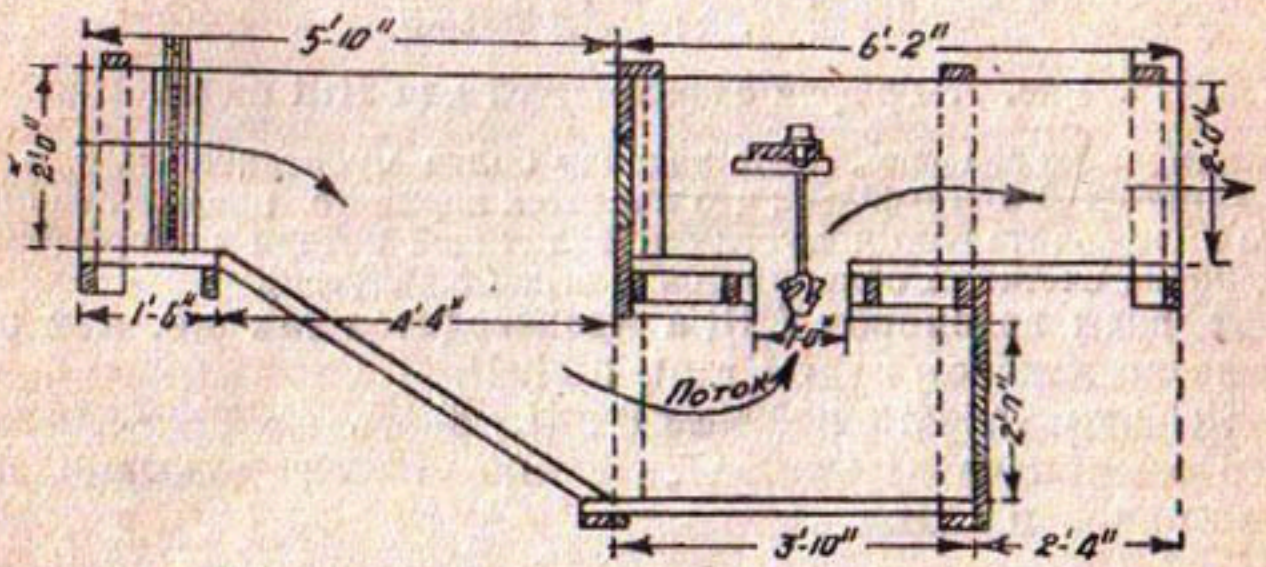


Рис. 6.

Он также состоит из вертушки, счетчика и специального сооружения с цилиндрическим отверстием в горизонтальной плоскости пола.

Учитывающий механизм состоит из вертушки с винтообразными лопастями на вертикальной оси, соединенной системой передач со счетчиком, который учитывает количество прошедшей воды в акро-футах.

Сооружение (в виде дюкера) имеет цилиндрическое отверстие в горизонтальной плоскости пола, в котором (отверстии) помещена вертушка.

Вода, проходя через это отверстие снизу вверх, приводит во вращательное движение вертушку с количеством оборотов, прямо пропорциональным скорости течения через упомянутое отверстие.

Водомер Hill'a изготовляется разных размеров в зависимости от требуемой пропускной способности, а стоимость его колеблется от 25 до 35 долларов.

Примечание. Опыты (тарировка), произведенные в той же лаборатории над 12-дюймовыми водомерами, показали, что этот водомер сохраняет постоянство расхода за одно деление (1/1000 акро-фута) счетчика от 1,0 ф³/сек. (30 л/сек.) до 3,5 ф³/сек. (105 л/сек.).

Потери напора составляют величину от 2 см при Q = 30 л/сек. до 15 см при Q = 105 л/сек.

Результаты этих опытов наглядно иллюстрируются на графике.

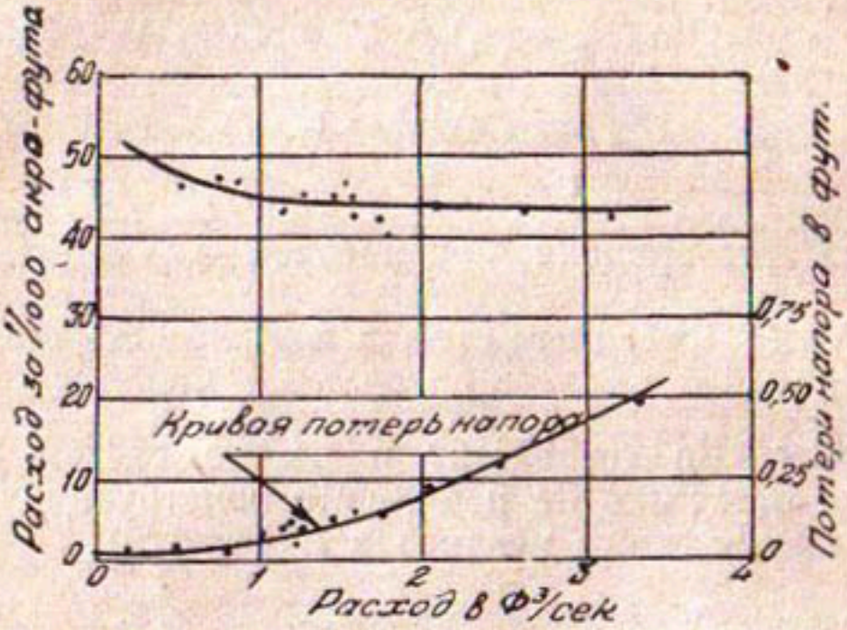


Рис. 7. График зависимостей для Hill meter.

Как видно из графика, этот водомер более чувствителен, т. к. у него нижний предел = ∞ 1,0 ф³/сек; что касается верхнего предела, то он лимитируется исключительно допустимой величиной потери напора (расход за одно деление счетчика сохраняется и выше 3,5 ф³/сек).

Учет воды водомером Hill'a производится так же, как это было показано для водомера Grant-Michell.

3. Reliance Irrigation Meters C°. U. S. A. *Reliance Meter* **или, как его еще иначе называют, „водяные часы", довольно широко распространен в США.**

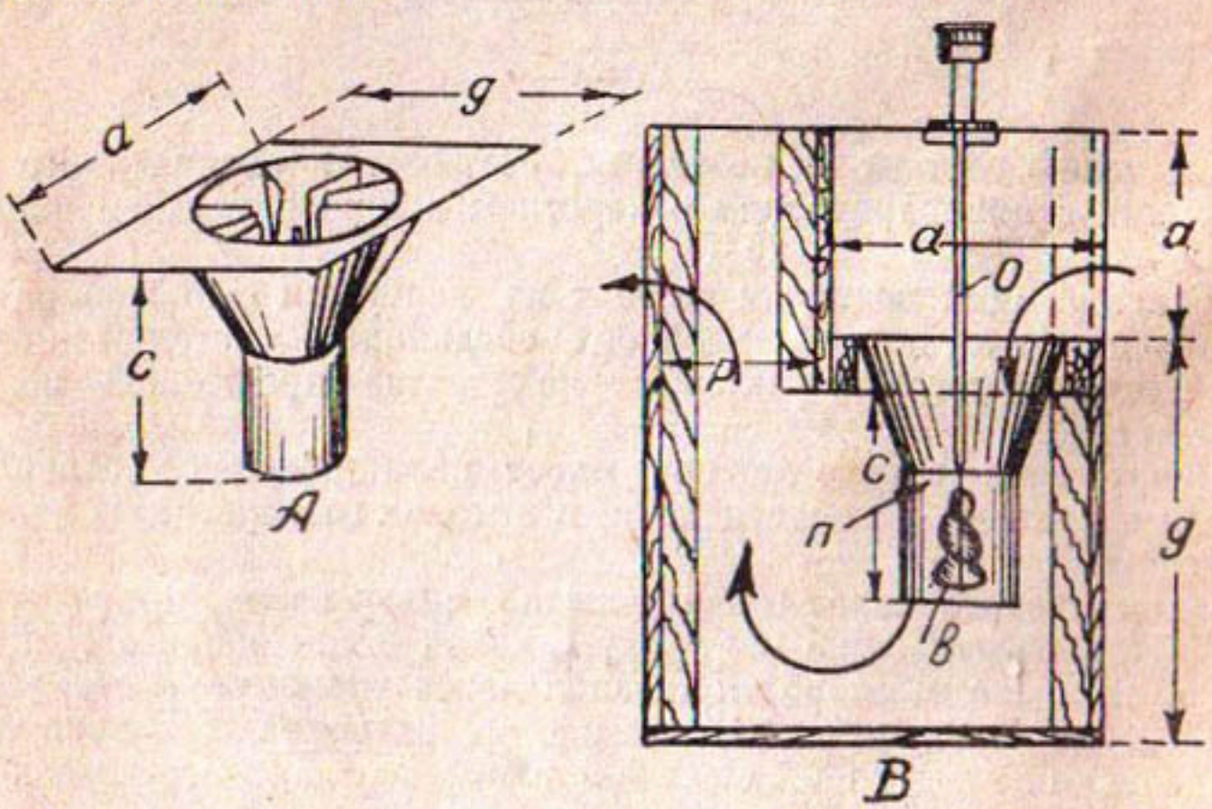


Рис. 8. Водомер Рилайнса. Установка в деревянном ящике.

В основном он состоит (см. рис. 8) из вертушки *в* с тремя винтовыми коническими лопастями, неподвижно надетой на конец вертикальной оси *О* счетчика; воронкообразного с горловиной приемника (см. слева рис. 8) и специального сооружения (камеры), которое выполняется разной конструкции. На рис. 8 показана установка водомера в деревянном ящике при использовании его в открытом канале, а на рис. 9—в бетонной трубе (колодце) с регулировочным щитом при использовании водомера в качестве закрытого выпуска.

Вертушка помещена в центре горловины воронкообразного приемника, который служит для направления всего потока через вертушку и способствует повышению чувствительности водомера. В верхней сходящейся части приемника устроены струенаправляющие ребра для предотвращения образования вихрей. Благодаря такому устройству приемника и вертушки, водомер Reliance обладает хорошей чувствительностью и работает с небольшими потерями напора.

Примечание. Лабораторные испытания этого водомера показали, что при пропуске через водомер 50% от Q_{max} потеря напора составляла всего 1″ (2,5 см), при пропуске 100%—4″ (10 см) и при пропуске 125%—6″ (15 см).

Так же, как и предыдущие водомеры, водомер Reliance должен быть протарирован в индивидуальном порядке.

Водомеры Reliance изготовляются самых разнообразных типов, отвечающих различным условиям будущей их работы на ирригационных системах с пропускной способностью от 0,5 до 16 ф³/сек (0,014—0,45 м³/сек), допускающей перегрузку от 0,1 до 1,33 гарантированной пропускной способности. Стоимость водомера (рис. 9) в зависимости от пропускной способности колеблется от 40 до 165 долларов.

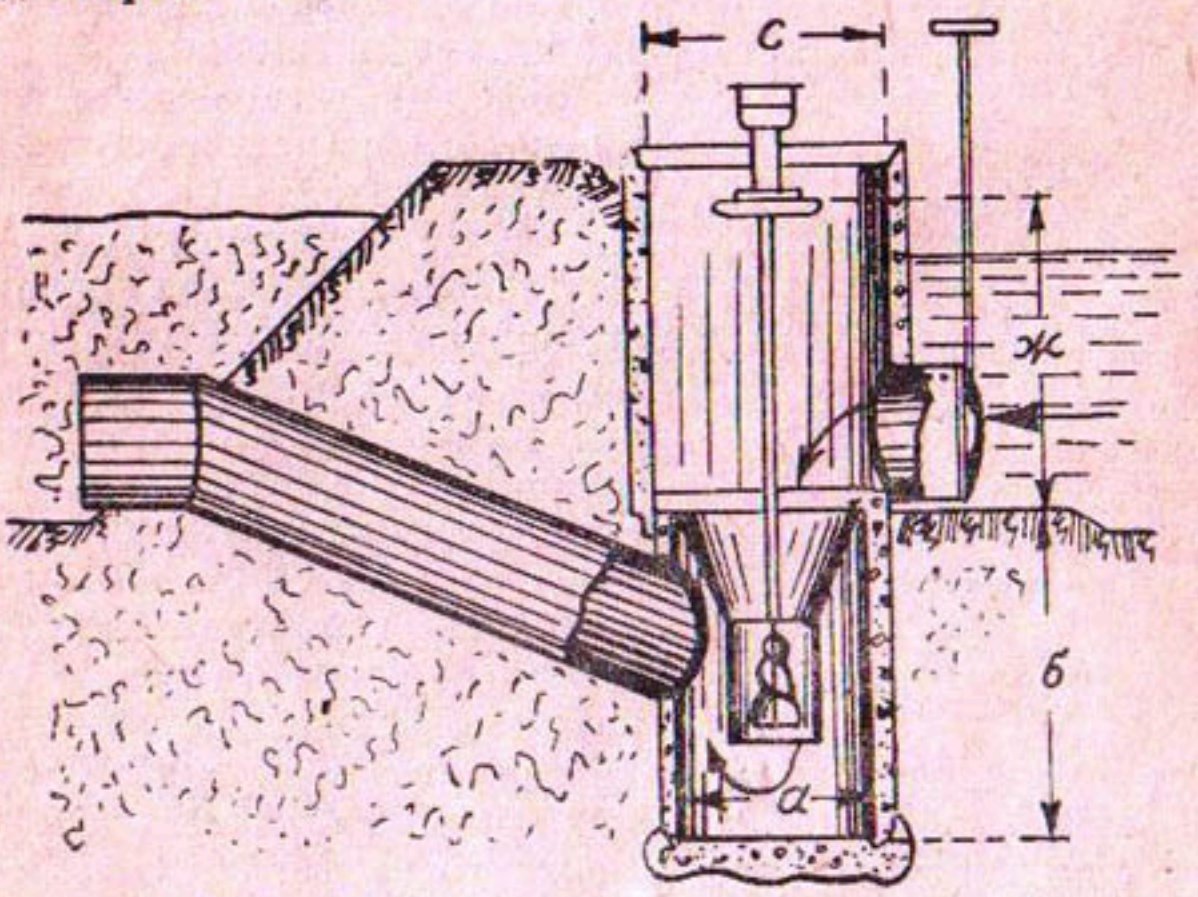


Рис. 9. Водомер Рилайнса. Установка в бетонной трубе.

Ирригационные водомеры фирмы Reliance широко распространены в США на опытных станциях по изучению гидромодуля.

4. **Great-Western Irrigation Meter.** Так же, как и предыдущий тип, весьма распространен в США.

Основное отличие этого водомера состоит в том, что через его рабочее отверстие проходит не весь расход воды канала, а лишь часть его. Общий вид прибора и детали его устройства приведены на рис. 10.

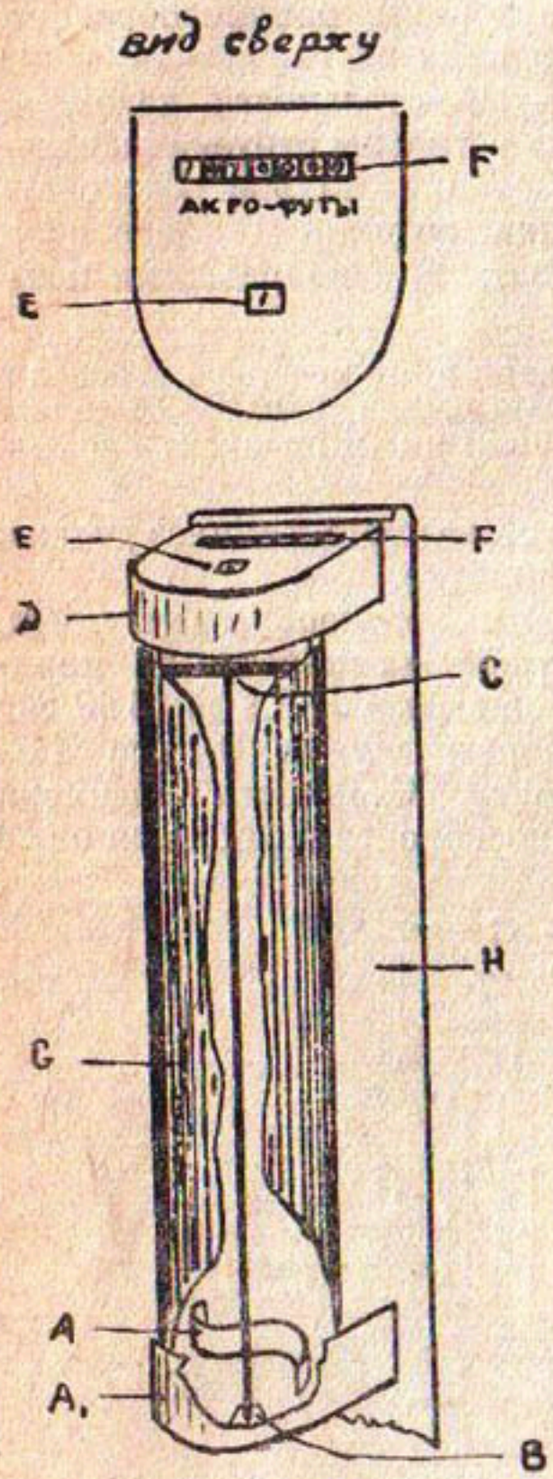


Рис. 10.

Основной частью водомера служит двухлопастная вертушка A с полуцилиндрическими лопастями, неподвижно укрепленными на вертикальной оси, нижний конец которой опирается на конический подпятник B из твердого металла, а верхний — проходит через подшипник C и соединен системой зубчатых передач со счетчиком F. Вертушка, или так называемая турбинка, помещается в специальной камере A_1 отлитой из чугуна. Вращение лопастей через ось передается счетчику, который регистрирует расход воды в кубических футах за один оборот, число акро-футов (до сотых долей). Камера вертушки и камера счетчика D монтированы на одной общей доске H из латуни и соединены между собой круглым кожухом G из гальванизированного железа, которым закрывается ось вращения.

Водомер устанавливается рядом с отверстием (истечение через отверстие — затопленное), как указано на рис. 11 — с низовой стороны.

Действие водомера основано на зависимости расхода воды, через связанное с ним отверстие, от колебаний напора воды, которые, отражаясь на скорости вращения вертушки, регистрируются, как было выше отмечено, счетчиком в акрофутах. Вода поступает на лопасти через отверстие L (рис. 11), предварительно пройдя через сито P, заставляет вращаться вертушку и выходит в нижний бьеф через нижнее отверстие O. Обычно как сам прибор, так и соприкасающиеся с ним части со стороны верхнего бьефа, заключены в запирающиеся ящики 2 с отверстиями A.

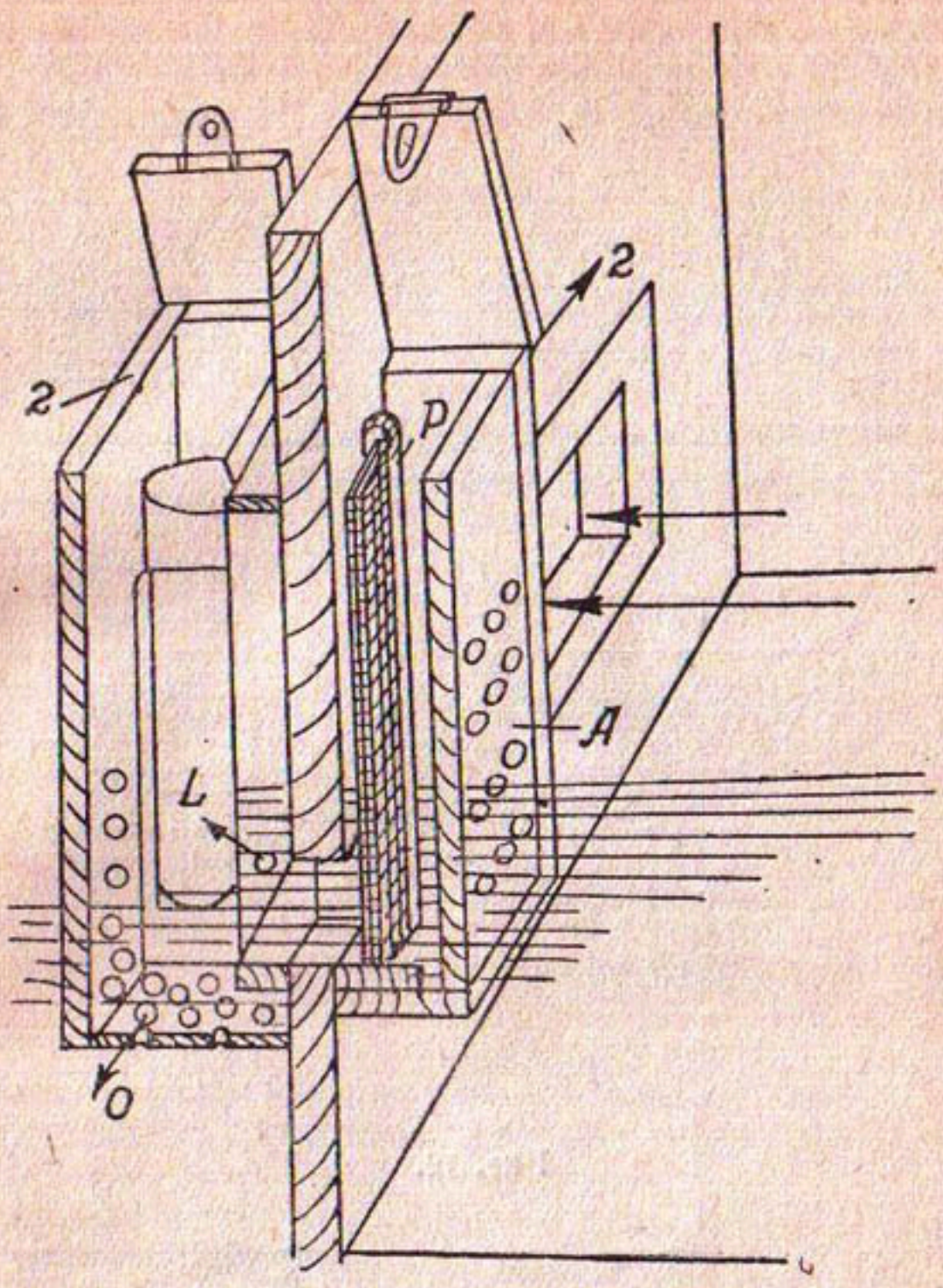


Рис. 11. Установка водомера Great Western у отверстия.

Прибор может быть установлен в простейшем случае так, как показано на рис. 11 или же в специальных бетонных сооружениях (см. например рис. 12).

Чувствительность водомера начинается с напора в 2,4″ (6 см); точность его работы — до 2,75%. Стоимость прибора, включая дополнительные монтажные приспособления, колеблется от 50 до 80,5 доллара, в зависимости от его размера. Этот водомер, так же как и предыдущий, должен тарироваться в индивидуальном порядке.

5. **Непрерывно действующие вертушки фирмы Отта.** Вертушки эти применяются главным образом для измерения расходов воды в напорных трубопроводах гидростанций круглого (рис. 13) или прямоугольного (рис. 14) сечения, или в других специально устроенных сооружениях (см. например дюкер, рис. 15).

Во всех этих устройствах вертушка F помещается в центре постоянного сечения сооружения и учет воды производится специальным электрическим счетчиком R, учитывающим количество оборотов до 1 миллиона.

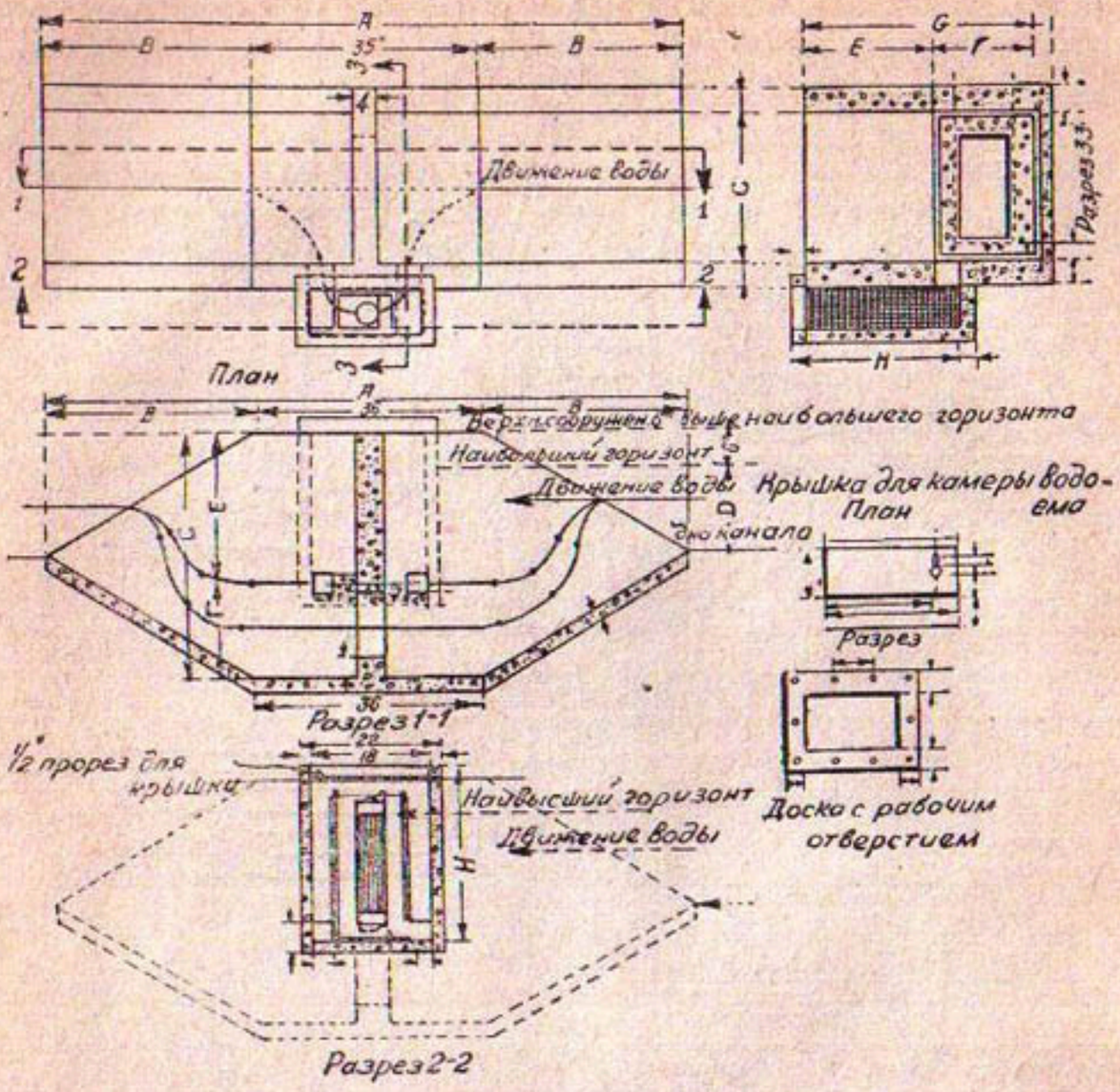


Рис. 12.

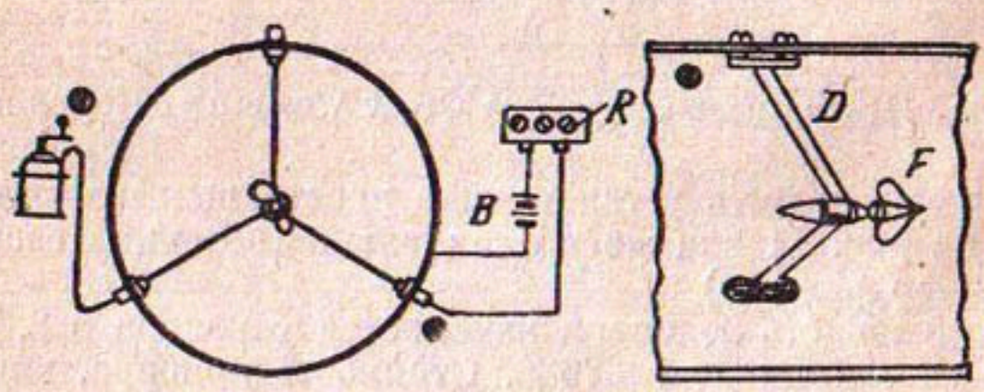


Рис. 13. Установка непрерывно действующей вертушки Отта в круглой трубе.

Зная цену одного или нескольких оборотов вертушки (устанавливается тарировкой), легко найти количество прошедшей воды по известной уже нам формуле:

$$(N_2 - N_1) \cdot \triangle V = V_1$$

Расход воды в единицу времени определяется обычным порядком—по числу оборотов вертушки в секунду n.

Конструкция непрерывно действующей вертушки должна препятствовать попаданию в нее наносов и быть достаточно прочной,

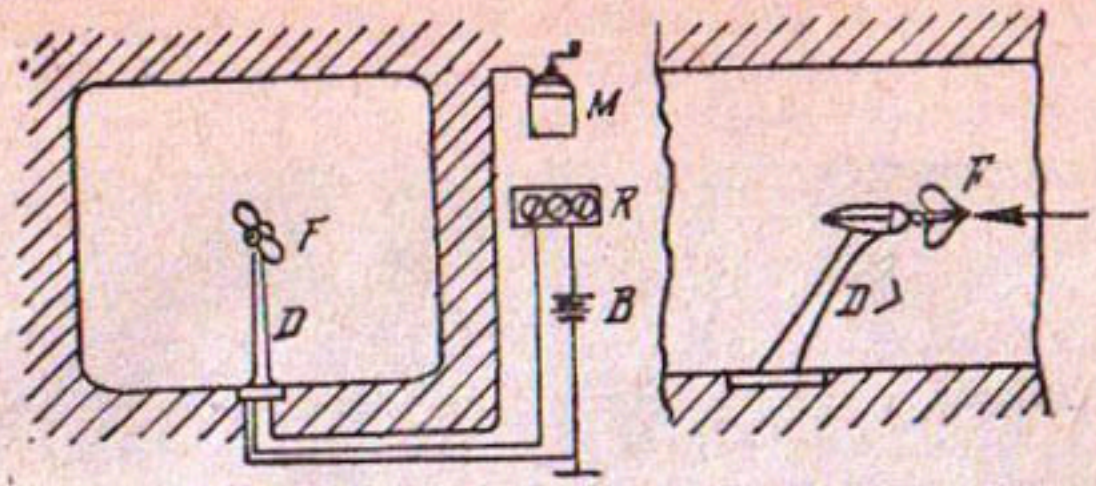


Рис. 14. Установка непрерывно действующей вертушки Отта в прямоугольной трубе.

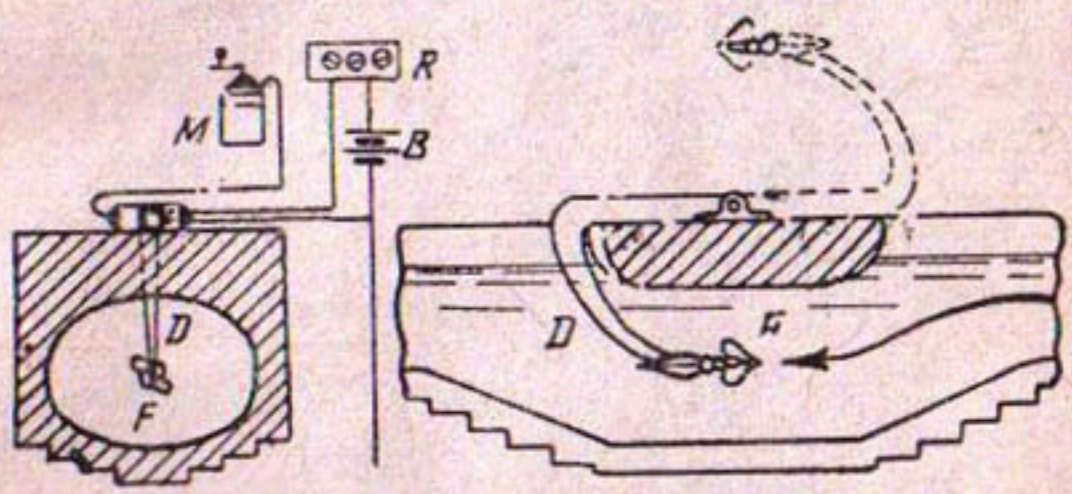


Рис. 15. Установка непрерывно действующей вертушки Отта в дюкере.

имея в виду ее непрерывную работу. Такими вертушками и являются типы XX и XXII фирмы Отта (см. каталог № 165), которая рекомендует их для рассматриваемой цели.

Для нормальной работы вертушки предусмотрена непрерывная подача масла в подшипники вертушки (10 см³ в сутки) специальным аппаратом *M*.

Водомеры с непрерывно действующими вертушками Отта отличаются сравнительной дороговизной, и поэтому, несмотря даже на то, что они достаточно хорошо работают в воде, несущей наносы, едва ли могут быть рекомендованы для применения на небольших каналах ирригационной сети.

6. **Водомер Кальницкого.** Все описанные выше водомеры предложены и применяются заграницей. Водомер Кальницкого является подобной типу Отта конструкцией отечественного происхождения. Этот водомер предложен сравнительно недавно (в 1937 г.) и находится еще в стадии производственного апробирования. Водомер Кальницкого сконструирован специально для учета воды на насосных ирригационных установках. Он состоит (рис. 16) из трехлопастной вертушки *B* с обтекаемым корпусом *K* с горизонтальной осью вращения. Горизонтально расположенная вертушка соединена вертикальной пустотелой стойкой *H*, к верхнему концу которой присоединен обыкновенный счетчик оборотов (циклометр *C*). Вращение вертушки специальным передаточным механизмом (пара конических колес), устроенным внутри вертушки и ножки, передается

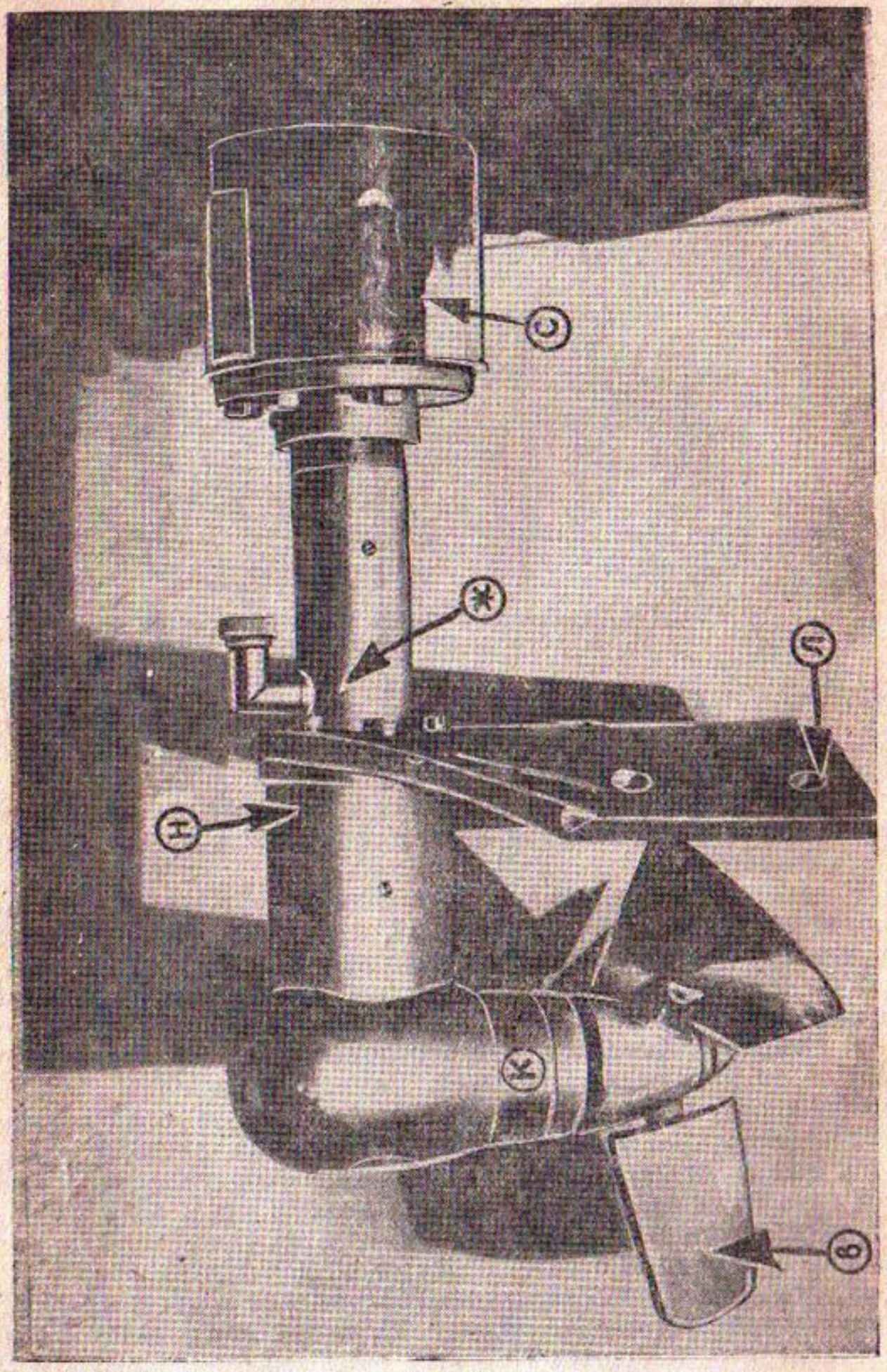


Рис. 16.

на счетчик *С*. Как горизонтальная, так и вертикальная ось имеют шариковые подшипники. По середине стойки, перпендикулярно к ней, в месте перехода от овального сечения *Н* к круглому сечению *Ж* водомер имеет накладной лист *л* для накладывания его на конец трубы и прикрепления болтами.

Для предохранения от быстрого изнашивания подвижных частей во внутрь вертушки наливается масло через специальное отверстие, которое после этой операции плотно завинчивается пробкой.

Таким образом, водомер Кальницкого по существу мало чем отличается от оттовских непрерывно действующих вертушек (и вообще от вертушек), но конструктивно приспособлен специально для учета стока воды на насосных ирригационных установках.

Испытания этого водомера, произведенные Саниири, не дали удовлетворительных результатов; как и следовало ожидать, цена деления счетчика зависит от времени работы водомера, и поэтому требуются сравнительно частые повторные тарировки.

Группа 1. Тип Б — водомеры-счетчики (объемные).

1. **Водомер Мильнэ** является типичным представителем объемных водомеров.

Его конструкция и принцип действия весьма просты и могут быть представлены следующим схематическим чертежом (рис. 17).

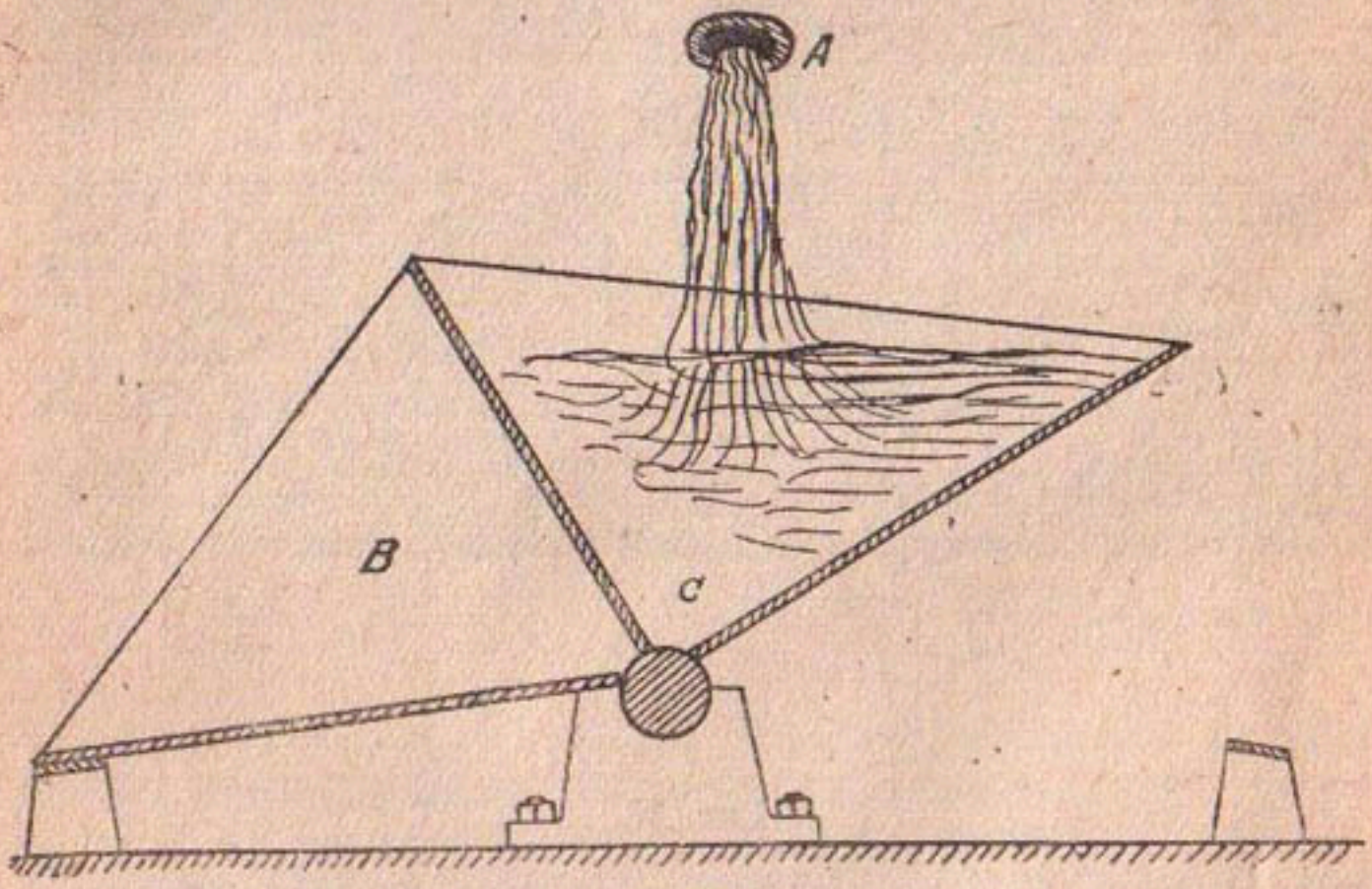


Рис. 17. Водомер Мильнэ.

Вода поступает из трубы (или лотка) *А* поочередно в две камеры треугольного сечения – *В* и *С*. Когда одна из камер наполнится до края, она опрокидывается под действием тяжести воды, вода из нее выливается, а другая камера в это время наполняется, и т. д.

Число качаний учитывается счетчиком, а количество прошед-

шей воды, в зависимости от числа качаний, определяется по формуле

$$V = k \cdot n \cdot \triangle V \qquad (17)$$

Применение этого водомера в ирригации ограничено его малой пропускной способностью и необходимостью для его работы большого перепада.

2. **Dethridge meter** широко распространен в штате Victoria в Австралии (число этих установок насчитывается там до 5000 штук), поэтому его иногда называют австралийским типом водомера.

Водомер Dethridge (рис. 18) состоит из большого колеса (барабана) *K* с радиально прикрепленными к нему восемью V-образ-

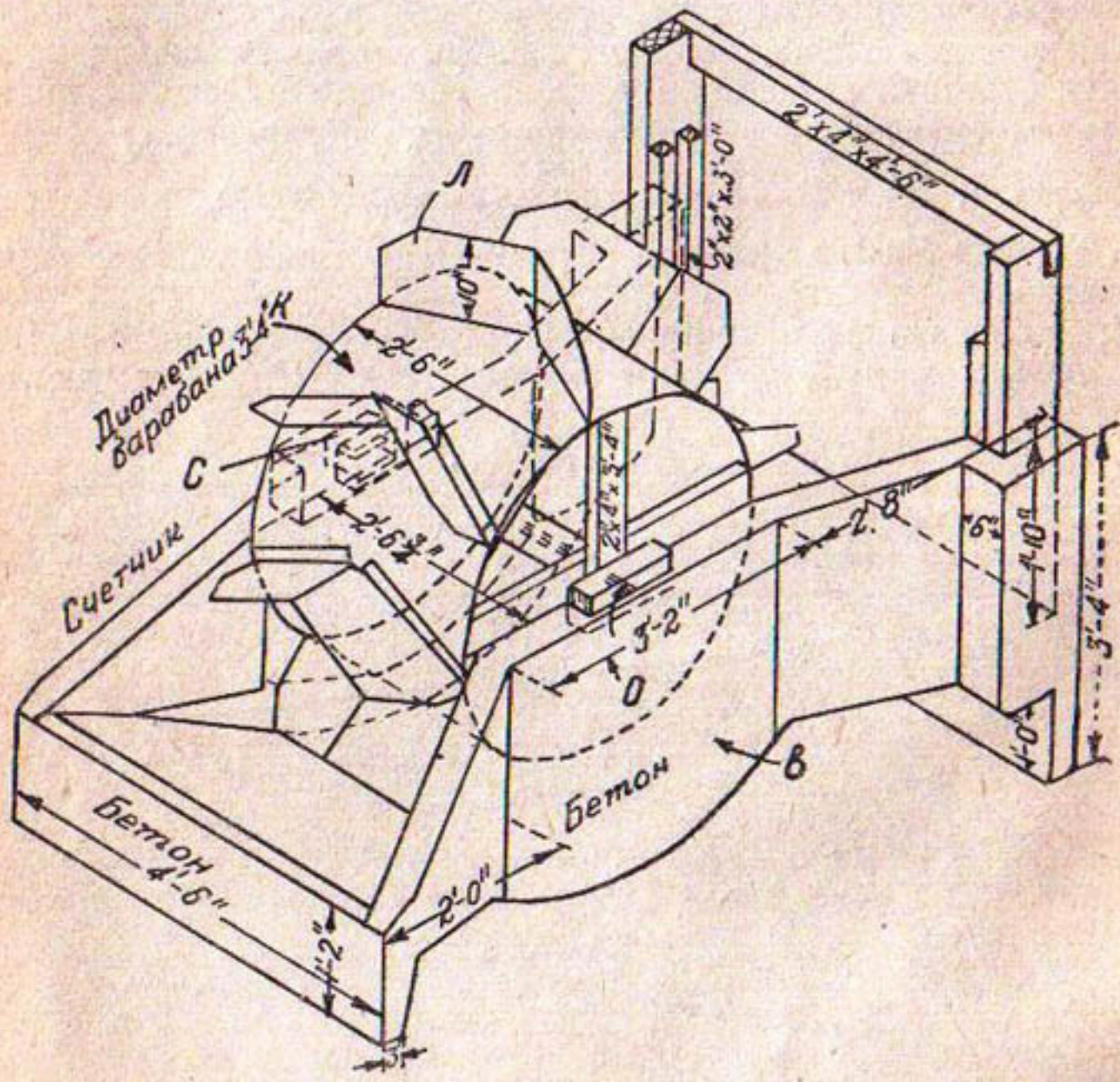


Рис. 18.

ными лопастями *Л*, изготовленными из металла. Барабан имеет горизонтальную ось *О* и вращается в специальном сооружении *В*. Сооружение построено с тем расчетом, чтобы вода не проходила мимо лопастей. Это достигается тем, что дно сооружения точно подгоняется под диаметр колеса; зазор между лопастями и дном с боковыми стенками не более 10 мм. На конце оси барабана находится счетчик *С*, учитывающий число оборотов колеса.

При работе водомера вода автоматически вращает и поочередно заполняет пространство между лопастями.

Зная количество оборотов и объем воды за один оборот, можно определить полное количество прошедшей воды. Теоретически объем воды за один оборот равен сумме объемов между лопастями, но ввиду неизбежного наличия зазора расход воды за один оборот получается больше упомянутого; он должен быть определен предварительной тарировкой.

Описываемый водомер с длиной барабана в 26″ (65 см), высотой лопастей в 10″ (25 см) и с диаметром барабана в 34″ (85 см) имеет свободное пространство между лопастями по всему периметру в 27,3 $ф^3$. Как уже упоминалось, этот объем мог бы быть расчетным при отсутствии зазора, но практически через водомер за один оборот проходит большее количество воды.

Примечание. Испытания этого водомера в полевой лаборатории Davis'a в Калифорнии показали , что расход воды за один оборот в интервале от 1 до 3,5—4 $ф^3$/сек. в среднем равен 28,75 $ф^3$. При этом отмечается, что при больших глубинах воды над порогом водомера, расход за один оборот увеличивается. Потери напора для этого водомера незначительны и в данном случае составляли величину от $^1/_2$″ (1,3 см) до 0,31′ (9,5 см) при расходах соответственно от 1 до 4 $ф^3$/сек.

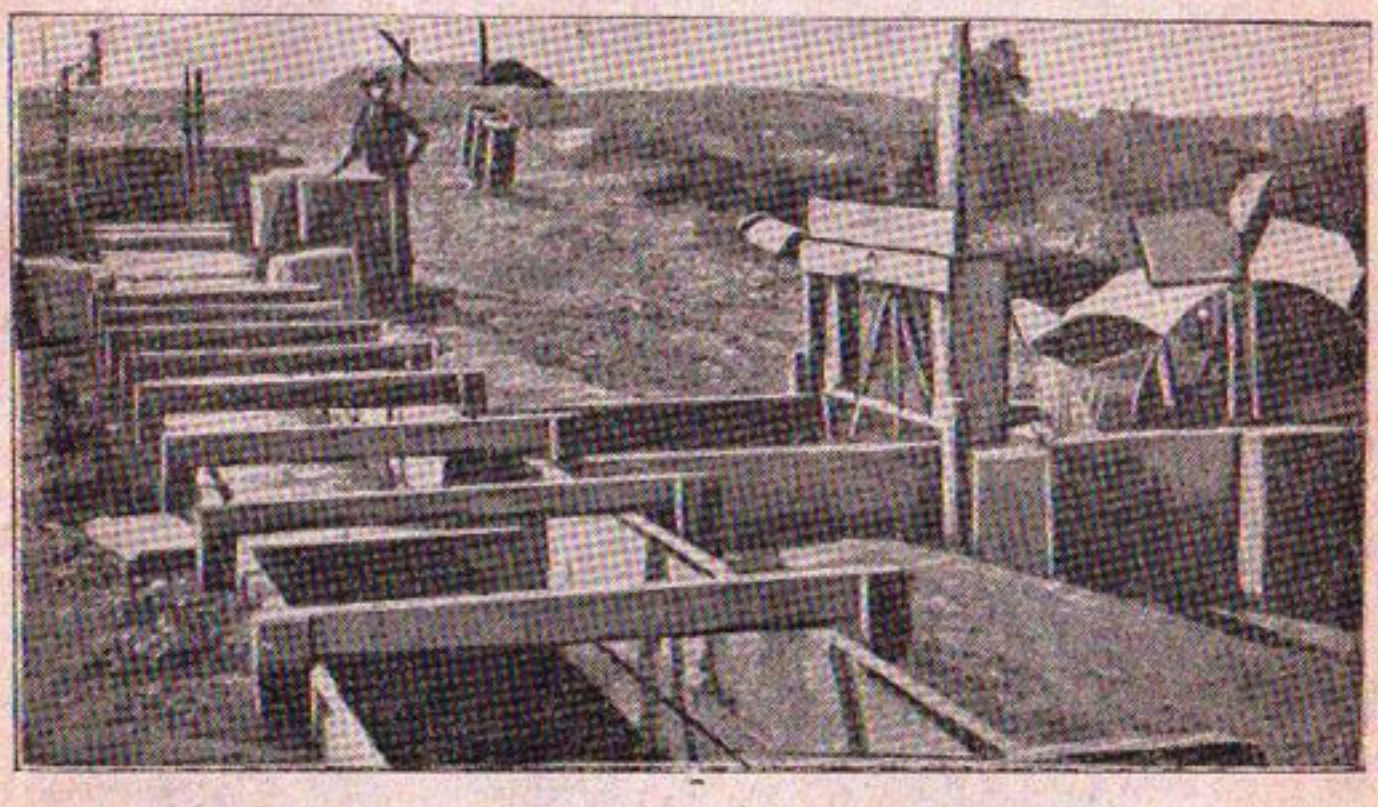


Рис. 19.

На рис. 19 приведен снимок опытной установки и водомера Dethridge при испытании, на рис. 20 — снимок его во время работы на одной из ирригационных систем в Австралии.

3. **Водомер Барановского** был предложен еще в 1913 г. механиком Одесской водоподъемной станции М. Барановским для открытых каналов и лотков и во многом сходен с водомером Dethridge. У него также есть (см. рис. 21) барабан с лопастями, вращающийся в специальном бетонном лотке.

В отличие от австралийского водомера, лопасти водомера Барановского сделаны клинообразной обтекаемой формы.

Средние стойки (лопасти) ставятся не по радиусу к центру колеса, а под небольшим углом к нему, вследствие чего стойка

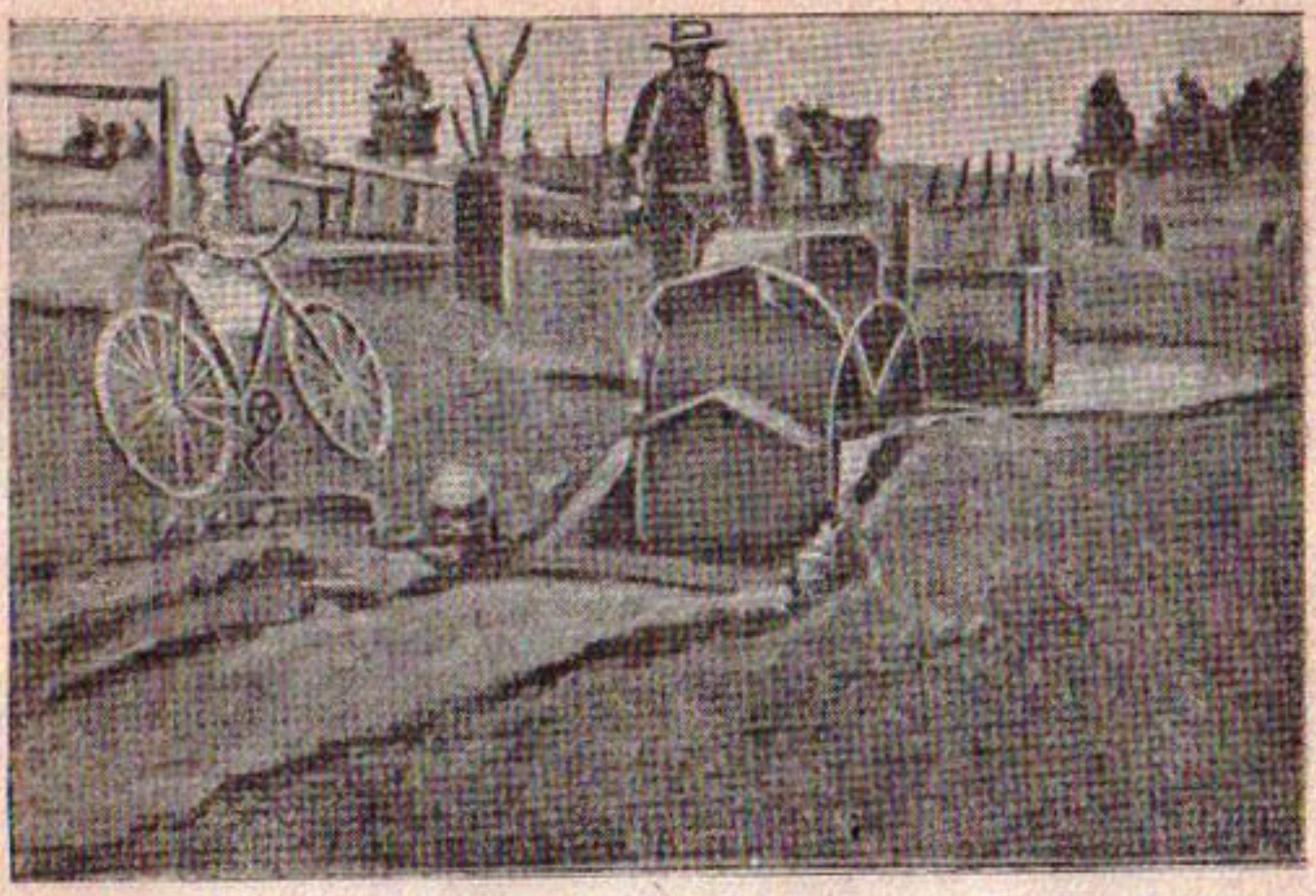


Рис. 20.

ударяется о воду не всей длиной, а только концом. Крайние стойки также делаются с углом к радиусу, обращенным от поверхности воды для того, чтобы вода успевала стечь с поверхности крыла и не захватывалась обратно.

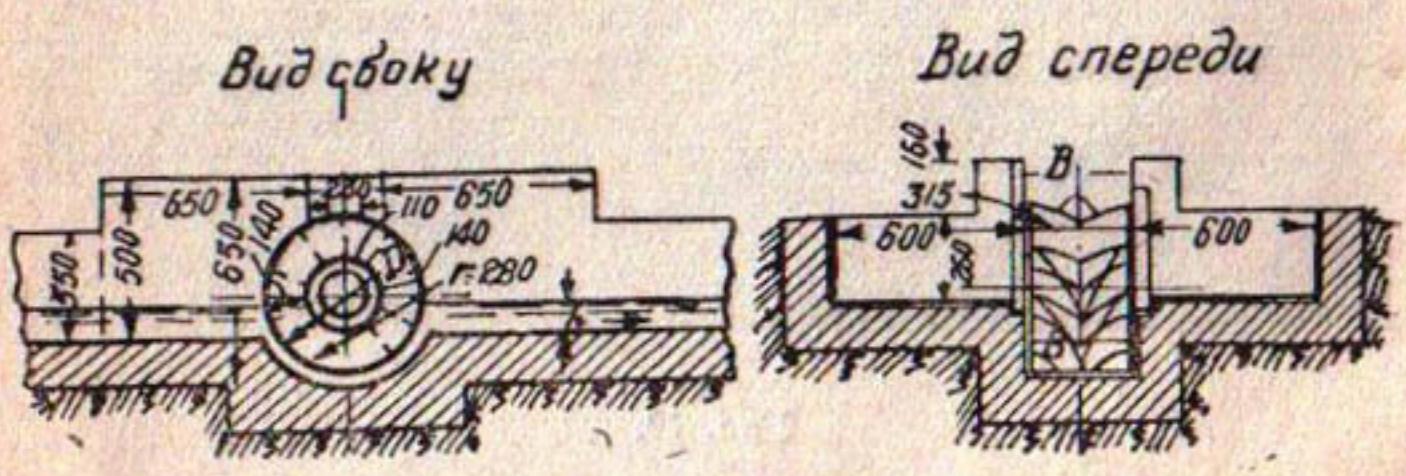


Рис. 21. Водомер Барановского.

Крылья устанавливаются настолько часто, чтобы вода не могла пройти под колесом помимо лопастей (практически достаточно 8—10 лопастей). Такая форма крыльев обеспечивает постепенное врезывание в воду, и в то же время крылья не захватывают с собой воду при выходе из нее.

Общее количество прошедшей воды как через данный водомер, так и через водомер Dethridge определяется по известной уже нам формуле:

$$V = K \cdot n \cdot \triangle V \qquad (18)$$

где $\triangle V$ — объем воды за один полный оборот колеса, равный

$$\triangle V = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\, l - p$$

В 1934 г. бригада НИТО из работников Одесской канализации провела испытания водомера Барановского. Результаты опытов показали, что водомер вполне отвечает назначению, т. е. может быть использован для целей канализации и орошения.

Опытами поправочный коэфициент K в формуле 18 получен равным в среднем 1,08: при таком поправочном коэфициенте точность работы водомера составляла 1 — 2%. Также отмечено, что водомер хорошо пропускает все наносы.

Водомер этого типа установлен на полях орошения в Одессе во 2 половине 1935 г. и работал вполне удовлетворительно в течение продолжительного времени.

Группа 2. Комбинированные водомеры-счетчики (регистраторы).

К этой группе мы относим известные в ирригационной практике водоизмерительные сооружения (водосливы, лотки, отверстия и др.), оборудованные специальными, непрерывно действующими учитывающими (регистрирующими) приборами.

Не останавливаясь на описании этих хорошо известных водоизмерительных сооружений, переходим ниже к описанию существующих основных конструкций учитывающих (регистрирующих) приборов.

1. Лимниграфы.

Наиболее распространенными являются лимниграфы с поплавковой передачей, отличающиеся друг от друга различными конструктивными особенностями и расположением механизмов. Основные части всякого лимниграфа: 1) барабан (цилиндр) с бумагой, на которой пишущее перо или карандаш вычерчивает кривую изменения уровней (располагается вертикально, горизонтально или же может быть заменен вращающимся диском) и 2) часовой механизм, который устраивается или внутри барабана, или вне его. Время полного оборота барабана (диска) может быть от нескольких часов до месяца; масштабы записи колебаний уровней также могут быть самыми разнообразными как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения.

а) Лимниграф Фюсса. В этом приборе барабан расположен вертикально (рис. 22). Часовой механизм заключен внутри съемного цилиндра, вращающегося на вертикальной оси. Нить поплавка A навернута на шкив B, соединенный наглухо с меньшим шкивом, с которого спускается блочный противовес C. Вал шкива при помощи зубчатого колесика перемещает вертикальную зубчатую реечку (на рисунке ее не видно) вдоль стойки $Д$, а к верхнему концу рейки прикреплено перо $П$, которое чертит лимниграмму на барабане. Диаметр цилиндра — 187 мм, время полного оборота — от 1 до 7 дней, высота барабана — 320 мм. Колебания уровней могут доходить до 1,6 м при масштабе 1 : 5.

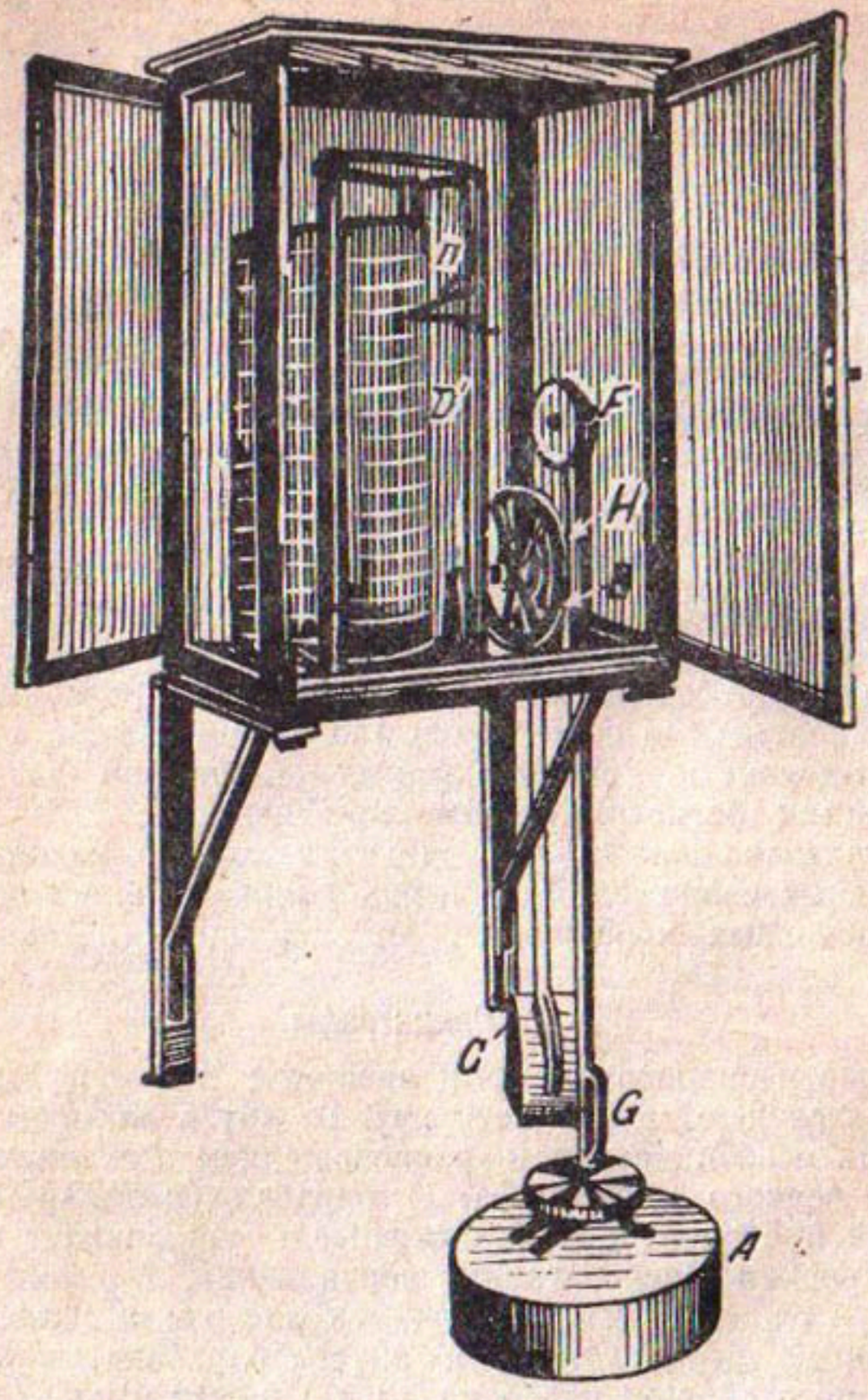


Рис. 22.

б) Лимниграф, тип XV фирмы Отта. Другим подобным лимниграфом с вертикально расположенным барабаном является лимниграф Отта (см. рис. 23). Он отличается от предыдущего тем, что в нем зубчатая рейка заменена гибкой нитью *Н*, один конец которой навернут на шкив зубчатого колеса *Ш*, а другой — перекинут через блок *Б* и прикреплен к пишущему приспособлению *П*, которое перемещается по направляющей пластинке *Л*. Высота барабана — 200 мм, периметр — 384 мм.

в) Лимниграф системы Альбрехта. Одним из лучших лимниграфов, применяющихся в Средней Азии, является лимниграф системы Альбрехта фирмы Отта с горизонтально расположенным барабаном (рис. 24).

Регистрация изменения уровней осуществляется в этом лимнографе с помощью поплавка, нить которого перекинута через шкив *Ш*, непосредственно соединенный с винтовым стержнем (червячный вал) *ч*. Червячный вал в зависимости от положения уровня передвигает по горизонтали пишущее приспособление *П*, которое и вычерчивает на бумаге барабана лимнограмму. Барабан приводится в движение часовым механизмом *М*, расположенным сбоку барабана. Высота барабана — 250 мм, периметр его — 384 мм. Можно применять масштабы 1 : 10 и 1: 20 для записи высот уровней до 2,5 и 5 м соответственно. Время одного оборота — от 1 до 32 дней. Лимниграфы подобного устройства освоены в производстве и изготовляются в мастерской Саниири.

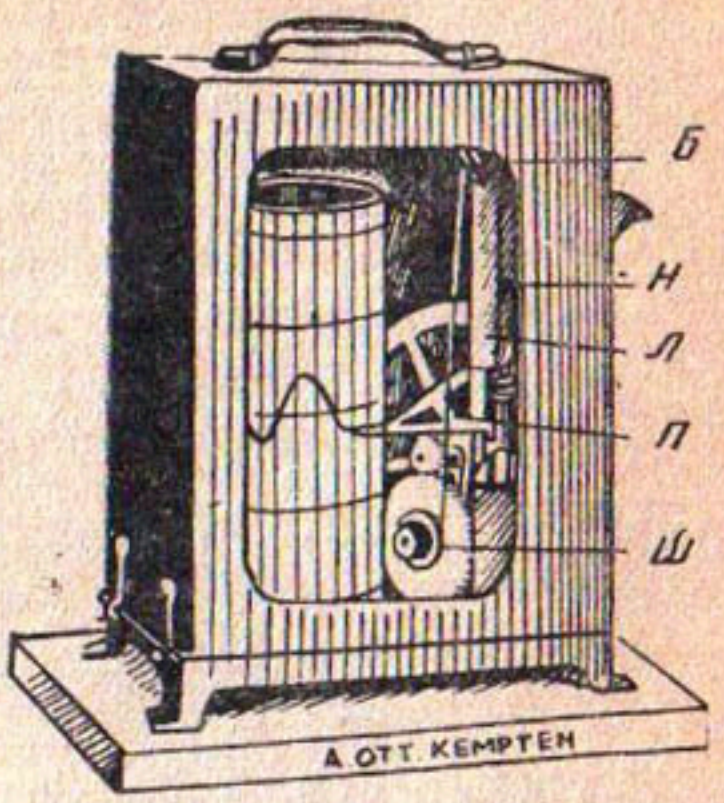


Рис. 23. Лимниграф № XV.

г) Лимниграфы с вращающимся диском в основном устроены по схеме рис. 25.

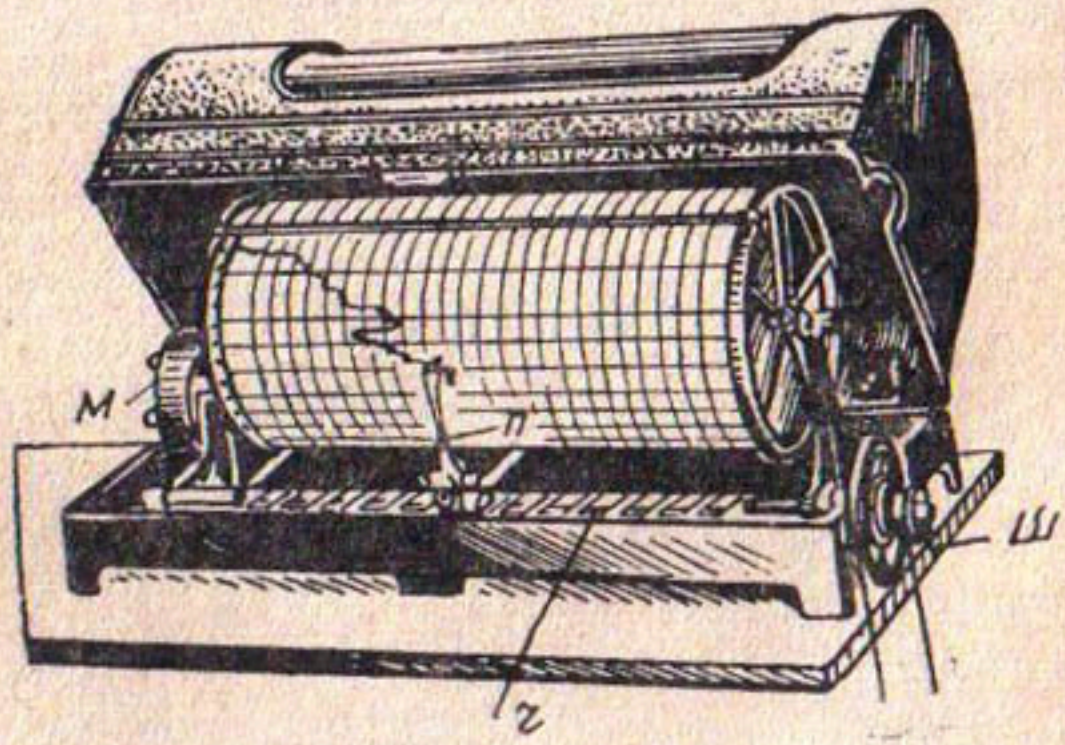


Рис. 24. Лимниграф № X с горизонтальным барабаном высотою в 25 см и периметром в 38,4 см.

Нить поплавка навернута на шкив *Ш*, который наглухо соединен с осью *О*, на второй половине оси сделана винтовая нарезка. Пишущее приспособление *П* перемещается по радиусу благодаря винтовой нарезке и чертит концентрические кривые на диске *Д*. Диск *Д* вращается часовым механизмом.

Для лимниграфов подобных систем применяется специально раз-

графленная бумага, на которой время измеряется по окружностям, а величина уровня — по радиусам.

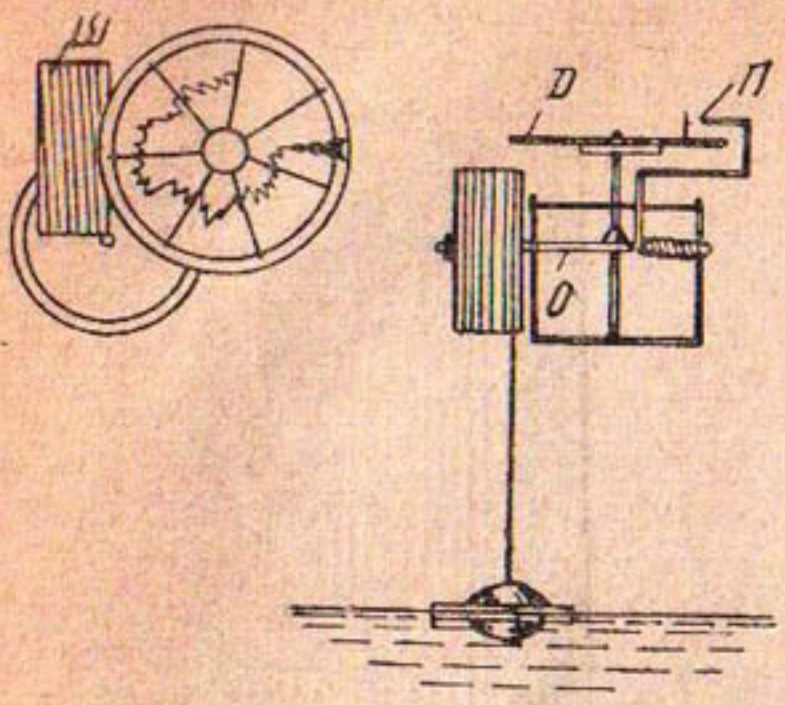


Рис. 25. Схема лимниграфа с вращающимся диском.

2. Расходографы.

Имеются конструкции, аналогичные лимниграфам, с тем отличием, что они непосредственно регистрируют расход воды. Расходографы обычно присоединяются к водосливам, принцип их действия основан на следующем.

Как известно, расход через водослив выражается формулой

$$Q = m \cdot b \sqrt{2g}\, H^{3/2} \quad (19),$$

которую можно представить в виде

$$Q = k \cdot h^{3/2} \quad (20)$$

Таким образом, расходограф должен иметь приспособление, которое могло бы преобразовать линейные колебания уровня в

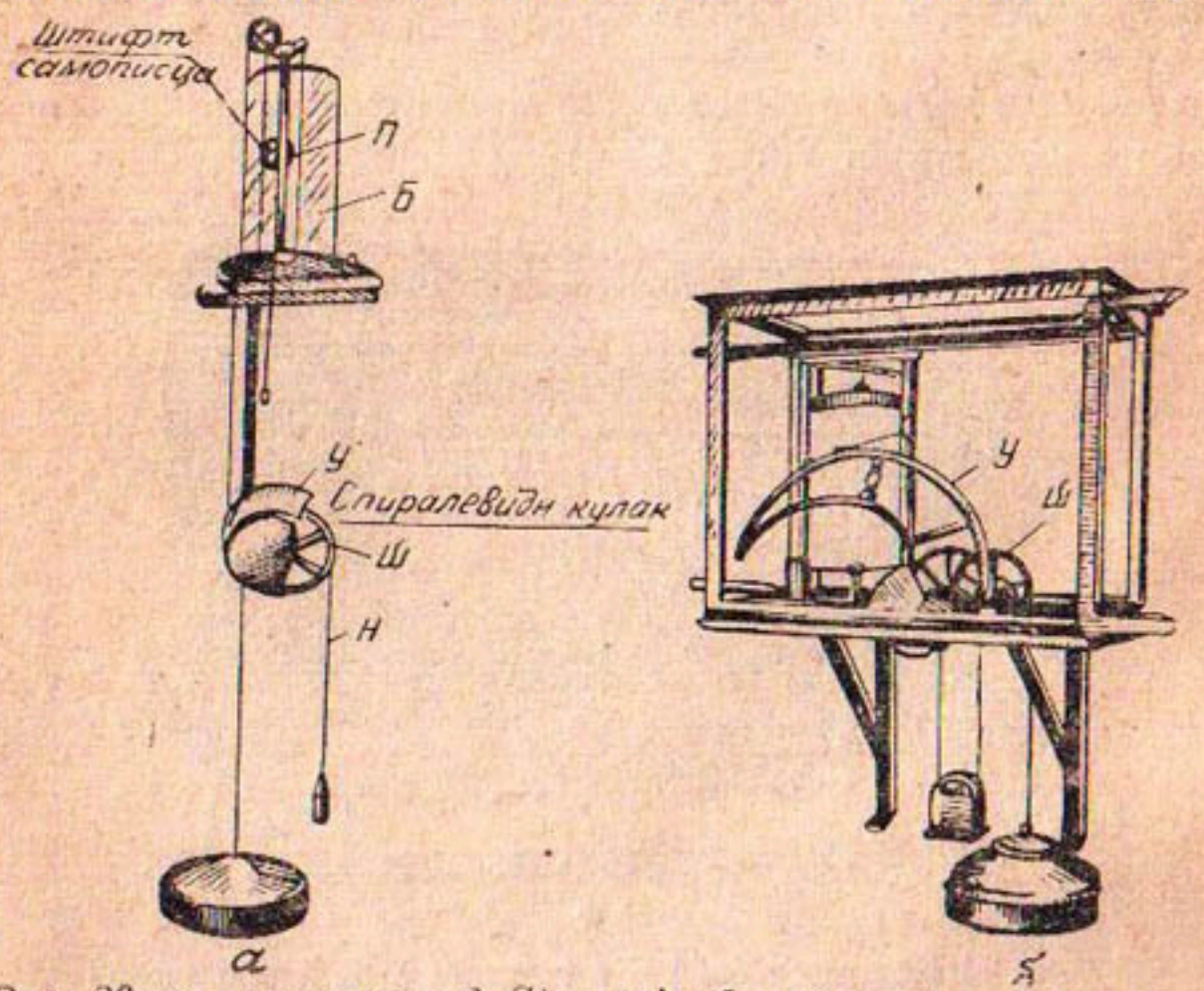


Рис. 26. *а* — расходограф Stevens'a; *б* — расходограф Fuess'a.

линейное же колебание расхода, что и осуществляется специальными кулачными передачами (улитками). Улитки должны быть очерчены по уравнению вида

$$y = kx^{3/2} \quad (21)$$

На рис. 26 приведены снимки расходографа Stevens'a и расходографа Fuess'a.

Первый имеет спиральную улитку y, находящуюся на общей оси шкива $Ш$, через который перекинута нить $Н$ с поплавком и противовесом. На улитку y намотана нить, перемещающая перо $П$ вдоль барабана $Б$ пропорционально расходу воды.

Второй расходограф также имеет спиралевидную улитку y на оси поплавочного шкива $Ш$, но в отличие от первого прибора у него улитка непосредственно действует на пишущее перо $П$, передвигая его вверх и вниз пропорционально расходу воды сооружения (водослива).

3. Счетчики стока.

Это специальные конструкции (приборы), которые, будучи присоединены к водосливам, лоткам, отверстиям и открытым руслам, непосредственно учитывают количество прошедшей воды (сток).

Известными приборами этого типа являются:

а) Hanna meter. В США давно известен счетчик стока, изобретенный американским инженером F. Hanna. Общий вид этого прибора приведен на рис. 27. Этот счетчик может быть присоединен к водосливам, лоткам, открытым руслам и к отверстиям со свободным или затопленным истечением. Механизм прибора заключен в специальный металлический ящик. Весь прибор устанавливается над успокоительным колодцем в предохранительной будке.

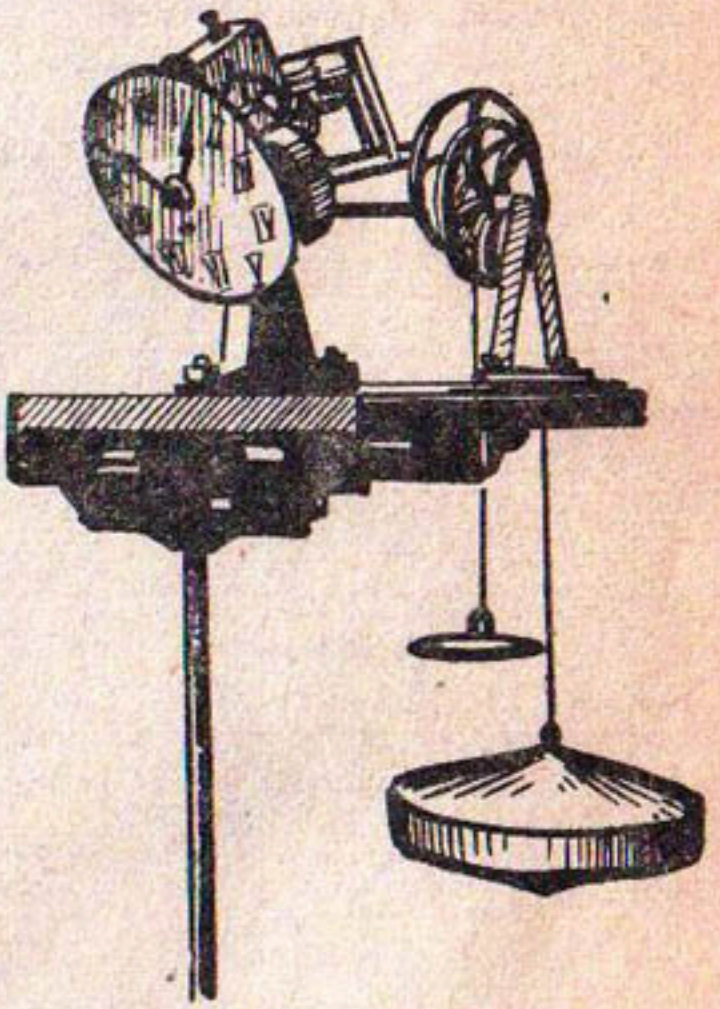


Рис. 27.

б) Счетчик системы Колодкевича. В 1937 г. сотрудником Саниири Д. П. Колодкевичем был сконструирован и предложен новый счетчик стока. Общий вид прибора без футляра приведен на рис. 28. В основном он состоит из шкива $Ш$ с навернутой на него нитью с поплавком и противовесом, червячного вала $ч$ с неравномерной нарезкой, наглухо соединенного со шкивом $Ш$, подвижной каретки с роликом $Р$, конуса $К$ с часовым механизмом $М$ и циферблата $Ц$ с двумя стрелками, указывающими сток и расход воды. Сущность действия этого прибора заключается в следующем.

Шкив $Ш$ вращается поплавком и грузом, в зависимости от положения уровня, в ту или другую сторону. Одновременно со шкивом вращается вал $ч$, на котором благодаря винтовой нарезке передвигается каретка с роликом $Р$.

Часовой механизм вращает конус $К$ с равномерной скоростью, а конус в свою очередь вращает ролик в силу фрикционного

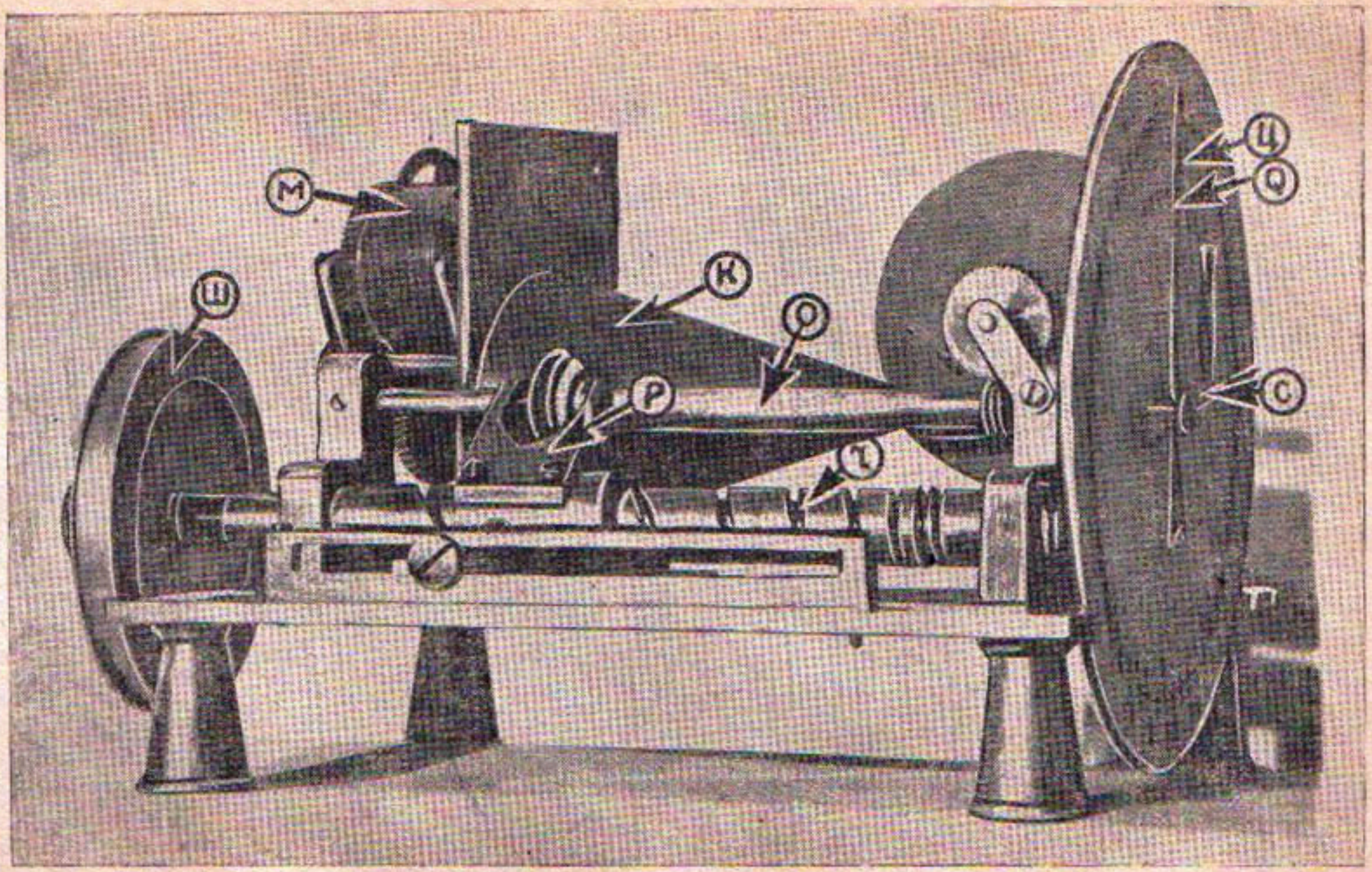


Рис. 28.

сцепления. Ролик находится на оси, которая вращается вместе с ним, причем он может передвигаться вдоль этой оси параллельно образующей конуса.

При равномерном вращении конуса ролик будет вращаться с разными скоростями, в зависимости от того, в каком месте конуса он находится. Скорость вращения ролика, а следовательно, и оси со стрелкой *C*, пропорциональна расходу воды. Эта пропорциональность достигается тем, что резьба на валу *ч* имеет неравномерный шаг и представляет собой кривую зависимости $Q = f(H)$.

Если кривую $Q=f(H)$ в соответствующем масштабе вычертить на прозрачной бумаге, затем свернуть эту бумагу в трубочку, то мы получим в точности то же самое, что представляет собой червячный вал прибора.

При изменении уровня (расхода) вращением шкива и вала ролик перемещается пропорционально изменениям секундного расхода и вращается со скоростью, также пропорциональной расходу; в результате стрелка учитывает количество прошедшей воды на соответствующем проградуированном циферблате.

Для фиксирования секундного расхода воды в данный момент вал шкива посредством передачи приводит стрелку Q в определенное положение, соответствующее данному расходу.

Счетчики стока Колодкевича испытаны в производстве, в настоящий момент они работают на четырех гидрометрических постах Зердолводхоза. Результаты их работы (в смысле точности) вполне удовлетворительны.

Стоимость прибора при условии его изготовления в индивидуальном порядке в мастерской Санирри — около 1000 руб., при массовом же изготовлении стоимость, конечно, будет значительно ниже.

Конструкция счетчика стока Колодкевича имеет следующие основные недостатки:

1. Сравнительная сложность изготовления прибора. Это главным образом относится к червячному валу, т. к. винтовая нарезка, ввиду ее зависимости от f (H), должна изготовляться ручным способом. Достаточно сказать, что стоимость изготовления одного только вала составляет 22% от общей стоимости прибора.

2. Так как во многих случаях зависимость $Q=f(H)$ различна, то применение этого прибора в массовом его производстве ограничено. Заготовлять же комплект сменных валов экономически невыгодно.

3. Благодаря фрикционному сцеплению ролика с конусом возможны проскальзывания.

4. Отсутствие стрелки времени затрудняет проверку хода часового механизма.

Все эти недостатки были учтены автором и в 1938 г. он предложил новую оригинальную конструкцию счетчика стока (рис. 29 модель 1938 г.). В ней отсутствуют червячный вал, конус и ролик. Червячный вал заменен небольшим эксцентриком в виде улитки, который по сравнению с червячным валом изготовляется очень легко (штамповка).

Принцип действия прибора отличается от предыдущего и заключается в следующем: часовой механизм *1* вращает с помощью ры-

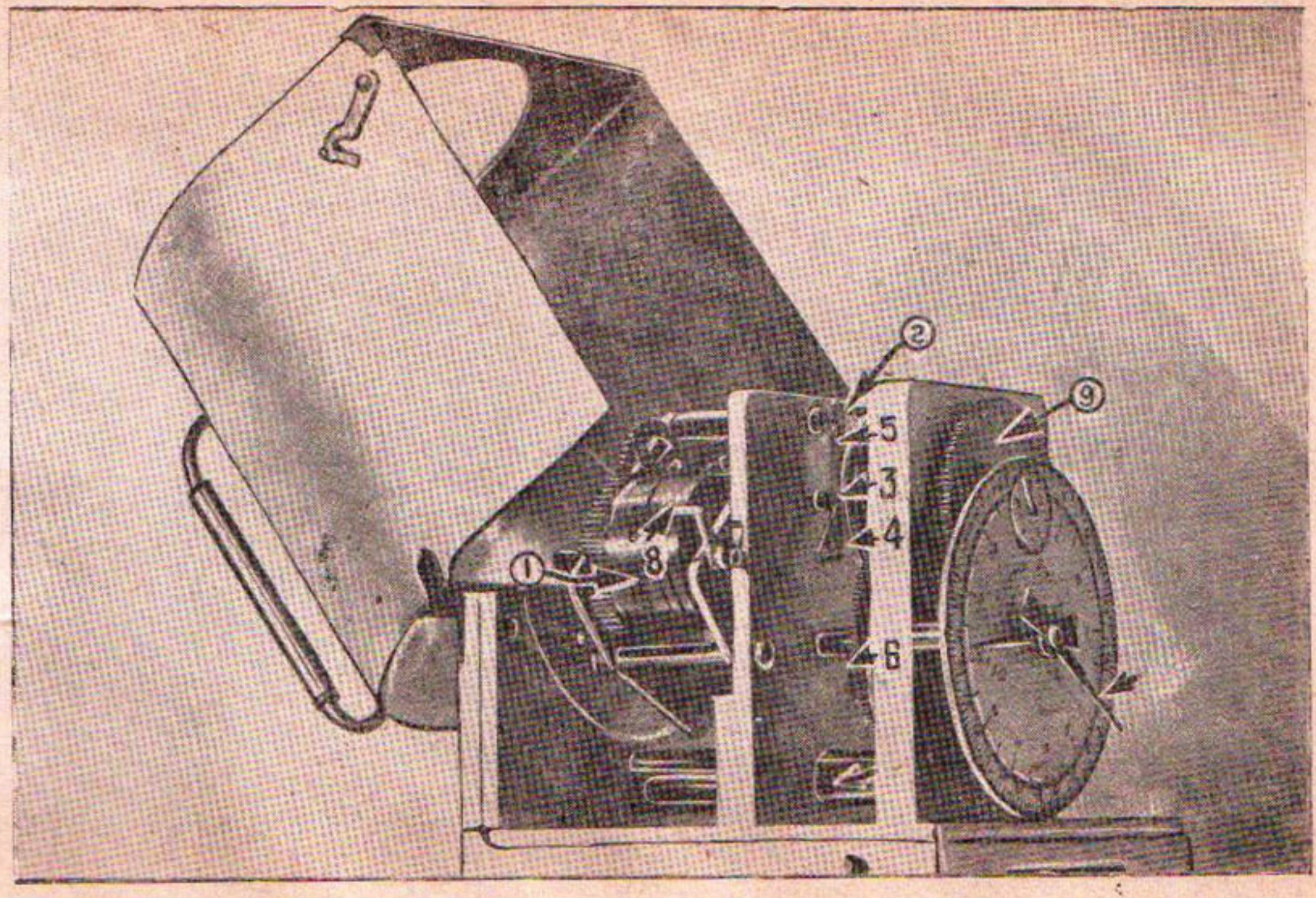


Рис. 29.

чажка *2* шестерню *3* с большим количеством зубьев (бархатная нарезка). Половина зубьев шестерни всегда закрыта полудиском *4*, и рычажок полоборота вращает шестерню, а полоборота скользит по полудиску (диаметр диска немного больше диаметра шестерни). На этой же оси имеется другой точно такой же полудиск *5*, который может закрыть собой остальную часть шестерни; в этом случае рычажок будет в течение всего оборота скользить по двум полудискам, а шестерня будет оставаться неподвижной. Первое положение соответствует максимальному расходу воды (половина шестерни открыта), а второе—нулевому расходу (вся шестерня закрыта дисками).

Остальным, промежуточным значениям расхода соответствуют промежуточные положения полудиска, который поворачивается эксцентриком *6* (связанным с осью *7* поплавочного шкива) и открывает на шестерне количество зубьев, соответствующее величине секундного расхода воды, т. к. положение самого эксцентрика зависит от положения уровня.

Шестерня через зубчатую передачу *9* передает свое вращение стрелке *10*. Последняя на соответствующем циферблате укажет сток воды, так как стрелка за один и тот же промежуток времени (14′), продвинется (в одном направлении) на больший или меньший угол, в зависимости от количества открытых на шестерне зубьев, в свою очередь зависящего от секундного расхода воды. На том же циферблате имеется стрелка *11*, указывающая на расход в данный момент.

В этом приборе есть указатель *8*, показывающий время на специально сделанной шкале барабана с точностью отсчета в $^1/_2$ часа. Таким образом, в новом приборе (модель 1938 г.) устранены все недостатки конструкции 1937 г.

Этот прибор может применяться как на каналах с неизменяемым руслом, так и на водоизмерительных сооружениях, т. к. к нему всегда можно приложить комплект эксцентриков для различных зависимостей вида $Q = K.h^n$. Так как степень n почти для всех водоизмерительных сооружений колеблется от 1,4 до 2,0—то количество эксцентриков должно составлять от 6 до 12 штук.

Прибор устанавливается над успокоительным колодцем в специальной предохранительной будке.

Стоимость счетчика стока, при освоении его производства на заводе, будет сравнительно невысока — 200-300 рублей.

II класс. Водомеры-автоматы постоянного расхода.

Группа I — водомеры, основанные на принципе H = Const.

1. **Модуль Фута** (рис.30) состоит из деревянного лотка *Л*, разделенного на части: большую часть *Г*, в которой протекает основной поток, и параллельную меньшую часть — измерительную камеру *К*, которая имеет сливной водослив *В* для поддержания постоянного напора, и рабочие отверстия *О* для пропуска необходимого расхода в отвод.

Порог водослива расположен на 10 см выше центра отверстия; высота отверстия постоянна (10 см), ширина переменна и регулируется боковой задвижкой *Щ*. Уровень воды за водосливом в измерительной камере должен быть ниже порога водослива минимум на 5 см.

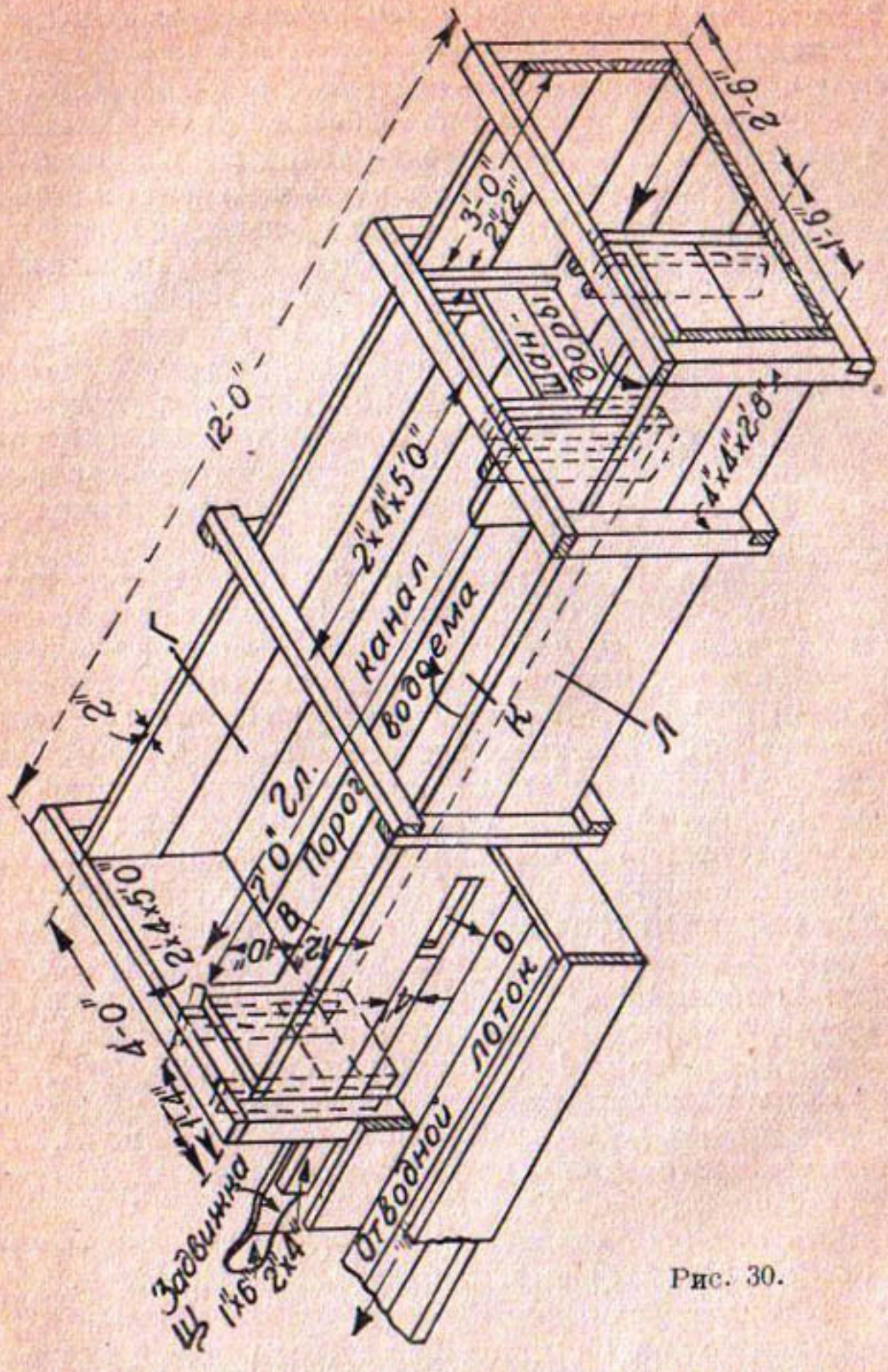


Рис. 30.

Принцип действия этого водомера основан на следующем: вода, поступая из главного канала в измерительную камеру, вытекает через отверстие при практически постоянном напоре, обеспечиваемом водосливом, который сбрасывает излишний расход воды обратно в главный канал. Таким образом, расход воды через водомер может быть определен довольно точно, т. к. при незначительном изменении действующего напора коэфициент расхода остается постоянным.

Постоянство расхода воды можно обеспечить при некоторых определенных условиях, которые легко могут быть выяснены соответствующим подсчетом.

Для обеспечения постоянства расхода воды водомер Фута должен иметь или значительную длину водослива, или же отверстие отвода должно быть сильно заглублено. В первом случае увеличивается стоимость сооружения, во втором – требуется большой перепад.

Данный тип водомера обладает еще одним существенным и характерным для него недостатком — задержкой наносов в нижних частях сооружения. Таким образом применение водомера Фута ограничивается условиями сравнительно малых расходов и чистотой воды.

Учет расхода воды через водомер определяется по формуле

$$Q = \mu\, b\, a\, \sqrt{2gh} \qquad (22)$$

где b — ширина отверстия,
a — высота отверстия,
h — действующий напор.

При достаточной длине водослива, гидравлические элементы

$$\mu,\ a,\ h = \text{Const}$$

тогда и $$Q = \mu \cdot a \cdot b\, \sqrt{2g\,h} = Kb = \text{Const}$$

где $$K = \mu a\, \sqrt{2g\,h} \qquad (23)$$

Учет прошедшего количества воды определяется простым умножением Q=Const на продолжительность в секундах работы водомера.

2. **Сифонный автомат Костякова** представляет собой конструкцию, схематически изображенную на рис. 31.

Постоянство расхода здесь достигается тем, что сифон плавает в погруженном на постоянную глубину состоянии, что осуществляется с помощью понтона (поплавка) *n* и противовеса *g*. Правая и левая части сифона уравновешены грузами *P*.

Для правильной работы автомата необходимо, чтобы груз *g* был равен весу конструкции в погруженном состоянии плюс потери на трение. При увеличении уровня воды в верхнем бьефе вес левой части уменьшается за счет вытесненного понтоном объема воды, груз *g* поднимает сифон до тех пор, пока не наступит снова равновесие, что и произойдет как-раз при восстановлении степени первоначального погружения.

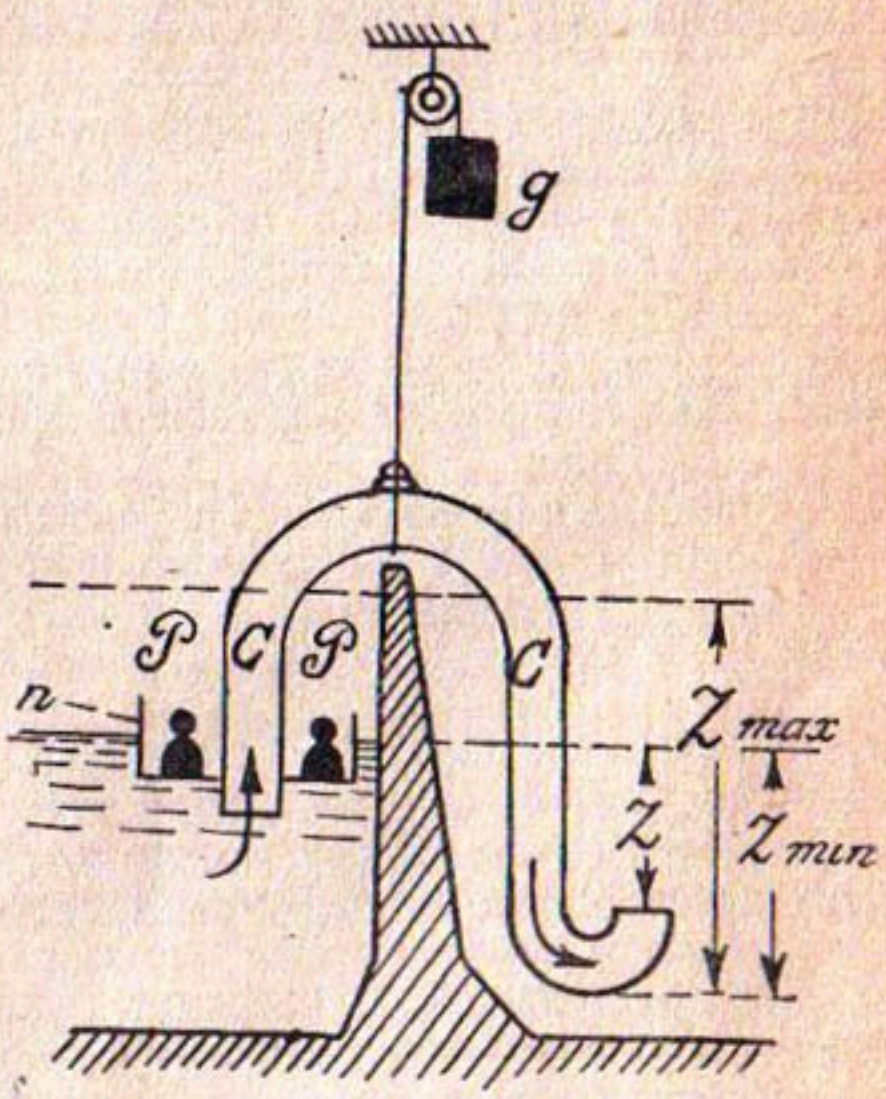


Рис. 31. Схема сифонного автомата. Правая и левая стороны (C) уравновешены с помощью грузов (P). Весь сифон сбалансирован противовесом (g).

Расход воды через сифон определяется выражением

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH} = K \cdot H = Const$$

т. к. $\mu \cdot a \sqrt{2g} = K = Const$ и $H = Const$

Для установки (зарядки) конструкции на другой постоянный расход нужно соответственно изменить его погружение, что легко достигается сменой груза g, уравновешивающего систему при новом погружении.

3. **Сифонный автомат Курносова.** Схема его устройства показана на рис. 32.

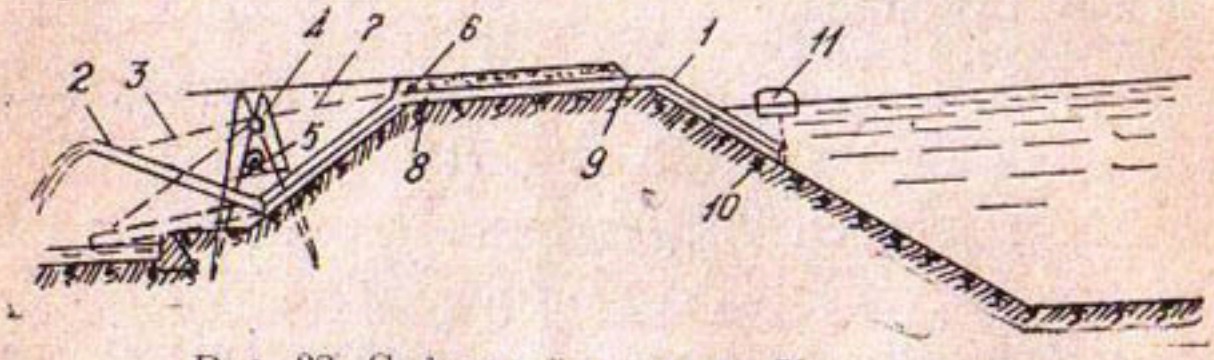


Рис. 32. Сифонный автомат Курносова.

Автор правильно указывает, что обычными существенными недостатками сифона являются трудность зарядки, частые самопроизвольные разрядки сифона во время его действия и невозможность регулирования расхода. Эти недостатки автор и стремился устранить в предлагаемой им конструкции.

К обыкновенному сифону *1*, имеющему патрубок *6* для зарядки, шарнирно присоединена подвижная труба *2*. Эта регулирующая труба может занимать различные положения для пропуска соответствующих расходов. Поплавок *11* соединен с регулирующей трубой *2* посредством тросса, перекинутого через блоки 4, 8, 9 и 10; такая конструкция позволяет автоматически поддерживать постоянно действующий напор.

Установка сифона в рабочее положение производится следующим образом: труба *2* поднимается вверх настолько, чтобы конец ее был выше уровня воды в старшем канале; в этом положении в патрубок *6* или через поднятый конец в сифон накачивают насосом или просто наливают воду до тех пор, пока уровень воды в трубе будет равен уровню воды в верхнем бьефе; закрыв герметически патрубок, из сифона выкачивают воздух при помощи вакуум-насоса; после этого опускают трубу в положение, соответствующее заданному расходу, затем посредством тросса соединяют ее с поплавком, и сифон действует как автомат постоянного расхода воды.

Для предотвращения разрядки сифона автор предлагает присоединить к патрубку специальную трубку наподобие трубы Вентури для автоматического отсасывания воздуха из сифона.

4. **Автомат Линдлея.** Для варшавского водопровода Линдлеем был предложен водомер с постоянным напором, действие которого ясно из схематического чертежа (рис. 33).

При повышении горизонта в камере *K* поплавок *П* поднимает

подвижную трубу T. В верхней части трубы T находятся водовпускные отверстия O, которые вследствие этого работают всегда с постоянным напором H. Труба T скользит по отводной трубе T_1, и вода, поступая через окна O под напором $H=\text{Const}$, выходит в ороситель постоянным расходом.

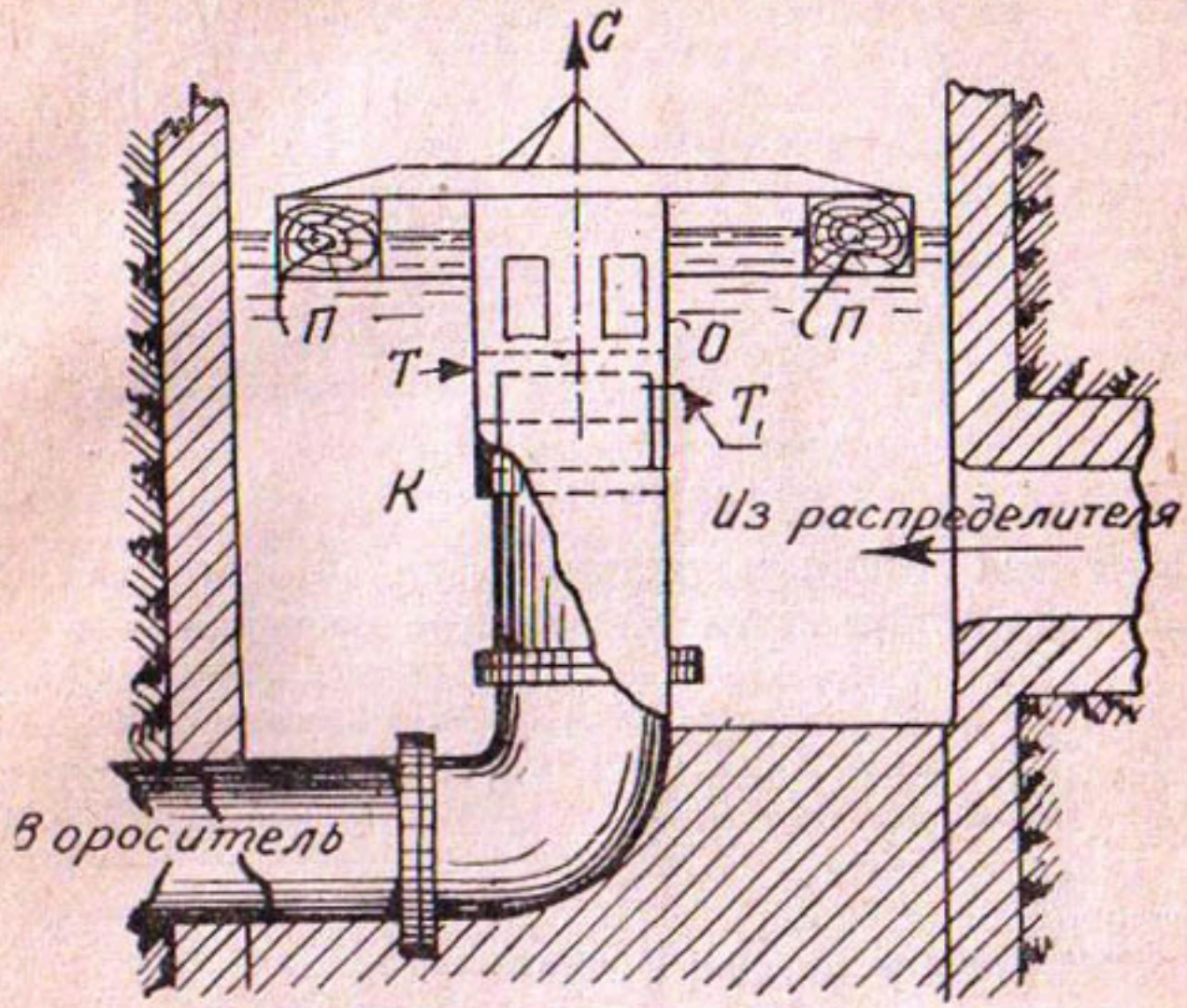


Рис. 33. Автомат Линдлея.

Расход воды можно регулировать посредством увеличения впускных отверстий, для чего они должны быть раздвижными.

Применение водомера Линдлея в ирригации ограничено вследствие его малой пропускной способности, большой потери напора и возможности быстрого заиления.

Группа 2 — водомеры, основанные на принципе изменения рабочего отверстия.

1. **Автомат Бредиса.** Схема его (с поплавком) показана на рис. 34. Качающийся щит Г-образной формы шарнирно укреплен при входе в точке O, имеет на одном конце поплавок $П$, а другим образует отверстие a, через которое происходит истечение воды (истечение может быть незатопленным и затопленным). При подъеме горизонта верхнего бьефа поплавок всплывает, и щит прикрывает отверстие, уменьшая его размеры.

Предварительная тарировка прибора позволяет отрегулировать расстояние поплавка от шарнира так, чтобы водомер являлся в некоторых пределах колебания уровней автоматом постоянного расхода воды.

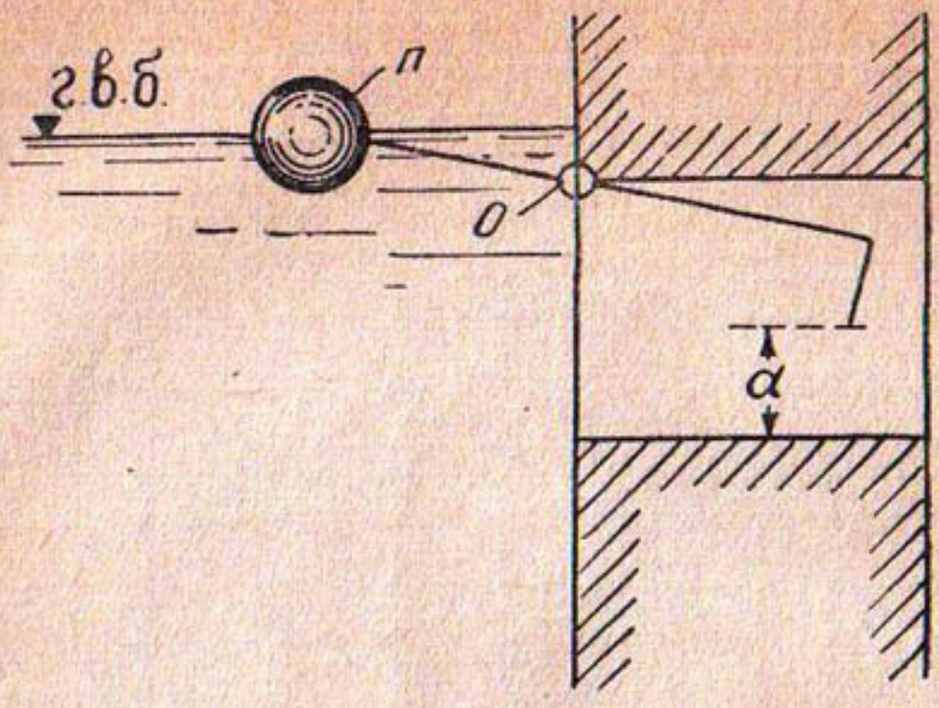


Рис. 34.

Теоретически полный автоматизм возможен при условии, что открытия щита a будут изменяться обратно пропорционально $\sqrt{H}$, т. е.

$$a = \frac{N}{\sqrt{Z}} = NZ^{-\frac{1}{2}} \qquad (24)$$

где a — открытие щита,
N — постоянное число,
Z — действующий напор (перепад).

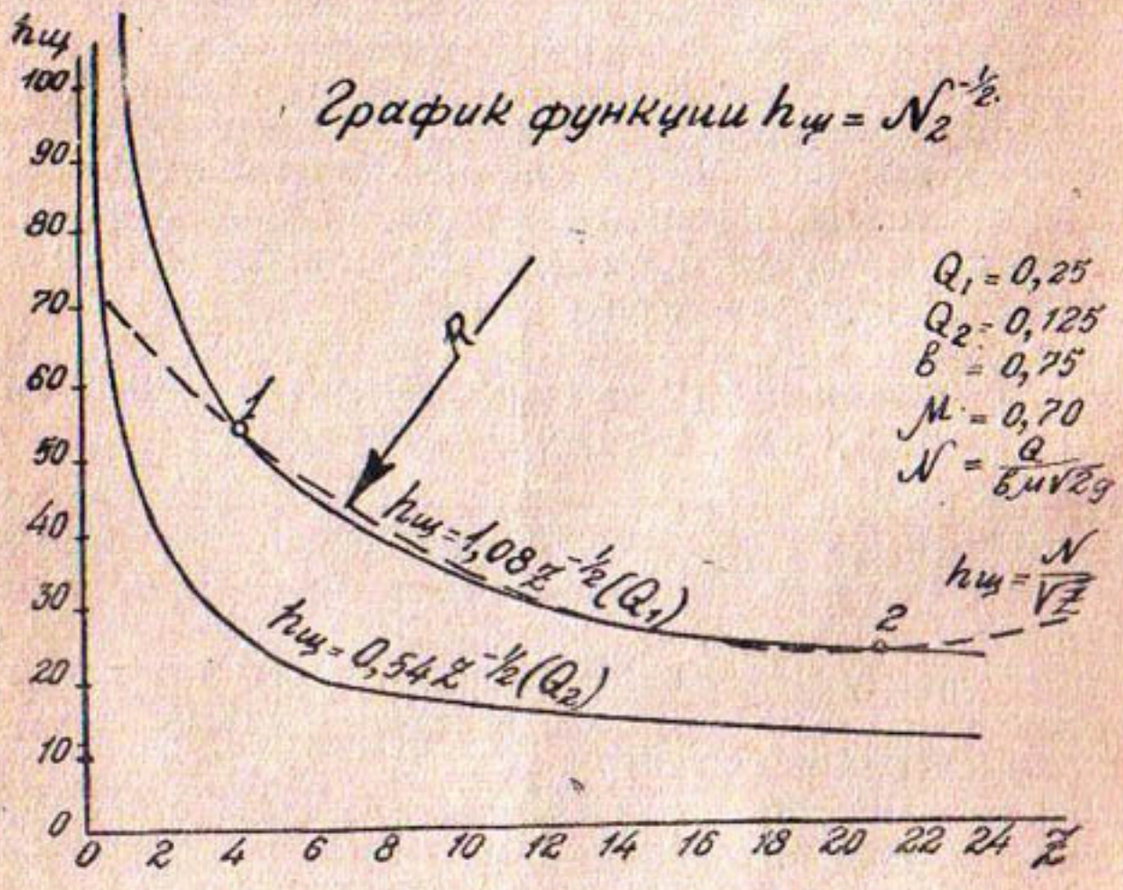


Рис. 35.

В предлагаемой схеме автоматическое постоянство расхода может быть достигнуто лишь в некоторых пределах колебания уровня, и то в неполной степени. Действительно, открытия изменяются по кривой круга, а для постоянства расхода необходимо, чтобы они изменялись по гиперболической кривой $a = NZ^{-1/2}$.

Если сравнить эти две кривые (см. рис. 35), то увидим, что постоянство расхода с допустимой точностью бывает лишь на отрезке 1 — 2.

Следует отметить также, что $Q = \text{Const}$ особенно трудно обеспечить при малых напорах. На том же графике представлена другая кривая для 2 расхода $\left(\frac{Q_1}{2}\right)$, которая показывает, что при зарядке водомера на другой постоянный расход нарушается его автоматизм.

Расход воды определяется формулой

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gZ} \cong \text{Const} \qquad (25)$$

При этом коэфициент расхода μ вообще будет переменной величиной, что нужно иметь в виду при расчете данного прибора.

Недостатки этого водомера следующие:

а) неполный автоматизм и, вследствие этого, ограниченность допустимых колебаний уровней в старшем канале,

б) большие размеры поплавка, которые должны соответствовать (компенсировать) значительному гидростатическому давлению.

2. **Качающийся поплавок.** Есть предложения конструкции прибора, основанной на следующей схеме (рис. 36).

Качающийся поплавок (щиток), следуя за изменением уровня, соответственно увеличивает или уменьшает рабочие отверстия a. Для обеспечения постоянства расхода нужно, следовательно, подобрать очертание и размеры щита так, чтобы по возможности больше удовлетворить требованию постоянства расхода; но, как мы выяснили выше, это возможно лишь в определенных (довольно небольших) пределах, и поэтому данному водомеру присущи недостатки предыдущей конструкции.

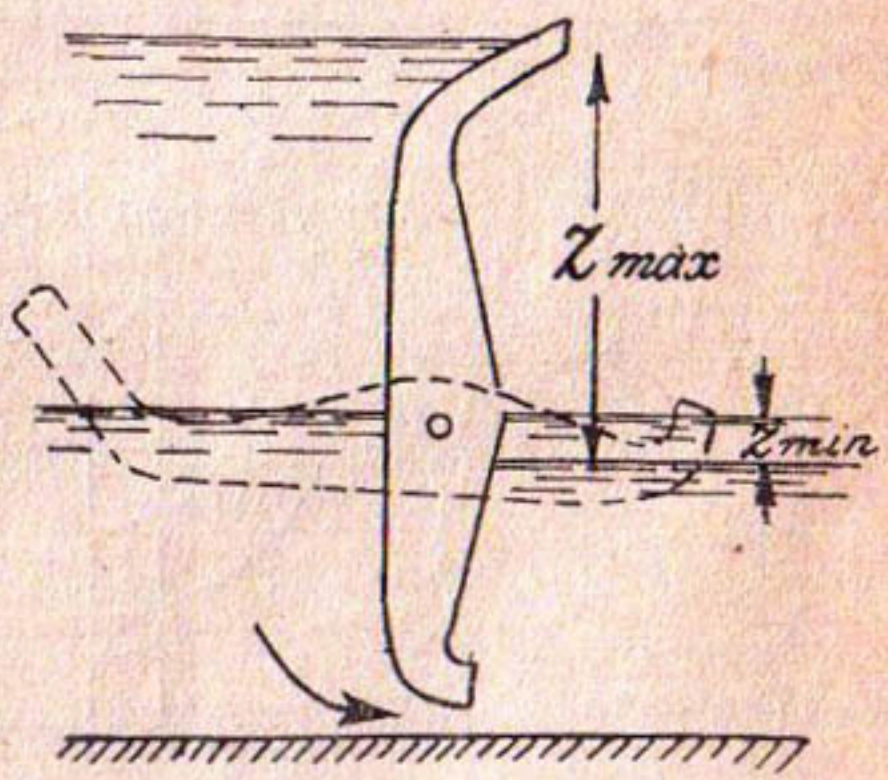


Рис. 36. Качающийся поплавок.

3. **Конусообразный поплавок.** К данной группе водомеров можно отнести также конусообразный поплавок, конструкция которого приведена на рис. 37.

В горизонтальном круглом отверстии *O* движется по направляющему вертикальному стержню *8* регулятор-поплавок *10*, со-

стоящий из поплавка 6 и непосредственно соединенной с ним пробки 7 конусообразной формы. Вода из распределителя поступает сначала в камеру K, затем через кольцевое отверстие, образован-

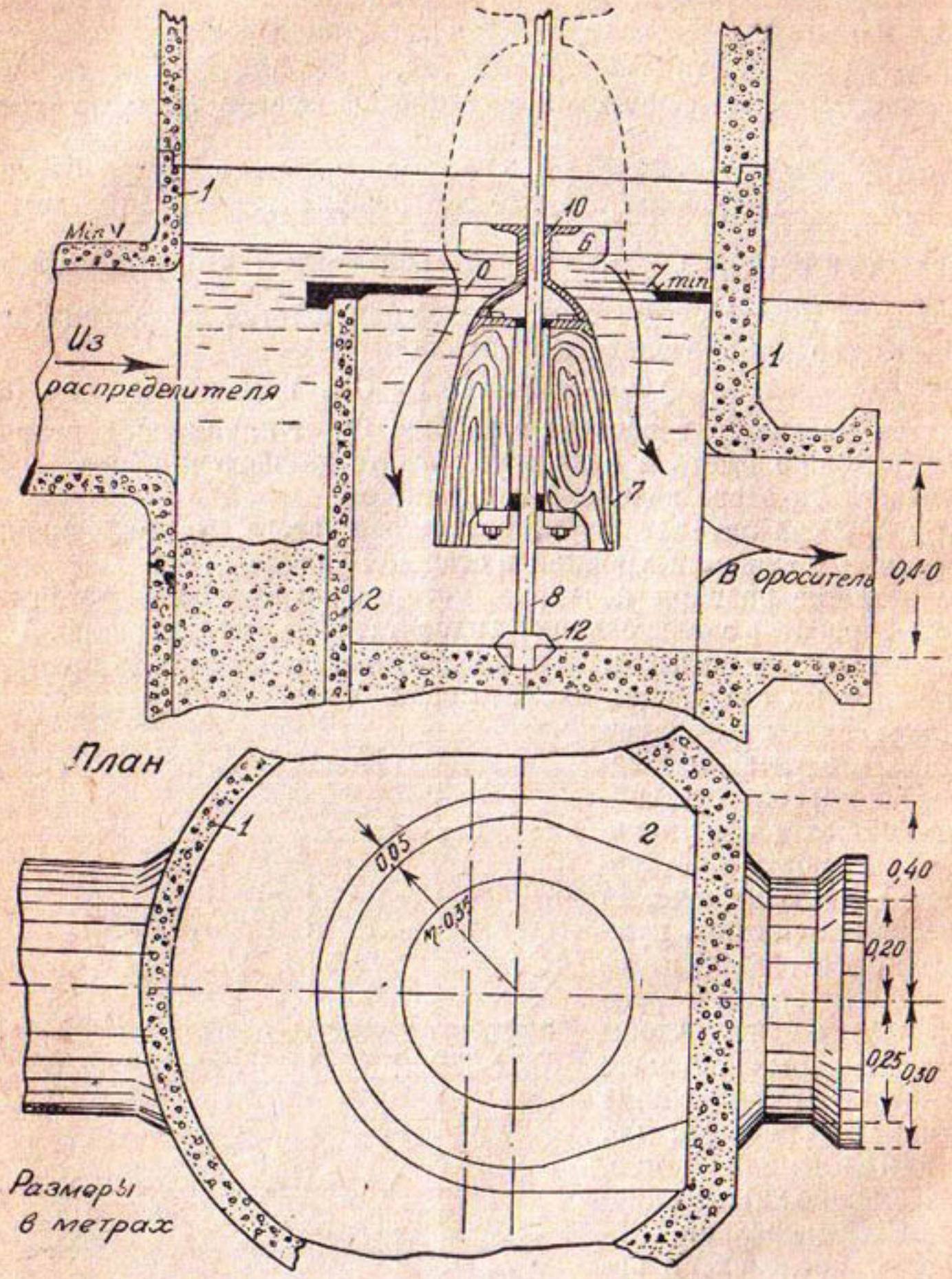


Рис. 37. Автомат с конусообразным поплавком.

ное конусообразной частью поплавка (пробкой), попадает в камеру K_1 и выходит в ороситель.

С повышением уровня конусообразный поплавок поднимается и образует меньшее отверстие, соответствующее заданному постоянному расходу.

Очертание конусообразной части поплавка подбирается из следующего расчета:

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2g}\, Z = 0{,}25\, \pi\, (D^2 - d^2)\, M \sqrt{Z} = \text{Const} \qquad (26)$$

где D — диаметр отверстия, d — переменный диаметр пробки.

Тогда пренебрегая изменением M, задаваясь различными Z, найдем соответствующие размеры диаметра пробки, решая уравнение 26 относительно d

$$d = \sqrt{D^2 - \frac{4Q}{\pi\, M \sqrt{Z}}} \qquad (27)$$

Эта конструкция легко поддается расчету, обеспечивает хороший автоматизм, но имеет существенные недостатки, ограничивающие ее применение в ирригации, а именно — необходимость большого перепада и возможное заиление сооружения.

4. **Автомат Huber und Lutz.** Этот автомат представляет собой конструкцию, схематически изображенную на рис. 38.

Направленный вверх по течению подвижной щиток *a* шарнирно соединен в точке *O* одной стороной со стенкой *b*; к другому концу щитка в точке *C* прикреплен тросс, перекинутый через эксцентрик *d* с грузом *e* на конце.

При подъеме уровня воды в верхнем бьефе щиток *a* затопляется водой, давление на него увеличивается и щиток опустится, передвинувшись концом, подвешенным на троссе, из положения *a* в положение a_1. Это новое положение равновесия, осуществленное эксцентриком и грузом, должно соответствовать открытию *f*, обеспечивающему Q = Const. Расчет такого водомера должен состоять из подбора очертания эксцентрика (улитки), для получения соответствующих открытий щита (в зависимости от напора Z, при условии Q=Const) на основании уравнения моментов всех сил относительно центра вращения эксцентрика.

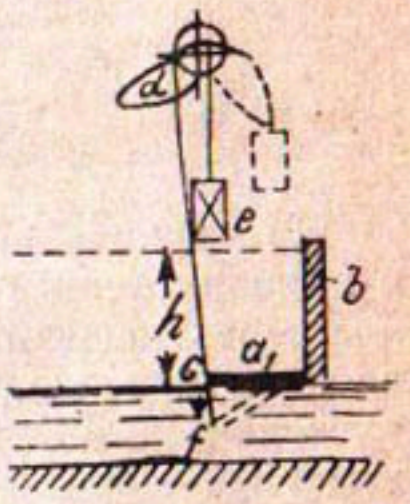


Рис. 38.

Группа 3 — **водомеры, основанные на принципе изменения сопротивления.**

1. **Водомер Джибба** состоит из подводящей трубы *ab*, изгибающейся в конце на 180°, и рабочей камеры *bc* прямоугольного сечения, изгибающейся в горизонтальной плоскости также на 180° и составляющей продолжение подводящей трубы. В рабочей камере радиально расположены диафрагмы d_1, d_2...., создающие дополнительные сопротивления. Схема прибора приведена на рис. 39.

Принцип Q = Const здесь реализуется постепенным включением диафрагм в соответствии с повышением уровня в старшем канале.

Элементарный, и в то же время приблизительный, расчет такого прибора произвел проф. Д. П. Рузский*, а затем проф. В.Д. Журин**.

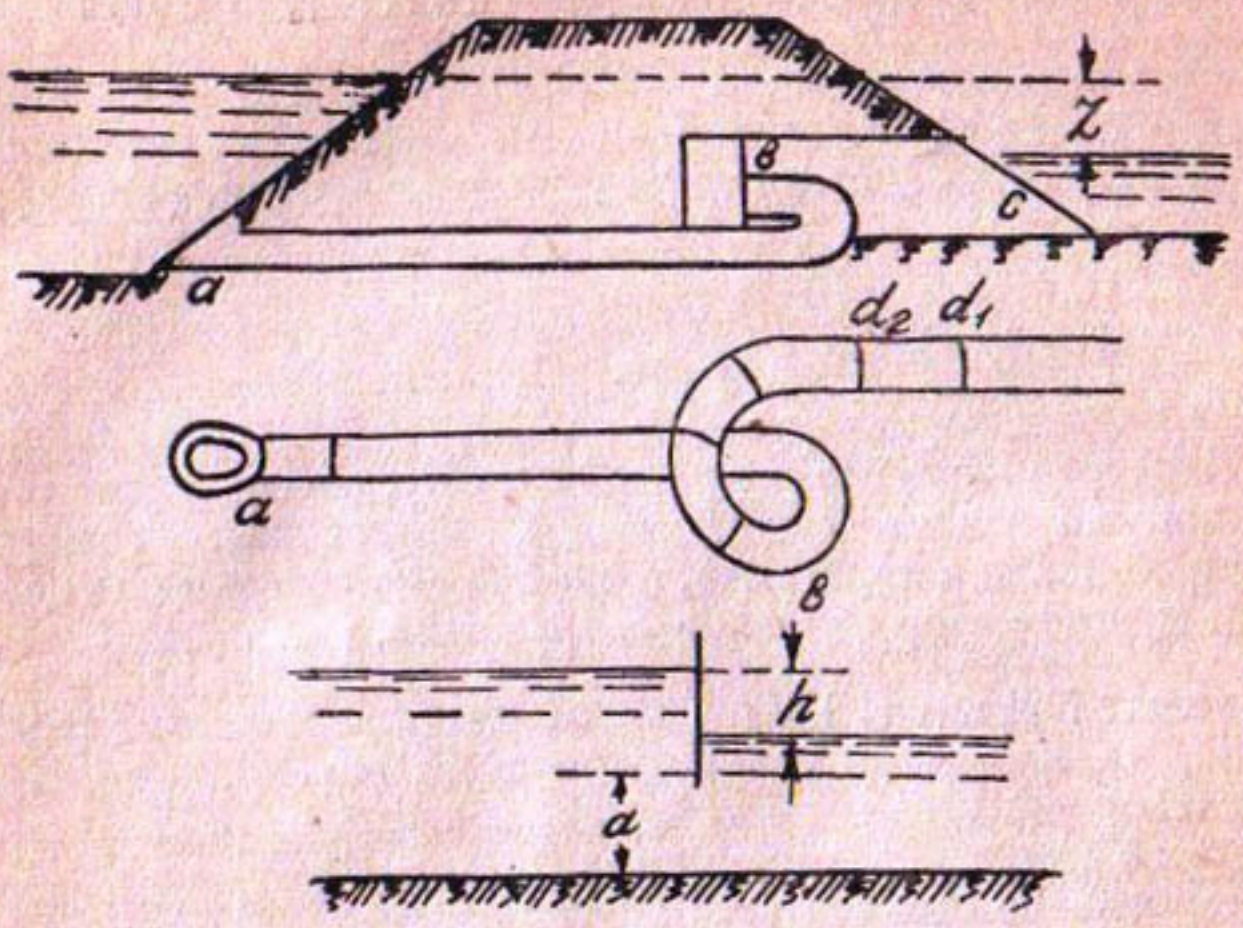


Рис. 39. Водомер Джибба.

Не приводя расчета проф. Рузского и отсылая интересующихся к первоисточнику, отметим, что расчет этот, хотя и показал возможность регулирования Q = Const постановкой соответствующего числа и расположения диафрагм, но окончательно судить о практическом применении автомата Джибба можно лишь после проведения ряда специальных опытов.

2. **Водомер Журина**. В. Д. Журин использовал идею диафрагмирования Джибба, применив ее в прямоугольной трубе (в целях упрощения конструкции) с размещением в ней диафрагм по схеме рис. 40.

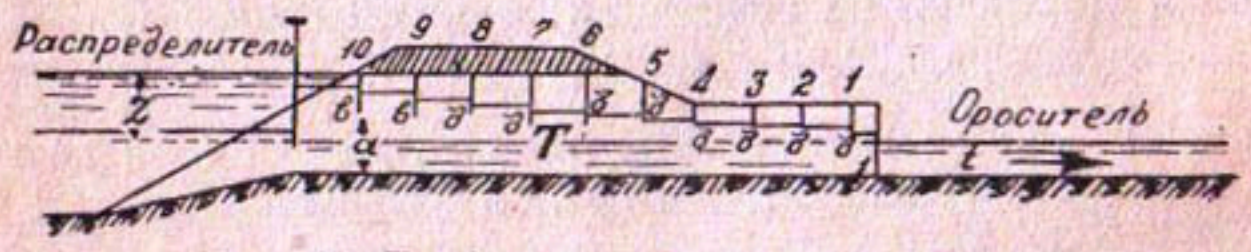


Рис. 40. Диафрагмовый автомат Журина.

Предварительный расчет автора показал, что при увеличении начального напора в пределах до 4 раз, постановкой соответству-

---

* Д. П. Рузский. Водомеры с возрастающими сопротивлениями. Известия научно-мелиоративного института. Л. 1923.

** В. Д. Журин. Мелкие водовыпуски. Вестник Ирригации №№ 8 и 9 за 1924 г.

ющего числа и расположением диафрагм можно достигнуть относительно постоянного расхода (колебание не больше 10%).

И в данном случае для окончательного решения вопроса о возможности применения такой конструкции необходима постановка специальных опытов.

Специальные исследования (опыты) водомеров Джибба и Журина произведены в Саниири инж. Гуртиком в 1929 г. и повторены в 1933 г. инженерами Шикиным и Иваненко*. Результаты их кратко выразились в следующем:

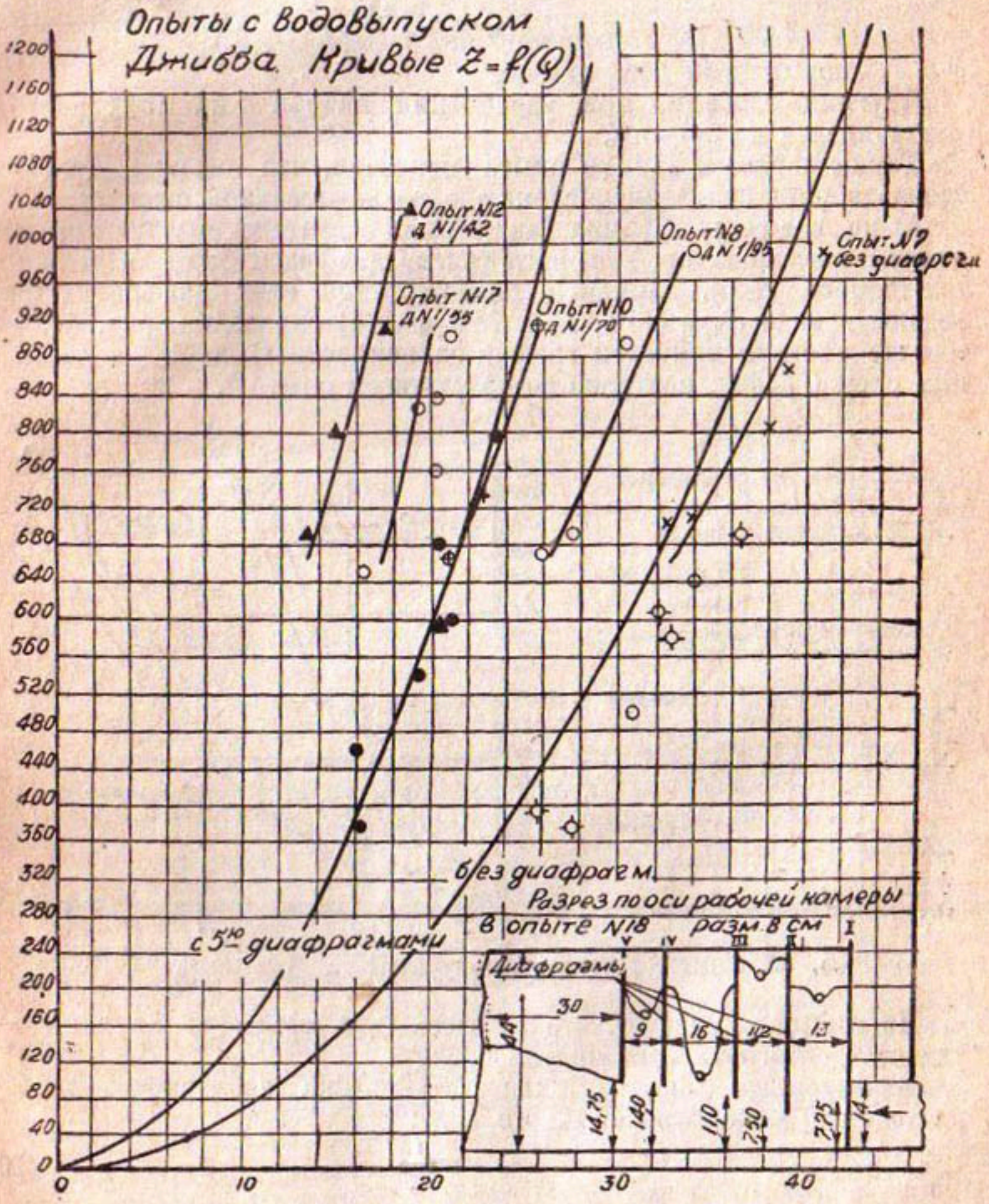


Рис. 41.

* См. Техн. отчет Саниири за 1933 г.

а) по водомеру Джибба были испытаны различные варианты расположения диафрагм, но опыты не дали положительных результатов, что наглядно видно из графика рис. 41 (взятого из Технического отчета Санирри за 1933 г.).

Действительно из графика видно, что расход Q с повышением Z изменяется в значительно большей степени, чем это получилось по расчету проф. Рузского.

Зависимость между расходом и напором в лучшем случае получена

$$Q = \alpha Z^{\frac{1}{2,2}} \qquad (28)$$

где α — постоянный коэфициент.

Другими словами, при увеличении напора Z на 10% расход увеличивался на 3,5—5%.

Таким образом, данные опыта показали, что водомер Джибба удовлетворяет своему назначению в незначительной степени;

б) по водомеру Журина также были испытаны различные варианты расположения диафрагм (число диафрагм было 5, не считая шибера № 0). Варианты расположения этих диафрагм приведены в виде схем (№ 1, № 2, № 3 и № 4) справа на рис. 42; на том же рисунке приведен график зависимости Q от Z для различных схем (график построен по результатам опытов).

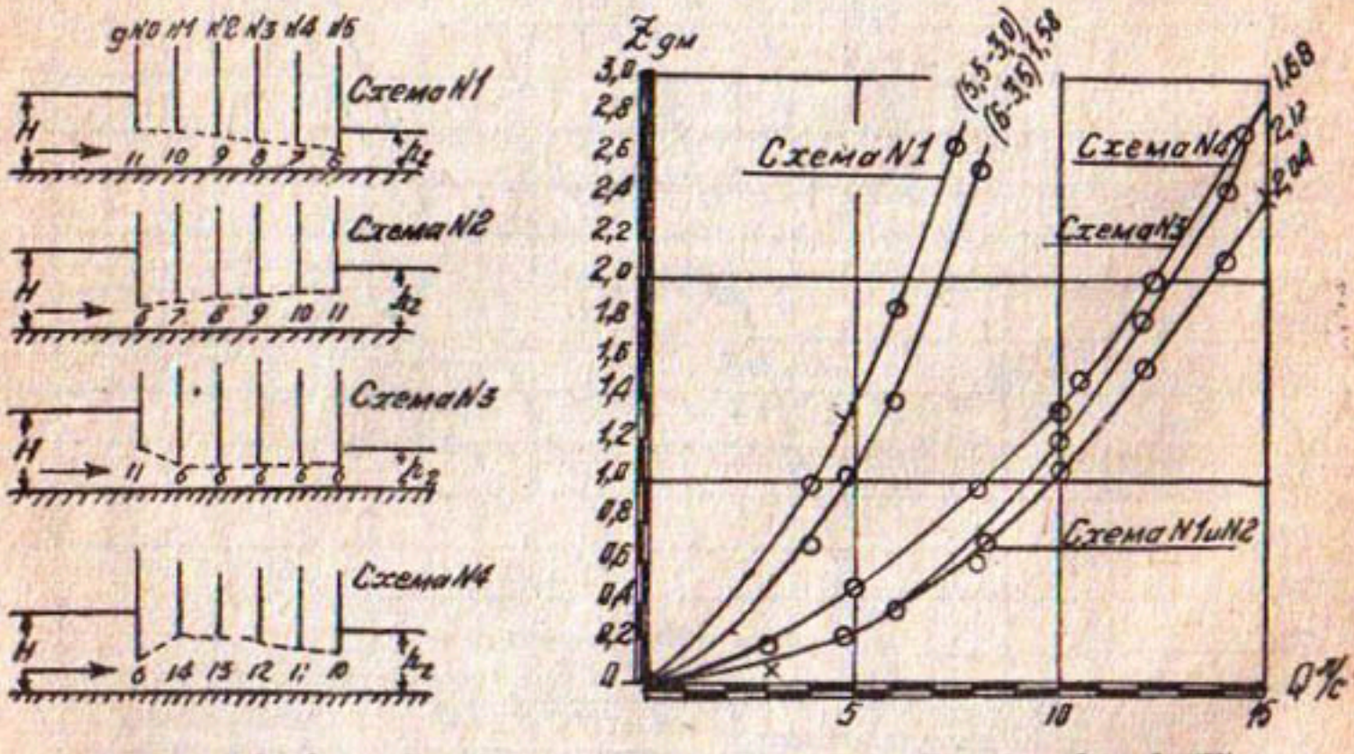


Рис. 42. Опыты с моделью полуавтомата. Кривые Q = f (Z).

Из графика следует, что и здесь для водомера Журина не удалось достигнуть постоянства расхода.

В результате опытов была установлена зависимость между расходом Q и напором Z такого вида:

$$Q = \alpha Z^{\frac{1}{2,45}} \qquad (29)$$

Таким образом, при увеличении Q на 10% напор изменяется на 40%.

Надо считать, что эти опыты еще недостаточно выяснили все возможности применения данной конструкции. Так, недостаточно выяснен вопрос о расстоянии между диафрагмами, но все же на основании проведенных опытов можно заключить, что описанные конструкции (Джибба, Журина) сохраняют постоянство расхода в небольших пределах колебания уровня (до 50%).

3. **Диафрагмовый автомат инж. Гладких.** Инж. Гладких предложил и исследовал две конструкции диафрагмовых автоматов, которые по существу являются развитием предложения Журина.

Первая конструкция — трехдиафрагмовый автомат — представляет собой лоток типа русла Вентури, с горизонтальным дном (см. рис. 43). В горловине лотка помещены три диафрагмы: № 1,

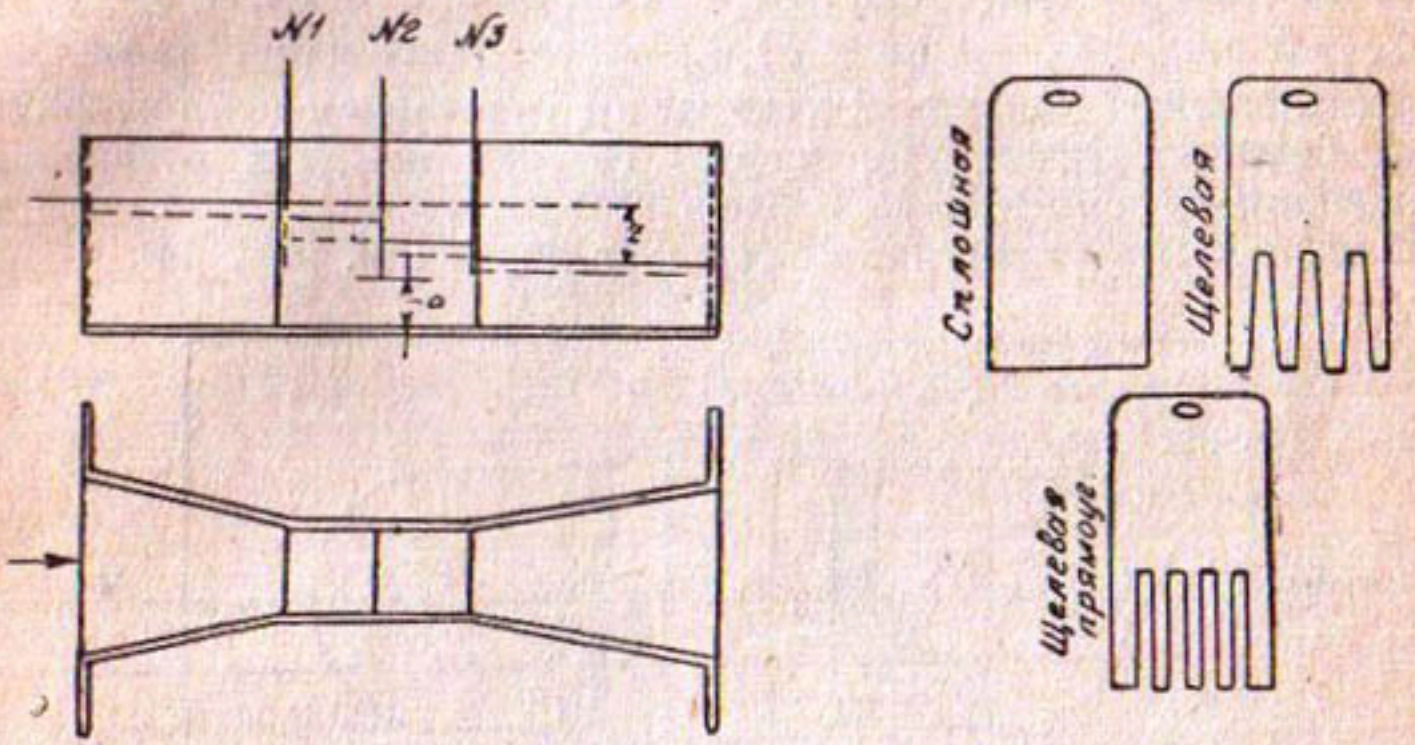


Рис. 43. Диафрагмовый автомат инж. Гладких. Формы диафрагм.

№ 2 и № 3. В испытаниях применялись 3 вида диафрагм — сплошные с острой кромкой, щелевые с трапециедальными вырезами и щелевые с прямоугольными вырезами (показаны на чертеже).

Испытаниям подвергались различные комбинации упомянутых диафрагм. Всего произведено до 150 различных опытов.

Наиболее характерными сериями, давшими лучшие результаты, являются две — № 1 и № 2.

Серия № 1 представлена работой только одних сплошных диафрагм с тремя вариантами открытия a под диафрагмами.

Наилучший результат дал вариант с открытием диафрагм на высоту 9,7 и 4 см, соответственно порядку расположения диафрагм; при этом варианте расход увеличился на 35,9% с увеличением напора (Z_{min}) в два раза.

В серии № 2 применялись комбинации двух щелевых диафрагм с трапециедальными вырезами и одной сплошной диафрагмы. Лучший результат в смысле автоматичности дал вариант с расположением диафрагм по схеме: № 1 (щелевая) при $a = 1$ см, № 2 (щелевая) при $a = 1$ см и № 3 (сплошная) при $a = 7$ см.

В этой серии при увеличении первоначального напора в 2 раза расход увеличился на 48,3%.

На основании этих опытов автор полагает, что в ирригационной практике, где рабочий напор изменяется в пределах 20—30% (в действительности он может изменяться в 2 и 3 раза), возможно применение его водомера; причем условие постоянства расхода будет соблюдаться с точностью в 7—10%.

Вторая конструкция инж. Гладких — многодиафрагмовый автомат — представляет собой дальнейшее развитие первой конструкции с применением большего количества диафрагм (до 6 штук) такого же вида, как и в первой конструкции.

Как и в первом случае, испытанию подверглись различные комбинации диафрагм. Наилучший результат получен при расположении диафрагм по схеме № $1_с$ — 4 см, № $2_ш$ — 3 см, № $3_с$ — 4 см, № $4_ш$ — 3 см, № $5_с$ — 4 см и № $6_ш$ — 3 см, причем при увеличении первоначального напора в 2 раза расход увеличился всего на 26,2%.

4. **Водомер Бредиса** (удар струй) состоит из двух совершенно одинаковых и симметрично расположенных круглых труб, изогнутых под прямым углом навстречу друг другу (см. рис. 44).

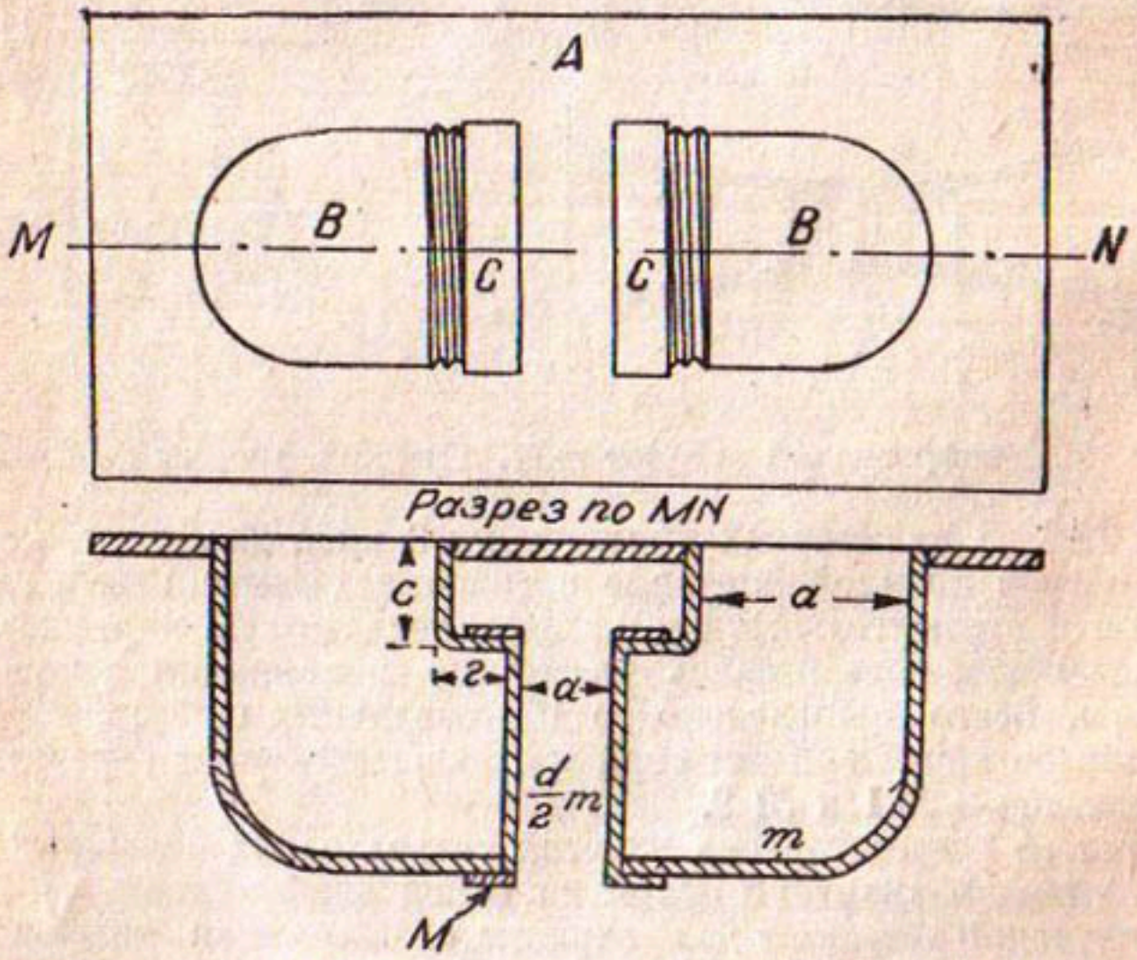


Рис. 44. Водомер-автомат Бредиса.

Для регулирования расхода путем изменения расстояния (a) на концы труб навинчены муфты *M*. Размеры водомера назначаются в зависимости от расхода и основного диаметра по соотношениям:

$$\frac{L}{d} = 2, \quad c = \frac{d}{2}, \quad l = \frac{d}{3}, \quad m = \frac{d}{15}, \quad a = \frac{d}{2} + m$$

L — общая длина трубы, d — диаметр трубы, остальные обозначения см. на рисунке.

Бредис теоретически обосновал возможность применения этого водомера для регулирования постоянного расхода и в подтверждение теоретическим выводам провел опыты, давшие удовлетворительные результаты*.

Результаты опытов над водомером из труб d = 0,073 м показали, что при истечении в атмосферу с увеличением напоров в $1^1/_2$ раза, процент отклонения от среднего расхода не достигал величины больше 3,62%.

С уменьшением расстояния между муфтами, расход уменьшается; так например, при напоре H = 0,20

при a = 0,04 м Q = 8,327 л/сек.
при a = 0,036 „ Q = 6,538 „
при a = 0,034 „ Q = 6,168 „
при a = 0,031 „ Q = 6,124 „
при a = 0,030 „ Q = 6,060 „

К недостаткам этого прибора следует отнести большие потери напора, небольшой процент регулирования расхода с изменением *a* и малую пропускную способность.

5. **Водомер Лубны-Герцика** представляет собою попытку приспособить водомер Кеннеди** для автоматического регулирования постоянства расхода, как это схематически показано на рис. 45.

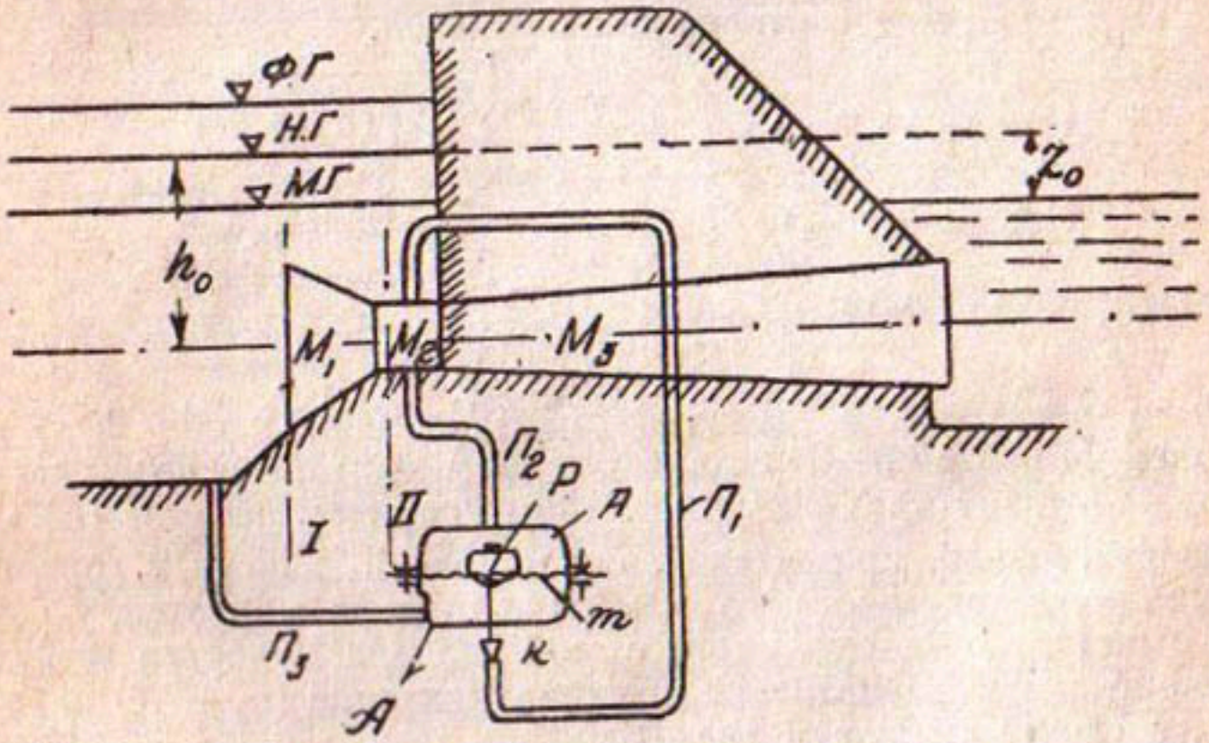


Рис. 45. Водомер Лубны-Герцика.

Водомер состоит из трубы Вентури с небольшим сходящимся

---

* А. И. Бредис. Водомеры постоянного расхода. Опытно-мелиорат. вестник т. I. 1928.

** Мы здесь не будем описывать водомер Кеннеди, т. к. он не может быть отнесен к водомерам с Q-Const по той причине, что он и не предназначался для этой цели, хотя некоторые авторы (Рузский, Бредис) почему-то пытаются отнести его к данной группе водомеров.

конусом M_1 горловины M_2 и длинного расходящегося конуса M_3 и специального приспособления для регулирования вакуума в горловине (составляющего особенность конструкции).

Это приспособление состоит из регулирующей камеры A, разделенной мембраной m на две половины; первая половина сообщается трубкой $П_2$ с горловиной, а вторая — трубкой $П_3$ — с водоемом в верхнем бьефе. Доступ воздуха в горловину через трубку $П_1$ регулируется клапаном K, который непосредственно связан с мембраной.

Теория и принцип действия этого водомера основываются на следующих соображениях.

По уравнению Бернулли для сечения I и II имеем

$$\frac{v_1^2}{2g}+\frac{P_0}{\gamma}+h_0=\frac{v_2^2}{2g}+\frac{P_2}{\gamma}+h_w \qquad (30)$$

Выразим v_1 через v_2 имея в виду, что вакуум

$$W=\frac{P_0-P_2}{\gamma} \text{ и } \alpha=\frac{\omega_2}{\omega_1};\ h_w\infty=0 \qquad (31)$$

получим

$$v_2=\sqrt{\frac{2g(h_0+W)}{1-\alpha}}=\sqrt{\frac{1}{1-\alpha}}\sqrt{2g(h_0+W)} \qquad (32)$$

где V_2 — скорость в горловине,
h_0 — нормальный (расчетный) напор,
α — коэфициент соотношения площадей.

$$Q=V_2\ \omega_2=\omega_2\sqrt{\frac{1}{1-\alpha}}\sqrt{2g\ (h_0+W)} \qquad (33)$$

Обозначая $\omega_2\sqrt{\frac{2g}{1-\alpha}}=K=\text{Const}$,

окончательно получим:

$$Q=K\sqrt{(h_0+W)} \qquad (34)$$

Если регулировать величину вакуума так, чтобы $h_0+W=$ $=$ Const, то расход будет оставаться постоянным. Эту функцию как-раз и выполняет предложенный Лубны-Герциком автомат (А).

Действительно, при увеличении напора h_0 вакуум в горловине возрастает, вследствие чего мембрана m деформируется, увеличивает с помощью соединенного с ней клапана К доступ воздуха в горловину и восстанавливает прежнее давление (h_0+W) в горловине, а следовательно, и расход.

Для регулирования работы мембраны последняя загружается грузом P, вес которого должен быть равен весу столба жидкости над ним до высоты h_0+W. Если же мембрану расположить на уровне h_0+W, то груза не требуется. Этот водомер еще не испытан в лаборатории, но едва ли может быть широко применен в ирригационной практике ввиду его сложности и ненадежности его работы, вызываемой легкой возможностью нарушения установки, засорения трубок и других причин, препятствующих работе прибора.

III. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ВЫБОР ВОДОМЕРОВ ДЛЯ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА (ИРРИГАЦИОННЫХ РАЙОНОВ).

Для оценки имеющихся, предложенных и возможных конструкций водомеров и рекомендации их для учета воды на колхозной и межколхозной ирригационной сети прежде всего необходимо установить требования, которые должны быть предъявлены к ним с точки зрения целей и задач хозяйственного и межхозяйственного учета воды и практических условий, в которых эти приборы работают.

При установлении этих требований следует учесть как существующие положения, так и перспективы развития ирригационных систем и социалистических хозяйств.

Основными требованиями, которым должны удовлетворять вообще все водомеры, являются непрерывность учета расхода воды Q или стока воды V, а также следующие:

Простота учета воды. Наилучшим показателем простоты учета воды водомером является возможность учета (Q и V) непосредственно по показаниям счетчика или регистратора без каких-либо дополнительных вычислений.

Точность учета в процессе эксплоатации требует не только рассчитанной точности учета водомера, но главным образом точности его работы после продолжительного действия. На точность работы водомеров-счетчиков влияет изнашиваемость механизмов, продолжительность работы без тарировки и т. п.; на точность учета водомерами с постоянным выделом воды влияет изменение расхода от среднего (расчетного) значения и пределы автоматичности.

Соединение учета с регулированием расхода. Водомеры должны быть по возможности и регуляторами, т. е. необходимо не только учитывать отпускаемую воду, но и распределять ее согласно плану водопользования. При этом диапазон расходов должен удовлетворять условиям практики.

Малые потери напора. Технические условия мелкой ирригационной сети не позволяют применять на них водомеры (сооружения) с большими потерями напора, поэтому они должны работать со сравнительно небольшими потерями его.

Пропуск наносов. В ирригационной практике в большинстве случаев по каналам вместе с водой транспортируются наносы; поэтому работа водомеров, задерживающих наносы, будет сильно затруднена (частая очистка сооружения и подходных участков канала вплоть до полного отказа от работы).

Простота и дешевизна. Количество водомеров, требующихся для мелкой ирригационной сети, чрезвычайно велико (десятки тысяч); поэтому целесообразно применять наиболее дешевые, по возможности простые и в то же время достаточно прочные сооружения (конструкции).

Кроме того, простая конструкция в большинстве случаев уменьшает затраты на поддержание (ремонт) сооружения.

Стандартность — по экономическим соображениям (имея в виду

массовое изготовление водомеров), а также по условиям эксплоатации,— по возможности должна быть обеспечена.

Предохранение от злоумышленного повреждения или изменения показаний прибора. Мероприятия (устройства) по предохранению от злоумышленного нарушения нормальной работы водомера должны быть простыми, дешевыми и легко выполняемыми (во избежание удорожания конструкции).

Пропускная способность. Водомеры, кроме того, должны обладать достаточной пропускной способностью для расходов колхозной и межколхозной ирригационной сети.

Из перечисленных выше требований наиболее существенными являются: 1) пропуск наносов, 2) малые потери напора, 3) точность в процессе эксплоатации, 4) простота и дешевизна. Эти требования являются определяющими в вопросе выбора и рекомендации водомера для широкого распространения на производстве.

Если рассмотреть описанные выше водомеры с точки зрения удовлетворения их всем требованиям, отмечая главным образом отрицательные случаи, то будем иметь следующую картину:

Группа 1 тип А (скоростные водомеры). Водомеры этого типа, в большей (непрерывно действующие вертушки, водомер Кальницкого), или в меньшей (Great-Western, Reliance, Hill) степени имеют общий недостаток — необходимость периодических тарировок, отсутствие которых ведет к снижению точности учета воды в процессе эксплоатации водомера. Количество тарировок зависит от конструктивных особенностей водомера, но поскольку наличие трущихся частей неизбежно в этих конструкциях и количество оборотов очень значительно (в среднем 50 000 оборотов в сутки), механизм водомера даже лучшей конструкции сравнительно быстро потребует ремонта и тарировки. Известно, например, что вертушка типа ИВХ после 300 000 оборотов требует ремонта. Водомеры Grant Michell, Hill и Reliance имеют существенный недостаток — задержку наносов в нижних частях сооружений. Водомеры Отта и Кальницкого имеют сравнительно большую стоимость изготовления.

Таким образом лучшим из этого типа водомеров является водомер Great-Western, который можно было бы рекомендовать производству после испытания продолжительности его работы между тарировками.

Группа 1 тип Б (объемные водомеры). Крайне ограниченное применение в ирригации будет иметь водомер Мильнэ по причине малой пропускной способности, значительной потери напора воды и трудности предохранения от злоумышленного использования. Водомеры Dethridge и Барановского громоздки, стоимость их велика и увеличивается еще тем, что требует затрат на специальное ограждение от злоумышленного использования.

Группа 2. Из второй группы водомеров типа регистрирующих приборов наиболее удачным является счетчик стока Колодкевича (образец 1938 г.), так как он удовлетворяет почти всем поставленным нами требованиям. Он безотказен в работе, стандартен в изготовлении и будет иметь небольшую стоимость (300—400 р.) при массовом изготовлении его на заводе.

Поэтому мы и рекомендуем его при условии присоединения к наиболее рациональным водомерным устройствам (лотки, контрольные русла и другие сооружения, работающие от одного напора H).

Примечание. Счетчик стока испытан в производственных условиях и производство счетчиков организуется в мастерской Саниири.

Водомеры-автоматы, как видно из описания, довольно разнообразны и многочисленны по конструкции. Это объясняется тем, что водомер, удовлетворяющий основным требованиям, был бы желательным типом в эксплоатации, так как он автоматически регулировал бы необходимый расход и в то же время учитывал бы количество воды без каких-либо специальных приборов (счетчиков).

К сожалению, ни одна из описанных выше конструкций в полной мере не удовлетворяет поставленным требованиям.

Водомеры одной группы (Линдлея, Фута, конусообразный поплавок) — требуют значительного перепада; водомеры второй группы (сифонные автоматы) громоздки по конструкции и ненадежны в работе. Конструкции третьей группы (автоматы Бредиса с поплавком, качающийся поплавок, Джибба, Журина) не имеют полного автоматизма регулирования $Q = \text{Const}$.

Почти все водомеры этого класса требуют специальных устройств по предохранению от злоумышленного использования.

Лучшим из водомеров-автоматов является качающийся поплавок, но и он имеет недостаток в ограничении регулирования расхода и сравнительно небольшие пределы колебания напора в старшем канале.

Таким образом, как видно из описания и разбора существующих водомеров, мы должны придти к заключению, что почти нет еще таких конструкций, которые полностью удовлетворяли бы всем перечисленным выше требованиям, и вопрос о разработке и исследовании новых рациональных конструкций является весьма актуальным.

В следующей части настоящей работы приводим результаты наших разработок и исследований по затронутому вопросу.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ВОДОМЕРОВ.

I. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОМЕРОВ НА КОЛХОЗНОЙ И МЕЖКОЛХОЗНОЙ ИРРИГАЦИОННОЙ СЕТИ.

Из предыдущего обзора следует, что:

а) существующие типы водомеров не вполне удовлетворяют требованиям и условиям хозяйственной и межхозяйственной сети;

б) наиболее подходящими конструкциями для учета воды на упомянутой сети являются водомерные сооружения со счетчиками стока (или другими учитывающими приспособлениями) и водомеры-регуляторы постоянного расхода воды.

Следовательно, необходимо было на основании исследований разработать новые рациональные конструкции сооружений этих двух типов для учета воды на хозяйственных (колхозных) отводах и распределительной межколхозной сети.

Следует заметить, что мы не ставили перед собой задачу конструирования самих счетчиков (механических приборов). Эту задачу взял на себя Д. П. Колодкевич, который в этом отношении добился значительных результатов. С разрешения автора они приведены мною в первой части работы.

Прежде чем перейти к описанию результатов наших исследований, необходимо остановиться на выяснении технических условий, которые должны быть приняты для разработки новых конструкций.

Прежде всего нужно ориентироваться на существующее состояние ирригационной сети, учитывая в то же время будущее ее усовершенствование (переустройство) в соответствии с социалистическим методом производства.

Ирригационную сеть (каналы) в зависимости от хозяйственно-производственного назначения ее можно подразделить на:

1) сеть системного значения (межрайонную), обслуживающую распределение воды между районами,

2) сеть районного значения, распределяющую воду между хозяйствами (колхозами),

3) сеть хозяйственного (колхозного) значения—внутриколхозную ирригационную сеть (групповую и картовую оросительную сеть).

Таким образом, технические условия исследуемых нами измерительных приспособлений определяются размерами хозяйственной

сети и хозяйственных выделов (последний элемент сети—районный), т. е. каналов, характеризуемых сравнительно малыми расходами — 0,100 = 0,500 м³/сек, и как крайний предел—1-2 м³/сек.

Кроме максимальных расходов (пропускной способности) при проектировании должны быть приняты во внимание: диапазон (пределы) колебаний рабочих расходов и горизонтов воды, поперечные сечения (ширина, глубина), уклоны каналов и допустимые потери напора при измерении воды, пропуск наносов, точность и легкость регулирования расходов.

Ввиду массового применения и легкой доступности водомеров, а следовательно, возможности частых повреждений и нарушений правильной работы (показаний) их, не менее важными условиями являются простота устройства и обслуживания, дешевизна конструкций измерительных приспособлений и стандарт их.

На основании изучения практических данных проектных и нормативных материалов нами составлены таблицы типовых размеров (габаритов) колхозной и межколхозной сети (см. табл. 1).

Таблица 1

Средние габариты каналов хозяйственной и межколхозной сети.

Название сети	Изменение расхода			Коэффициент изменения горизонта (h)	Потери напора см	Основные размеры канала		
	Q_{min} м³/сек.	Q_{max} м³/сек.	Коэффициент изменения Q			$B_м$	$H_м$	m
Межколхозная	1,0	3,0	3,0	2,0	10—15	2,0	1,7	1:1
»	0,7	2,0	3,0	2,0	10—15	1,5	1,25	1:1
»	0,35	1,0	3,0	2,0	10—15	1,0	0,8	1:1
Колхозная	0,30	0;70	2,5	2,0	10—15	0,75	0,70	[illegible]
»	0,150	0,40	2,5	2,0	10—15	0,50	0,60	1:1
Бригадные каналы	0,05	0,100	2,5	1,5—2,0	10—15	0,3	0,4	1:1

Примечание. Размеры каналов показаны ориентировочно средние; отклонение от них может быть очень значительным.

В таблице приведены данные, соответствующие средним условиям, наиболее характерным (часто встречающимся) для данного типа ирригационной сети.

II. НОВЫЕ ВОДОМЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ (КОНСТРУКЦИИ).

Для разрешения поставленной задачи—разработки конструкций водомерных сооружений со счетчиками и водомеров-автоматов—мы в результате изучения работы водомеров по литературным и практическим данным запроектировали новые конструкции их, подвергнув их в последующем дополнительному сравнительному изучению, причем лучшие из них испытывались в лаборатории и в полевой обстановке (производственных условиях).

Наилучшие результаты показали следующие предлагаемые нами новые типы водомеров:

А. Водомерные сооружения со счетчиками. 1. Трапециедальный, суживающийся кверху (пропорциональный) водослив—преимущественно для каналов с большими уклонами. 2. Нерегулируемые водомерные сходящиеся насадки для колхозной сети, работающие с весьма малыми потерями напора. 3. Регулируемые водомерные насадки (открытый водовыпуск с насадками). 4. Трубчатый водомерный выпуск.

Б. Водомеры-автоматы постоянного расхода. 1. Водомер-автомат с изменяющимся отверстием, тип Б—1. 2. Водомер-автомат с вращающимся щитом — тип Б—К—1.

В дальнейшем приводятся описания и результаты испытаний этих водомеров.

А. Водомерные сооружения (конструкции) со счетчиками.

1. Трапециедальный, суживающийся кверху (пропорциональный) водослив.

При обзоре как русской, так и имевшейся в нашем распоряжении иностранной литературы мы обратили внимание на опыты проф. Staus'a*, произведенные им в гор. Эслинге в 1922 г. над водосливами различных очертаний (прямоугольное, треугольное, трапециедальное и круговое). Нас особенно заинтересовал трапециедальный, суживающийся кверху водослив, обнаруживший ясно выраженное свойство — прямой пропорциональной зависимости расхода Q от переливающегося слоя воды.

Проф. Staus производил опыты над водосливами с различными углами схождения боковых граней — $\alpha = 11^\circ\ 11'$; $22^\circ\ 29'$; $53^\circ\ 14'$ и $90^\circ\ 5'$, что соответствует коэфициентам откоса $n = 0{,}095$; $0{,}208$; $0{,}495$ и $1{,}0$. Расход определялся по формуле

$$Q = {}^2/_3\ \mu\ b\sqrt{2g}\ h^{3/2}\left(1 - {}^4/_5\ \operatorname{tg}\ \frac{\alpha}{2}\right) \qquad (35)$$

Опыты показали, что кривые зависимости $Q = f(h)$, начиная от $h = 3$ см для водослива с $\angle\alpha = 90^\circ\ 5'$ и $h = 5$ см для водослива с $\angle\alpha = 53^\circ\ 14'$, превращаются в прямые линии.

Коэфициент расхода μ с увеличением h остается почти постоянным (отклонение от среднего значения — не более 2%).

Ценное свойство подобных водосливов, заключающееся в линейной зависимости Q от h, может быть использовано для учета стока воды путем присоединения к водосливу простейшего лимниграфа. В этом случае площадь лимниграммы и представит собою непосредственно количество (сток) воды за данное время.

Имея в виду практическое значение подобных водосливов, мы произвели исследования их с целью проверки и установления показателей работы трапециедальных водосливов.

Как известно, расход через водослив выражается формулой вида

$$Q = \mu\ b\ h\sqrt{2g\ h} \qquad (36)$$

где $bh = \omega$ — площадь истечения через водослив.

---

* A. Staus Uberfall Versuch, 1924.

При $\mu\sqrt{2g} = M - Const$, для обеспечения линейной зависимости Q от h, необходимо и достаточно, чтобы b изменялось обратно пропорционально $\sqrt{h}$, т. е. $b = \frac{a}{\sqrt{h}}$, где a — параметр.

Подставляя это выражение в уравнение расхода, получим:

$$Q = M \cdot \frac{a}{\sqrt{h}} h \sqrt{h} = M a h = K h \qquad (37)$$

Выражение $b = \frac{a}{\sqrt{h}} = a h^{-1/2}$ представляет собою степенную зависимость (гиперболическую функцию).

Если построить в прямоугольных координатах график этой функции для нескольких значений a, то мы получим очертания водослива, идеально удовлетворяющие условию пропорциональности Q и h.

Эти очертания образуются двумя гиперболами, симметрично расположенными относительно оси ординат.

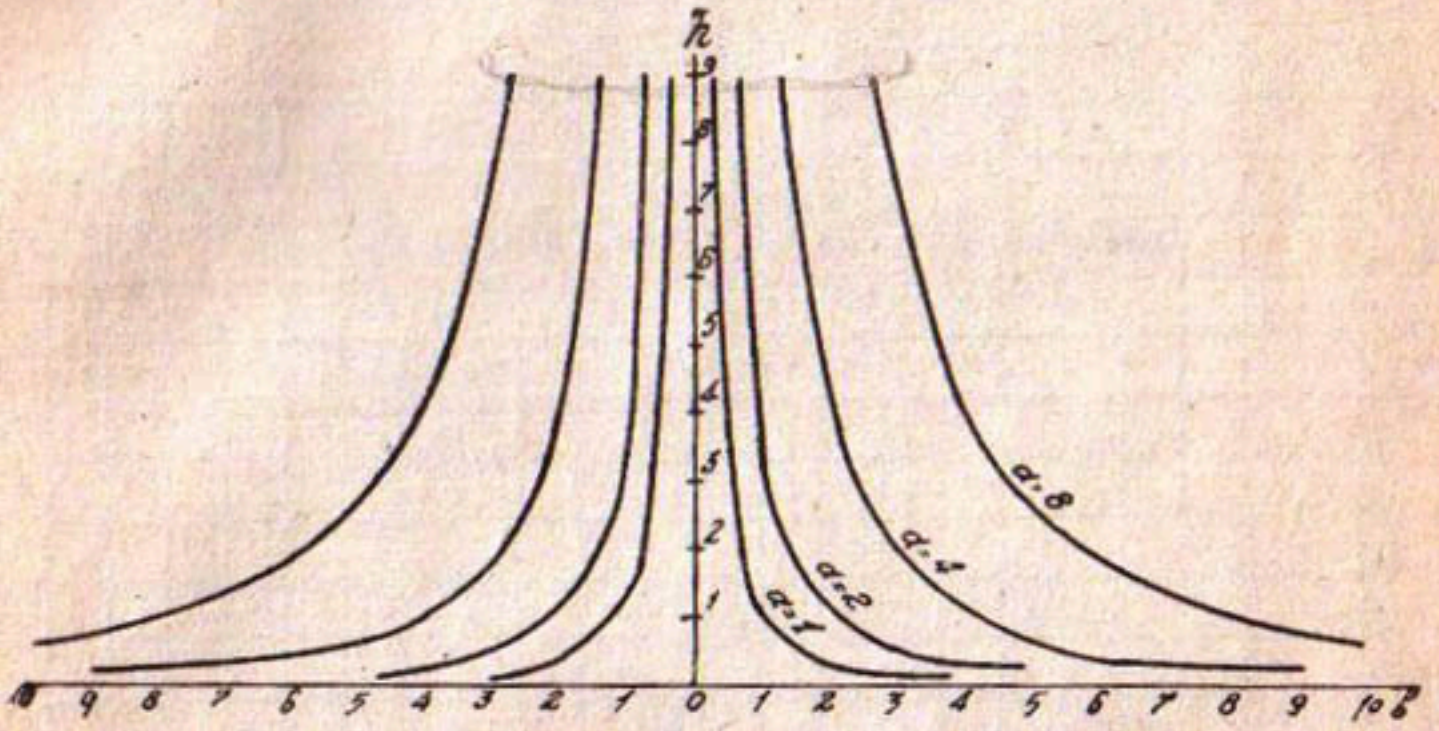


Рис. 46. График функций $b = ah^{-1/2}$

Как следует из уравнения $b = \frac{a}{\sqrt{h}}$ и графика (рис. 46) ширина водослива при h = 0 стремится к бесконечности.

Практически можно говорить лишь о приближенных формах водосливов. Нашими исследованиями были проверены указанные теоретические соображения для водосливов практических размеров. При этом исследовались следующие формы водосливов:

1. Форма водослива, почти приближающаяся к идеальной, с начальной шириной b = 0, 50 м.

2. Трапециедальные формы водосливов (суженные кверху), с одинаковой шириной b = 0,50 м, но с разными углами $\beta = 45°$; 63° и 76° (n = 1,0; 0,5; 0,25).

3. Трапециедальные формы водосливов с углом $\beta = 63°$, но с шириной b = 0,25 м.

Для каждой формы водослива произведена серия опытов.

Все серии опытов проведены в условиях, близких к натуре (нормальные размеры водосливов с установкой их на канале). Проходящие через испытуемые водосливы расходы воды учитывались водосливом Чиполетти $b = 0{,}50$. Скорость подхода не учитывалась ввиду ее незначительности ($< 0{,}4$ м/с). Опыты проведены в целях установления и проверки прямолинейной зависимости Q от h, определения коэфициента расхода и выявления его устойчивости от напора.

Серия 1. Водослив с очертанием, приближающимся к теоретическому, форма и размеры которого представлены на рис. 47.

Всего было проведено 20 опытов при изменении напора от 2,7 до 18,8 см.

При этом средний коэфициент расхода получен равным 0,462 с наибольшей квадратичной ошибкой в 3,5%. На основании опытов составлен график зависимости Q от h (см. рис. 47), из которого видно, что кривая почти выходит из начала координат и представляет собой прямую линию с уравнением $Q = 2{,}2\ h - 2{,}0$.

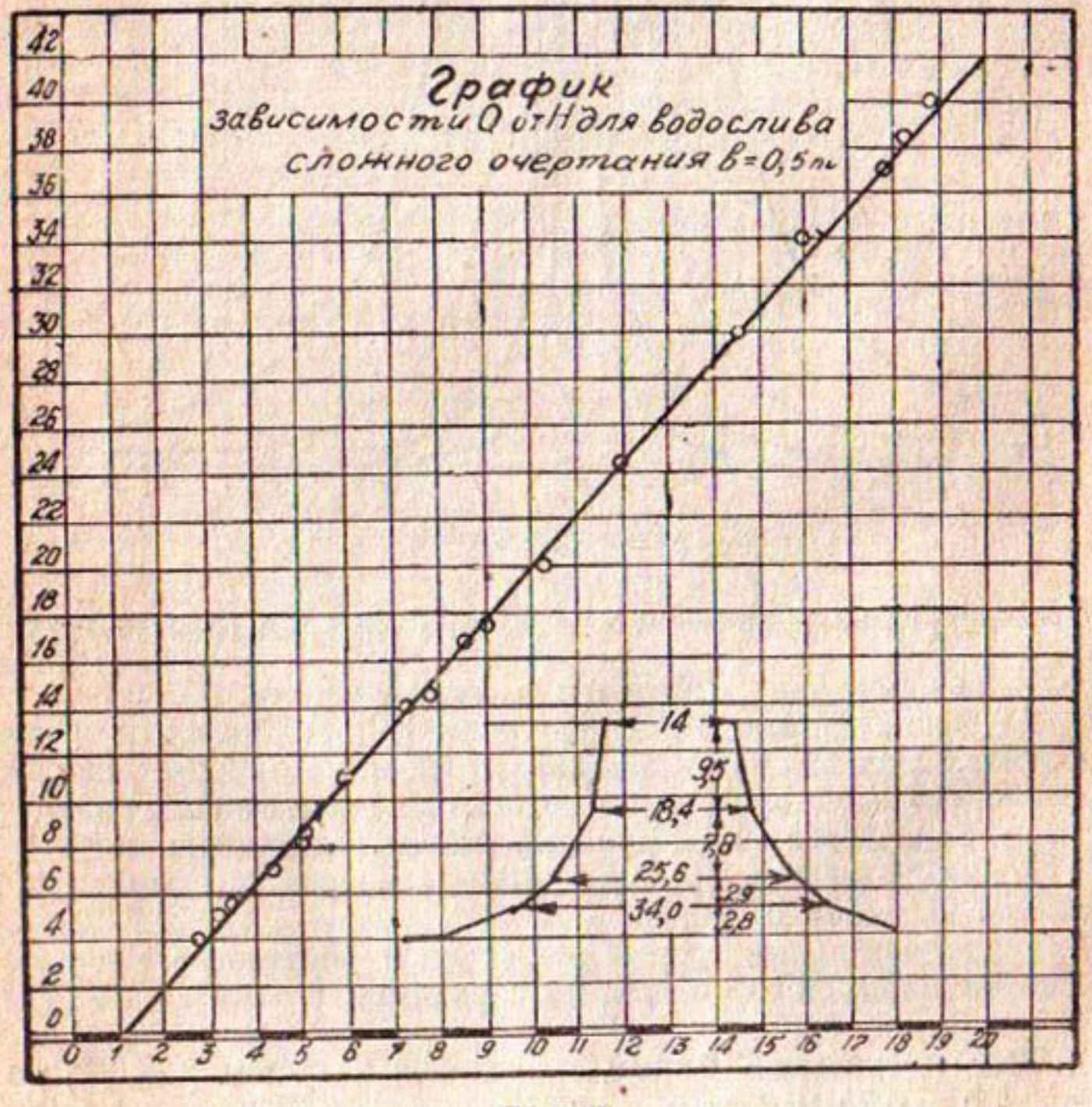


Рис. 47.

Серия 2. Испытывались трапециедальные, суживающиеся кверху водосливы с одинаковой шириной b = 0,5 м, но с разными углами β = 45°, 63°, 76°. Опыты этой серии, наряду с вышеупомянутым, проведены в целях назначения оптимального угла β и выявления его влияния на коэфициент расхода. По водосливу с ⌊β=45° (n = 1) было проведено 19 опытов; при этом средний коэфициент расхода был получен равным 0,498 с возможным отклонением в 2,6% (рис. 48).

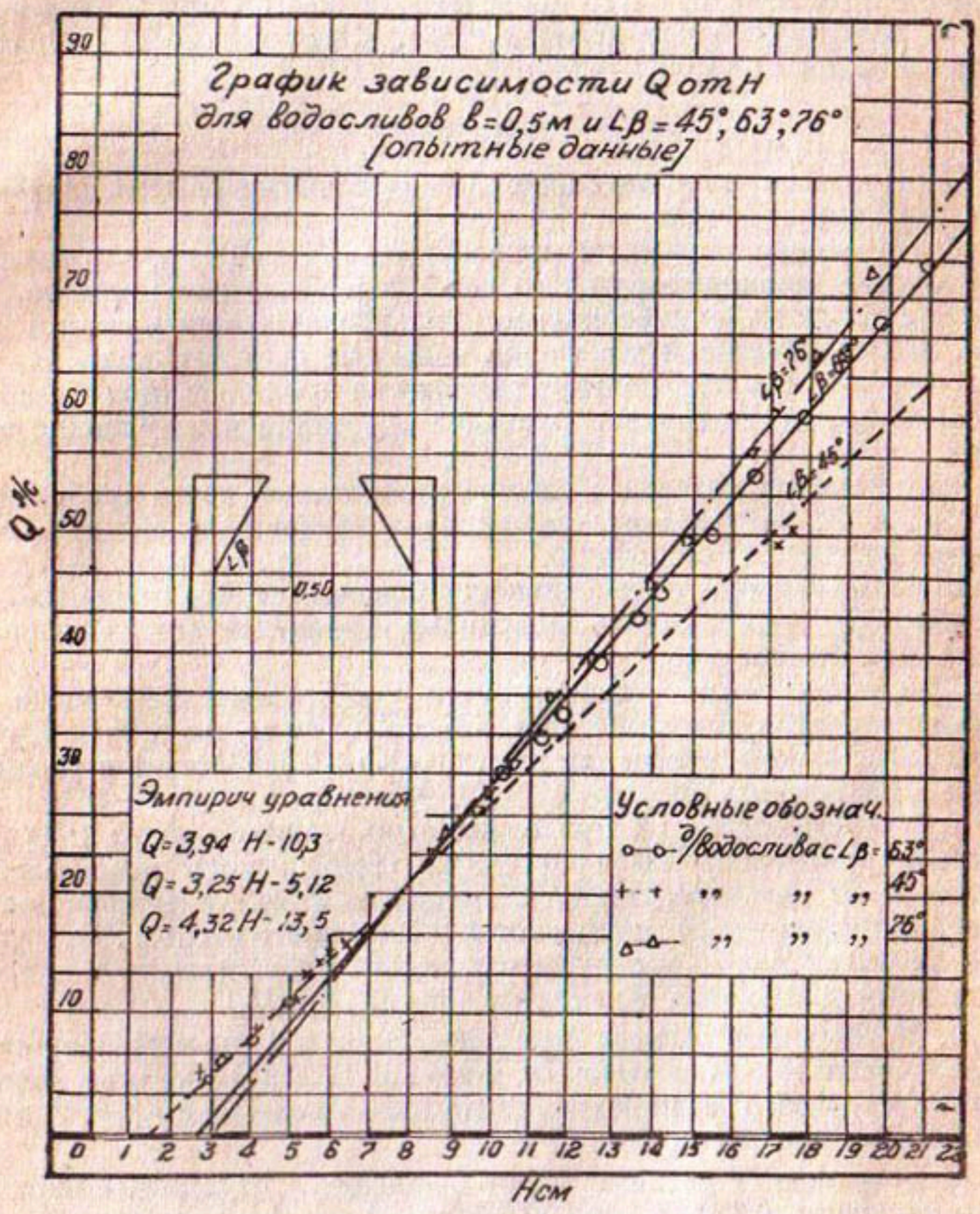


Рис. 48.

По водосливу с ⌊β=63° (n=1/2) проведено 20 опытов, в результате которых средний коэфициент расхода оказался равным 0,453 с отдельными отклонениями не более 2,33%.

По водосливу с $\angle\beta=76°$ ($n=^3/_4$) было также проведено 20 опытов, причем средний коэфициент расхода был получен=0,430 с отдельными отклонениями не более 2,8%.

На основании данных опытов построены графики $Q=f(h)$ и вычислены эмпирические уравнения, приведенные на рис. 48.

Серия 3. Опыты с водосливом трапециедальным — суживающимся кверху с $\angle\beta=63°$ и шириной $b=0{,}25$ м.

Эта серия опытов проведена для выяснения зависимости μ от ширины водослива b. Всего проведено 12 опытов, при этом коэфициент расхода получен равным 0,461. Зависимость Q от h оказалась равной $Q=1{,}63\ h-3{,}0$.

ВЫВОДЫ.

В результате произведенных исследований и опытов приходим к следующим выводам:

1. На основе теоретических соображений найдено, что идеальной формой пропорционального водослива является очертание, составленное двумя симметричными гиперболическими кривыми (см. рис. 46). Практически эта форма конструктивно невыполнима, так как при $h=0$ $b\to\infty$, и поэтому приходится применять лишь приближенные формы водосливов (сложное очертание или трапециедальное).

Испытаниями водослива сложного очертания, почти приближающегося к теоретическому, установлена зависимость между Q и h в виде функции $Q=2{,}2h-2{,}0$.

Свободный член этого уравнения показывает, что прямая линия не проходит через начало координат и значение его для данного водослива минимально.

Трапециедальные, суживающиеся кверху водосливы также обладают свойствами прямой зависимости Q от h, но в этом случае свободный член в уравнении вида $Q=Kh+b$ возрастает с увеличением угла наклона (β).

2. С увеличением $\angle\beta$ при одинаковой ширине порога b: 1) возрастает пропускная способность, 2) увеличивается минимальный напор h, от которого расход Q можно считать изменяющимся по линейному закону, 3) уменьшается коэфициент расхода. Эти условия приводят нас к выводу, что целесообразно принять для практического применения водослив с $\angle\beta=63°$ ($n=^1/_2$).

3. Коэфициент расхода при постоянном $\angle\beta$ (n) можно принять практически не зависящим от ширины b. На основании данных опытов средний коэфициент расхода для водосливов с $\angle\beta=63°$ можно принять равным 0,458.

4. Коэфициент расхода имеет наибольшее отклонение от среднего значения в 3%, и следовательно, его можно практически считать не зависящим от изменения h.

5. Применение пропорциональных водосливов для правильного учета расхода воды ограничивается пределами напоров h от 0,1 b до 0,4 — 0,5 b.

Практические указания по применению пропорциональных водосливов для учета воды на мелкой ирригационной сети.

1. Для изготовления водосливов с $\beta=63^\circ$ ($n=1/2$) следует руководствоваться нижеприводимым типовым чертежом (см. рис. 49) с таблицей размеров основных элементов водослива в зависимости от ширины порога b.

Типовой чертеж водослива

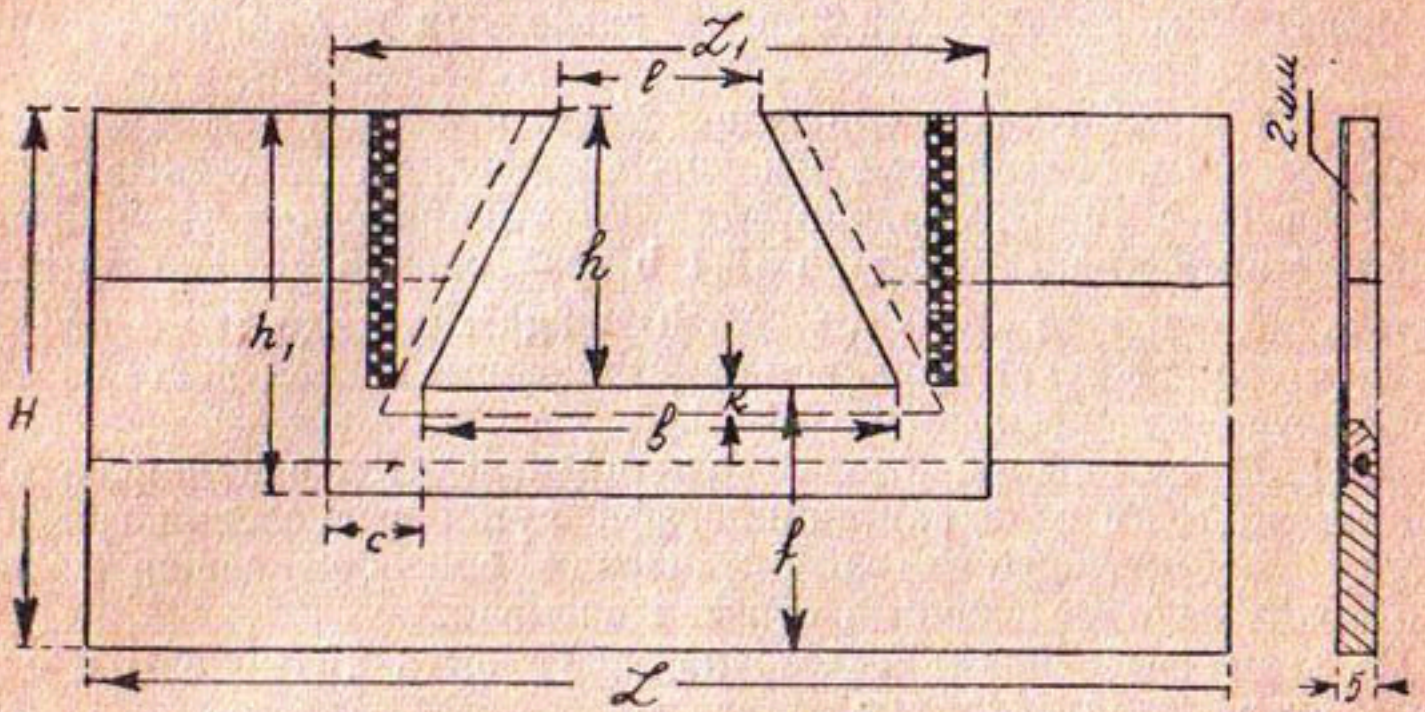


Таблица размеров

NN	b	h	l	L_1	d	c	k	h_1	f	H	L	Q_{max}	Примеч.
1	25	20	5	45	12	10	4	32	30	50	85	20	
2	50	30	20	70	12	10	4	42	30	60	120	100	
3	75	40	35	95	12	10	4	52	35	75	155	250	
4	100	50	50	120	15	10	4	65	45	95	190	400	
5	125	60	65	145	15	10	4	75	50	110	225	700	

Рис. 49.

2. Формула для учета расхода воды в общем виде может быть принята

$$Q = \mu\,(b + nh)\sqrt{2gh^3} = M\,(b + nh)\,h\sqrt{h} \qquad (38)$$

где $n=Cotg\beta$ — коэфициент откоса.

Кроме того, в пределах напора h от 0,1 b до 0,4 b практически можно пользоваться эмпирическими зависимостями, полученными нами для водосливов с углом $\beta=63^\circ$ ($n=1/2$):

а) для водослива	b=25 см	Q= 1,5 h— 2,0		
б) „ „	b=50 „	Q= 4,4 h—15,0		
в) „ „	b=75 „	Q= 7,84 h—36,16		(39)
г) „ „	b=100 „	Q=11,8 h—67,8		
д) „ „	b=125 „	Q=16,4 h—116,76		

где Q—в л/сек, а h—в см.

3. При установке пропорционального водослива на канале должны быть соблюдены те же условия, которые предъявляются к водосливу Чиполетти, т. е. водослив должен быть установлен вертикально и нормально к течению воды, должно быть соблюдено условие свободной струи при незначительных подходных скоростях.

4. Учет расхода воды (без регистрирующих приборов) может производиться непосредственно по расходным рейкам с равномерными делениями.

Рейки прикрепляются непосредственно к щиту таким образом, чтобы их нуль совмещался с порогом водослива. Расходные рейки, начиная от h=0,1b, градуируются по эмпирическим уравнениям, приведенным выше (39), до h=0,1 b градуировка должна производиться по формуле $Q=\mu\ (b-0{,}5\ h)\ \sqrt{2gh^3}$, т. к. до этого предела деления рейки будут неравномерными (лучше совсем воздержаться от градуировки реек до h=0,1 b).

5. Учет количества (стока) воды производится с помощью присоединенного (в колодце) лимниграфа путем вычисления графическим (планиметром) или аналитическим способом площади лимниграммы за определенный отрезок времени.

К этим водосливам безусловно могут быть применены и счетчики стока любой системы.

2. Колхозные водомерные насадки (нерегулируемые).

Исследования гидравлических свойств цилиндрических и конически расходящихся насадков, как известно из литературных источников и опытов Саниири,* установили, что коэфициент расхода насадков зависит от напора H и возрастает с его увеличением. Характер возрастания—резкое увеличение коэфициента расхода в начале увеличения напора и затем, при дальнейшем повышении напора,—более медленное его изменение.

В отношении же конически-сходящихся насадков известно, что коэфициент расхода не зависит от H (при изменениях H в значительных пределах) и остается почти постоянным. Это ценное свойство конически-сходящихся насадков дает возможность применить их в качестве водомера.

К сожалению, опытов над конически-сходящимися насадками, до сих пор произведено мало. В работе инж. М. З. Абрамова** систематизировавшего все имеющиеся по этому вопросу сведения,

---

* См. годовой отчет Саниири за 1935 г. (разд. Исследование водовыпусков), а также статью инж. М. З. Абрамова в трудах МИИТ, вып. XI, 1929.

** М. З. Абрамов. Гидравлические свойства насадков. Труды МИИТ, вып. XI, 1929.

приводятся лишь данные опытов Кастеля 1837 г. над коническисходящимися насадками. Результаты этих опытов приведены в табл. 2.

Инж. М. З. Абрамов производил опыты со сходящимся насадком с размерами D = 50 мм, d = 20,3 мм, l = 59,9 мм (D — входной диаметр насадка, d — выходной, l — длина насадка). Опыты проводились при свободном истечении. Результаты их приводим в табл. 3.

Таблица 2

Насадки диаметром в 1,55 см и длиной в 4 см				Насадки диаметром в 2 см и длиной в 5 см			
Угол конусности		μ	φ	Угол конусности		μ	φ
0°	0	0,829	0,830	—		—	—
1	36	0,866	0,866	2°	50	0,914	0,906
3	10	0,895	0,894	—		—	—
4	10	0,912	0,910	—		—	—
5	20	0,924	0,920	5	26	0,930	0,928
7	52	0,929	0,931	6	54	0,938	0,938
8	58	0,934	0,942	—		—	—
10	20	0,938	0,950	10	30	0,945	0,953
12	4	0,942	0,955	12	10	0,949	0,957
13	24	0,946	0,962	13	40	0,956	0,964
14	28	0,941	0,966	—		—	—
16	36	0,938	0,972	15	2	0,949	0,967
19	28	0,924	0,970	18	10	0,939	0,970
21	0	0,918	0,971	—		—	—
23	0	0,913	0,974	23	4	0,930	0,973
29	58	0,896	0,975	—		—	—
40	20	0,869	0,98	33	52	0,92	0,979
48	50	0,847	0,984	—		—	—

Таблица 3

Напор	Расход в литрах	Средний коэфициент расхода
0,050	0,284444	0,8878
0,100	0,400000	0,8822
0,200	0,569009	0,8875
0,300	0,697945	0,8889
0,400	0,805941	0,8891
0,500	0,899305	0,8872
0,600	0,986948	0,8887
0,700	1,062777	0,8860
0,800	1,138611	0,8882
0,900	1,205246	0,8863
1,000	1,274167	0,8887
1,100	1,310924	0,8853
1,400	1,508059	0,8890
1,800	1,694167	0,8809

Таким образом, до сих пор опыты проводились с насадками сравнительно малых диаметров (Кастель при d = 15 мм и d = 20 мм, а Абрамов — при 20,3 мм) и только при свободном истечении.

Эти условия не соответствуют требованиям практики учета расходов воды, и посему было необходимо дальнейшее изучение гидравлических свойств насадков практических размеров, работающих как при свободном, так и при затопленном истечении,

Для исследования мы запроектировали и изготовили в мастерской Саниир и насадки следующих размеров:

У малого (первого) насадка $D = 25$ см, $d = 10$ см, $l = 29$ см, $\alpha = 29°$.

У большого (второго) насадка $D = 40$ см, $d = 22$ см, $l = 39$ см, $\alpha = 26°$, где D — входной диаметр, d — выходной диаметр, l — длина насадка, α = угол конусности.

Методика исследований принята наиболее отвечающей полевым условиям натуры (размеры насадков, расходы и напоры). Исследования насадков заключались:

1. В определении коэфициента расхода при разных напорах как при свободном, так и при затопленном истечении.

2. Выявлении зависимости коэфициента расхода от размера насадка и от положения отметки дна перед насадком. Определение коэфициента расхода производилось по формуле

$$\mu = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gh}} \qquad (40)$$

где: $h = H$ — для свободного истечения и $h = z$ для затопленного истечения,

Q = расход воды, измеренный водосливом Чиполетти,

ω — площадь наименьшего сечения насадка,

H — напор над осью насадка,

z — перепад, разность горизонтов воды верхнего и нижнего бьефов.

Число повторений для каждого расхода принято равным 2—3. Количество расходов для малого насадка — 12, для большого — 22. Опыты состояли из двух серий:

Серия А — кромка входного сечения возвышается над дном верхнего участка канала для большого насадка на $a = 30$ см, для малого насадка — на $a = 35$ см.

Серия Б — дно верхнего бьефа сделано на уровне нижней кромки входного сечения насадка, это соответствует случаю заиления верхнего участка канала.

Результаты исследований.

Серия А. Верхний бьеф не заилен.

1. Насадок малого размера—$D = 25$ см, $d = 10$ см, $l = 29$ см, $\alpha = 29°$.

Результаты опытов (окончательные данные) приведены в табл. 4.

2. Насадок большого размера—$D = 40$ см, $d = 22$ см, $l = 39$ см, $= 26°$.

Результаты опытов приведены в табл. 5.

Таблица 4

Расход Q л/сек. по водослив. Чиполетти	h см	Коэффициент расхода μ
Свободное истечение		
11,0	14,0	0,847
12,0	16,5	0,850
12,5	17,0	0,867
14,0	21,5	0,862
15,5	26,2	0,861
17,0	30,5	0,875
19,0	37,5	0,883
	Средний	**0,863**
Затопленное истечение		
12,0	12,9	0,950
13,0	15,0	0,955
14,0	17,5	0,960
15,5	21,5	0,955
17,0	25,3	0,960
	Средний	**0,956**

Таблица 5

Расход л/сек.	h см	Коэффициент расхода μ
Свободное истечение		
60,0	17,6	0,85
64,0	19,6	0,86
70,0	24,2	0,85
	Средний	**0,853**
Затопленное истечение		
35,0	4,8	0,950
36,5	5,3	0,948
40,5	6,4	0,952
51,5	6,8	0,950
43,0	7,2	0,952
50,0	10,0	0,947
55,0	11,9	0,952
56,5	12,5	0,951
61,0	14,9	0,945
66,0	17,4	0,946
71,0	20,2	0,945
	Средний	**0,95**

Серия Б. Исследование влияния заиления верхнего бьефа. Для выявления зависимости коэфициента расхода от положения отметки дна канала перед насадком были проведены опыты с повышением отметки дна до отметки нижней кромки вход-

ного сечения насадка, в соответствии с предположением о возможности заиления дна канала перед насадком до этой отметки.

Таблица 6

Q л/сек.	h см	μ
Свободное истечение		
60,0	17,7	0,850
64,0	19,8	0,857
	Средний	**0,853**
Затопленное истечение		
36,0	5,0	0,956
49,5	6,3	0,960
45,0	8,0	0,950
50,5	10,2	0,945
56,0	12,4	0,950
61,0	15,0	0,940
	Средний	**0,951**

Кроме того, для выяснения возможности засорения наносами насадка, мы провели опыты с искусственным забрасыванием насадка песком и мусором. Наблюдения показали, что все наносы и мусор проносятся через насадок без задержки.

Скорости в насадках в малом сечении были $v_{max} = 1{,}85$ м/сек, $v_{min} = 1$ м/сек.

Результаты опытов по определению коэфициента расхода при отметке порога на уровне отметки нижней кромки входного отверстия насадка приведены в табл. 6.

Нашими опытами установлено также, что с изменением угла конусности коэфициент расхода изменяется незначительно, в то время как характер истечения на изменении коэфициента расхода сказывается более сильно (см. табл. 7).

Таблица 7

Насадки	Коэфициент расхода		Разница	Процент отклонения
	свободное	затопленное		
Малый d=10 с α=29°	0,863	0,956	0,093	10,8
Большой d=22 с α=26°	0,853	0,950	0,097	11,3
Разница	0,010	0,006		
Проц. отклонения	1,2	0,6		

Как видно из табл. 7, при разнице углов конусности, равной 3°, отклонение коэфициента расхода достигает 1,17%, что практически не имеет значения. Это обстоятельство согласуется с данными опытов Кастеля, у которого при упомянутой разнице в 3° коэфициент расхода имеет отклонение в среднем на 1,3%.

Нашими исследованиями, также как и опытами Кастеля и Абрамова, установлено, что с увеличением диаметра насадка коэфициент расхода снижается (см. табл. 8).

Таблица 8

Опыт	Диаметр мм	Коэфициент расхода	Процент отклонения
Кастель	15,5	0,896	0
Кастель*	20,0	0,910	+1,56
Абрамов	20,3	0,887	−1,00
Санииpи	100,0	0,863	−3,70
Санииpи	220,0	0,853	−4,80

Кроме того, исходя из практических соображений (практически легко выполнимые формы насадков, возможность изготовления их из дерева и др.), мы проводили исследования по выявлению водомерных свойств сходящихся насадков квадратного и прямоугольного сечения следующих размеров:

1. Сходящийся насадок квадратного сечения:

$$a = 7{,}7 \text{ см}, \quad A = 16{,}2 \text{ см}, \quad l = 14{,}7 \text{ см}.$$

При проектировании этого насадка приняты примерно те же соотношения, которые были у насадков круглого сечения, т. е.

$$\frac{D}{d} = \frac{A}{a} = 1{,}92 \qquad \frac{l}{d} = \frac{l}{a} = 2.$$

2. Насадок прямоугольного сечения:

$A = 15{,}3$ см, $a = 8{,}2$ см,
$B = 23{,}5$ см, $b = 16{,}4$ см, $l = 23{,}5$ см,

где a — высота выходного сечения, A — высота входного сечения,
b — ширина выходного сечения, B — ширина входного сечения,
l — длина насадка.

При назначении этих размеров за основу принят одинаковый угол конусности как по горизонтали, так и по вертикали.

Примечание. Приведенные размеры соответствуют фактическим размерам насадков после их изготовления.

Полученные при исследованиях данные по определению коэфициента расхода для насадков как квадратного, так и прямоугольного сечения, сведены в табл. 9.

Как видно из этой таблицы, величина коэфициента расхода как для квадратного, так и для прямоугольного сечения насадков в среднем равна 0,920.

Коэфициент расхода практически не зависит от напора, т. к. отдельные отклонения от среднего коэфициента расхода не превышают 2—3%.

Работа водомерных насадков проверена экспедицией Санииpи в производственных условиях. Результаты исследований приведены в табл. 10.

---

* Без учета v_0.

Таблица 9

Разность z см	$\sqrt{z}$ м	Q м³/сек	μ	Примечание
I. Насадок квадратного сечения				
0,3	0,054	0,0013	0,910	Площадь выходного сечения:
1,6	0,126	0,0031	0,930	
4,0	0,200	0,0048	0,915	
4,95	0,223	0,0053	0,905	
8,85	0,298	0,0072	0,920	$\omega = 0{,}077 \times 0{,}077 = 0{,}00593$ м,
9,65	0,310	0,0075	0,920	
15,20	0,390	0,0095	0,925	
19,60	0,442	0,0105	0,910	
20,54	0,454	0,0111	0,930	
23,24	0,481	0,0115	0,915	$\mu = \frac{Q}{0{,}0263\sqrt{z}}$
25,50	0,505	0,0125	0,935	
		Средний	**0,92**	
Наибольш. отклон. от средн μ=2%.				
II. Насадок прямоугольного сечения				
0,87	0,0932	0,00535	0,945	
1,55	0,1.5	0,00725	0,930	
2,40	0,155	0,0090	0,910	Площадь выходного сечения:
3,57	0,189	0,0104	0,920	
4,42	0,211	0,0115	0,915	
5,0	0,224	0,0125	0,930	$\omega = 0{,}164 \times 0{,}082 = 0{,}0135$ м².
6,0	0,245	0,01325	0,910	
7,12	0,268	0,0146	0,915	
7,10	0,267	0,01465	0,920	
12,82	0,357	0,021	0,910	
		Средний	**0,92**	$\mu = \frac{Q}{0{,}06\sqrt{z}}$
Наибольшее отклонение от среднего $\mu = 3\%$.				

Таблица 10

Дата замера	Q по водослив. Чиполетти	$\omega_{вых}$	z	μ	Процент отклонения от $\mu = 0{,}925$
Насадок d = 30 см					
13. VII	65,0	0,0895	0,03	0,945	+ 2,2
	65,0	0,0895	0,03	0,945	+ 2,2
	65,0	0,0895	0,03	0,945	+ 2,2
	90,0	0,0895	0,06	0,927	+ 0,2
	90,0	0,0895	0,06	0,927	+ 0,2
	102,0	0,0895	0,077	0,923	— 0,2
	66,0	0,0895	0,035	0,890	— 4,0
	67,0	0,0895	0,035	0,900	— 2,2
	67,5	0,0895	0,035	0,913	— 1,0
	68,5	0,0895	0,035	0,924	0,0
	68,6	0,0895	0,035	0,921	— 0,3
	67,5	0,0895	0,035	0,913	— 1,0
	67,5	0,0895	0,035	0,913	— 1,0
				Средний	**0,924**



Рис. 50.

Как видно, полученные данные вполне согласуются с данными лабораторных исследований.

На рис. 50 показана работа водомерного насадка в производственных условиях.

ВЫВОДЫ.

На основании произведенных исследований можно притти к следующим общим выводам:

1. Коэфициент расхода сходящегося насадка постоянен для данной формы при условии наличия одного из видов истечения (свободного или затопленного).

2. Коэфициент расхода зависит от вида истечения, причем для затопленного истечения он больше чем для свободного.

3. Коэфициент расхода не зависит от положения отметки дна перед насадком; следовательно, водомерность насадка сохраняется при возможном заилении верхнего бьефа.

4. Наносы в трубе не задерживаются, а проносятся в нижний бьеф; мелкий мусор и даже значительные пучки травы не создают затруднений.

5. Исходя из практических условий применения насадков для учета расхода воды, их следует рекомендовать при наличии затопленного истечения, т. к. тогда их можно применять на мелкой ирригационной сети независимо от уклона и заиляемости канала (малые потери напора, заиление канала не нарушают водомерных свойств).

6. При работе насадков при свободном истечении требуются во-первых, большие перепады, а, во-вторых, диапазон колебания расхода ограничен (насадок должен работать всегда полным сечением).

На основании изложенных выше соображений в практических предложениях мы будем иметь в виду только затопленное истечение.

7. Коэфициент расхода для насадков круглого сечения практически можно принять равным 0,95.

8. Коэфициент расхода для насадков квадратного и прямоугольного сечения — 0,92.

Практическое применение и условия эксплоатации водомерных насадков.

В результате приведенных выше исследований мы разработали следующие правила и условия по устройству и применению сходящихся насадков для учета расхода воды на каналах колхозного значения*.

1. Сходящиеся насадки применимы на ирригационных каналах колхозного значения (до 500 л/сек.).

2. При разработке стандартных размеров их (табл. 11 и 12) приняты следующие соотношения и формулы:

для насадков круглого и квадратного сечения

$$D = 1{,}92d \quad l = 2d \tag{41}$$

где d — диаметр или сторона квадрата выходного сечения,
D — диаметр или сторона квадрата входного сечения,
l — длина насадка;

для насадка прямоугольного сечения

$$b = 2a;\ A = a + 0{,}3 \cdot l = 1{,}9a$$
$$l = 3a;\ B = b + 0{,}3 \cdot l = 2{,}9a \tag{42}$$

где a — высота выходного сечения насадка
b — ширина „ „
A — высота входного сечения
B — ширина „ „
l — длина насадка.

Формулы расхода:

для круглого сечения $Q = 3{,}3d^2 \sqrt{Z};$ (43)

для квадратного и прямоугольного сечения

$$Q = 4{,}1\ \omega \sqrt{Z} \tag{44}$$

где ω — площадь выходного сечения
Z — разность уровней.

Конструкции водомерных насадков приведены на типовых чертежах и состоят из щита, сплоченного из 5-сантиметровых досок, и из вделанного в него сходящегося насадка круглого (рис. 51) или квадратного, прямоугольного (рис. 52) сечения. В первом

---

* Более подробно см. инструкцию автора в Трудах Санирри (вып. № 48) за 1938 г. „Устройство и эксплоатация колхозных водомерных насадков для учета расхода воды".

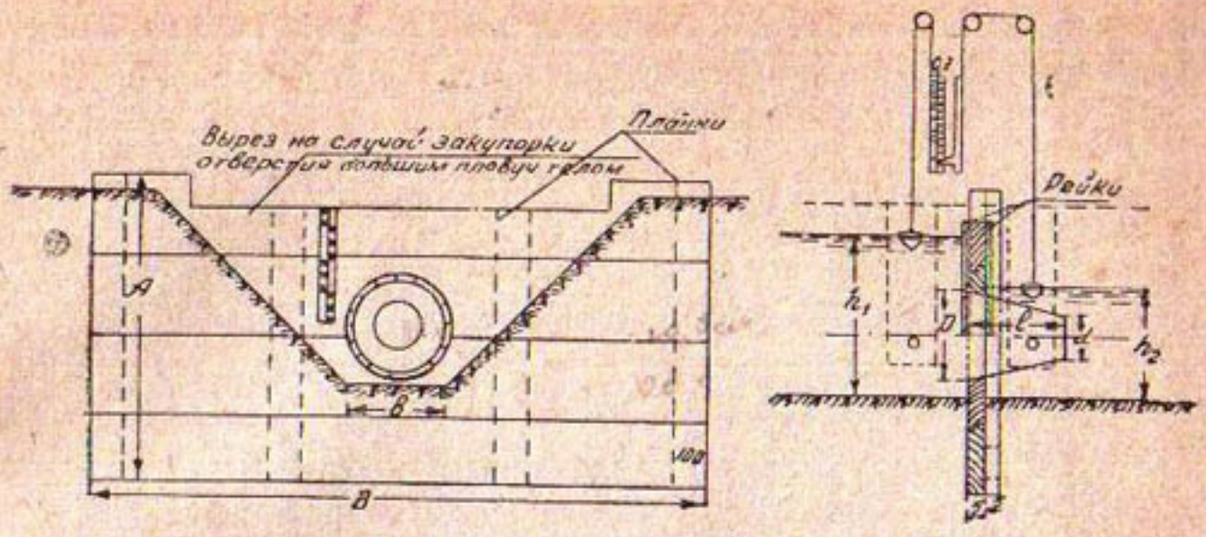


Рис. 51. Типовой чертеж колхозного водомера-насадка со схемой указателя.

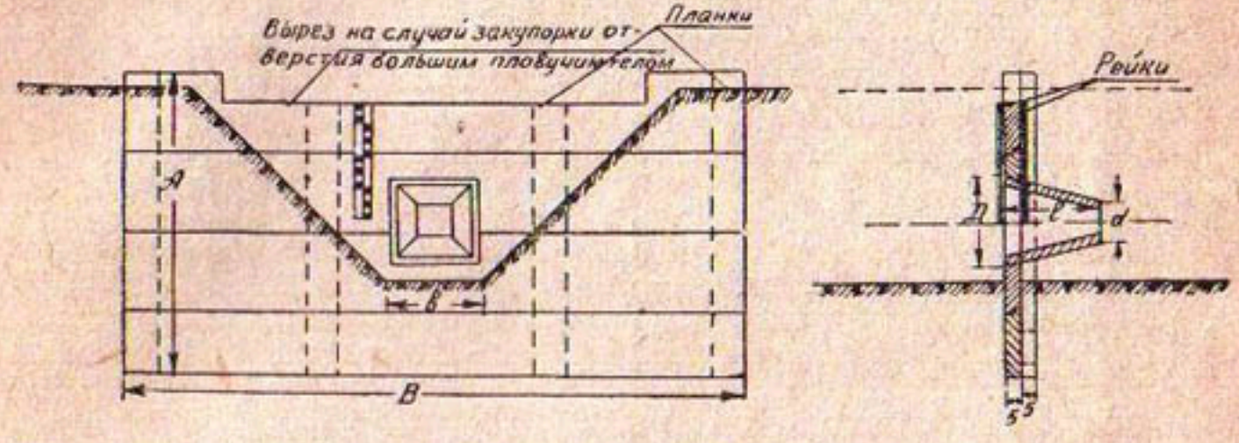


Рис. 52. Типовой чертеж колхозного водомера-насадка.

случае насадок изготовляется из 1—2 мм железа, а во втором — из досок 3—5 см, причем необходимо обеспечивать водопроницаемость насадка (шпунты, шпаклевка).

Размеры щита назначаются в зависимости от размеров канала, с тем чтобы щит врезывался в дно и откосы, для предотвращения фильтрации и подмыва его водой.

К щиту со стороны верхнего и нижнего бьефа прикрепляются рейки (желательно с 2-мм делениями) для отсчетов уровней воды. Нули реек должны быть точно совмещены с горизонтальной плоскостью, проходящей через ось насадка. Насадок вделывается в щит перпендикулярно последнему. Сверху щита делается вырез на всю ширину его для сбрасывания воды в случае закупорки отверстия большим плавающим телом.

Для изготовления водомерных насадков могут служить не только дерево, но и другие материалы (бетон, гончарные и др.). Предел применения насадков можно увеличить, смонтировав на щите 2—3 насадка, оси которых при этом должны находиться в одной горизонтальной плоскости. Расстояние между осями должно быть не менее двух входных диаметров.

3. При установке водомерного насадка выбирается прямой участок канала. В середине его вырывается траншея, в которой стро-

Таблица 11

Стандартные размеры насадков круглого и квадратного сечения в зависимости от пропускной способности

№№ станд.	d см	D см	l см	Z_{max} см	Пропускная способность л/сек
	1. Насадок круглого сечения.				
1	10	20	20	20	15
2	1	29	30	20	35
3	20	38	40	25	70
4	25	48	50	25	100
5	30	57	60	25	150
6	35	67	70	25	200
7	40	76	80	25	300
	2. Насадок квадратного сечения.				
1	10	20	20	20	20
2	15	29	30	20	45
3	20	38	40	25	85
4	25	48	50	25	130
5	30	57	60	25	190
6	35	67	70	25	260
7	40	76	80	25	330

Таблица 12

Стандартные размеры насадков прямоугольного сечения в зависимости от Q_{max} и Z

№№ стандартов	a	b	A	B	l	Z	Q_{max}
1	10	20	19	29	30	20	37
2	15	30	29	44	45	20	82
3	20	40	38	58	60	25	165
4	25	50	47	72	75	25	250
5	30	60	57	87	90	25	370
6	35	70	66	101	105	25	500

Размеры — в см.
Расход — в л/сек.

го вертикально по откосу и нормально к направлению течения канала устанавливается щит насадка. Щит должен быть заделан, с забивкой плотной глиной, в дно и откосы канала на глубину минимум 30 — 50 см. При этом для обеспечения затопления насадка необходимо, чтобы отметка верхнего края выходного отверстия была ниже минимального уровня в канале на величину минимум в 5 см.

4. Учет расхода воды производится по разности показаний между верхней и нижней рейкой ($H_1 - H_2 = Z$) по формуле: $Q = (4{,}2 \text{ или } 4{,}1)\ \omega \sqrt{Z}$ или по таблицам зависимости $Q = f(Z)$.

Для непосредственного учета расхода воды может быть использована вилка (см. рис. 53), предложенная сотрудником Саниири А. П. Вавиловым.

Заканчивая на этом описание водомерных насадков, следует отметить, что благодаря их простоте, дешевизне и хорошим водомерным свойствам они сравнительно быстро стали применяться в производстве на практике. К настоящему моменту таких установок на ирригационных системах насчитывается свыше 2000.

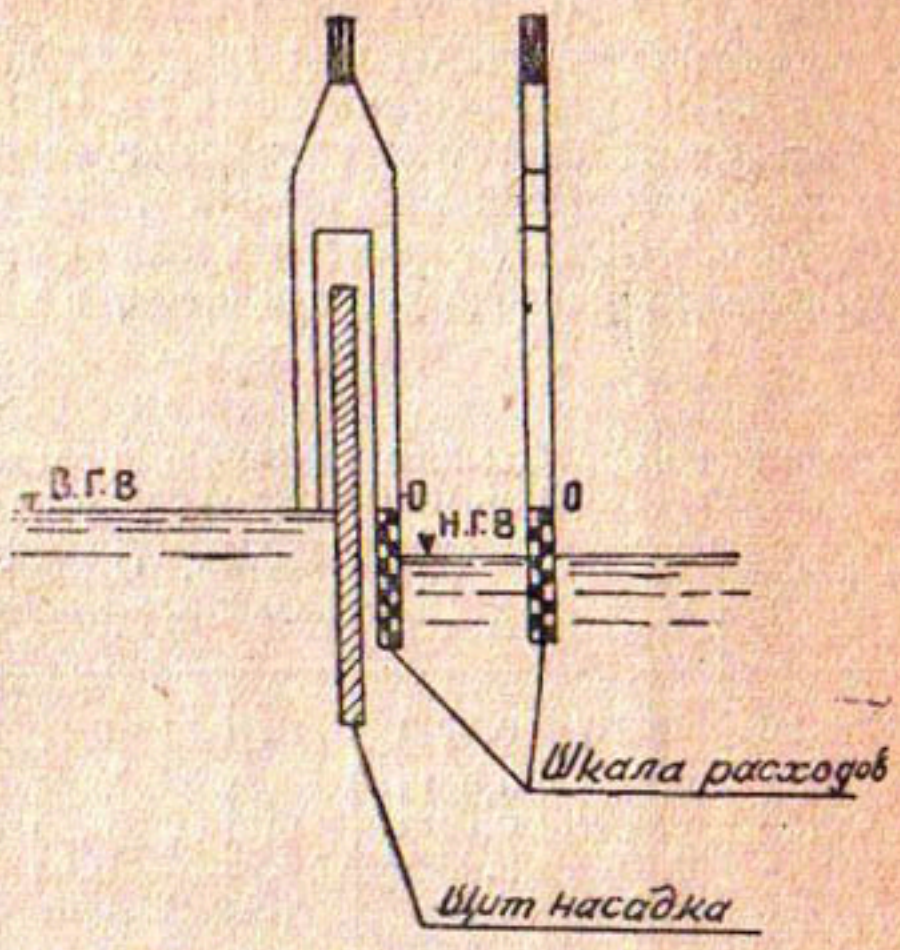


Рис. 53. Вилка для измерения расхода воды.

3. Открытый выпуск с водомерным насадком

Одним из основных требований, предъявляемых к водомерам, является возможность одновременного учета и распределения воды на одном сооружении. Поэтому после установления положительных водомерных свойств сходящихся насадков наши исследования были направлены к тому, чтобы сделать их регулируемыми—путем присоединения к ним регулирующего щита. В задачу исследований входило:

1. Определение коэфициента расхода конструкции со щитом и без регулирующего щита.
2. Выбор расположения щита и удаление его от насадка.
3. Проверка водомерных свойств конструкции.
4. Разработка типовой конструкции.

Учитывая имеющийся в нашем распоряжении расход в 15 л/сек. мы запроектировали и изготовили насадки следующих размеров:

1. Насадок квадратного сечения: $a = 7{,}7$ см, $A = 16{,}2$ см, $l = 14{,}7$ см.

2. Насадки прямоугольного сечения: $a = 8{,}6$ см, $A = 15{,}3$ см, $l = 23{,}5$ см, $b = 17{,}2$ см, $B = 23{,}5$ см.

Размер регулировочного щита в свету $W = 40$ см.

Опыты (двух, а иногда и трехкратной повторности) и состояли главным образом в определении устойчивости коэфициента расхода в зависимости от действующего напора (Z) при наличии регулирующего щита, причем щит устанавливался как впереди, так и позади насадка.

В дальнейшем мы располагаем описание опытов в порядке их проведения. Окончательные результаты даны в сводных таблицах.

Насадок квадратного сечения. Опыты производились при двух расположениях щита — удалении его от насадка на расстояние в 0,60 м и на 1,00 м ($4l$ и $6l$) ниже насадка.

Результаты опытов при удалении щита на 0,60 м приведены в табл. 13 и при удалении щита на 1,00 м — в табл. 14.

Результаты опытов указывают на устойчивость коэфициента расхода при изменении напора Z как при наличии регулирующего щита, так и без него. В среднем практически можно принять коэфициент расхода равным 0,923, с ошибкой не более чем на 3%.

Таблица 13

Таблица по определению коэфициента расхода для насадка квадратного сечения (регулир. щит ниже насадка на расстоянии $L=4l=0{,}60$ м.)

Разность Z см	$\sqrt{Z}$ м	Q м³/сек.	Коэфиц. расхода μ	Открытие щита hщ м	Примечание
0,30	0,0547	0,0013	0,91	б/щ	Площадь выходного сечения: $0{,}077 \times 0{,}077 = 0{,}00593$ м²
0,32	0,0565	0,0013	0,89	0,25	
0,30	0,0547	0,0013	0,91	0,20	
0,26	0,051	0,0125	0,93	0,05	
1,60	0,1265	0,0031	0,93	б/щ	
1,50	0,1225	0,0031	0,95	0,25	$\mu = \frac{Q}{\omega\sqrt{2g}\sqrt{Z}} =$
1,50	0,1225	0,0031	0,95	0,20	
1,45	0,121	0,003	0,94	0,12	
1,40	0,1185	0,0029	0,925	0,05	$= \frac{Q}{0{,}0263\sqrt{Z}}$
4,00	0,200	0,0048	0,915	б/щ	
3,75	0,194	0,0048	0,935	0,25	
3,75	0,194	0,0048	0,935	0,20	
4,95	0,223	0,0053	0,905	б/щ	
4,85	0,220	0,0053	0,92	0,25	
4,70	0,217	0,0053	0,93	0,20	
4,55	0,213	0,0052	0,925	0,12	
3,80	0,195	0,0049	0,95	0,05	
9,65	0,310	0,0075	0,92	б/щ	
8,75	0,296	0,0071	0,915	0,12	
7,60	0,275	0,0066	9,915	0,05	
19,6	0,4425	0,01055	0,91	б/щ	
18,55	0,430	0,01035	0,915	0,25	
18,65	0,432	0,01035	0,910	0,20	
17,80	0,422	0,01017	0,915	0,12	
15,50	0,394	0,0094	0,91	0,05	
20,54	0,454	0,0111	0,93	б/щ	
19,63	0,444	0,0107	0,92	0,12	
16,29	0,404	0,0098	0,92	0,05	
23,24	0,481	0,0115	0,915	б/щ	

Средний—0,925
Средний б/щ—0,920
Средний со щитом—0,925
Отклонение от среднего—3%.

Таблица 14

Таблица по определению коэфициента расхода для квадратного насадка (регул. щит ниже насадка на расстоянии $L = 6l = 1$ м).

Z см	$\sqrt{Z}$ м	Q	μ	$b_{щ}$	Примечание
4,33	0,208	0,005	0,91	б/щ	Площадь выходного сечения: $0{,}077 \times 0{,}077 = 0{,}00593$
4,05	0,202	0,0048	0,90	0,12	
3,37	0,184	0,0043	0,89	0,05	Рабочая формула: $\mu = \frac{Q}{0{,}0263\sqrt{Z}}$
8,85	0,298	0,0072	0,92	б/щ	
8,03	0,283	0,00685	0,92	0,12	
6,70	0,258	0,00615	0,91	0,05	
15,20	0,390	0,0095	0,925	б/щ	
15,55	0,394	0,0095	0,915	0,20	
14,47	0,3800	0,00935	0,935	0,12	
12,06	0,347	0,0083	0,91	0,05	
23,17	0,480	0,0113	0,905	б/щ	
22,13	0,470	0,011	0,89	0,12	
25,50	0,505	0,0125	0,935	б/щ	
25,32	0,504	0,0125	0,94	0,20	
24,40	0,493	0,0123	0,94	0,12	
		Средний	0,92		

Отклонение от среднего—3%.

При расположении щита ближе чем на 60 см ($4l$) между щитом и насадком создается бурный режим с колебанием уровня в 6—7 мм, что может на практике привести к сравнительно большим ошибкам. Кроме того, при очень близком расположении щита, на коэфициент расхода, очевидно, влияет удар струи (из насадка) о щит. Поэтому мы считаем, что при расположении щита ниже насадка он должен быть удален от последнего минимум на $4l$ ($2\ H_{max}$).

Из практических соображений не следует допускать расположения щита ниже насадка, т. к. в этом случае насадок все время будет находиться в воде и затруднится промывка подходной части от наносов.

В дальнейшем приводятся опытные данные для регулируемого сходящегося насадка прямоугольного сечения с расположением щита только впереди насадка.

Насадок прямоугольного сечения. С расположением щита впереди насадка на расстоянии 1,25 м (∞ $2\ H_{max}$).

Данные опытов приведены в таблице 15 (см. стр. 80).

Как видим из таблицы, значение коэфициента расхода и в этом случае вполне устойчиво и в среднем равно 0,920 с наибольшим отклонением в 2%.

При назначении расстояния щита от насадка (L) следует исходить из максимального напора перед щитом (H_{max}) при наимень-

Таблица 15

Таблица по определению коэфициента расхода насадка прямоугольного сечения. Регулирующий щит расположен выше насадка на L = 1,25 м. (2 H_{max}).

Z см	$\sqrt{Z}$ м	Q м³/сек.	μ	$h_ш$ м	Примечание
0,70	0,0837	0,0051	0,930	б/щ	Площадь выходного сечения: 0,172 × 0,086 = 0,148 м.²
1,38	0,117	0,0063	0,900	"	
2,31	0,152	0,0098	0,940	"	
1,69	0,130	0,0075	0,900	"	
3,50	0,187	0,0113	0,925	"	
6,25	0,248	0,0148	0,920	"	$\mu = \frac{Q}{0{,}065 \cdot \sqrt{Z}}$
6,86	0,262	0,0152	0,900	"	
12,8	0,357	0,0210	0,910	"	
4,68	0,217	0,0129	0,915	0,270	
4,46	0,211	0,0123	0,900	0,12	
3,90	0,197	0,0117	0,915	0,06	
1,91	0,138	0,0083	0,93	0,27	
3,43	0,185	0,0112	0,92	0,27	
3,09	0,176	0,0106	0,93	0,06	
		Средний	0,920		

Отклонение от среднего—2%.

Таблица 16

Отметки уровня			Колебание		Расстояние от насадка L	$h_ш$	Примечание
расстояние от насадка	h_{min} см	h_{max} см	△ см	Q л/сек.			
10	42,20	42,00	0,2	11,0		наименьшее	Движение спокойное
30	41,95	41,60	0,35				
50	41,80	41,60	0,20		120 (2 H_{max})		
75	41,90	41,80	0,10				
100	41,95	41,80	0,15				
10	41,50	42,10	0,60				Движение спокойное, у щита насадка имеются завихрения (шапка)
30	42,00	41,80	0,20	"	80	"	
50	42,15	41,85	0,30				
70	42,15	41,80	0,35		(1,3 H_{max})		
10	41,70	40,80	0,90				Движение бурное
30	41,10	40,70	0,40	"	60		
50	41,60	41,00	0,60		(1,0 H_{max})		

шем открытии ($h_ш$) его. В нашем случае H_{max} был равен 0,60 м при открытии щита $h_ш$ = 0,05 м.

Для определения наилучшего расстояния рассмотрим данные следующих наблюдений (см. табл. 16).

Анализируя данные этой таблицы, следует притти к заключению, что расстояние щита от насадка нужно назначать не меньше 2 H_{max}. Непосредственное определение коэфициента расхода при

указанных в таблице расстояниях (L) в среднем также дает величину порядка 0,920, но отдельные наблюдения (при $L = 60—80$ см) дают отклонение от среднего значения до 6—7%.

Большие колебания уровня могут на практике привести к сравнительно большим ошибкам.

На основании всех приведенных выше исследований можно сделать общий вывод, что коэфициент расхода как для квадратного, так и для прямоугольного насадка при разном расположении щита (выше и ниже насадка) имеет практически постоянную величину. В сводной табл. 17 приводим значения средних коэфициентов расхода, полученных в результате наших исследований.

Таблица 17

Форма насадка	Основн. разм. насадка					Расположение щита		$\mu_{ср}$
	A	B	a	b	l			
Квадр. сечен.	16,2	16,2	7,7	7,7	14,7	ниже	60 см	0,925
"	"	"	"	"	"	"	100 см	0,920
Прямоуг. "	15,3	23,5	8,6	17,2	23,5	выше	125 см	0,920
							Средний	0,922

Практическое применение и эксплоатация.

1. Описание конструкции. В результате произведенных исследований нами разработана типовая деревянная конструкция открытого выпуска с водомерным насадком (см. рис. 54), в основном состоящая из передней стенки со щитом, лотка, насадка и задней стенки.

Передняя стенка изготовляется из досок, толщиной в 5 см, ширина и высота стенки назначаются в зависимости от глубины заложения порога и размеров канала. Передняя стенка в отношении пазовой конструкции в зависимости от ширины лотка представлена в двух вариантах. Это сделано в целях возможности применения простых щитов с ручным подъемом.

Лоток изготовляется из досок в 4 — 5 см, с рамками из брусков (6 × 8), расположенными через один метр. Доски пришиваются к рамкам снаружи.

Насадок со щитом делается из 4—5-сантиметровых досок и вставляется в пазы, в конце лотка, причем во избежание фильтрации обеспечивается хорошее уплотнение. Такое раздельное устройство дает возможность производить очистку лотка от наносов и удобно в случае ремонта. Рейки для отсчета уровней воды пришиваются или на щите насадка, или на планках, образующих паз.

Все размеры сооружения в зависимости от стандарта приведены в табл. 18.

Таблица 18

Для подбора размеров сооружений в зависимости от Q и Z

Насадок квадратного сечения											Конструкция передн. стенки
a	b	A	B	l	Q при Z			W	$W_ш$	L_2	
					10	15	20				
10	10	20	20	20	13	16	18	40	30	40	По второму варианту
15	15	29	29	30	30	36	41	50	40	60	
20	20	38	38	40	52	65	74	72	60	80	
25	25	48	48	50	81	100	115	82	70	100	
30	30	57	57	60	120	143	165	100	50	120	По первому варианту
35	35	67	67	70	160	195	225	120	60	140	
40	40	76	76	80	210	250	300	135	60	160	
Насадок прямоугольного сечения											
10	20	19	29	30	26	32	37	50	40	60	По второму варианту
15	30	29	44	45	60	70	82	80	68	90	
20	40	38	58	60	100	127	150	100	50	120	По первому варианту
25	50	47	72	75	160	200	230	125	60	150	
30	60	57	87	90	235	285	330	150	60	180	
35	70	66	101	105	320	390	450	175	60	200	

Примечания. 1. Длина лотка $L_1 = 3Z_{1max} \geqslant 3(H_ф - A - 10)$

2. Высота лотка $h_л = H_ф + p_2 + Z_р + 30$

3. Размеры даны в см, расходы—в л/сек.

Вышеописанная конструкция рекомендуется как стандартная (типовая) в случае устройства новых выпусков. Вообще подобные водомеры возможно делать и из других материалов (кирпич, бетон) с применением гончарных или бетонных насадков.

Можно также насадок приспособить и к существующим неводомерным выпускам, соблюдая следующие условия:

1) чтобы от насадка до щита выпуска было не меньше тройного максимального напора перед щитом,

2) чтобы насадок с нижнего бьефа всегда был затоплен.

2. Расчет и определение размеров сооружения. Для проектирования регулируемых водомерных насадков можно пользоваться формулой расхода $Q = 4{,}1\ \omega \sqrt{Z}$.

По этой формуле, при условии пропуска максимального расхода при расчетном Z, определяется площадь выходного отверстия насадка:

$$\omega = \frac{Q}{4{,}1\sqrt{Z}}$$

Далее, имея в виду приведенные ниже соотношения:

а) для насадка квадратного сечения

$$a = \sqrt{\omega}\quad A = 1{,}92a\quad l = 2a$$

б) для насадка прямоугольного сечения

$$a = \sqrt{\frac{\omega}{2}},\ b = 2a,\ l = 3a,\ A = a + 0{,}3\,l$$

$$B = b + 0{,}3\,l$$

определяются основные размеры сооружения.

открытый деревянный выпуск с водотерным насадком

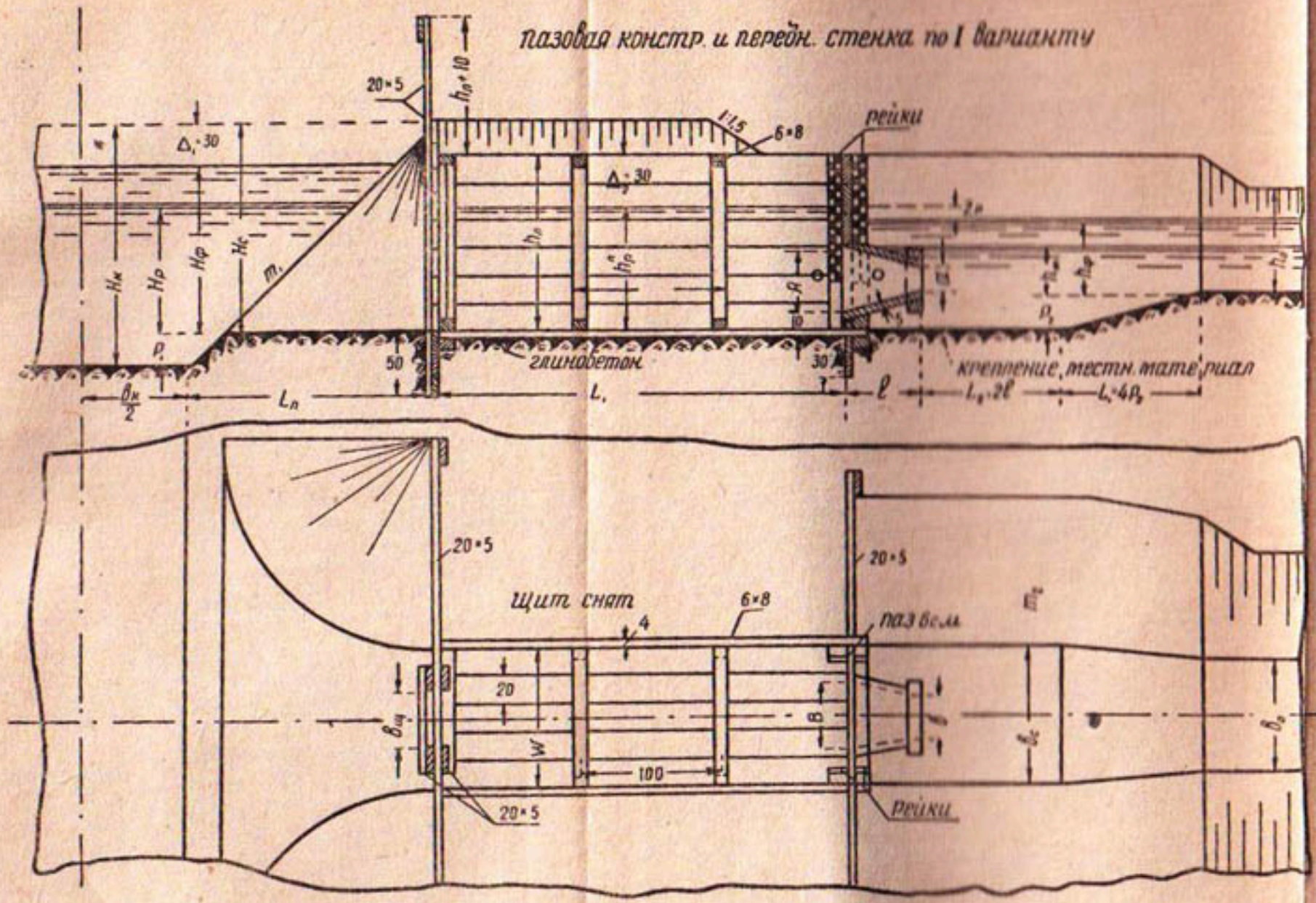


Рис. 54.

Отметка порога определяется по величине p_2 (возвышение дна отвода над дном лотка), которая равна:

$$p_2 = \frac{A + a}{2} + 20 - h_{min}.$$

Зная величину p_2, легко определить остальные размеры сооружения.

При выборе стандарта сооружения в зависимости от пропускной способности и допустимого перепада практически можно пользоваться составленной нами табл. 18.

3. Установка сооружения. По выбранному размеру (стандарту) водомерного выпуска заготовляются все части сооружения—передняя стенка, щит, лоток, насадок и задняя стенка.

В зависимости от расчетной отметки порога сооружения, в заранее подготовленном котловане производится сборка всех частей согласно чертежу (рис. 54).

4. Учет расхода воды производится так же, как и у нерегулируемых насадков, т. е. по таблицам $Q = f(Z)$.

4. Трубчатые водомерные выпуски.

В связи с исследованиями сходящихся насадков возникла мысль использовать принцип сужения для выработки трубчатого водомера-выпуска.

В процессе изучения этого вопроса оказалось возможным опереться на некоторые определенные теоретические положения.

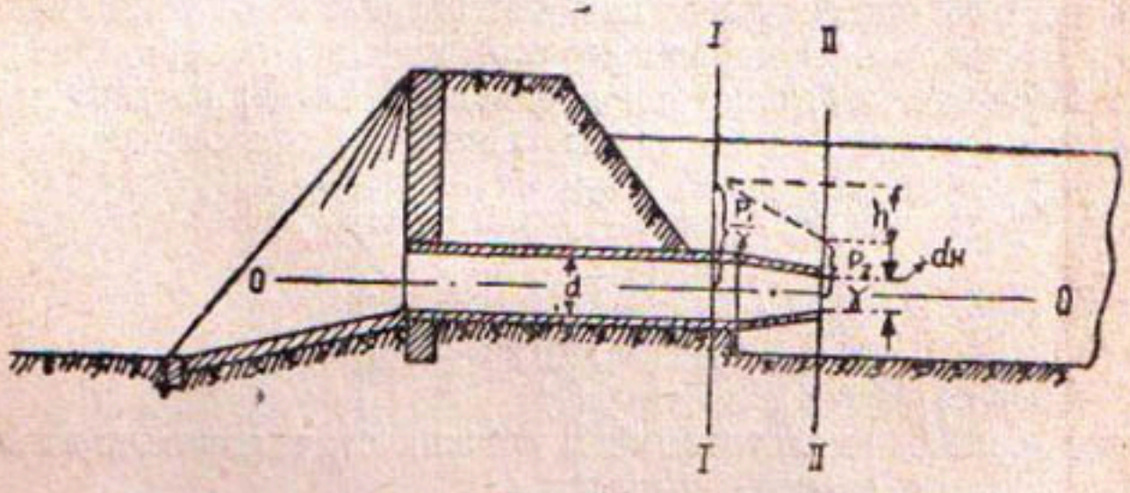


Рис. 55.

Действительно, если взять трубчатый выпуск и присоединить к нему сходящийся насадок (см. схему на рис. 55), то применяя уравнение Бернулли к сечениям I и II (нулевая линия ось выпуска), будем иметь:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_w;$$

h_w — потерями на трение на длине между I—II можно, ввиду их незначительности, пренебречь. Тогда получим:

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = h = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}$$

Заменяя v через $\frac{Q}{\omega}$, имеем:

$$h = \frac{Q^2}{2g\,\omega_2^2} - \frac{Q^2}{2g\,\omega_1^2} = \frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2}\right);$$

если обозначить $\frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} = \alpha = \text{Const}$,

тогда $h = \frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{\alpha}{\omega_2^2}\right) = \frac{Q^2}{2g\,\omega_2^2}\left(1 - \alpha\right)$,

откуда $Q = \sqrt{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{2g\,h}$ (45)

По этой формуле и работает данный водомер.

Рассматривая полученную формулу, видим, что в ней нет эмпирических величин, т. к. коэфициент $K = \sqrt{\frac{1}{1-\alpha}}$ зависит только от отношения квадратов площадей рассматриваемых сечений (I и II) и является постоянным для данного выпуска.

В этом и заключается ценное свойство водомера, т. к. он поддается теоретическому расчету и не требует никаких предварительных тарировок.

Формула 45 справедлива как для затопленного, так и для свободного истечения. В первом случае величина h определяется как разность уровней пьезометров в сечениях I и II; во втором случае она будет определяться по одному верхнему пьезометру, т. к. высота $\frac{P_2}{\gamma}$ будет всегда равна $\frac{d_н}{2}$ и тогда:

$$h = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{d_н}{2},$$

т. е. при свободном истечении h должна отсчитываться от верхней точки выходного сечения выпуска.

С целью проверки теоретических выводов и сравнения работы данного водомера с обычным трубчатым выпуском была исследована модель трубчатого водомерного выпуска прямоугольного сечения*. Модель запроектирована и построена в лаборатории ирригационных сооружений (см. рис. 56).

Водомерный выпуск, с которого взяты размеры модели, был рассчитан на расход $Q = 0{,}50$ м³/сек. при перепаде $Z = 0{,}10$ м.

Поперечное сечение трубы и насадка — прямоугольное, причем насадок постепенно суживался сверху и по бокам. У дна трубы и насадка одна горизонтальная плоскость.

---

* Вообще же нами проведены исследования и над выпусками круглого сечения—как при свободном, так и при затопленном истечении.

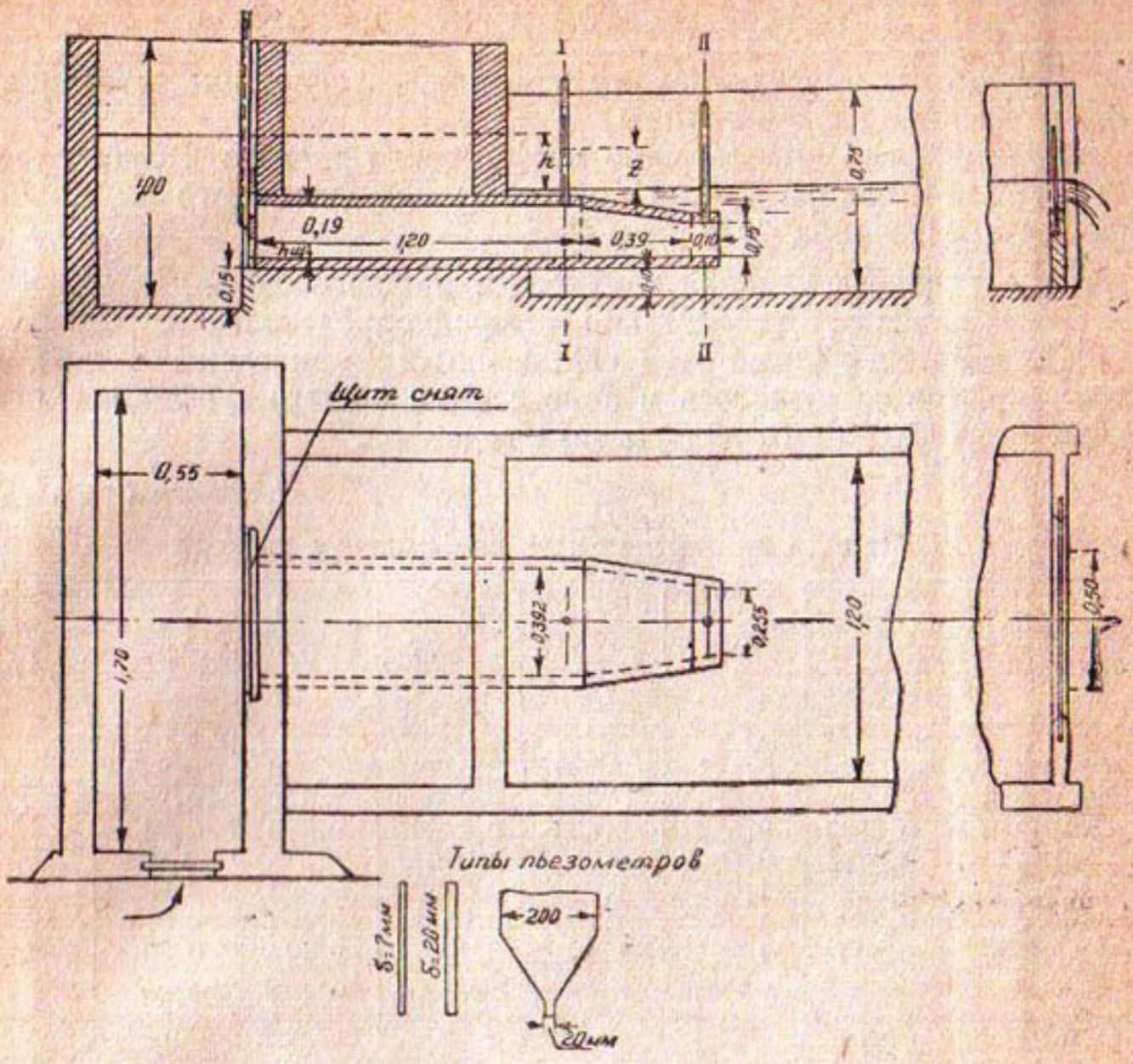


Рис. 56. Схематический чертеж модели трубчатого водомерного выпуска.

В основу проектирования взяты следующие соотношения:

$$\frac{a}{b}=\frac{A}{B}=\frac{1}{2},\quad \frac{a}{A}=\frac{b}{B}=\frac{1}{1{,}5},\quad l=B,\ L=3B \qquad (46)$$

В соответствии с ними размеры модели (исполнительные) были следующими:

$a = 0{,}13$ м, $A = 0{,}190$ м, $L = 1{,}20$ м
$b = 0{,}255$ м, $B = 0{,}392$ м, $l = 0{,}390$ м
угол схождения $\alpha = 9°30'$,

где a — высота выходного сечения, A — высота входного сечения
b — ширина „ „ B — ширина „ „ „
L — длина трубы до насадка, l — длина насадка.

Расход измерялся водосливом Чиполетти $b = 0{,}50$ м, установленным ниже модели.

В сечениях I и II устанавливались пьезометры разных диаметров и форм (см. рис. 56).

Описание опытов и их результаты.

Все опыты проводились только при затопленном истечении и были разбиты на две группы.

Группа I — по определению коэфициента расхода в зависимости от рабочего напора Z при полностью поднятом щите по обычной формуле истечения $Q = \mu\omega\sqrt{2gZ}$,

где Z — разность уровней верхнего и нижнего бьефа,

ω — площадь, относительно которой определялся μ.

Полученные данные этой серии опытов приведены в табл. 19. Цель опытов заключалась в определении общего коэфициента расхода μ, необходимого для расчета водомера.

Таблица 19

Таблица по определению коэфициента расхода

Q л/сек	Z м	$2gZ$	$\sqrt{2gZ}$	$\omega_1\sqrt{2g}Z$	μ_1	μ_2	$h_ш$ м
0,0107	0,006	0,118	0,343	0,0256	0.418	0,945	б/щ
0,01625	0,014	0,275	0,524	0 039	0,416	0,435	„
0,01975	0,0203	0,398	0,630	0,0469	0,420	0,945	„
0,0245	0,0325	0,630	0,792	0,059	0,415	0,934	„
0,0295	0,052	1,02	1,01	0.0752	0,392	0,882	„
0,036	0,073	1,43	1,193	0,0889	0,405	0,915	„
0,0415	0,100	1,962	1,40	0.104	0,40	0,90	„
				Средние	0,403	0,92	

Примечание. μ_1 отнесено к входному сечению; $\omega_1 = 0{,}075$ м².
μ_2 отнесено к выходному сечению; $\omega_2 = 0{,}033$ м².

Группа II — по определению коэфициента К.

Эта группа опытов в свою очередь разбита на ряд серий, в зависимости от размера и формы пьезометров.

Серия 1 — опыты производились с установкой двух пьезометров с диаметром в 7 мм; результаты приведены в табл. 20.

Данные этих опытов вполне подтверждают наши соображения о практической независимости коэфициента К как от напора, так и от открытия щита $h_ш$.

Полученная (опытом) средняя величина $К = 1{,}105$ почти совпадает с теоретической $К_т$. Действительно, при данном отношении:

$$\alpha = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 = \left(\frac{0{,}255 \times 0{,}13}{0{,}392 \times 0{,}19}\right)^2 = 0{,}198$$

$$К_т = \sqrt{\frac{1}{1-\alpha}} = \sqrt{\frac{1}{1-0{,}198}} = 1{,}115$$

Серия 2. В первой серии опытов было обнаружено, что уровни в нижнем бьефе совпадают с уровнями второго пьезометра

Таблица 20

Опыты по определению коэфициента K по показаниям двух пьезометров d=7 мм.

Q м³/сек.	h м	2g h	$\sqrt{2g\,h}$	$K=\frac{Q}{\omega_0\sqrt{2g\,h}}$	$h_ш$
0,0096	0,004	0,0784	0,28	1,037	б/щ
0,0145	0,008	0,156	0,395	1,304	»
0,0198	0,016	0,313	0,560	1,039	»
0,0245	0,023	0,451	0,672	1,077	»
0,0295	0,0345	0,676	0,821	1,068	»
0,0355	0,047	0,922	0,96	1,10	»
			Средний	**1,08**	
0,0095	0,003	0,0588	0,243	1,179	0,145
0,0145	0,008	0,156	0,395	1,110	0,145
0,02075	0,015	0,294	0,542	1,160	0,145
0,02425	0,0255	0,50	0,707	1,044	0,145
0,032	0,0375	0,735	0,860	1,133	0,145
0,0352	0,0485	0,951	0,975	1,10	0,145
			Средний	**1,121**	
0,0095	0,003	0,0588	0,243	1,179	0,092
0,0145	0,009	0,176	0,42	1,046	0,092
0,02075	0,0145	0,284	0,533	1,176	0,092
0,02425	0,0235	0,461	0,680	1,077	0,092
0,032	0,036	0,706	0,840	1,144	0,092
0,03525	0,0475	0,931	0,965	1,103	0,092
			Средний	**1,121**	
0,0095	0,004	0,784	0,28	1,013	0,047
0,0145	0,0075	0,147	0,384	1,139	0,047
0,02075	0,016	0,313	0,56	1,117	0,047
0,02425	0,0175	0,343	0,586	1,14	0,047
0,03525	0,0455	0,842	0,0945	1,022	0,047
			Средний	**1,095**	
			Общий средний	**1,105**	

Таблица 21

Опыты по определению коэфициента K при одном пьезометре d=23 мм

Q м³/сек.	h м	2g h	$\sqrt{2g\,h}$	K	$h_ш$	Примечание
0,028	0,0315	0,619	0,787	1,07	б/щ	
0,026	0,0306	0,600	0,775	1,02	0,10	$\omega = 0{,}255\times0{,}13 =$
0,022	0,0185	0,351	0,592	1,10	0,05	$=0{,}03315$ м.
0,036	0,0572	1,121	1,06	1,03	б/щ	$K=\frac{Q}{\omega\cdot\sqrt{2g\,h}}$
0,034	0,045	0,884	0,942	1,10	0,10	
0,0225	6,0217	0,525	0,725	1,05	0,05	
0,0178	0,0121	0,238	0,488	1,10	б/щ	где h = разность
0,0218	0,0171	0,336	0,580	1,14	б/щ	уровней пьезометра
0,0402	0,0664	1,263	1,125	1,08	0,05	и нижнего бьефа.
0,0135	0,007	0,1375	0,371	1,11	б/щ	
			Средний	**1,08**		

(нижнего). С целью проверки этого обстоятельства с одновременной заменой первого пьезометра на пьезометр большего диаметра ($d = 23$ мм) и были проведены наблюдения, данные которых помещены в табл. 21.

Серия 3. Кроме того, были еще проведены опыты по проверке коэфициента К при пьезометре воронкообразной формы (d = 20 мм, D = 200 мм), причем некоторые из них проводились с опущенным в пьезометр поплавком.

Таким образом, эта серия опытов должна была выяснить возможность применения пьезометрического колодца, удобного в производственных условиях, с присоединением к нему учитывающего прибора.

Таблица 22

Q	Z	2gZ	$\sqrt{2gZ}$	K	$h_щ$	Примечание
0,028	0,0305	0,600	0,775	1,09	б/щ	
0,0265	0,0269	0,529	0,727	1,10	0,10	
0,0265	0,0250	0,490	0,700	1,14	0,10	с поплавком
0,021	0,0155	0,304	0,552	1,14	0,05	с поплавком
0,017	0,0221	0,220	0,469	1,09	б/щ	
0,015	0,0087	0,171	0,414	1,09	0,10	
0,012	0,006	0,118	0,344	1,05	0,5	
			Средний	**1,10**		

Как видно из таблицы, и в этом случае значение коэфициента К вполне устойчиво.

Сведем все полученные результаты по определению коэфициента К в одну табличку:

1. Коэфиц. К при 2 пьезометрах (d = 7 мм) без щита К = 1,080
2. „ „ „ „ $h_щ/A = 0,75$ К = 1,121
3. „ „ „ „ $h_щ/A = 0,50$ К = 1,121
4. „ „ „ „ $h_щ A = 0,25$ К = 1,095
5. „ при одном пьезометре (d = 23 мм) К = 1,080
6. Коэфициент при воронкообразном пьезометре К = 1,100

Средний К = 1,10

ВЫВОДЫ.

Систематизируя данные, полученные в результате приведенных выше исследований, приходим к следующим выводам:

1. Для определения основных размеров водомерного выпуска в зависимости от максимального расхода и допустимой потери напора (Z), необходимо пользоваться формулой расхода:

$$Q = 0{,}92\,\omega\sqrt{2g\,Z} \qquad (47)$$

где $\mu = 0{,}92$ — коэфициент расхода при полностью открытом щите;

ω — искомая площадь выходного (наименьшего) отверстия,

Q и Z — заданные Q_{max} и Z_p.

Деревянный трубчатый водотерный выпуск

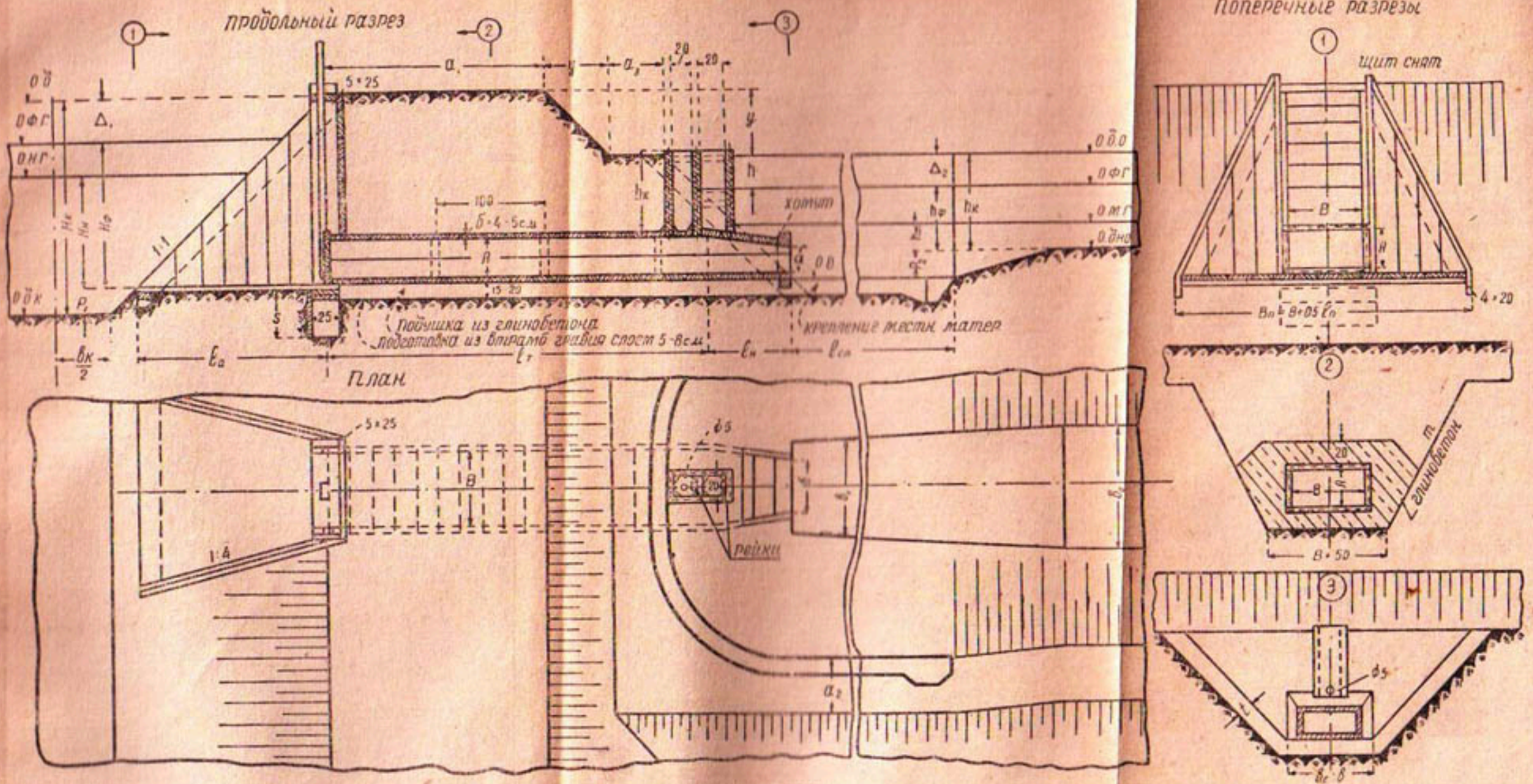


Рис. 17.

2. Коэфициент К, определенный по формуле $Q = K\omega \sqrt{2gh}$ в зависимости от разности пьезометрических напоров, имеет практически постоянную величину 1,10 и не зависит ни от степени открытия щита, ни от действующего напора h, ни от условий подхода к сооружению.

3. Второго нижнего пьезометра практически можно не устраивать, так как в результате проведенных опытов, выявлено, что уровни в пьезометре (№ 2) и в нижнем бьефе совпадают.

4. Пьезометр (№ 1) можно устраивать любой формы и диаметра и опускать в него поплавок от счетчика стока или другого какого-либо прибора.

5. Коэфициент К для подобных водомеров любых размеров и сечений определяется теоретически без предварительной тарировки по формуле:

$$K = \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2}} \qquad (48)$$

Теоретическое значение $K_т$, в нашем случае равное 1,115, отличается от среднего опытного значения $K_{оп} = 1{,}10$ всего на величину в 1,5%.

6. Учет воды производится в зависимости от разности показаний пьезометров по формуле

$$Q = 0{,}98 \sqrt{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot \omega_2 \sqrt{2gh} = 0{,}98\ K_т\ \omega_2 \sqrt{2gh} \qquad (49)$$

Для большего повышения точности работы водомера мы ввели поправочный коэфициент 0,98 за счет пренебрегаемой потери hw.

Повседневный учет расхода воды производится по соответствующим таблицам $Q = f(Z)$ или с помощью приборов, описанных выше.

Практические предложения и эксплоатация.

На основании описанных выше исследований трубчатых водомерных выпусков и дополнительных работ по внедрению их на БФК нами запроектированы типовые конструкции и выработаны практические правила (условия) их установки и эксплоатации.

1. **Описание конструкций.** На типовых чертежах приведены конструкции трубчатых водомерных выпусков прямоугольного (рис. 57) и круглого (рис. 58) сечения; материалом для первого служит дерево, а для второго — бетон.

Прямоугольный трубчатый выпуск (рис. 57) состоит из входной части, передней стенки с пазовой конструкцией, трубы со сходящимся насадком в конце, колодцев для определения расхода воды и выходной части. Все части преимущественно изготовляются из 4—5-сантиметровых досок.

Входная часть состоит из понура и ныряющих стенок, направленных под углом 14° к оси выпуска.

Передняя стенка в виде рамы состоит из двух вертикальных досок (25 × 5), одной поперечной доски на уровне дамбы с отверстием (8 × 10) для тяги щита и двух поперечных (для прочности) досок внизу. Паз шириной в 7 см, образуется двумя планками, пришитыми с внутренней стороны вертикальных досок. Внизу, спереди рамы, пришиты доски, образующие зуб глубиной в 50 см, и вверху, сзади рамы, пришиты доски, образующие забральную стенку. Щит делается самой простой конструкции и размера, соответствующего входному сечению трубы.

Труба с насадком изготовляется из хороших просмоленных 5-см досок; должна быть водонепроницаема и не подвергаться деформации; для этого необходимо доски сплачивать в шпунт, трубу прошпаклевывать и охватить рамками или железными хомутами (на чертеже не показаны) в начале и в конце насадка. Стенки трубы должны быть гладкими с внутренней стороны.

Колодцы с размерами в свету 20 × 20 см делаются или из двухдюймовых досок с прокладкой между ними толя (для водонепроницаемости) или из 5-см досок, сколоченных в шпунт с тщательной шпаклевкой. Верхний колодец сообщается с трубой 5-см отверстием, а стоящий ниже колодец сообщается с нижним бьефом отверстием, проделанным как можно ниже в стенке, соприкасающейся с водой нижнего бьефа. Нижнего колодца можно не делать, если не предполагается ни в настоящем, ни в будущем установка какого-либо прибора (счетчика). Выходная часть сооружения должна быть закреплена каменной отсыпкой, мостовой, фашинной кладкой или другим способом в зависимости от имеющегося местного материала. Длина крепления зависит от выходной скорости и может быть принята ориентировочно равной 5—6· A (A — высота входного сечения).

Круглый трубчатый выпуск (рис. 58) состоит из понура, передней стенки со щитовым устройством, трубы из стандартных звеньев с концевым сходящимся насадком, измерительных колодцев и выходной (сливной) части.

Как видно из чертежа, сооружение может быть запроектировано с одноочковой или двухочковой трубой; в последнем случае пропускная способность водомера достигает значительной величины (до 3 м³/сек.)

Входная часть состоит из понура с ныряющими крыльями, имеющими раствор 1 : 4, и передней стенки с обычным щитовым устройством, которое берется из типового атласа Сазводпроиза.

Труба составляется из бетонных или железобетонных звеньев d = 0,50, 0,75, 1,00, 1,25 м; при этом концевой насадок имеет соотношение $d = 1{,}35\ d_н$ (соотношение $d/d_н$ можно назначить и в 1,5, что увеличивает чувствительность водомера, но уменьшает пропускную способность).

Колодцы для учета воды располагаются симметрично по бокам трубы и устраиваются в бетонной тумбе, охватывающей половину длины насадка и часть трубы, примыкающей к насадку.

Бетонный трубчатый водомерный выпуск

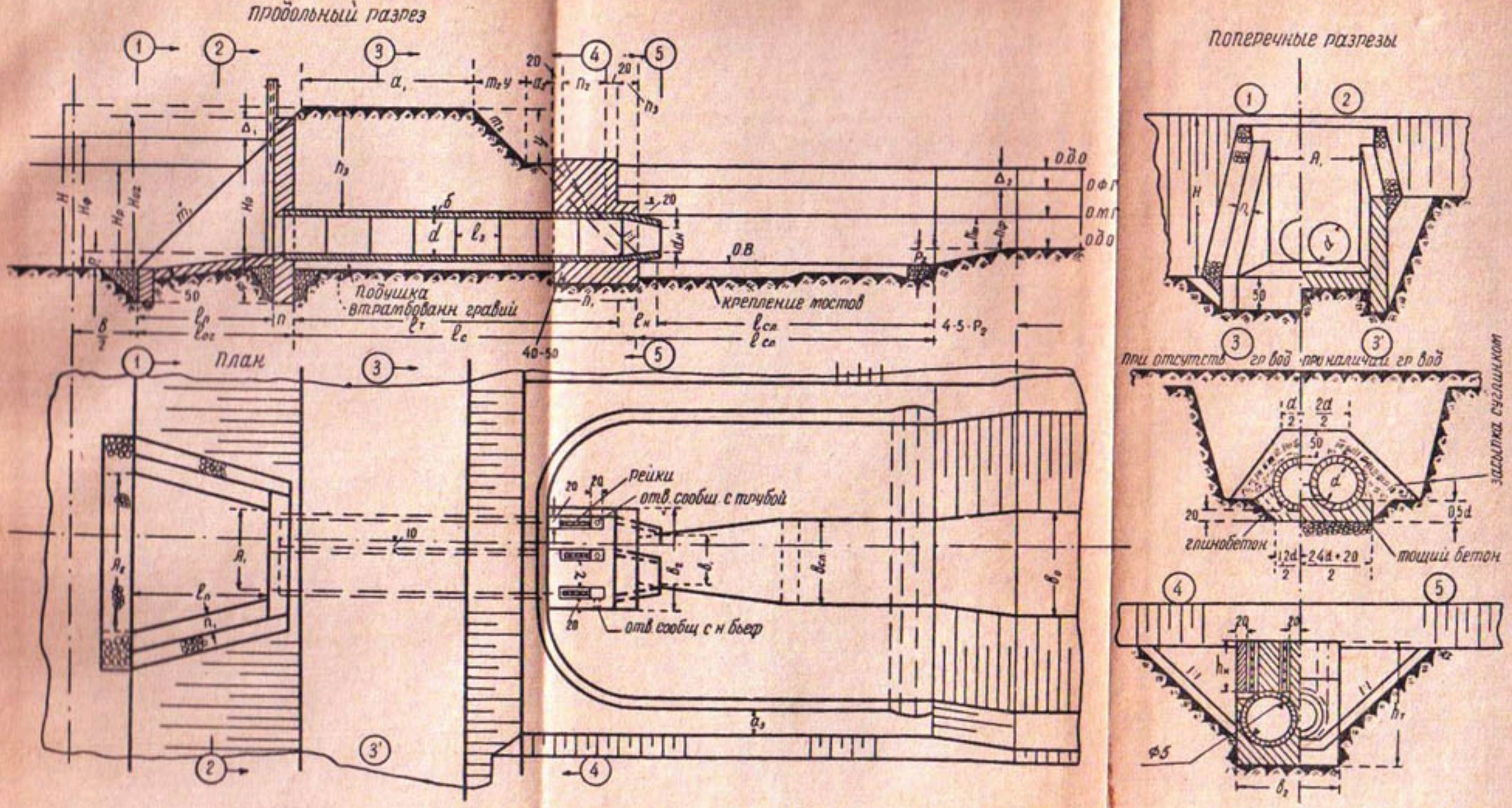


Рис. 58.

Один из колодцев сообщается 5-см отверстием непосредственно с трубой, а другой сообщается трубкой с нижним бьефом.

Одна из внутренних сторон колодцев для удобства отсчета имеет наклон в $^1/_4$, и к ней прикрепляются рейки на заранее втопленных в бетон деревянных пробках. Нули реек должны быть строго на уровне верхней точки трубы.

Выходная часть должна быть закреплена двойной или одиночной мостовой в зависимости от выходной скорости на длину 5—6 d.

Трубчатый водомерной выпуск прямоугольного сечения можно выполнять из кирпичной или железобетонной кладки.

2. Расчет и определение размеров сооружения. Имея исходные данные Q_{max} и Z_p, размеры, отметки канала и отвода, — прежде всего определяем необходимую площадь выходного сечения по обычной формуле в зависимости от расчетного перепада Z_p (разность между нормальным горизонтом канала и форсированным горизонтом отвода):

$$\omega = \frac{Q_{max}}{0{,}92\sqrt{2gZ_p}} \qquad (50)$$

По найденной площади находим основные размеры водомера по нижеследующим соотношениям:

а) для прямоугольного сечения:

$$a = \sqrt{\frac{\omega}{2}};\ A = 1{,}5a;\ l_н = 3a$$

$$b = 2a;\ B = 1{,}5\ b = 3a \qquad (51)$$

б) для круглого сечения:

$$d_н = \sqrt{\frac{\omega}{0{,}785}};\ d = 1{,}35\ d_н;\ l_н = d \qquad (52)$$

где a — высота выходного сечения насадка,
b — ширина " " "
$d_н$ — диаметр " " "
A — высота входного сечения трубы,
B — ширина " " "
d — диаметр " " "
$l_н$ — длина насадка.

Для облегчения расчета и выбора стандарта водомера приводим ниже табл. 23 для прямоугольного и табл. 24 для круглого трубчатого выпуска.

Таблица 23

Таблица основных размеров и пропускной способности деревянного прямоугольного трубчатого водомерного выпуска.

№ стандарта	a	b	A	B	$l_н$	Q при Z_p				
						10	15	20	25	30
1	10	20	15	30	30	24	30	34	38	42
2	15	30	22,5	45	45	55	65	75	86	94
3	20	40	30	60	60	100	120	125	152	167
4	25	50	37,5	75	75	150	180	210	240	260
5	30	60	45	90	90	220	220	300	345	375

Размеры — в см. Расходы — в л/сек.

Таблица 24

Таблица основных размеров и пропускной способности бетонного круглого трубчатого водомерного выпуска.

№ стандарта	d	$d_н$	$l_н$	Q при Z				
				10	15	20	25	30
1	50	37	50	130	160	185	206	224
2	75	55	75	287	352	416	455	495
3	100	74	100	520	682	732	820	895
4	125	92	125	805	982	1135	1270	1840

Размеры — в см. Расходы — в л/сек.

После назначения основных размеров водомера необходимо определить отметку порога сооружения, исходя из условия затопления выходного сечения. Отметка порога характеризуется величиной возвышения дна отвода над порогом сооружения p_2, которая равна:

для выпуска прямоугольного сечения $p_2 = A + \delta - h_{min}$,

для выпуска круглого сечения $p_2 = d + \delta - h_{min}$.

Минимальная глубина в отводе h_{min} определяется в зависимости от минимального расхода водомера, который находится по формуле:

$$Q = 0{,}98\ K\ \omega_2 \sqrt{2gh}$$

при $h = 0{,}01$ м,

где K = постоянный коэфициент $= \sqrt{\dfrac{1}{1 - \left(\dfrac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2}}$

ω_2 — площадь выходного сечения,

h — разность уровней в колодцах

(разницу в колодцах меньше 1 см практически отсчитать затруднительно, и возможны большие ошибки при определении расхода воды).

Назначив таким образом отметку порога и имея высотные отметки и контур дамбы канала, назначают остальные размеры сооружения.

3. **Учет расхода воды** производится по разности h уровней воды в колодцах по формулам:

а) для прямоугольного сечения

$$Q = 1{,}09 \cdot \omega_2 \sqrt{2gh} = 4{,}84\ \omega_2 \sqrt{h} \qquad (53)$$

б) для круглого сечения

$$Q = 1{,}16 \cdot \omega_2 \sqrt{2gh} = 4{,}05\ d_н^2 \sqrt{h} \qquad (54)$$

или вообще для любого поперечного сечения и соотношения

$$\alpha = (\omega_2/\omega_1)^2$$

$$Q = 0{,}98 \sqrt{\frac{1}{1-\alpha}}\ \omega_2 \sqrt{2gh} \qquad (55)$$

Перепад h можно определять (в самом простом случае) метром, замеряя глубины поверхности воды в верхнем колодце и в колодце нижнего бьефа от одной отметки наверху смежной стенки упомянутых колодцев, или по рейкам, установленным в колодцах.

Определение h должно производиться как можно точнее, так как от этого зависит точность учета расхода воды (особенно при

малых h). Необходимо эпизодически проверять состояние внутренних основных (выходное и по оси верхнего колодца) сечений трубы водомера и в случае деформации принимать меры к исправлению и внесению в таблицы соответствующих поправок.

Б. Водомеры-регуляторы постоянного расхода воды.

Ценное преимущество автоматов постоянного расхода (выдела воды) заключается в простоте учета количества (стока) воды, без применения каких-либо механических регистрирующих или учитывающих приборов и связанных с ними последующих вычислительных операций. Это преимущество усиливается еще тем, что подобные водомеры обеспечивают автоматическое распределение воды.

Как мы отмечали уже, водомеры-автоматы должны удовлетворять следующим основным требованиям: точности учета, простоты, прочности конструкции и пр.

Учитывая эти требования, а также недостатки существующих конструкций водомеров-автоматов постоянного расхода воды, мы произвели исследования и испытания в лабораторных условиях двух новых предложенных нами конструкций водомеров-автоматов (регуляторов).

1. Водомер-автомат Б—1.

Согласно принятой нами классификации, этот водомер относится ко 2 группе II класса водомеров, т. к. принцип его действия

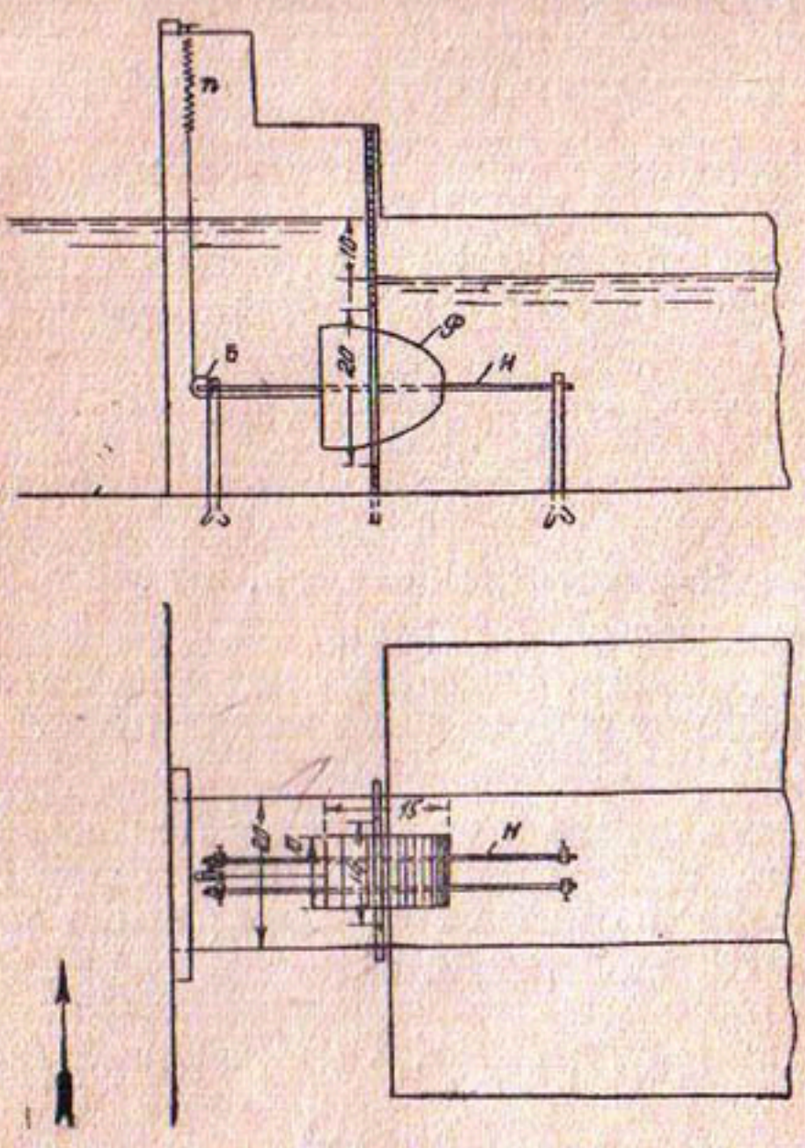


Рис. 59 Чертеж модели водомера-автомата.

заключается в изменении рабочего отверстия обратно пропорционально $\sqrt{Z}$.

После разработки ряда вариантов конструкций автомата Б—I, мы приняли для исследования конструкцию модели, показанной на рис. 59.

В прямоугольном отверстии (20 × 14 см) движется в горизонтальном направлении по двум направляющим Н регулятор Р, верхняя и нижняя поверхность которого очерчены по кривым гиперболического порядка $y = ax^{-1/2}$; по бокам регулятор имеет плоские вертикальные стенки. Движением регулятора управляет пружина П, соединенная с ним гибкой нитью, перекинутой через блок Б, пружина помещена выше поверхности воды и растягивается (сжимается) в вертикальном направлении в зависимости от гидростатического давления воды на регулятор. Регулятор сделан полым и отрегулирован так, что не имеет веса в воде и поэтому не оказывает никакого давления на направляющие. В остальном конструкция модели понятна из чертежа.

Конструирование и расчет модели.

а) **Расчет отверстия и формы регулятора.** Для изготовления модели были приняты следующие исходные данные:

1. Расчетный нормальный расход Q = 10 л/сек.
2. Изменение рабочего напора Z от 0 до 20 см.
3. Истечение — затопленное.
4. Для предварительного расчета коэфициент расхода принят равным 0,70.

Исходя из этого, для условия обеспечения постоянного выдела воды вне зависимости от колебания уровня в старшем канале, площадь рабочего отверстия и площадь соответствующего сечения регулятора в зависимости от Z находятся из формул:

$$\omega_p = \frac{Q}{\mu\sqrt{2g}\cdot\sqrt{Z}} = KZ^{-1/2} \qquad (56)$$

$$P_p = \Omega - \omega_p \qquad (57)$$

$$\Omega = A \times B;\ P_p = a \times b, \qquad (58)$$

где ω_p — площадь рабочего отверстия,

P_p — рабочая площадь соответствующего сечения регулятора,

a, b — стороны прямоугольного сечения регулятора (b = Const),

Ω — постоянная площадь отверстия в стенке,

A, B — стороны прямоугольного сечения отверстия в стенке.

Площадь отверстия в стенке Ω при минимальном перепаде $Z_{min} = 0{,}02$ определяем по формуле:

$$\Omega = \omega_p{}^{max} + P_p{}^{min} = \frac{Q}{\mu\sqrt{2gZ_{min}}} + P_p{}^{min} = \frac{0{,}010}{3.1\sqrt{0{,}02}} + 0{,}1.\,0{,}05 =$$

$$= 0{,}279\ м^2 \qquad (59)$$

Принимая B = 0,14 м, найдем, что A = 0,20 м.

Результаты подсчетов рабочего отверстия и сечения регулятора в зависимости от Z представлены в табл. 25.

Таблица 25

$Z_м$	$\sqrt{Z}$	Ω	$\omega_р$	$P_р$	b	a
0,02	0,141	0,0279	0,0229	0,005	10	5,0
0,04	0,200	0,0279	0,0162	0,0117	10	11,7
0,06	0,245	0,0279	0,0132	0,0147	10	14,7
0,08	0,283	0,0279	0,0114	0,0165	10	16,5
0,10	0,316	0,0279	0,0102	0,0177	10	17,7
0,12	0,346	0,0279	0,0093	0,0186	10	18,6
0,14	0,374	0,0279	0,0086	0,0193	10	19,3
0,16	0,400	0,0279	0,0081	0,0198	10	19,8
0,18	0,425	0,0279	0,00757	0,0203	10	20,3
0,20	0,447	0,0279	0,0072	0,0207	10	20,7

Таким образом, мы определили только ординаты регулятора; соответствующие абсциссы найдем из условия изменения (сжимания или растягивания) пружины пропорционально напору Z.

Если в нашем конкретном случае поставим условием, что пружина будет удлиняться, а регулятор — соответственно вдвигаться в отверстие на 1 см при увеличении напора Z также на 1 см, — тогда окончательно форма регулятора в зависимости от Z определится координатами, представленными в табл. 26.

Таблица 26

$Z_{см}$		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Координаты	x	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	y	2,5	5,85	7,35	8,25	8,85	9,3	9,65	9,90	10,15	10,7

Примечание. Ширина регулятора b = 10 см = Const. Ось абсцисс совмещена с осью симметрии регулятора.

б) Расчет пружины автомата. Площадь регулятора, воспринимающая давление воды:

$$S = 0{,}207 \times 0{,}10 = 0{,}0207 \text{ м}^2.$$

Гидростатическое давление на регулятор:

$$P = P_1 - P_2 = \gamma \cdot S\,(H_1 - H_2) = \gamma \cdot S \cdot Z \qquad (60)$$

т. е. давление изменяется прямо пропорционально перепаду Z.

Таким образом, каждый сантиметр напора Z увеличивает давление на $\triangle P = 1000 \cdot 0{,}0207 \cdot 0{,}01 = 0{,}207$ кг.

В нашем случае (на модели) максимальный напор может быть не больше 14 см, а поэтому пружина была рассчитана на максимальное растяжение l = 140 мм при $P_{max} = 0{,}207 \times 14 = 2{,}9$ кг.

Пружина рассчитывалась по методу Зибека по формуле

$$P_{max} = 16\frac{d^2}{C} = 16\cdot\frac{d^3}{D};\ C = \frac{D}{d} \qquad (61)$$

Задаваясь диаметром стальной проволоки $d = 1{,}2$ мм, определяем диаметр пружины D:

$$D = \frac{16d^3}{P_{max}} = \frac{16\cdot 1{,}2^3}{2{,}9} = 9{,}5 \text{ мм}.$$

Число витков находится по формуле

$$n = \frac{1000\,d^4 \cdot h}{D^3} \qquad (62)$$

где $h = \frac{1}{P_{max}} = \frac{140}{2{,}9} = 48{,}2$ — степень растяжения (сжатия) пружины на 1 кг нагрузки.

Таким образом, $n = \frac{1000\cdot 1{,}2^4 \cdot 48{,}2}{9{,}5^3} = 113$ витков.

В соответствии с данными расчета была запроектирована конструкция модели, которая приведена на рис. 59.

Описание опытов и их результаты.

Опыты проводились главным образом с целью проверки автоматичности постоянства расхода с одновременным определением коэфициента расхода μ в зависимости от изменения напора (перепада) Z.

Модель автомата была расположена под прямым углом по отношению к старшему (распределительному) каналу. Расход воды в старшем канале — 20 л/сек., глубина воды в нем при этом изменяется с помощью шандор, расположенных на 4 м ниже выпуска. Расход модели автомата определялся водосливом Чиполетти $b = 0{,}25$ м.

Всего произведено 16 опытов с 2-кратной повторностью. Результаты опытов представлены в табл. 27.

Из таблицы следует, что наибольший процент отклонения наблюденных расходов от Q средн. составлял 4,5% при колебании напора Z от 3 до 10 см (увеличение в 3 раза).

Таким образом, водомер вполне отвечает своему назначению — выделу постоянного расхода воды.

Средний коэфициент μ получен равным 0,63, причем коэфициент расхода с увеличением напора Z несколько уменьшался.

Полученный фактический $\mu = 0{,}63$ меньше принятого нами при расчете модели $\mu = 0{,}70$, т. е. обнаружена соответствующая разница между расчетным и фактическим расходом автомата. При последующих расчетах коэфициент расхода нужно принимать в среднем равным 0,63.

Расчеты и испытания показывают, что водомер-автомат Б-I допускает довольно значительный диапазон колебаний расхода (в $1^1/_2$ раза) и напора (в 3 раза) при точности учета до 5%.

Таблица 27

$Z_{ср}$	Q м/сек.	Проц. отклонения от Q средн.	$\omega_p = \Omega - P_p$	μ
3,31	8,00	3,8	0,0162	0,613
3,41	8,20	1,5	0,0152	0,645
2,30	7,90	4,5	0,0165	0,71
2,68	8,20	1,5	0,0155	0,72
4,02	8,1	2,5	0,0142	0,70
4,98	8,2	1,5	0,0130	0,66
5,17	8,4	1,0	0,0128	0,65
6,12	8,2	1,5	0,0124	0,60
6,98	8,4	1,0	0,0122	0,59
7,47	8,3	0	0,0114	0,60
7,36	8,4	1,0	0 0117	0,60
8,56	8,5	2,0	0,0112	0,60
8,9	8,4	1,0	0,0107	0,60
8,8	8,5	2,0	0,0111	0,59
9,42	8,6	3,0	0,0106	0,60
10,46	8,7	4,5	0,010	0,60
Средний	8,31		Средний	0,63

Испытания водомера-автомата Б-I показали также возможность регулировки (зарядки) водомера на другой постоянный расход в пределах изменения расхода в $1^1/_2$ раза при увеличении первоначального напора ($Z_{min} = 10$ см) в три раза.

ВЫВОДЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ.

Таким образом предложенный и испытанный нами водомер-автомат Б-I вполне удовлетворяет поставленным условиям — постоянного выдела воды и регулирования расходов в необходимых пределах, а также свободного пропуска наносов, малой потери напора, дешевой стоимости сооружения (незначительно превышает стоимость обычного бетонного выпуска), удобства в эксплоатации. От возможных (и злоумышленных) повреждений водомер может быть предохранен путем закрывающейся на замок крышки.

Для недопущения к автомату плавающего мусора, который мог бы забить рабочее отверстие, необходимо по откосу старшего канала установить перед выпуском решетку или специальные направляющие.

Существенным недостатком в предложенной выше конструкции (рис. 59) является наличие трущихся частей (направляющих) в воде.

Для устранения этого недостатка нами предложен вариант конструкции водомера-автомата Б-I-а, схематически изображенный на рис. 60.

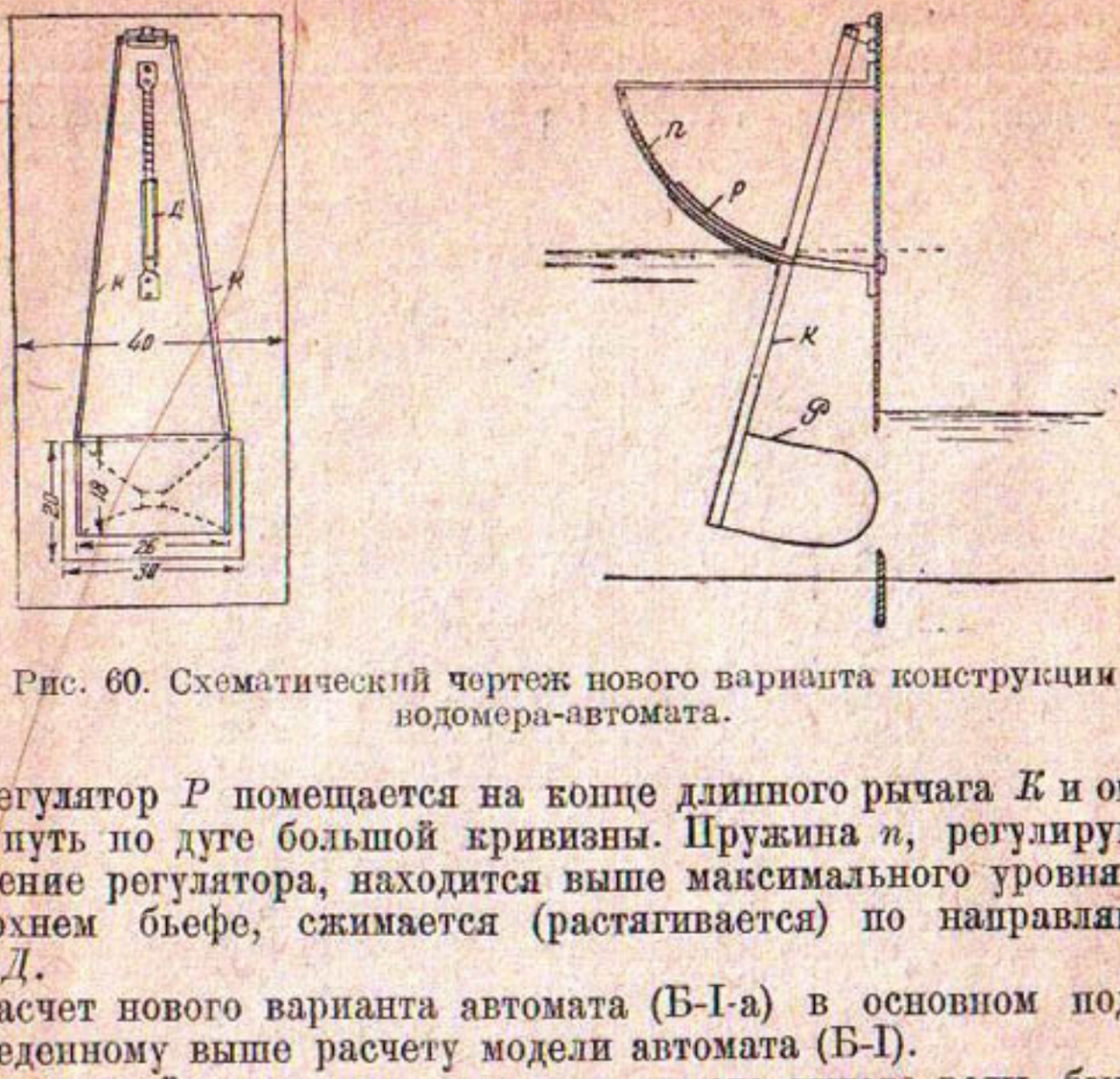


Рис. 60. Схематический чертеж нового варианта конструкции водомера-автомата.

Регулятор P помещается на конце длинного рычага K и описывает путь по дуге большой кривизны. Пружина n, регулирующая движение регулятора, находится выше максимального уровня воды в верхнем бьефе, сжимается (растягивается) по направляющей дуге $Д$.

Расчет нового варианта автомата (Б-I-а) в основном подобен приведенному выше расчету модели автомата (Б-I).

Описанный водомер-автомат постоянного выдела воды был намечен к испытанию в производственных условиях, но по организационным причинам осуществить это не удалось.

2. Водомер-автомат с вращающимся щитом (Б-К-I)*

Водомер Б-К-I, как и предыдущий, относится к группе водомеров, основанных на принципе изменения рабочего отверстия.

Этот водомер предложен нами совместно с инж. А. М. Каграмановым и в основном представляет собой (см. рис. 61) прямоугольный лоток $Л$, в котором на горизонтальной оси $О$ свободно вращается щит $Щ$, непосредственно шарнирно прикрепленный к нижней кромке вертикальной рамы $Р$. Рама может перемещаться в соответствующих пазах в вертикальном направлении, что позволяет регулировать высоту расположения оси щита. Щит так насажен на ось, что соотношение плеч всегда обеспечивает ему определенное положение равновесия, при котором верхняя кромка щита совпадает с горизонтом воды старшего канала (верхнего бьефа), а горизонт нижнего бьефа, по условию работы данной конструкции, всегда совпадает с горизонтальной плоскостью, проходящей через ось вращения щита.

---

* Более подробно см. в работе инж. А. М. Каграманова „Водомер-автомат с вращающимся щитом". Труды Саниирн, вып 56. Узгосиздат. Ташкент. 1941.

Кроме упомянутых выше основных элементов водомера, на дне лотка в пределах радиуса нижнего плеча имеется специальный криволинейный порог $П$, с помощью которого достигается изменение рабочего отверстия обратно пропорционально $\sqrt{Z}$.

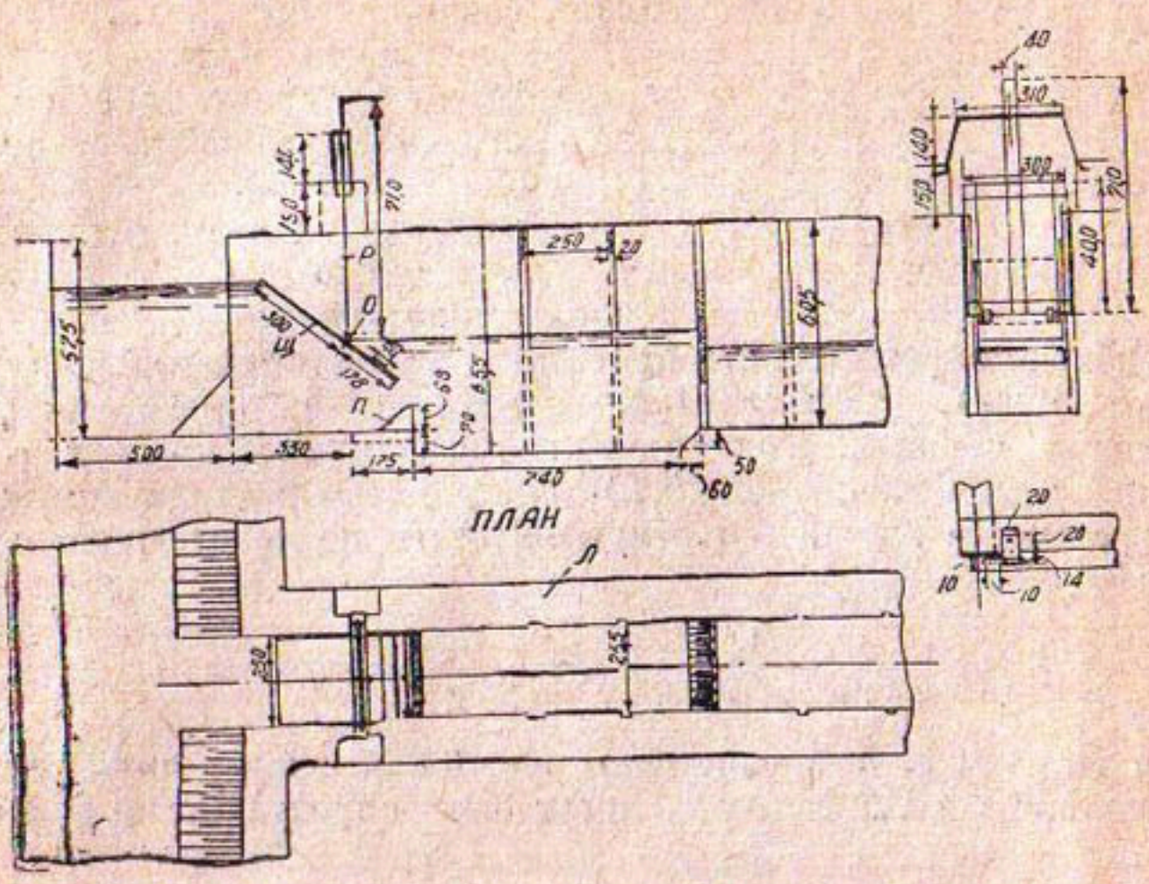


Рис. 61. Исполнительный чертеж модели водомера-автомата.

Принцип действия данного водомера заключается в том, что щит автоматически, следуя своим верхним краем за горизонтом верхнего бьефа, изменяет рабочие отверстия обратно пропорционально $\sqrt{Z}$ и обеспечивает с помощью криволинейного порога выдел постоянного расхода воды, независимо от изменения горизонта (расхода) воды в старшем канале.

Основная задача заключается в выборе определенного соотношения плеч щита $l_1/l_2 = K$ (расчет см. ниже), при котором щит всегда своим верхним краем следует за горизонтом воды в старом канале.

В целях обеспечения допустимых на практике потерь напора, принимаем истечение из-под щита под уровень совпадающим с горизонтом оси вращения щита (совпадение осуществляется соответствующей установкой шандор в нижнем бьефе).

Равновесие щита, в случаях совпадения горизонта верхнего бьефа с верхней кромкой щита и упомянутого положения горизонта нижнего бьефа, получается при определенном соотношении плеч l_1/l_2, которое определяется из условия равенства нулю суммы моментов всех сил относительно оси вращения:

$$\Sigma M_o = p_1 y_1 - p_2 \cdot y_2 = O \qquad (63)$$

Решая это уравнение (см. расчетную схему — рис. 62), окончательно имеем

$$\frac{l_1}{l_2} = 1{,}735 \qquad (64)$$

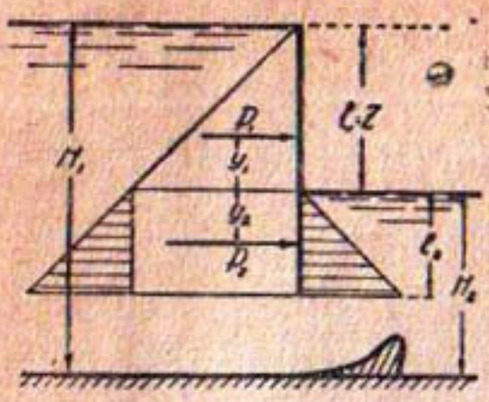


Рис. 62.

При этом соотношении плеч щит всегда будет следовать за горизонтом верхнего бьефа при условии, что уровень нижнего бьефа совпадает с горизонтом оси вращения щита.

Горизонтальное положение щита соответствует нулевому перепаду, вертикальное — максимальному перепаду $Z_{max} = l_1$.

Как уже упоминалось, для обеспечения постоянного выдела воды на полной амплитуде колебания напора (Z) необходимо устройство в пределах радиуса нижнего плеча специального порога, криволинейное очертание которого находится следующим образом. При принятии коэфициента расхода μ равным постоянной величине (0,70) постоянство расхода может быть обеспечено при изменении открытия щита по следующей зависимости:

$$h_{ш} = \frac{Q}{\mu \cdot b \sqrt{2g}\sqrt{Z}} = \frac{C}{\sqrt{Z}} = CZ^{-1/2} \qquad (65)$$

Координаты порога, согласно рис. 63 в зависимости от угла наклона щита к горизонту α, могут быть определены по формулам:

$$y = H_2 - h_{ш} - l_2 \operatorname{Sin} \alpha = H_2 - \frac{C}{\sqrt{Z}} - l_2 \cdot \operatorname{Sin} \alpha \qquad (66)$$

$$x = l_2 \operatorname{Cos} \alpha \qquad (67)$$

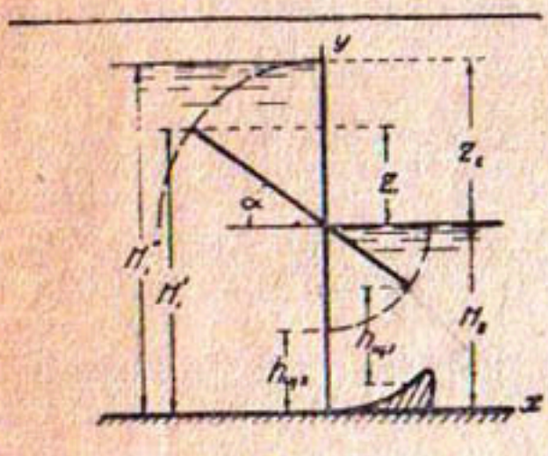


Рис. 63.

Рассчитанный таким образом водомер был исследован в лаборатории; результаты исследований были вполне удовлетворительными.

Дальнейшее теоретическое освещение вопроса расчета данного водомера (на основе предварительных опытов) с учетом переменного коэфициента расхода было произведено инж. А. М. Каграмановым.

Если в уравнении расхода

$$Q = \mu \cdot b \cdot h_{ш} \sqrt{2gZ}$$

заменить Z равным ему значением $l_1 \operatorname{Sin} \alpha$, то будем иметь

$$Q = \mu \cdot b \cdot h_{ш} \sqrt{2gl_1 \operatorname{Sin} \alpha} \qquad (68)$$

Тогда, обозначая $M = b \sqrt{2gl_1}$ (69)

и $N = \mu \sqrt{\operatorname{Sin} \alpha}$ (70)

уравнение 68 примет вид $Q = M \cdot N \cdot h_{ш}$ (71)

Для обеспечения $Q = \text{Const}$ необходимо, чтобы все величины,

входящие в формулу 71, были постоянными или чтобы произведение $(N \cdot h_ш)$ было равно постоянной величине.

Исследование функций $\mu = \varphi \frac{\alpha}{1 + \alpha - \cos \alpha}$ * и $N = \mu \sqrt{\sin \alpha}$

показало, что последняя в пределах изменения α от 35° до 90° остается почти постоянной.

Следовательно, для сохранения $Q = \text{Const}$ и третья величина $h_ш$ в уравнении 71 должна быть постоянной, а это значит, что порог в упомянутых пределах α должен быть очерчен по дуге с радиусом нижнего плеча.

То обстоятельство, что $h_ш = \text{Const}$, дает возможность сделать вывод, что автомат позволяет регулировать расход путем соответствующего изменения положения оси щита по вертикали.

В пределах же изменения щита от 0 до 35° (малые перепады), величина $N = \mu \sqrt{\sin \alpha}$ переменная, и в этом случае регулировка расхода будет затруднена, но все же, как показал опыт, возможна с точностью до 10% (практически достаточной).

Таким образом, очертания порога могут быть получены:

$$\text{а) при } \mu = \text{Const } h_ш = \frac{C}{\sqrt{Z}}$$

$$\text{б) при } \mu = f(\alpha) \text{ в пределах } 0—35° \quad h_ш = \frac{C}{\mu \sqrt{Z}} \qquad (72)$$

в пределах от 35—90°) $h_ш = \text{Const}$.

При проведении лабораторных опытов были исследованы различные очертания порогов, рассчитанных по формулам (72.)

Описание лабораторных опытов и их результаты.

Лабораторные опыты проводились на двух моделях — малой рассчитанной на нормальный расход $Q_н = 9$ л /сек. и большой — на $Q_н = 30$ л/сек.

а) Опыты с малой моделью были предварительными и производились для проверки основного назначения водомера, как регулятора постоянного выдела воды.

На малой модели были проведены 2 серии опытов. Первая (7 опытов) — при пропуске нормального (расчетного) расхода в 9 л /сек. с высотою расположения оси щита над порогом = 14,3 м; вторая серия — при расходе в 13,35 л/сек. и расположении оси на высоте 16,15 см.

Данные этих опытов приведены в табл. 28.

Результаты опытов показали, что водомер данной конструкции вполне отвечает своему назначению и практически допускает регулировку расхода (в пределах 50%) в ту или другую сторону.

---

* А. Кох и М. Карстаньен. Основы практической гидродинамики. 1933.

При проведении опытов отмечено, что при напорах больше 10 см $= \left(\frac{Z_{max}}{2}\right)$, в нижнем бьефе возникает бурный режим с образованием поверхностного вальца. Это объясняется тем, что

Таблица 28

№№ серий	№№ опытов	Высота оси щита	при $\alpha = 90°$	Расход автомата л/сек.	Напор Z см	% отклонения от среднего расхода	Примечание
1	1	1,3	3,90	9,0	4,0	0,0	в = 16 см. $l_1 = 18$
	2	1,3	3,90	9,0	5,7	0,0	$l_2 = 10{,}4$. Порог рассчит. при
	3	1,3	3,90	9,0	7,12	0,0	μ = Const.
	4	1,3	3,90	9,0	8,8	0,0	
	5	1,3	3,90	9,0	10,45	0,0	
	6	1,3	3,90	9,0	13,00	0,0	
	7	1,3	3,90	9,0	16,0	0,0	
		Q	Средний	9,0			
2	1	16,15	5,75	12,20	3,7	1,0	
	2	16,15	5,75	13,40	4,0	0,5	
	3	16,15	6,75	13,45	6,0	1,0	
		Q	Средний	13,35			

основная струя при выходе из-под щита направляется под некоторым углом вверх.

б) Большая модель построена и испытана в лаборатории с целью более детального исследования при нормальном (расчетном) расходе в 30 л/сек.

Масштаб модели по отношению к первой: m = 1,5 (см. рис. 64).

Исследовались 2 порога — первый, рассчитанный при постоянном коэфициенте расхода $\mu = 0{,}70$; второй порог с учетом пере-

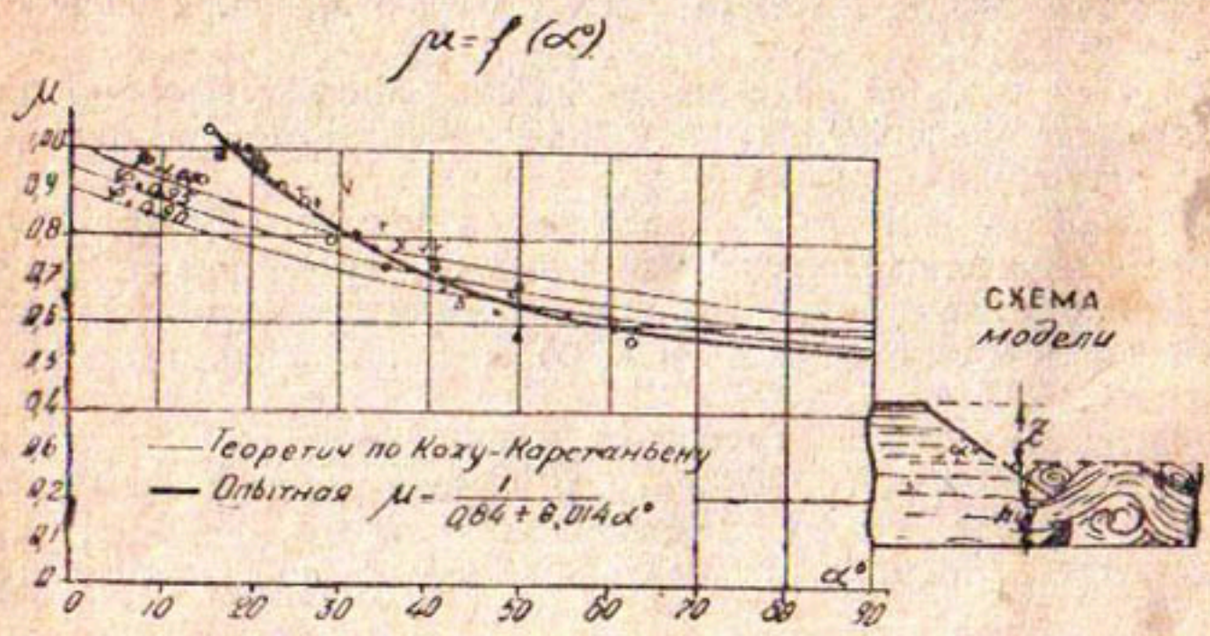


Рис. 64.

менного коэфициента μ, очерченный в соответствии с соображениями, приведенными выше, в пределах изменения щита от $\alpha = 35°$ до $\alpha = 90°$ радиусом, равным нижнему плечу щита, в пределах оси от 0—35° высота порога была оставлена постоянной.

Цель лабораторных исследований:

1. Проверить работу водомера-автомата в отношении точности выдела постоянного расхода воды из распределительного канала при изменяющихся горизонтах в упомянутом канале.

2. Проверить и уточнить формулы по расчету порога (рабочего сечения).

3. Установить возможность регулирования расхода путем перемещения оси щита по вертикали.

1. По первой группе опытов с порогом $\mu = \text{Const}$. было произведено 9 серий опытов, различающихся между собой высотой расположения оси щита, расположением шандор и установкой расщепителей.

Расщепители в виде поперечных балок устанавливались навстречу выходящей из-под щита струе воды, чем достигалось удовлетворительное гашение энергии и успокоение поверхности нижнего бьефа.

Таблица 2

№№ серий	№№ опытов	Высота оси щита	$h_{ш}$ при $\alpha = 90°$	Угол наклона щита $\alpha°$	Фактич. расход Q л/сек.	Zсм	Расстояние шандор от оси щита	Наличие расщепителей	Примечания
	1	22,9	5,6	19°	20,0	3,9	100	нет	Истечение из-под шандор
	2			26	21,0	8,1			
	3			37	21,5	16,6			
	4			43	21,6	22,2			
				Q Средн.	**21,03**	**Отклон.**	6%		
V	1	25,1	7,8	15	28,3	3,8	100	1	
	2			24	30,0	6,6			
	3			32	29,25	11,9			
	4			41	29,17	16,5			
	5			51	28,50	22,7			
	6			63	28,50	26,0			
				Q Средн.	**29,04**	**Отклон.**	3,5%		
III	1	25,9	8,6	16	30,75	3,0	200	2	Истечение из-под шандор
	2			26	32,75	7,6			
	3			36	33,50	13,8			
	4			45	32,00	20,1			
				Q Средн.	**32,25**	**Отклон.**	4%		
	1	28,65	11,3	19	35,18	4,4			
	2			28	36,25	8,1			
	3			36	36,62	12,9	200	нет	
	4			44	38,05	19,4			
	5			51	38,87	25,7			
				Q Средн.	**37,00**	**Отклон.**	5,5%		

Таблица 30

№№ серий	№№ опытов	Высота оси щита H_2	$h_{щ}$ при $\angle\alpha = 90°$	Угол наклона щита $\alpha°$	Расход автомата Q л/сек.	Z см
I	1	21,4	4,1	12	14,5	2,3
	2	21,4	4,1	18	15,8	4,4
	3	21,4	4,1	22	16,5	6,4
				Q **Средний**	**15,6**	**Отклон. 6%**
II	1	23,7	6,4	20	21,8	3,3
	2			29	24,4	8,3
	3			35	25,2	12,9
	4			43	25,0	16,7
				Q **Средний**	**23,9**	**Отклон. 8%**
III	1	24,7	7,4	21	28,0	5,7
	2			37	28,0	14,0
	3			46	27,0	17,7
					27,6	**Отклон. 2%**
IV	1	28,4	11,1	12	39,5	4,9
	2			12	40,8	4,95
	3			23	41,0	6,9
	4			31	41,2	11,1
				Q **Средний**	**40,5**	**Отклон. 2,5**

Наиболее характерные серии опытов для первого порога (μ = =Const.) приведены в табл. 29.

На основании проведенных опытов определен коэфициент расхода μ и выяснен закон его изменений в зависимости от α.

Графически эта зависимость представлена на рис. 64, на этом же графике приведены кривые, вычисленные по ф-ле Коха-Карстаньена.

По второй группе проведены 4 серии опытов, отличающихся друг от друга высотой расположения оси щита, а следовательно, и расходом. Результаты исследований даны в табл. 30.

Опыты, производимые над водомером-автоматом с двумя типами порогов μ = Const. и по дуге круга, показали, что, несмотря на принципиальную разницу в методах расчета порогов, в обоих случаях получены практически одинаковые (удовлетворительные) результаты. Это объясняется тем, что очертания порогов практически почти совпадают и различаются лишь в пределах изменения щита при углах от 0 до 35°.

Предпочтение надо отдать очертанию порога по дуге кривой, т. к. в этом случае порог проще рассчитывается, допускает регулировку расхода в значительных пределах, и, кроме того, обеспечивает более спокойную работу нижнего бьефа сооружения.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ.

1. Предложенный водомер Б-К-I перед всеми водомерами подобного типа имеет значительное преимущество и удовлетворяет почти полностью всем поставленным требованиям.

Водомер Б-К-I работает с достаточной степенью точности, допускает регулировку расхода в значительных пределах, имеет сравнительно небольшие потери напора, свободно пропускает наносы, конструкция его достаточно проста (нет мелких и сложных частей) и он сравнительно дешев в изготовлении.

2. Расчет водомера в основном заключается:

а) в назначении размеров щита, который рассчитывается по формуле $\frac{l_1}{l_2} = 1{,}735$, где l_1 принимается равным максимальному перепаду Z_{max},

б) в определении координат (очертания) порога по формулам

$$y = 0{,}576\ l_1\ (1 - \sin\alpha) \qquad (73)$$

$$x = l_2\ \mathrm{Cos}\ \alpha = 0{,}576\ l_1\ \mathrm{Cos}\ \alpha \qquad (74)$$

причем на участке до $x = 0{,}576\ l_1\ \mathrm{Cos}\ 35^\circ$ высота порога принимается примерно постоянной и равной

$$y = 0{,}576\ l_1\ (1 - \sin\ 35^\circ).$$

В целях плавного обтекания потока оголовок порога слегка закругляется.

Для поддержания горизонта нижнего бьефа на уровне оси щита необходимо предусмотреть шандоры, которые лучше всего расположить на расстоянии 2—2,5 Z_{max} от оси щита.

Расход воды в зависимости от высоты поднятия оси щита определяется по следующей зависимости:

$$Q = 0{,}615\,b \cdot h_{щ} \sqrt{2gl_1} = 2 \cdot 72 \cdot b \cdot h_{щ} \sqrt{l_1} \qquad (75)$$

Для предохранения автомата от попадания в него мусора и больших плавающих тел у входа должна быть устроена забральная стенка или решетка.

Вращение щита должно быть ограничено в пределах его действия от Z_{min} до Z_{max} ($\alpha_{min} - \alpha_{max}$) во избежание его опрокидывания, что легко выполняется забивкой штырей в стенках лотка.

В случае полного закрытия выпуска для ремонта или осмотра, следует также предусмотреть шандоры в верхнем бьефе. Прекращения работы автомата можно достигнуть переводом щита в вертикальное положение и опусканием его до дна выпуска (в этом случае будет происходить небольшая фильтрация через зазоры между щитом и боковыми стенками лотка).

Заканчивая на этом описание данного водомера, следует заметить, что необходимо еще испытать его в производственных условиях с целью проверки его работы за продолжительный период, выявления конструктивных недостатков и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Таким образом, на основе анализа существующих конструкций водомеров и перспектив развития учета воды соответственно современным требованиям социалистического хозяйства, путем теоре-

тических и лабораторных исследований, нами был выработан и предложен ряд конкретных предложений для целей учета воды на колхозной и межколхозной (частично) ирригационной сети.

Такими предложениями являются:

1) колхозные водомерные насадки (круглого и прямоугольного сечения),

2) открытые выпуски с насадками,

3) трапециедальный, суживающийся кверху (пропорциональный) водослив,

4) трубчатый водомерный выпуск,

5) автомат Б-I,

6) автомат Б-К-I.

Из вышеперечисленных водомеров трубчатый водомерный выпуск (круглого сечения) и водомер-автомат Б-К-I могут частично применяться на межколхозной ирригационной сети (порядка $Q = 1{,}5 - 2{,}0$ м^3/сек.), остальные водомеры предназначаются исключительно для колхозной ирригационной сети.

Некоторые из этих конструкций уже внедрены в производство и получили широкое распространение (водомерные насадки, трубчатые водомерные выпуски).

На основе данных о работе рассмотренных водомеров в производственных условиях мы предполагаем производить дальнейшее их усовершенствование и продолжать разработку новых, более рациональных водомерных конструкций, преимущественно для межколхозной ирригационной сети.

ЛИТЕРАТУРА.

Н. И. Адамович — Водомеры, изд. 1931.

М. З. Абрамов — Гидравлические свойства насадок. Труды МИИТ, вып. XI, 1929.

Б. А. Бахметьев — Гидравлика, 1934.

А. И. Бредис — Водомер постоянного расхода. Опытно-мелиоративный вестник, том 1, вып. 1, 1928.

З. Б. Броунштейн и *В. А. Расторгуев* — Измерение расхода жидкости в открытых лотках и каналах. Водоснабжение и санитарн. техника, 9,1937.

В. Н. Васильев — О некоторых способах измерения воды. Соц. водопользование, 1, 1931.

Н. А. Гириллович — Гидрометрия. 1933.

А. Гибсон — Гидравлика, изд. 1934.

В. Я. Гладких — К вопросу конструирования деревянных мелких водовыпусков-автоматов. Труды Юж. НИИГИМ, вып. 1, 1936.

В. Н. Евреинов — Гидравлика, изд. 1934.

В. Д. Журин — Мелкие водовыпуски. Вестник Ирригации. №№ 8 и 9. 1924.

К. М. Игнатьев — Водомер для определения расхода воды в родниках и ручьях.

В. Н. Курносов — Сифонные водовыпуски. Авторское свидетельство № 51878, выд. НКТП.

Ф. Е. Максименко — Практические занятия в гидравлической лаборатории для аспирантов и студентов.

Н. В. Поляков — Организация и эксплоатация мелиоративных систем, вып. III, 1932.

И. Д. Протопопов — Лимниграф, как измеритель расхода воды. Вестник ирригации № 12. 1929.

О. Пебинг — Измерительные решетки (перевод).
Д. П. Рузский — Водомеры с возрастающими сопротивлениями. Модуль Кеннеди.
Н. И. Фальковский — Водомеры. 1931.
И. Ф. Чорба — Об определении коэфициента расхода в тонкой стенке. Варшава. 1911.
Б. Н. Шумаков — Методы и способы измерения воды в САСШ. Опытно-мелиоративный вестник, т. II.
Н. А. Янишевский — Инструкция по составлению оперативных планов водопользования.
В. Н. Ярцев — Практическое руководство для тарировки мелких гидротехнических сооружений. САНИИРИ. 1936.
В. Н. Ярцев — Усовершенствованный лоток Вентури-Поршала. САНИИРИ. 1935.

Технический отчет САНИИРИ за 1933 год. „Разработка рациональных типов шлюзов и водовыпусков".

Технические отчеты лаборатории ирригационных сооружений САНИИРИ за 1936, 1937 и 1938 годы.

Agricultural Experiment Station. Bull. № 247. Some measuring devices used in the delivery of irrigation water.
S. Fortier — Use of water in irrigation.
R. Porshall — The improved venturi flume.
G. D. Clyde — Measurement of irrigation water.
V. W. Cone — Divisors (for the measurement of irrigation water).
V. W. Cone — Construction and use of farm weirs.
Carpenter. — The measurement and divisors of water. 1911.
Wadsworth. — Measurement of irrigation on the farm. 1922.
Proceedings of Civil Engineers. № 2, 4, 7. 1935.
Staus A. Ueberfalls Versuch. 1924.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение 3

I. Значение учета воды в социалистическом хозяйстве . . . . . —

II. Современное состояние и способы учета воды 4

III. Задачи и перспективы учета воды 7

Часть первая

Водомеры существующие и предложенные 9

I. Классификация и теоретические основы . . . . . —

II. Описание водомеров 17

III. Основные показатели и выбор водомеров для социалистического хозяйства (ирригационных районов) 55

Часть вторая

Разработка и исследование новых водомеров 58

I. Технические условия для проектирования водомеров на колхозной и межколхозной ирригационной сети . . . . . —

II. Новые водомерные сооружения (конструкции) 59

А. Водомерные сооружения со счетчиками 60

1. Трапециедальный, суживающийся кверху (пропорциональный) водослив . . . . . —

2. Колхозные водомерные насадки (нерегулируемые) 66

3. Открытый выпуск с водомерным насадком 77

4. Трубчатые водомерные выпуски 83

Б. Водомеры-регуляторы постоянного расхода воды 93

1. Водомер-автомат Б-I . . . . . —

2. Водомер-автомат с вращающимся щитом (Б-К-I) 98

Заключение 105

Литература 106

Редактор *А. И. Алексеев.*

Подписано к печати 5/II-41 г. Печ. л. 6,75 + 3 вклейки по 45697 зн. Уч. автор. л. 7,61. Тираж 1000 экз. Р 74. Цена 7 р.

Узполиграфкомбинат. Ташкент — 1941. Заказ № 3340.